

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA DE UNIONES  
ESTRUCTURALES EN BAMBÚ (*GUADUA ANGUSTIFOLIA*),  
BOSQUE: FLOR DEL VALLE, DISTRITO/PROVINCIA: RIOJA,  
DEPARTAMENTO: SAN MARTÍN.**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**JESÚS DAVID HUARCAYA LIZANA**

**Lima- Perú**

**2010**

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	6
<b>LISTA DE CUADROS Y TABLAS</b> .....	7
<b>LISTA DE GRÁFICOS Y FIGURAS</b> .....	11
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS</b> .....	16
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>CAPITULO 1: EL BAMBÚ</b>	
1.1.- TAXONOMÍA DEL BAMBÚ.....	19
1.2.- CULTIVO Y MANEJO DE LA GUADUA.....	21
1.2.1.- Propagación.....	21
1.2.2.- Siembra.....	23
1.2.3.- Limpieza.....	23
1.2.4.- Fertilización.....	23
1.2.5.- Aprovechamiento.....	24
1.2.6.- Volumen y producción de madera.....	24
1.3.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	24
1.4.- ANTECEDENTES DE CONSTRUCCIONES CON BAMBÚ.....	27
<b>CAPITULO 2: CARACTERÍSTICAS, TECNOLOGÍAS Y PROPIEDADES DEL BAMBÚ (GUADUA ANGUSTIFOLIA)</b>	
2.1.- DISTRIBUCIÓN Y ECOLOGÍA DEL BAMBÚ.....	29
2.1.1.- Áreas geográficas y factores climáticos.....	29
2.1.2.- Especies.....	29
2.1.3.- <i>Guadua Angustifolia</i> .....	29
2.2.- AGENTES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DEL BAMBÚ.....	34
2.2.1.- Plagas, enfermedades y daños.....	34
2.3.- RECOLECCIÓN, SECADO Y PROTECCIÓN DEL BAMBÚ.....	35
2.3.1.- Cosecha y transporte.....	35
2.3.2.- Tiempo de cosecha.....	35
2.3.3.- Almacenamiento y secado .....	36

2.3.4.- Preservación de la Guadua.....	36
2.3.5.- Métodos para la preservación.....	37
2.4.- BIÓNICA DEL BAMBÚ.....	41
2.4.1.- El bambú como recurso.....	41

### **CAPITULO 3: ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL BAMBÚ**

3.1.- OBJETIVO GENERAL.....	46
3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	46
3.3.- CAÑAS DE BAMBÚ.....	46
3.4.- CUADRO DE DIMENSIONES.....	47
3.4.1.- Bosque 1 (Blanco).....	47
3.5.- RELACIÓN CON NORMAS YA ESTABLECIDAS.....	48
3.6.- METODOLOGÍA.....	48
3.7.- COLECCIÓN DE MUESTRAS.....	49
3.7.1.- Proceso de codificación.....	50
3.8.- ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.....	55
3.8.1.- Determinación del contenido de humedad en probetas de Guadua.....	55
3.8.2.- Contracción.....	57
3.8.3.- Densidad.....	58
3.9.- ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	60
3.9.1.- Resistencia a la compresión paralela a la fibra de cilindros de Guadua.....	60
3.9.2.- Resistencia a la tracción paralela a la fibra de Guadua.....	65
3.9.3.- Resistencia al corte paralelo a la fibra de cilindros de Guadua.....	67
3.9.4.- Esfuerzo máximo a flexión de Guadua.....	71

## **CAPITULO 4: UNIONES ESTRUCTURALES COLINEALES, PERPENDICULARES Y DIAGONALES**

4.1.- RESISTENCIA DE UNIONES ESTRUCTURALES COLINEALES, PERPENDICULARES Y DIAGONALES.....	75
4.1.1.- Objeto.....	75
4.1.2.- Uso y significado.....	76
4.1.3.- Aparatos.....	76
4.1.4.- Preparación de propuestas de ensayo.....	76
4.2.- ENSAYO DE UNIONES EN TRACCIÓN.....	78
4.2.1.- Ensayo en uniones colineales. ....	78
4.3.- ENSAYO DE UNIONES DE ELEMENTOS PERPENDICULARES.....	82
4.4.- ENSAYO DE UNIONES DE ELEMENTOS DIAGONALES.....	89
<b>CAPITULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
5.1.- ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS.....	94
5.1.1.- Ensayo de Contenido de Humedad .....	94
5.1.2.- Ensayo de densidad .....	95
5.1.3.- Ensayo de contracción .....	95
5.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS...	96
5.2.1.- Ensayo de compresión paralela a la fibra.....	96
5.2.2.- Ensayo de tracción paralela a la fibra.....	100
5.2.3.- Ensayo de corte paralela a la fibra.....	101
5.2.4.- Ensayo de flexión escala natural.....	103
5.2.5.- Ensayo de flexión estática.....	104
5.3.- ENSAYOS A UNIONES.....	107
5.3.1.- Uniones colineales.....	107
5.3.2.- Uniones perpendiculares.....	111
5.3.3.- Uniones diagonales.....	113
5.4.- TABLAS DE RESUMEN FINAL DE DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO .....	115
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>126</b>

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	128
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	129
<b>ANEXOS</b> .....	130

## RESUMEN

En la actualidad se cuenta con un considerable número de publicaciones que tratan sobre la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua, desde el año 1966.

La naturaleza del ser humano de buscar que la vida sea más fácil, lo lleva a buscar siempre nuevas soluciones a sus necesidades más básicas, soluciones prácticas y económicas. Es así que el bambú surge como alternativa, como material de construcción, esto gracias a sus propiedades de resistencia a la tracción, compresión y flexión.

En países como Colombia o Ecuador el uso del bambú se ha diversificado mayormente debido a la abundancia del mismo y a las propiedades del clima tropical. En el Perú contamos con presencia de bambú guadua a nivel nacional localizado en diversos departamentos, pero no existe información técnica suficiente para que pueda ser utilizado en toda su magnitud.

El bambú es considerado como un material con excelentes propiedades, sin embargo en el país aún no se encuentra normada ni los ensayos de laboratorio ni su utilización, y mucho menos con experiencias previas documentadas académicamente sobre las posibles soluciones a la que es una de las mayores dificultades a la hora de construir con bambú, las uniones estructurales.

En este estudio se busca determinar las propiedades físicas y mecánicas de manera practica siguiendo la normalización para la realización de ensayos en el Laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería y también se busca de manera práctica hallar opciones en la construcción de uniones usando métodos de aplicación sencilla y económicas en el campo de las uniones realizadas con bambú, en especial las uniones colíneales, perpendiculares y diagonales.

El deseo del autor es aportar por medio de esta investigación con futuras experiencias en edificación con bambú, y ensayos de este mismo material realizados con el fin de formalizar la nueva norma peruana del bambú.

## LISTA DE CUADROS Y TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>PÁG.</b>
Tabla N° 3.1.....	47
Tabla de dimensiones.	
Tabla N° 3.2.....	49
Número de muestras por ensayo.	
Tabla N° 3.3.....	50
Dimensiones de muestras para ensayos en Prop. Físicas y Mecánicas.	
Tabla N° 3.4.....	50
Dimensiones de muestras para ensayos en Uniones Estructurales.	
Tabla N° 3.5.....	54
Denominación de muestras por ensayo.	
Tabla N° 4.1.....	79
Resultados de ensayos con madera Capirona – primera propuesta.	
Tabla N° 4.2.....	79
Resultados de ensayos con madera Eucalipto – segunda propuesta.	
Tabla N° 4.3.....	80
Resultados de ensayos con madera Capirona – tercera propuesta.	
Tabla N° 4.4.....	81
Resultados de ensayos con madera Eucalipto – cuarta propuesta.	
Tabla N° 4.5.....	81
Resultados de ensayos con madera Capirona – quinta propuesta.	
Tabla N° 4.6.....	82
Resultados de ensayos con madera Eucalipto – sexta propuesta.	
Tabla N° 4.7.....	84
Resultados de ensayos en uniones perpendiculares - primera alternativa.	
Tabla N° 4.8.....	87
Resultados de ensayos en uniones perpendiculares. Segunda alternativa.	

Tabla N° 4.9.....	88
Resultados de ensayos en uniones perpendiculares – tercera alternativa.	
Tabla N° 4.10.....	89
Resultados de ensayos en uniones perpendiculares. Cuarta alternativa.	
Tabla N° 4.11.....	90
Resultados de ensayos en uniones diagonales – primera alternativa.	
Tabla N° 4.12.....	92
Resultados de ensayos en uniones diagonales – segunda alternativa.	
Tabla N° 4.13.....	93
Resultados de ensayos en uniones diagonales – tercera alternativa.	
Tabla N° 5.1.....	94
Resumen de contenido de humedad.	
Tabla N° 5.2.....	95
Resultados de ensayos de contracción en probetas de bambú con contenido de humedad natural.	
Tabla N° 5.3.....	95
Resultados de ensayos de contracción en probetas de bambú con contenido de humedad saturado.	
Tabla N° 5.4.....	108
Tabla de resultado en madera Capirona - Primera propuesta.	
Tabla N° 5.5.....	108
Tabla de resultado en madera Eucalipto - Segunda propuesta.	
Tabla N° 5.6.....	108
Tabla de resultado en madera Capirona - Tercera propuesta.	
Tabla N° 5.7.....	109
Tabla de resultado en madera Eucalipto - Cuarta propuesta.	
Tabla N° 5.8.....	109
Tabla de resultado en madera Capirona - Quinta propuesta.	
Tabla N° 5.9.....	109
Tabla de resultado en madera Eucalipto - Sexta propuesta.	

Tabla N° 5.10.....	111
Tabla de resultado en uniones perpendiculares. - primera alternativa.	
Tabla N° 5.11.....	112
Tabla de resultado en uniones perpendiculares. - Segunda alternativa.	
Tabla N° 5.12.....	112
Tabla de resultado en uniones perpendiculares. – Tercera alternativa.	
Tabla N° 5.13.....	113
Tabla de resultado en uniones perpendiculares. – Cuarta alternativa.	
Tabla N° 5.14.....	113
Tabla de resultado en uniones diagonales – primera alternativa.	
Tabla N° 5.15.....	114
Tabla de resultado en uniones diagonales – segunda alternativa.	
Tabla N° 5.16.....	114
Tabla de resultado en uniones diagonales – tercera alternativa.	
Tabla N° 5.17.....	115
Resumen de resultados de ensayos propiedades mecánicas “Promedio”.	
Tabla N° 5.18.....	116
Resumen de resultados de ensayos propiedades mecánicas “Desviación Estándar”.	
Tabla N° 5.19.....	116
Resumen de resultados de ensayos propiedades mecánicas “Quinto Percentil”.	
Tabla N° 5.20.....	117
Comparación con otras investigaciones “Promedio”.	
Tabla N° 5.21.....	121
Resumen de resultados de ensayos en uniones estructurales “Promedio”- Bosque Blanco. – primera alternativa.	
Tabla N° 5.22.....	121
Resumen de resultados de ensayos en uniones estructurales “Promedio”- Bosque Rojo. - primera alternativa.	

Tabla N° 5.23.....	122
Uniones colineales con otras investigaciones y símiles.	
Tabla N° 5.24.....	123
Uniones perpendiculares (tipo 1) con otras investigaciones y símiles.	
Tabla N° 5.25.....	124
Uniones perpendiculares (tipo 2) con otras investigaciones y símiles.	
Tabla N° 5.26.....	125
Uniones diagonales con otras investigaciones y símiles.	

## LISTA DE GRÁFICOS Y FIGURAS

<b>FIGURAS Y GRÁFICO</b>	<b>PÁG.</b>
Figura N° 1.1.....	20
Taxonomía del bambú.	
Figura N° 1.2.....	21
Propagación del bambú – semillas.	
Figura N° 1.3.....	22
Arriba: segmento del culmo con nudo y una yema, abajo: segmento del culmo con nudo y la parte inferior de la rama.	
Figura N° 1.4.....	28
Arco compuesto por 6 guaduas. Jörg Stamm. (Proyecto UTP-GTZ. Pereira, Colombia, 2001).	
Figura N° 2.1.....	30
Partes del bambú.	
Figura N° 2.2.....	34
Agentes que afectan al bambú (Termita, Afido).	
Figura N° 2.3.....	36
Almacenamiento de bambú.	
Figura N°2.4.....	37
Curado al Humo.	
Figura N°2.5.....	38
Inmersión al agua.	
Figura N°2.6.....	38
Inmersión en borax.	
Figura N°2.7.....	40
Método de Boucherie simple.	
Figura N°2.8.....	41
Sectores de desarrollo de bambú.	

Figura N°2.9.....	43
Colonización del bambú.	
Figura N°2.10.....	45
Bambú de forma variada – La Bambouseraie de Prafrance.	
Figura N° 4.1.....	77
Extractor mecánico.	
Figura N° 4.2.....	79
Arandelas para ensayo de uniones colineales.	
Figura N° 4.3.....	81
Probeta en ensayo.	
Figura N°4.4.....	84
Equipo completo para ensayo de uniones estructurales.	
Figura N°4.5.....	85
Unión perpendicular primera alternativa.	
Figura N°4.6.....	86
Falla por corte perpendicular a la fibra, originado en el plano de falla donde se colocó el perno, la abertura del gancho inferior origina el desplazamiento del brazo en la muestra.	
Figura N°4.7.....	86
Cambio realizado en el gancho para la segunda alternativa.	
Figura N°4.8.....	87
Barra de acero interior, forma de bastón superior y rosca inferior, ambos realizados expresamente para la segunda alternativa.	
Figura N°4.9.....	87
Ensamblaje de unión, colocación de vara longitudinal y perno transversal.	
Figura N°4.10.....	87
Unión perpendicular utilizando un perno transversal y acero longitudinal, unión lista para la prueba de tracción.	
Figura N°4.11.....	89
Barra de acero interior, forma de bastón superior y rosca inferior, ambos realizados expresamente para la segunda alternativa.	

Figura N° 4.12.....	91
Unión diagonal	
Figura N° 4.13.....	92
Doblez interior de los ganchos y del perno, recomendación alargar la longitud de los ganchos.	
Gráfico N° 5.1.....	97
Variación de la contracción, según el contenido de humedad en las probetas de ensayo.	
Gráfico N° 5.2.....	98
Histogramas de resistencia máximas a compresión C1. (En la parte inferior de las cañas).	
Gráfico N° 5.3.....	99
Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en compresión.	
Gráfico N° 5.4.....	99
Histogramas de resistencia máximas a compresión C2. (En la parte superior de las cañas).	
Gráfico N° 5.5.....	100
Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en compresión.	
Gráfico N° 5.6.....	101
Variación de la media y quinto percentil entre C1 y C2.	
Gráfico N° 5.7.....	101
Histograma de resistencia máxima a la tracción.	
Gráfico N° 5.8.....	102
Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en tracción.	
Gráfico N° 5.9.....	103
Histogramas de resistencia máximas a corte. (En la parte inferior de las cañas).	
Gráfico N° 5.10.....	104
Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en corte.	

Gráfico N° 5.11.....	105
Valor que define el límite de exclusión del MOE en flexión escala natural.	
Gráfico N° 5.12.....	106
Histogramas de resistencia máximas a flexión estática.	
Gráfico N° 5.13.....	106
Valor que define el límite de exclusión del MOR en flexión estática.	
Gráfico N°5.14.....	107
Valor que Define el límite de exclusión del MOE en flexión estática.	
Gráfico N°5.15.....	108
Comparación de los Valores de MOE entre la flexión estática y la flexión en escala real.	
Gráfico N°5.16.....	111
Comparación de las propuestas de uniones colineales en madera Capirona.	
Gráfico N°5.17.....	111
Comparación de las propuestas de uniones colineales madera Eucalipto.	
Gráfico N°5.18.....	112
Comparación de las propuestas de uniones colineales sin importar el tipo de madera.	
Gráfico N°5.19.....	119
Símil con otras investigaciones en ensayos de tracción. – promedio.	
Gráfico N°5.20.....	119
Símil con otras investigaciones en ensayos de corte. – promedio.	
Gráfico N°5.21.....	120
Símil con otras investigaciones en ensayos de compresión. – promedio.	
Gráfico N°5.22.....	120
Símil de MOE con otras investigaciones en ensayos de flexión escala natural. – promedio.	
Gráfico N°5.23.....	121
Símil de MOR con otras investigaciones en ensayos de flexión estática.	

Gráfico N° 5.24.....	121
Símil de MOE con otras investigaciones en ensayos de flexión estática.	
Gráfico N° 5.25.....	123
Comparación uniones colineales con otras investigaciones.	
Gráfico N° 5.26.....	124
Comparación uniones perpendiculares con otras investigaciones (tipo 1).	
Gráfico N° 5.27.....	125
Comparación uniones perpendiculares con otras investigaciones (tipo 2).	
Gráfico N° 5.28.....	126
Comparación uniones diagonales con otras investigaciones.	

## LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

- A** El área transversal en mm<sup>2</sup>, calculada como  $(\pi/4) \times [D^2 - (D-2T)^2]$  en la cual D Y T son los medios de mediciones sobre el espécimen.
- D** El diámetro exterior en mm.
- $\delta$  Deflexión o deformación en mm (se pronuncia "delta").
- E** Los módulos de elasticidad en MPa.
- F** La carga en N.
- I<sub>B</sub>** El segundo momento de área en mm<sup>4</sup>.
- L** Tramo completo en el doblado; longitud de pieza de ensayo en compresión, cizallamiento y tensión, en mm.
- m** Masa en g ( kg también es permitido como unidad).
- CH** Contenido de humedad.
- $\pi$  Usualmente tomada como 3,14.
- $\rho$  Masa por volumen (densidad) en kg/m<sup>3</sup> (se pronuncia "rho").
- $\sigma$  Resistencia en MPa (se pronuncia "sigma").
- t** Grosor de pared en mm.
- $\tau$  Tensión de cizallamiento en MPa (se pronuncia "tau").
- V** Volumen de pieza de ensayo en mm<sup>3</sup>, calculado como A x L, o de acuerdo a su medición.
- x** Símbolo de multiplicación.
- ult** Sub. índice principal (usado para resistencia en la falla).

Nota            1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>.

## INTRODUCCION

Desde el inicio de la investigación en Noviembre de 2009, hubo la oportunidad de estar cerca de edificaciones y de diseño en bambú. Oportunidad que sirvió para conocer aspectos muy interesantes en lo que se refiere a este material. Con lo cual se pudo investigar un poco sobre las técnicas de construcción en bambú.

Actualmente en Perú se está buscando la utilización del bambú como material constructivo, tanto estructuralmente aprovechando sus propiedades físicas así como material decorativo y de acabado, como se hace en otros países como Colombia y Ecuador.

Esta investigación se debió en gran parte a la experiencia vivida con el terremoto que sacudió al sur del país, ocurrido en el año 2007. Oportunidad que le dio a este material la posibilidad de poder ser visto nuevamente como material útil para la construcción.

Debido a la experiencia referida y a las nuevas investigaciones que se están adelantando en la Universidad Nacional de Ingeniería, existen razones suficientes para asegurar al menos por ahora la utilización de este material.

Es necesario anotar que gran parte de este trabajo investigativo se realizó en la ciudad de Lima - Perú desde el mes de Noviembre del 2009 hasta julio de 2010. Período, en el cual se tuvo la oportunidad de recorrer algunas obras de bambú, también hubo la suerte de obtener una base bibliográfica importante. Se debe decir que siempre se ha estado al tanto de las últimas investigaciones acerca del bambú.

Se debe decir que esta investigación como tal "quedará abierta" para otras personas que se interesen en el tema.

Es por eso que esta investigación trata:

En primer lugar, se estudio el bambú como material y claro con las características de donde este ha sido extraído.

En segundo lugar, desde el punto de vista técnico, se centro en el estudio de las características, técnicas y propiedades.

También en esta parte de la investigación se abordará una parte muy importante que es el manejo sostenible, a manera de cómo se podría utilizar al máximo.

En tercer lugar se estudio las propiedades físicas y mecánicas, y es precisamente durante este proceso en el que se presenta el ¿cual debe ser el aporte de la presente investigación?, y se llevo a la conclusión que este debe ser a partir de un conocimiento específico: procedimiento de ensayos y alternativas de construcción.

En el penúltimo apartado, Una vez conocidas las propiedades del material se presentarán las características de las uniones estructurales aquí propuestas con diversos materiales y formas, con las que se usaron también accesorios de acero, madera y mortero, buscando encontrar soluciones prácticas y económicas.

Finalmente en el último apartado se muestra el análisis de los resultados de todos los ensayos y en los anexos se presentará la información adicional que soporta esta investigación, entre los que se encuentra desde los datos tomados, fotos, origen de los bosques, así como la propuesta que se pretende entregar como aporte a la norma técnica de construcción en bambú.

## CAPITULO I: EL BAMBÚ.

### 1.1.- TAXONOMÍA DEL BAMBÚ

Las especies del género *Guadua* son conocidas con diferentes nombres comunes. En Colombia se las conoce como caña brava, caña mansa, garipa; caña brava, caña mansa, guadua; en Ecuador recibe el nombre de caña brava; en Perú la llaman guadua; en Venezuela juajua, puru puru; en Costa Rica, guadua y en otros países de América Central la llaman tarro y otate.

La clasificación taxonómica completa de la *Guadua* se puede ver a continuación:

Reino:	Vegetal	División:	Spermatofitas
Subdivisión:	Agiospermas	Orden:	Glumiflorales
Clase:	Monocotiledoneas	Familia :	Poaceae
Subfamilia:	Bambusoideae	Supertribu:	Bambusodae
Tribu:	Bambuseae	Subtribu:	Guadinae
Género:	<i>Guadua</i>	Especie:	<i>Angustifolia</i> Kunth
Variedad:	Bicolor		
Forma:	Castilla, Cebolla, Macana, Cotuda, Rayada.		

Nombre Científico: *Guadua Angustifolia* Kunth (Bambusa *Guadua* H et B)

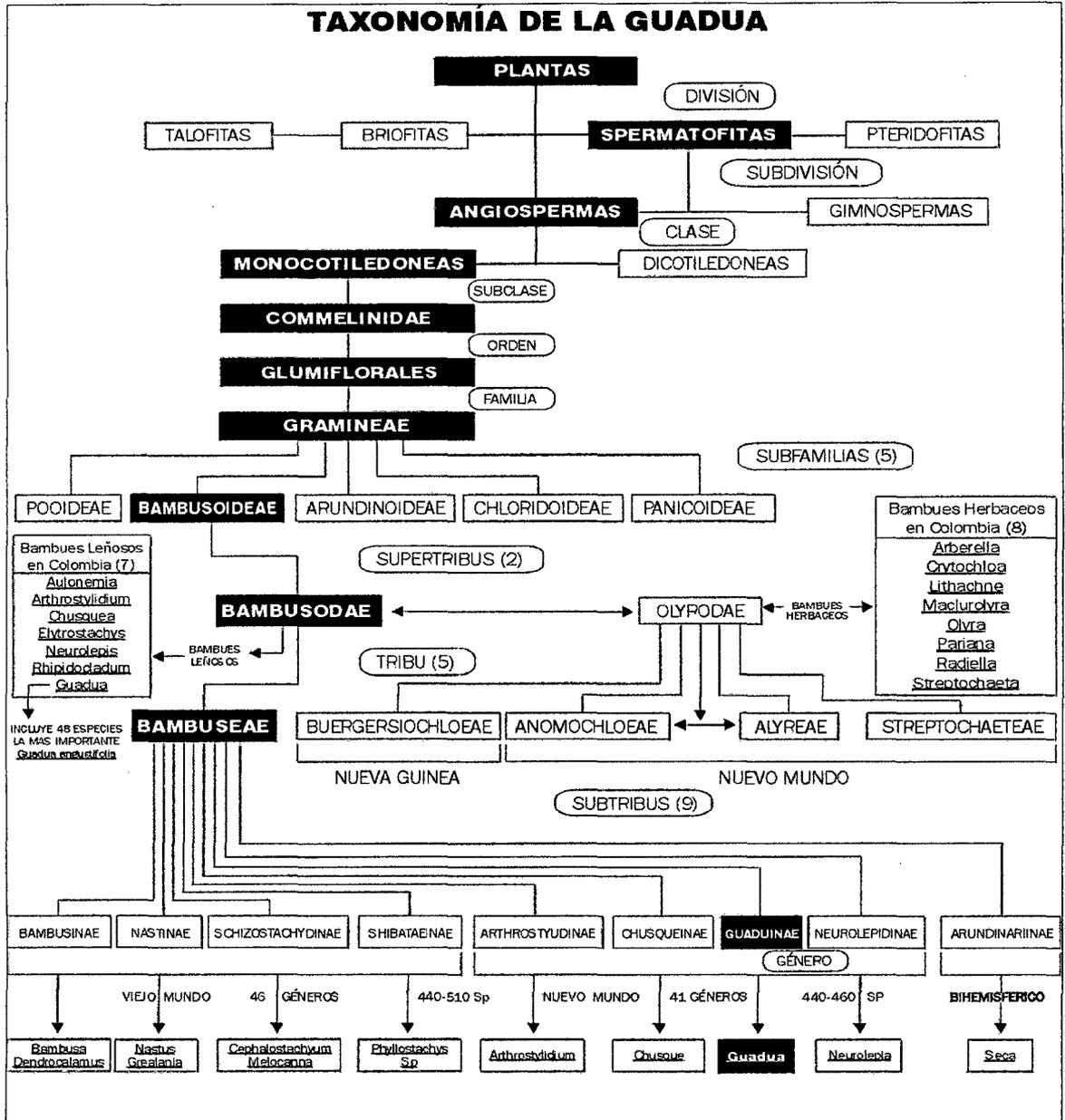


Figura N° 1.1 Taxonomía del bambú.

Cada retoño ya brotado contiene todos los nodos, intra nodos y diafragmas, como si fuera un telescopio comprimido.

Los culmos de bambú son normalmente huecos y tienen secciones circulares. Con el incremento de la altura de la caña disminuyen el diámetro y el espesor de las paredes de esta, mientras que aumentan las propiedades mecánicas.

## 1.2.- CULTIVO Y MANEJO DE LA GUADUA

Ante la realidad de la importancia económica de los bambúes se han desarrollado estrategias para su conservación, propagación y explotación racional. Países como India, China, Japón, Taiwán, y algunos del sureste asiático han desarrollado tecnologías avanzadas para el manejo y cultivo del bambú.

### 1.2.1.- Propagación

Bajo condiciones naturales la regeneración del bambú ocurre a través de rizomas, semillas y ramas laterales enterradas. Existen varios métodos de propagación, cuatro de los cuales se describen a continuación:

#### 1.2.1.1.- Por semilla

No es un método práctico debido a los largos ciclos de semillación de los bambúes y la dificultad de obtener semillas en algunos de ellos. En Asia este método ha sido aplicado para algunas especies de bambú como *Dendrocalamus strictus* facilitando además la distribución a otras partes del mundo. En América, las semillas de algunas especies como *Guadua Angustifolia*, presentan porcentajes altos de germinación, 95 – 100%, sin embargo la posibilidad de que esta especie produzca semillas es escasa ya que un alto porcentaje de los flósculos de la espiguilla son parasitados en estado inmaduro por larvas de insectos principalmente de los órdenes *Diptera* e *hymenoptera*.



**Figura N° 1.2 Propagación del bambú  
- semillas**

#### 1.2.1.2.- Rizomas con segmento de tallo

Es considerado como el mejor método de propagación, sin embargo no es recomendado para plantaciones a gran escala por lo pesado y difícil del

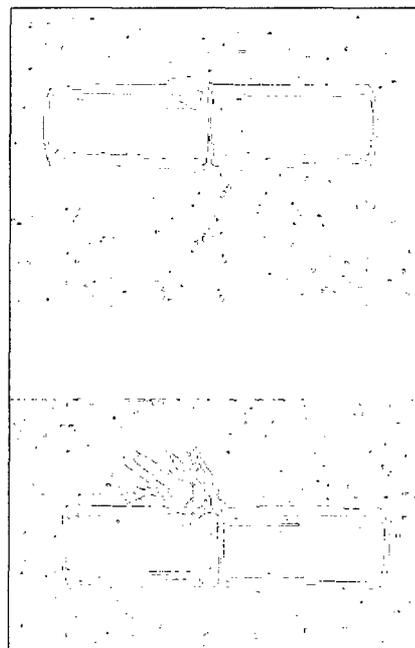
transporte. En Colombia, este método ha sido implementado por Corporaciones Regionales para las reforestaciones con *Guadua Angustifolia*, mediante el uso del “chusquín” y se considera el método más ventajoso por la facilidad de obtención de materia, alta eficiencia y economía. El “chusquín” es un brote delgado que sale de una yema superior del rizoma, y se extrae con un segmento de tallo y un trozo de rizoma basal.

Un plantón de *Guadua Angustifolia* se caracteriza por la alta emisión de “chusquines”.

### 1.2.1.3.- Segmentos de culmo

Es efectivo para propagar bambúes de gran tamaño (8 – 12cm diam.) y de pared gruesa; Experimentos en India han indicado que provee solución al problema de escasez y peso del material al plantar, pero el éxito en la germinación ha sido limitado. Se observó que se debe utilizar culmos de un año de edad, y segmentos de culmo con uno o dos nudos por segmento; la siembra es mejor horizontal que vertical u oblicua, y se deben enterrar a 20 cm. de profundidad, regando dos veces al día. Este método no es ventajoso por su costo y por la limitación de usar culmos de un año, los cuales pueden ser usados para otros propósitos.

**Figura N° 1.3 Arriba: segmento del culmo con nudo y una yema, abajo: segmento del culmo con nudo y la parte inferior de la rama.**



### 1.2.1.4.- Segmentos de ramas

Este método es utilizado en Asia para plantaciones a gran escala de algunas especies de bambú, es útil, práctico y efectivo, además de ser fácilmente manejable. El enraizamiento es eficiente en un medio de cascarilla de arroz y carbón.

### 1.2.2.- Siembra

La mayoría de los bambúes se pueden cultivar fácilmente y para su establecimiento hay que tener en cuenta si el objetivo es comercial, conservacionista u ornamental.

En las plantaciones con propósito comercial se recomienda distancias más amplias de siembra entre surcos que entre plantas con el fin de lograr una mayor incidencia de los rayos solares sobre el cultivo. En las plantaciones con fines netamente conservacionistas se debe sembrar en barreras con distancias más cortas entre surcos y entre plantas.

### 1.2.3.- Limpieza

Los bambúes son plantas heliófilas por excelencia, por eso para su buen desarrollo es muy importante el control de malezas en la primera fase de crecimiento. En el caso de la *Guadua Angustifolia*, durante los primeros años de cultivo se puede asociar con frijol, maíz, soya, cilantro u otros cultivos, lográndose de esta manera un doble propósito: mantener la plantación libre de malezas y lograr un ingreso extra para el agricultor. Sin embargo debido al rápido crecimiento de la guadua, esta asociación no es recomendable por un tiempo mayor de dos años; tampoco se recomienda cuando se utilizan distancias de siembra de 4x4 mts. o de 3x3 mts.

### 1.2.4.- Fertilización

El bambú, al igual que las especies forestales requiere de ciertos elementos en el suelo. La dosis a aplicar debe estipularse para cada terreno con base en el análisis químico de suelo; sin embargo, se sabe que por ser una gramínea responde rápido a la aplicación de urea y abonos orgánicos. Las aplicaciones de fertilizantes a base de nitrógeno, fósforo, potasio y boro son necesarias para el buen desarrollo de la *Guadua Angustifolia* considerando siempre los requerimientos del suelo.

### **1.2.5.- Aprovechamiento**

El ciclo de corte y la intensidad del mismo son los factores más importantes a considerar en el aprovechamiento de un bosque de bambú. La explotación sistemática y regular, incrementa la producción de culmos y facilita la cosecha, mientras que la explotación excesiva y continua, reduce la producción de culmos y conduce a la extinción del cultivo.

En el caso de la *Guadua Angustifolia* se ha comprobado que en un período de 5 a 7 años, la especie alcanza su pleno desarrollo con producción de guaduas catalogadas como comerciales. A partir de este momento se debe seguir un plan de aprovechamiento y mejoramiento igual al recomendado para guaduales naturales.

### **1.2.6.- Volumen y producción de madera**

El volumen y la producción de madera en los bambúes varían considerablemente de acuerdo a las especies y a las condiciones ecológicas. Los reportes de crecimiento anual de bambú superan los 10 millones de toneladas madera seca y ésta producción anual depende básicamente del número de brotes nuevos producidos cada año. La densidad de las plantaciones, es decir el número de culmos por hectárea, depende de la intensidad del manejo.

## **1.3.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

El bambú es uno de los materiales usados desde más remota antigüedad por el hombre para aumentar su comodidad y bienestar. En el mundo de plástico y acero de hoy, el bambú continúa aportando su centenaria contribución y aún crece en importancia. Los programas internacionales de cooperación técnica han reconocido las cualidades excepcionales del bambú y están realizando un amplio intercambio de variedades de esa planta y de los conocimientos relativos a su empleo sin embargo este material presenta ventajas y desventajas de las cuales las más importantes y saltantes se presentan a continuación:

Las ventajas son las siguientes:

- El bambú guadua está dotado de extraordinarias características físicas que permiten su empleo en todo tipo de miembros estructurales.
- Su forma circular y su sección hueca lo hacen un material liviano, fácil de transportar y de almacenar, lo que permite la construcción rápida de estructuras temporales o permanentes.
- En cada uno de los nudos del bambú hay un tabique o pared transversal que además de hacerlo más rígido y elástico evita su ruptura al curvarse; por esta característica es un material apropiado para construcciones anti-sísmicas.
- La constitución de las fibras de las paredes del bambú permite que pueda ser cortado transversal o longitudinalmente en piezas de cualquier longitud, empleando herramientas manuales sencillas como el machete.
- La superficie natural del bambú es lisa, limpia, de color atractivo y no requiere ser pintada, raspada o pulida.
- Los bambúes no tienen corteza o partes que puedan considerarse como desperdicio.
- Además de usarse como elemento estructural el bambú puede usarse para otras funciones en la construcción. Tales como tuberías para el transporte de agua y en pequeñas secciones para drenaje.
- El bambú puede emplearse en combinación con todo tipo de materiales de construcción como elementos de refuerzo.
- Del bambú pueden obtenerse diversos materiales para enchapes tales como esteras, paneles contrachapados, etc.

En el contexto ecológico el uso del bambú juega un papel muy importante:

- El bambú es un recurso renovable y sostenible.
- Su rápido crecimiento y la alta densidad de culmos por área significa una productividad muy importante de la tierra y una biomasa considerable.
- El bambú se utiliza como planta de reforestación.
- Si el bambú logrará reemplazar la madera o el acero en algunas construcciones, la tala de la selva tropical se disminuiría por una demanda que cambiaría.

- La manipulación del bambú desde el lugar donde crece (guadual) hasta la obra necesita muy poca energía; la diferencia de la cantidad de energía y gastos que se necesita en su proceso es muy grande con respecto al acero u otros materiales en obras parecidas.

Las desventajas:

- El bambú en contacto permanente con la humedad del suelo presenta pudrición y aumenta el ataque de termitas y otros insectos; por ello no deben utilizarse como cimiento por enterramiento a menos que se trate previamente.
- El bambú una vez cortado es atacado por insectos como *Dinoderus Minutus* que construye grandes galerías en su pared debilitándolo. Por ello, una vez cortado debe someterse inmediatamente a tratamientos de curado y secado.
- El bambú es un material altamente combustible cuando está seco; por ello debe de evitarse el exponerlo al fuego.
- El bambú cuando envejece pierde su resistencia si no se trata apropiadamente.
- El bambú no tiene diámetro igual en toda su longitud, tampoco es constante el espesor de la pared por lo que algunas veces presentan dificultades en la construcción.
- El bambú al secarse se contrae y se reduce su diámetro; esto tiene implicaciones en la construcción.
- Las uniones de miembros estructurales no pueden hacerse a base de empalmes, como en la madera, lo que implica dificultades como material de construcción.

Inconvenientes propios del bambú

- La resistencia a fuerzas perpendiculares a las fibras (cortante) es muy baja lo que significa que el bambú tiene tendencia de rajarse fácilmente paralelo a las fibras.

- Una construcción de bambú necesita una protección por diseño que asegura que el bambú no recibe directamente ni humedad, ni rayones directos del sol.

#### **1.4.- ANTECEDENTES DE CONSTRUCCIONES CON BAMBÚ**

Desde San Ángel en México hasta el sur de Argentina, exceptuando Chile y las Islas del Caribe, la guadua crece en todos los países de América Latina y en buena parte de los países asiáticos. Su uso es tan antiguo que, según el libro 'Nuevas técnicas de construcción en Bambú' (Oscar Hidalgo, 1978), en Ecuador se han encontrado improntas de bambú en construcciones que se estima tienen 9.500 años de antigüedad.

Puentes colgantes y atirantados de impresionante precisión de ingeniería, poderosas embarcaciones, así como también flautas, quenás y marimbas, fueron realizados por los Incas con este recurso durante la época de preconquista, y después de ella durante la colonia.

Colombia, Ecuador y Panamá son los países en América que registran mayor tradición de uso, de hecho en estas zonas existieron las mayores extensiones de la especie en el continente.

Los cables tensores hechos de bambú fueron de gran importancia para la construcción de puentes. Los chinos inventaron los puentes colgantes usando bambú, para cruzar ríos. Utilizaban sólo la parte exterior del bambú, cuatro veces más resistente que la parte interior; ellos pudieron construir cables de más de 120 m de longitud. Los puentes de bambú también fueron construidos en la India y por los Incas en Sur América. En los dos casos, el cable estructural fue armado sobre la superficie en la cual caminaban, como refuerzo y modo de protección. En Colombia, los puentes de la tensión fueron construidos usando este asombroso material; con estructuras de la especie guadua con capacidad para soportar hasta 3200 kg/cm<sup>2</sup>. Técnicas similares de construcción también han sido utilizadas para crear gaviones rellenos de piedra de río con la finalidad de asegurar y aislar las riveras de los ríos.

En investigación aeronáutica, ha sido importante como elemento estructural y en aeroplanos en los que se usó por lo liviano del material. Un avión hecho completamente de bambú fue construido en Filipinas, mientras en la China era común en los aeroplanos de la Segunda Guerra Mundial.

El bambú también ha sido utilizado a lo largo de la historia en construcciones; siendo muy común, en la arquitectura vernácula de China, el sudeste asiático y América Central y del Sur.

Para obtener efectos especiales, el bambú puede ser doblado o estirado con calor o estirado en frío. Los cuadrados de bambú son usados como decoración únicamente. Ejemplo de esto, son las construcciones hechas en bambú en Manizales- Colombia, en la zona cafetera. En los años 30, todas las casas del departamento de Caldas (cuya capital es Manizales) estaban hechas de bambú. El método más común utilizado en la construcción es aquél en el cual se utilizan marcos con refuerzos diagonales en las paredes. Algunas casas construidas con esta técnica se encuentran ubicadas sobre laderas escarpadas, por las dificultades que presenta la variación en los niveles del suelo y la facilidad con que se varían las longitudes de las varas de bambú.

El sistema de casas prefabricadas de bambú utiliza paredes modulares construidas en el piso, resultando una mejor construcción. Este sistema les permite a los propietarios construir sus propias casas a un precio justo. Una característica adicional de este sistema es la localización de la cocina y el baño directamente sobre los tanques de agua, lo que le permite bombear fácilmente el agua al lugar que necesite. Este programa está establecido e incentivado en Costa Rica, y forma parte de un programa de gobiernos llamado “techo-piso” en el que el gobierno da el piso, el techo y el lavaplatos y el resto es pagado por el dueño y construido con paneles de bambú.



**Figura N.º 1.4 Arco compuesto por 6 guaduas. Jörg Stamm. (Proyecto UTP-GTZ. Pereira, Colombia, 2001).**

## **CAPITULO II: CARACTERÍSTICAS, TECNOLOGÍAS Y PROPIEDADES DEL BAMBÚ (*GUADUA ANGUSTIFOLIA*).**

### **2.1.- DISTRIBUCIÓN Y ECOLOGÍA DEL BAMBÚ**

#### **2.1.1.- Áreas geográficas y factores climáticos**

El bambú se ha adaptado a diversos ecosistemas. Se desarrolla en una zona geográfica tropical y subtropical con climas templados alrededor de todo el globo, configurando una franja por encima de los 45° latitud Norte y Sur y hasta una altitud de 3500 metros.

#### **2.1.2.- Especies**

Existen aproximadamente 500 tipos diferentes de especies de bambú, con la particularidad de cientos de subespecies, cuantificando cerca de 2500 variedades solo en la zona tropical-subtropical de Sud América.

#### **2.1.3.- *Guadua Angustifolia***

Según el investigador McClure, entre los bambúes nativos del hemisferio occidental, la *Guadua Angustifolia*, es la más sobresaliente en altura, propiedades mecánicas (resistencia y trabajabilidad), durabilidad de sus tallos e importancia de los lugares en donde se desarrolla.

En la *Guadua* de la Región Andina se centra el presente estudio por ser la especie dedicada y utilizada en los procesos constructivos. A continuación se describen las principales características de la *Guadua*:

##### **2.1.3.1.- Partes de la *Guadua Angustifolia* Kunth**

###### **Rizoma**

Es un tallo modificado, subterráneo, que conforma el soporte de la planta. Es el lugar por donde la *guadua* absorbe los nutrientes.

### Cepa

Es la parte del culmo con mayor diámetro y espesores de pared mayores; Posee una longitud de 4 metros. Las distancias de cañutos son las más cortas y en la construcción se les utiliza como columnas.

### Basa

El diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa; es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza; tiene una longitud aproximada de 11 metros.

### Sobrebasa

El diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor, comparado con la basa, la longitud es de aproximadamente cuatro metros.

### Varillón

La sección tiene un diámetro pequeño y la longitud es de unos tres metros aproximadamente.

### Copa

Es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1.20 a 2.00 metros.

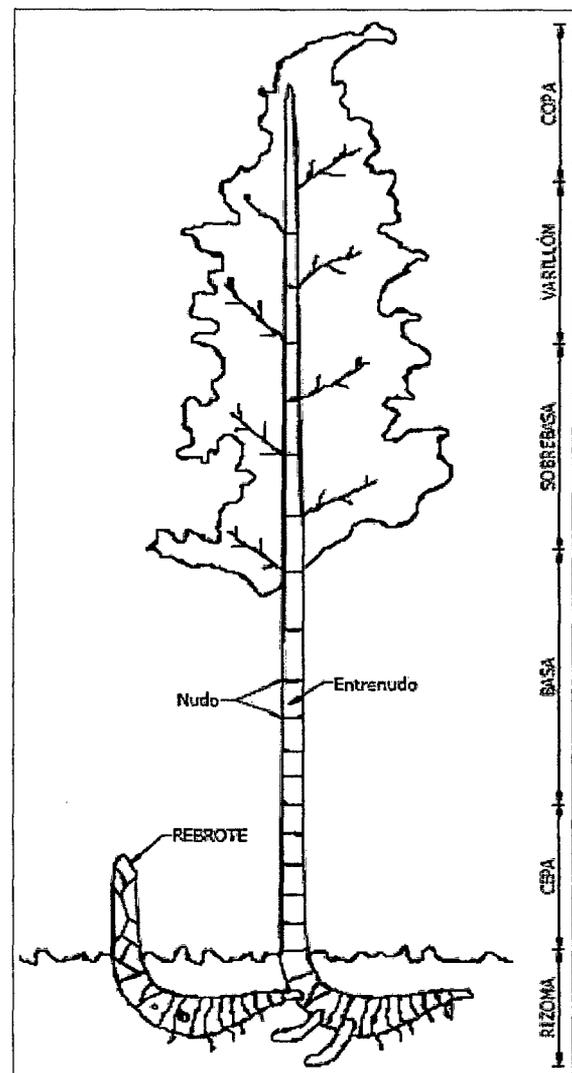


Figura N° 2.1 Partes del Bambú.

### **2.1.3.2.- Características de la *Guadua Angustifolia***

Humboldt nombró "*Bambusa Guadua*" a todo el género. Más adelante, Kunth clasificó ocho especies de "*Guadua Angustifolia*", en bosques pequeños a lo largo de los arroyos y también en prados o pendientes.

Cada tallo crece de un sistema reticular de la raíz, conocido como los rizomas. Las cimas de los rizomas se doblan desde la raíz hacia arriba, formando los tallos nuevos.

Cada retoño que crece de la tierra, ya contiene todos los nudos, entrenudos y los diafragmas que se encuentran comprimidos en su primera fase de desarrollo. Los tallos de la *Guadua* son huecos y tienen una sección transversal circular. Con el aumento de su altura adelgazan en diámetro y en el grosor de su pared.

En la *guadua* se observa un crecimiento a altas velocidades, de aproximadamente 13 centímetros por día. En los primeros seis o siete meses de vida, la *Guadua Angustifolia* alcanza su altura final de 20 a 30 metros y un diámetro de hasta 18 centímetros. A partir del séptimo mes crecen las ramas tamizadas, que se encuentran en forma de espina en su parte inferior y en su parte superior mostrando las hojas.

En su comienzo, el tallo se envuelve en una cáscara peluda para su protección, que se cae después de los dos años.

A medida que se aumenta la altitud se encuentran las *Guaduas* más duras, así mismo con los suelos secos. La razón del aumento de la dureza es debido a las temperaturas por debajo de la media y por esta razón tiene un crecimiento más lento. El tipo de suelo es indispensable para las características de la *Guadua*.

La *Guadua* no crece en terrenos que posean un alto nivel freático, pero por ejemplo, en los bancos escarpados de los ríos, el complejo sistema de raíces y sus redes, pueden transportar por medio de ellas la humedad a los tallos secos localizados más arriba.

## **Fibras**

El material de la Guadua está formado por una sustancia que mantiene las fibras unidas. Las fibras crecen axialmente y se consolidan en el extremo superior del tallo, como también en sus bordes externos.

La masa de la Guadua está conformada por un 50% de celulosa y hasta 30% de lignina.

La alta resistencia longitudinal de las paredes de los entrenudos, se debe a que las fibras están dispuestas en dirección paralelas. En los nudos las fibras se cruzan en todas las direcciones.

## **Características mecánicas**

Las características mecánicas de la Guadua son afectadas por el clima, suelo, ubicación, edad, tiempo de cosecha, humedad, etc. También se presentan diferencias que se distribuyen sobre la longitud principal (cepa, basa y sobrebasa) y la sección transversal. La densidad de las fibras es muy variable en el espesor de la Guadua. También depende de la forma de aplicación de las cargas, en forma paralela o perpendicular a la fibra.

Cada tallo de Guadua es diferente, razón por la cual no se puede estandarizar su geometría (diámetro, espesor, longitud) y su comportamiento. Teniendo en cuenta que las características mecánicas de la Guadua dependen de las especies botánicas, su localización, la edad del tallo cosechada, su contenido de agua y naturalmente del diámetro y grueso de pared, la clasificación se recomienda con esos parámetros.

## **Comportamiento mecánico**

La Guadua tiene un valor alto de resistencia a la tracción paralelo a la fibra, menor resistencia a la compresión paralela a la fibra y a la flexión. Su módulo de elasticidad es relativamente bajo si se compara con el del acero, lo cual obliga en el diseño a controlar las deformaciones especialmente cuando se diseñan elementos largos a flexión.

Se pueden encontrar valores de resistencia y módulo de elasticidad de diferentes fuentes, entre otros, se tienen los siguientes valores:

• Resistencia:

Tracción: Entre 26.000 y 50.000 psi – (1.800 a 3.500 kg/cm<sup>2</sup>)

Compresión: Entre 8.000 y 12.000 psi – (560 a 840 kg/cm<sup>2</sup>)

Flexión: Entre 11.000 y 40.000 psi – (770 a 2.800 kg/cm<sup>2</sup>)

• Módulo de elasticidad:

Tracción: Entre 2.000.000 y 4.500.000 psi – (140.000 a 310.000 kg/cm<sup>2</sup>)

Compresión: Entre 2.000.000 y 2.800.000 psi – (140.000 a 200.000 kg/cm<sup>2</sup>)

Flexión: Entre 1.500.000 y 3.100.000 psi – (105.000 a 220.000 kg/cm<sup>2</sup>)

### **Características físicas**

La sección transversal de la Guadua se diferencia en una zona oscura exterior de aproximadamente 30% y una zona blanca porosa interior de 70% aproximado.

Con el aumento de altura sobre el suelo, la porción de las fibras externas densas en relación con la sección transversal es más alta y por eso los tallos delgados se comportan mejor que los tallos gruesos en relación con la sección transversal.

La fuerza de compresión aumenta con la edad.

Las secciones de un tallo con nudos tienen unas características mecánicas 8% más altas que los que no tienen nudo, al aplicarle cargas de compresión paralelo a las fibras.

La firmeza a las acciones de la fuerza cortante es más alta con los tallos delgados que con los gruesos, debido a la proporción de fibras de alta

resistencia por la sección transversal. Las secciones con nudos tienen una firmeza a las fuerzas cortante 50% más alta que las intersecciones.

### **Rotura**

La rotura de la madera convencional se diferencia de la rotura de la Guadua. En la Guadua no ocurre una ruptura espontánea por todo el tubo al rasgarse la fibra. Las grietas que se presentan se distribuyen inmediatamente en dirección de las fibras. Las grietas longitudinales no pueden extenderse a todo su largo, debido a los nudos y diafragmas.

## **2.2.- AGENTES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DEL BAMBÚ**

### **2.2.1.- Plagas, enfermedades y daños.**

Las poblaciones de bambú tanto en Asia como en América son poco afectadas por plagas y enfermedades si se compara con otros cultivos como el trigo, la papa y la soya. Sin embargo, se conoce de varios insectos que atacan la planta viva de bambú durante los diferentes estados de desarrollo.

En los países asiáticos es donde más investigaciones han realizado en éste aspecto. Se sabe que durante la fase de renuevos es cuando el bambú sufre más el ataque por parte de coleópteros, saltamontes, termites y áfidos, los cuales perforan los culmos; también se sabe que los roedores, los micos, las ardillas y las cabras, roen los rizomas y/o se comen los renuevos y que el ganado, come y destruye con el pisoteo los brotes nuevos. Los culmos adultos raras veces son atacados por coleópteros sin embargo cuando están sobremaduros son atacados por una de las plagas más serias del bambú, el *Didnoderus minutus*, considerado la mayor amenaza para el bambú cortado.

### **Figura N° 2.2 Agentes que afectan al bambú (Termita, Afido)**

Los hongos afectan sobre todo el follaje; cuando atacan los culmos en su fase juvenil se observa una coloración especial y los vuelve tan decorativos que en países



como Japón y China se pagan precios más altos por ellos. Bajo condiciones excesivas de humedad los hongos pueden atacar mortalmente al rizoma, en Perú muy poco se conoce sobre las enfermedades causadas por hongos en las plantas vivas de *Guadua Angustifolia*, y específicamente sobre los hongos descomponedores que atacan los culmos mal cortados en un guadual.

## **2.3.- RECOLECCIÓN, SECADO Y PROTECCIÓN DEL BAMBÚ**

### **2.3.1.- Cosecha y transporte.**

La época ideal para cosechar el bambú es durante el período seco ya que la emisión de brotes en esta época es baja y el contenido de humedad de los culmos también, lo que facilita el transporte y reduce la aparición de plagas y enfermedades post – cosecha.

La mayoría de las especies comerciales de bambú se cosechan manualmente utilizando machete, sin embargo en algunas especies de culmos grandes se cortan con seguetas o sierras. Las especies con rizomas paquimorfo como *Guadua Angustifolia* se deben cortar a una altura de 15 a 30 centímetros por encima del suelo, con la precaución de que el corte se realice por encima del nudo para evitar la acumulación de agua en el cañuto y la pudrición posterior del rizoma. Para la selección de los culmos a cortar se debe tener en cuenta la edad, el color y la cualidad de la madera. Los culmos más viejos y deteriorados deben ser los primeros en cortarse y los jóvenes e inmaduros solamente se deben cortar si están muy infectados con plagas y enfermedades.

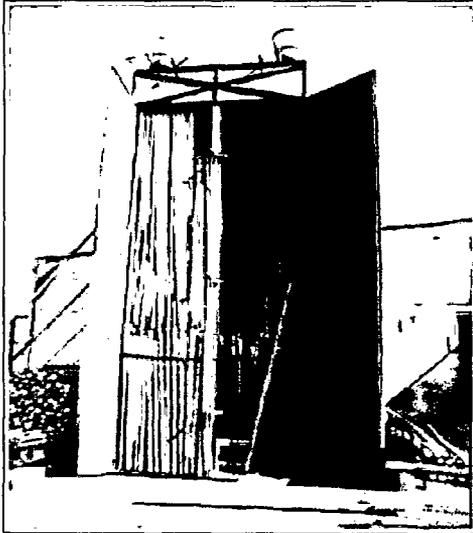
El transporte de los culmos dentro de la plantación es generalmente manual, a veces se utilizan animales de carga y cuando las plantaciones están a la orilla de los ríos, se transporta en balsas.

### **2.3.2.- Tiempo de cosecha**

La cosecha de la *Guadua* se recomienda una semana después de la luna llena. En este tiempo no hay tanta agua en los vasos capilares, debido a la ausencia de atracción lunar.

Las ramas y hojas, luego de la cosecha, se dejan en el tallo para que absorban el agua libre de los capilares (el agua fija está en las células). Si la cosecha ocurre antes de la salida del sol, el almidón todavía se encuentra en las raíces.

### 2.3.3.- Almacenamiento y secado



Cuando se corta Guadua, los entrenudos huecos a veces están llenos de agua.

Para el uso en la construcción, se tienen que secar los tallos lentamente y después se seleccionan según las curvas, diámetro, peso y prueba de sonido. La guadua posee 30 al 50% de la humedad relativa a los dos o tres meses después de la cosecha.

**Figura N° 2.3 Almacenamiento de Bambú**

Después de aproximadamente seis meses de secado, la humedad relativa se reduce, hasta alcanzar un valor promedio de aproximadamente 15 %. Para evitar deformaciones después de la cosecha, estas se almacenan de manera horizontal, protegiéndolas contra el sol, lluvia, humedad, etc. con un buen sistema de ventilación.

### 2.3.4.- Preservación de la Guadua

Los tallos de la Guadua son particularmente susceptibles a hongos y hupes con una humedad mayor al 18%; para gusanos y termitas entre 12 y 18 % de la humedad relativa. Estas dañan la estructura de tal manera, que ciertas partes serán inutilizables y tendrán que ser cambiadas.

Para extender la vida de las estructuras hechas en Guadua, se debe prestar atención a la protección contra la humedad constructiva (por ejemplo goteras o humedad ascendente).

La protección química es recomendable para los elementos y estructuras de larga vida. Para la preservación interior hay que taladrar pequeños orificios en cada entrenudo para inyectarle el químico.

Si se hace una protección constructiva a la humedad, el tiempo de vida útil se aumenta en cualquier estructura. La protección constructiva de la Guadua es una garantía inmensa.

### **2.3.5.- Métodos para la preservación**

Las estructuras en Guadua presentan problemas de preservación por ser susceptibles al ataque de insectos, a la humedad y al sol. Para prevenir estos problemas haya varios métodos de preservación:

#### **2.3.5.1.- Método de ahumado**

Ahumando la Guadua sobre fuego, puede llegar a ser incomedible para los insectos; para ello se utilizan sus propias ramas y hojas. Con 50 a 60 grados de temperatura ambiental y humedad variable, se ahuman los vástagos.

Se intercambia entre un fuego lento y calor de la brasa, para que se de la filtración del alquitrán en la madera de forma gaseosa. Hay que perforar las paredes del tallo, sin dejar los huecos alineados para evitar rasgaduras. La desventaja de ese tratamiento es, que los tallos huelen a humo.

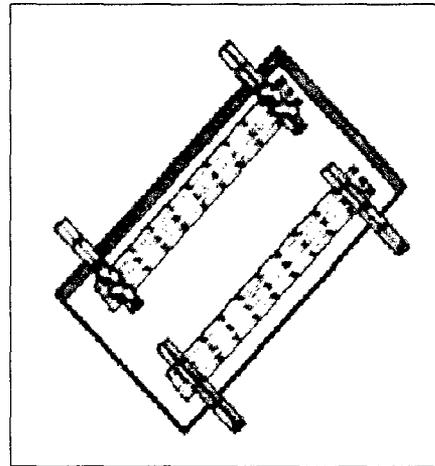


**Figura N°2.4 Curado al Humo.**

#### **2.3.5.2.- Inmersión en agua**

Sumergir Guadua es una técnica usada con frecuencia, se sumergen los tallos en agua circulante de 4 a 12 semanas, fermentando y extrayendo los almidones y azucares de la Guadua.

**Figura N°2.5 Inmersión al agua.**



### **2.3.5.3.- Cocinado**

Al cocinar entre 15 a 60 minutos los tallos de Guadua, se extraen los alimentos preferidos de los insectos.

### **2.3.5.4.- Calentado**

Calentando el tallo a 150° C por poco tiempo, la estructura de la pared tiende a cambiar, recibiendo resistencia contra los insectos. La desventaja es, que se pueden rasgar.

### **2.3.5.5.- Inmersión en bórax**

El bórax no es un veneno contra los insectos. Su efecto es de tipo físico, los cristales en forma de estrellas destruyen el estómago del insecto. En este tratamiento se abren los diafragmas con una barra por donde circula el borax.

**Figura N°2.6 Inmersión en borax.**

Para inmunizar los tallos ya preparados hay varias posibilidades.

Con frecuencia se usa piscina para

sumergir los tallos. Es importante que se encuentren sumergidos en su totalidad y para ello se utiliza la ayuda de peso adicional.



En Indonesia se llenan los tallos y se disponen de manera vertical, usando el diafragma inferior como drenaje del líquido. Este es un método muy eficiente, si

se toma en cuenta que con la evaporación en la piscina no se puede conocer la concentración exacta de bórax.

La Guadua absorbe el bórax por osmosis\* a las células. Después de aguar los tallos, son de dos a tres veces más pesados que antes y para usarlos en la construcción es necesario volver a secarlos.

#### **2.3.5.6.- Inmersión en ácido bórico**

Para tratar el bambú por inmersión, los tallos deben ser perforados con una varilla de diámetro mayor de  $\frac{1}{2}$ " para que atravesara todos los nudos. También existe la posibilidad de perforar los canutos individualmente con huecos menores de  $\frac{1}{4}$ ", en forma alternada o de zig – zag para vaciara bien el canuto. Se colocan horizontalmente o verticalmente dentro de un tanque con preservativo compuesto por bórax y ácido bórico al 4 o 5%, por un tiempo no menor de 12 horas. Si no se dispone de tanques, en su lugar puede hacerse una excavación y recubrirse con un plástico. Una vez retiradas del tanque es necesario dejarlas secar muy bien bajo cubierta ventilada y aireada.

#### **2.3.5.7.- Método de inyección**

Se prepara una solución de bórax y ácido bórico al 4 o 5%, y se perfora cada canuto para aplicar una dosis de 5 a 20 cm<sup>3</sup> por canuto. Éste orificio debe ser en forma de zig – zag y la inyección se puede hacer con una jeringa, con compresor o con fumigadora agrícola.

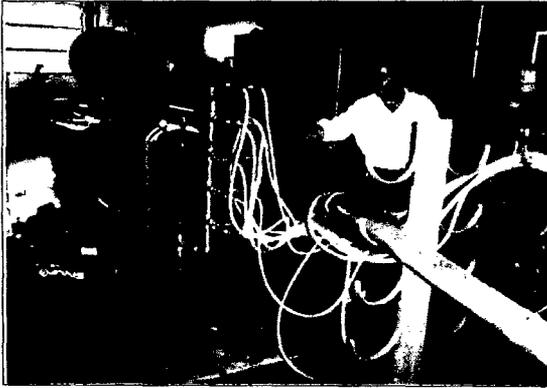
#### **2.3.5.8.- Método Boucherie simple (por gravedad)**

Se puede aplicar de dos formas: Colocando verticalmente la guadua y llenando su entrenudo superior con preservativo, dejándolo en esta posición algunas horas hasta que este haya bajado a lo largo de su parte superior, al cual se le coloca en su parte inferior un tuco metálico con una llave, conectando al extremo del bambú por medio de una sección de un neumático de carro. En este caso debe tenerse cuidado de colocar el tanque en un nivel más alto que la guadua.

---

\* La *ósmosis* es un fenómeno físico-químico relacionado con el comportamiento del agua como solvente de una solución ante una membrana semipermeable para el solvente (agua), pero no para los solutos

**Figura N°2.7 Método de Boucherie simple.**



#### **2.3.5.9.- Método de inmunización de Boucherie modificado**

Consiste en aplicar una solución química a presión a los tallos recién cortados para reemplazar la savia de éstos, quedando impregnados y protegidos contra los insectos. Este sistema también sirve para proteger contra el fuego si se utilizan las sustancias químicas adecuadas. Este método es uno de los más utilizados en la inmunización de Guaduas.

#### **2.3.5.10.-Protección con resinas y aceites**

Para proteger las guaduas contra el sol es común aplicarles pinturas de colores o barnices transparentes; contra la humedad se recomiendan las pinturas de aceite, si son guaduas que van a permanecer expuestas a la intemperie o enterradas es recomendable hacerles un recubrimiento con asfalto líquido.

#### **2.3.5.11.- Pintura**

Leche de cal, blanqueo, excremento de vaca, son algunos de los materiales utilizados para el recubrimiento. Este tratamiento debe ser repetido, dependiendo del promedio de sol y lluvia que predominen en el sitio.

#### **2.3.5.12.- Insecticidas**

Impregnaciones contra insectos, este método es inecológico y antisanitario, como son el keroseno, DDT, barniz, naftalina, formalina, fosfatos, etc., son muy utilizadas, en especial con la artesanía y fabricación de muebles.

## 2.4.- BIÓNICA DEL BAMBÚ

La Biónica del Bambú intenta explicar la eficiencia mecánica de una construcción natural estudiando tanto su estructura como su material y lo hace en base a los trabajos de diversos investigadores, y principalmente arquitectos tecnólogos, ingenieros agrónomos, biólogos y químicos, dedicados a explorar una ciencia relativamente nueva y en rápido desarrollo que aporte informaciones útiles en el campo técnico e industrial: la biónica.

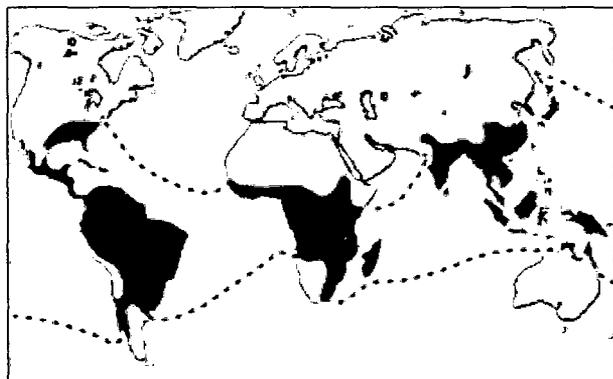
Se habla a menudo de los problemas derivados de una gestión insostenible del medioambiente. La señal más evidente es el cambio climático. La salud está afectada también por la falta de calidad del aire y del agua, especialmente donde más se concentra la población urbana.

En el inmediato futuro, las principales intervenciones deberán dirigirse a proteger la variedad biológica, tanto de plantas como de animales. Es imprescindible controlar el aumento de consumos insostenibles. Un buen camino será controvertir la deforestación que se refleja en la reducción de la capa de ozono y en una devastadora inestabilidad hidrológica de los suelos con serias consecuencias en sus habitantes.

### 2.4.1.-El bambú como recurso.

#### 2.4.1.1.- Productos y propiedades derivadas.

Descubrir la versatilidad del bambú, puede convertirlo en un óptimo recurso para un desarrollo sostenible.



**Figura N°2.8 Sectores de desarrollo de bambú**

Desde un punto de vista industrial, el bambú es una planta que se puede utilizar en su totalidad, lo cual no es un hecho totalmente nuevo, ya que hay noticias de su explotación en tiempos remotos en su lugar de origen: la India.

Además de su evidente valor ornamental, que reverdece los grises paisajes invernales, el bambú puede ser utilizado bajo diversos aspectos, como consolidación del suelo y forestación. Fitodepuración, reducción del CO<sub>2</sub> (anhídrido de carbono), activador de turismo natural y paisajístico, valor combustible, fabricación de mobiliario artesanal e industrial, extracción de celulosa, valor alimenticio de sus turiones y follaje y propiedades medicinales.

#### 2.4.1.2.- Consolidación del suelo y forestación

Los bambúes, gracias a sus extensas y entramadas masas de raíces, contrastan eficazmente la erosión del suelo, protegido también por el tupido escudo de sus tallos y por su denso follaje, que constituye una óptima pantalla contra el sol, el viento, el granizo y los violentos chubascos, y al mismo tiempo impide la disgregación de las capas superficiales del suelo.

El crecimiento colonizador de los bambúes compacta y consolida el terreno evitando derrumbes incluso en lugares más propensos a desmoronarse y disgregarse, como a lo largo de terraplenes y riberas fluviales.

#### Figura N°2.9 Colonización del bambú

El bambú es adecuado para desempeñar este rol positivo de estabilización, contrastando la erosión del terreno en zonas de riesgo aluvial como son las regiones templadas.

La moderada sombra de las frondas sobre la subyacente capa alimentada por el recambio de follaje, favorece la formación de microorganismos y sustancias orgánicas

como una suave almohada en descomposición. La opulencia del suelo en humus y fertilidad permite la regeneración del proceso vital y la supervivencia germinativa de muchas semillas.



En virtud de sus muchos atributos, los bambúes pueden ser utilizados intensivamente en intervenciones de reforestación y saneamiento del medioambiente.

El conocimiento de las características físicas y de los mecanismos de crecimiento de cada especie puede valer de alternativa a otros géneros de plantas de menor adaptabilidad. La natural durabilidad de los bambúes y su vegetación rica en follaje, que no decae ni siquiera durante la vacía estación invernal (una caña puede contar más de 10.000 hojas) aseguran la purificación incesante del aire, oxigenándolo, y proveen un hábitat protegido para la micro fauna y la avifauna, que a menudo usa las frondas como dormitorio.

En la siembra de rizomas, el crecimiento de nuevos brotes será gradual año tras año, y sólo al cabo de un decenio los últimos brotes alcanzarían la altura típica de la especie, mientras que en el caso de la siembra, mediante trozos de tallos, los tiempos de crecimiento serán la mitad.

En términos competitivos, confrontando árboles a crecimiento rápido como Eucaliptos o Álamos con bambúes monopodiales, descubrimos en los dos primeros incrementos de crecimiento anual desde 1,5 m a poco más de 2 m, mientras que en los segundos se aprecia un crecimiento que supera a menudo la docena de metros, en aproximadamente dos meses, durante los cuales se producen también la expulsión de las vainas, la bifurcación alternada de los pares de ramas y la producción de hojas.

#### **2.4.1.3.- Fitodepuración**

Existen varios estudios de fitodepuración de aguas residuales utilizando bambú. En uno de ellos, realizado en Portugal, se confrontaron las ventajas de dos especies (*Phyllostachis Nidullaria* y *Phyllostachis Heterocloada*) respecto a otras plantas (*Phragmites Australis*), a igualdad de poder depurador, resultando que:

- El bambú requiere menor densidad de plantación (1 tallo/m<sup>2</sup> contra 6 – 11 necesarios con *Phragmites Australis*).
- Ninguna planta puede competir con él invadiendo la plantación (*Phragmites Australis* puede ser dominada por algunas hierbas).

- Se mantiene verde todo el año.
- Requiere menos mantenimiento.
- La biomasa cosechada es de mejor calidad como combustible.

En otro estudio desarrollado en Australia, se utilizaron aguas grises provenientes de las duchas de una industria, mezcladas con aguas negras pre-digeridas en una cámara séptica, para cultivar la especie *Bambusa Oldhamii* con fines comerciales.

#### **2.4.1.4.- Abatimiento de CO<sub>2</sub> atmosférico.**

La fijación del CO<sub>2</sub> en los tejidos vegetales es uno de los métodos más eficientes para contener el efecto invernadero. El bambú, por su elevada producción de biomasa (se han reportado récords de 100 t/ha/año) es de 5 a 10 veces más productivo que cualquier árbol y, consecuentemente, emitirá a la atmósfera una cantidad de oxígeno proporcionalmente más alta.

#### **2.4.1.5.- Activador de turismo natural y paisajístico**

La Bambuserie de Prafrance, en el sur de Francia, aporta a la región un notable flujo turístico: cada verano se registran alrededor de 200.000 turistas, deseosos de admirar los centenares de especies allí cultivadas desde hace un siglo. Este parque - vivero es el más especializado en bambú de Europa y ofrece al turista más oportunidades de entretenimiento, degustación y compra de productos a base de esta planta.



**Figura N°2.10 Bambú de forma variada – La Bambouserie de Prafrance.**

#### **2.4.1.6.- Combustibilidad**

Las potencialidades del bambú como combustible no son desdeñables: desarrolla 4400 Kcal/kg, comparables a las 4700 Kcal/kg de las maderas de coníferas y las 4350 Kcal/kg de las maderas de latifolias.

#### **2.4.1.7.- Fabricación de mobiliario artesanal e industrial**

El bambú proporciona un material fácilmente trabajable en frío, con buenos resultados de acabado. Existen muchas industrias que lo utilizan como materia prima para fabricar muebles, accesorios para la casa, herramientas y componentes para la edificación como parquets o paneles.

Se conocen distintas formas de elaboración de las fibras, bonitas formas se obtienen curvando los tubos en caliente que luego se unen con tiras de cuero o de la misma corteza. En los países de origen el bambú, el trabajo artesanal se ha convertido en auténtico arte.

#### **2.4.1.8.- Extracción de la celulosa**

Partiendo de 5 kg de semillas de *Phyllostachys Pubescens*, provenientes de Oriente el suizo, C. Rifat\*, a un año de la germinación, logró hacer crecer 100.000 plantas de bambú, que de los invernaderos fueron luego trasplantadas en aproximadamente 200 ha al sur de la costa de Ador. Todo esto se cumplió por un administrador forestal decidido a realizar la recalificación verde de 3.000 ha. de terreno con 1.200.000 *Phyllostachys Pubescens*, con el objetivo de extraer la celulosa.

---

\* (muerto 31 de julio 2002) fue un francés biólogo, psiconauta, activista político, escritor y investigador. Se le atribuye a la prestación del material vegetal vivo y semillas de primera especie *Mitragyna speciosa* fuera de Tailandia, incluyendo varios bioensayos. Este material es la fuente de la gran mayoría de kratom plantas actualmente disponibles fuera de Tailandia.

## **CAPITULO III: ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL BAMBÚ.**

### **3.1.- OBJETIVO GENERAL**

En la actualidad, en el país existen especificaciones y normas para la construcción en madera, acero y concreto; pero en el caso del Bambú aún no existen normas técnicas respecto a las propiedades físicas y mecánicas, ni de la construcción con este material, por lo cual es difícil su utilización.

El objetivo general es contribuir a la normalización de ensayos de Guadua, desarrollando procedimientos de ensayo para la determinación de propiedades físicas y mecánicas de la Guadua.

### **3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recomendar procedimientos para la elaboración de ensayos a compresión, tracción, flexión, y corte paralelo a la fibra de guadua, los cuales no existen para el medio Peruano.
- Hacer difusión de estos procedimientos de ensayo por medio de catálogos, para que sean comparados con otros procedimientos realizados en el país, y así lograr en un futuro la normalización de ensayos.
- Desarrollar protocolos de ensayo para Guadua, para aplicarlos en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería (LEM), permitiendo que la Universidad Nacional de Ingeniería sea reconocida en este tipo de ensayos.

### **3.3.- CAÑAS DE BAMBÚ**

Las cañas de bambú para los ensayos provienen del siguiente origen:

Bosque: Flor Del Valle.

Distrito: Rioja

Provincia: Rioja

Departamento: San Martín

De las cuales se seleccionarán solo 30 cañas de cada bosque de acuerdo a las condiciones en las que se encuentren.

### 3.4.- CUADRO DE DIMENSIONES

#### 3.4.1. -Bosque 1 (Blanco)

Item	Long. (m)	D.Inf. (cm)	D.Sup. (cm)	Obs.	Item	Long. (m)	D.Inf. (cm)	D.Sup. (cm)	Obs.
1	6.20	10.60	7.60	Buena	26	6.17	9.00	7.40	Buena
2	6.24	9.40	8.60	c/agujero	27	6.03	9.40	9.20	Buena
3	6.37	10.00	8.40	Buena	28	5.91	10.60	9.10	Buena
4	6.20	13.00	10.20	torcido	29	6.06	10.20	6.00	Buena
5	5.92	10.80	9.90	Buena	30	5.92	9.80	10.00	Buena
6	5.98	9.40	8.40	Buena	31	5.97	9.20	9.00	Buena
7	5.92	10.40	8.00	Buena	32	6.11	9.40	7.80	Buena
8	10.36	10.60	9.00	Buena	33	6.21	10.00	7.00	Buena
9	5.88	10.80	9.20	Buena	34	6.22	10.20	7.60	Buena
10	6.24	9.80	6.20	Buena	35	6.23	11.00	8.60	Buena
11	6.30	9.80	6.60	arqueado	36	6.22	10.10	9.60	Buena
12	6.18	8.40	8.20	Buena	37	6.18	10.80	7.60	Buena
13	5.98	11.00	8.20	Buena	38	6.21	12.00	7.60	Buena
14	6.17	10.60	8.80	Buena	39	5.87	9.60	7.60	Buena
15	6.08	11.00	7.80	Buena	40	6.33	10.60	7.80	Buena
16	5.98	9.80	8.00	Buena	41	5.33	10.00	9.20	Buena
17	6.64	10.00	8.10	Buena	42	6.31	10.20	8.00	Buena
18	5.86	10.60	8.60	Buena	43	6.33	11.20	7.00	Buena
19	5.89	9.80	7.40	Buena	44	5.89	10.60	9.60	Buena
20	6.18	9.40	8.30	Buena	45	5.99	10.20	8.20	Buena
21	6.03	11.20	9.20	Buena	46	5.89	9.80	9.00	Buena
22	5.92	12.20	8.80	Buena	47	6.01	10.00	7.00	Buena
23	6.04	10.20	7.60	Buena	48	5.91	10.60	8.00	torcido
24	5.84	9.80	9.40	Buena	49	6.20	11.20	9.00	Buena
25	6.41	11.40	7.60	Buena	50	6.02	10.80	9.40	Buena
26					51	6.22	8.10	6.40	Buena

Tabla Nº 3.1 Tabla de dimensiones.

### **3.5.- RELACIÓN CON NORMAS YA ESTABLECIDAS**

En el presente capítulo se utilizaron como referencia normas ya establecidas, las cuales fueron analizadas en detalle para el desarrollo de este proyecto:

- Norma ISO 22156:2004 Bamboo - Structural Design.
- Norma ISO/22157-1:2004 Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties - Part 1: Requirements.
- Norma ISO/22157-2:2004 Bamboo – Determination of Physical and Mechanical Properties – Part 2: Laboratory Manual.

Así como también, Standard for determination of physical and mechanical properties of bamboo, (The International Network on Bamboo and Rattan, INBAR), entidad que publicó las normas Inbar.

### **3.6.- METODOLOGÍA**

Al ocuparse del estudio de la guadua como material para construcción, es importante ocuparse del estudio de los comportamientos físicos y mecánicos de la guadua.

Procedimientos de ensayo

- Contenido de Humedad.
- Contracción.
- Densidad.
- Compresión paralela a la fibra.
- Resistencia a la tracción paralela a la fibra de guadua.
- Resistencia al corte paralelo a la fibra de cilindros de guadua.
- Esfuerzo máximo a flexión de guadua.

### 3.7.- COLECCIÓN DE MUESTRAS

La colección de muestras se llevo a cabo de la siguiente manera y en el segundo número:

ENSAYOS	Nº MUESTRAS
<b>Ensayo de Propiedades Físicas</b>	
Contenido de Humedad	125
Contracción	60
Densidad	30
<b>Ensayo de Propiedades Mecánicas</b>	
Ensayo de Compresión	60
Ensayo de Tracción	30
Ensayo de Corte	30
Ensayo de Flexión Escala Real	30
Ensayo de Flexión Escala Reducida	30
<b>Ensayo de Uniones Estructurales</b>	
Ensayo de Uniones Colineales	30
Ensayo de Uniones Perpendiculares	30
Ensayo de Uniones Diagonales	30
<b>TOTAL</b>	<b>485</b>

**Tabla Nº 3.2 Número de muestras por ensayo.**

En total se cortaron 485 muestras, las cuales están distribuidas en la tabla Nº 3.2, las cuales debido al ensayo tuvieron longitudes diferentes, en las que tenemos las siguientes tablas:

ENSAYOS	LONG. PROBETAS
	(cm)
<b>Ensayo de Propiedades Físicas</b>	
Contenido de Humedad	10
Contracción	10
Densidad	10
<b>Ensayo de Propiedades Mecánicas</b>	
Ensayo de Compresión	10
Ensayo de Tracción	50
Ensayo de Corte	10
Ensayo de Flexión Escala Real	350
Ensayo de Flexión Escala Reducida	75

**Tabla N° 3.3 Dimensiones de muestras para ensayos en Prop. Físicas y Mecánicas.**

ENSAYOS	LONG. PROBETAS (cm)	
	Base	Brazo
<b>Ensayo de Uniones Estructurales</b>		
Ensayo de Uniones Colineales	50 – 60	20
Ensayo de Uniones Perpendiculares	50 – 60	20
Ensayo de Uniones Diagonales	50 – 60	20

**Tabla N° 3.4 Dimensiones de muestras para ensayos en Uniones Estructurales.**

### 3.7.1.- PROCESO DE CODIFICACIÓN

El proceso de codificación es muy importante para poder llevar a cabo todos los ensayos de una misma muestra y de manera correlativa, el marcado se realizó con diferentes nomenclaturas de acuerdo al tipo de ensayo y al lugar de ubicación de cada probeta en la caña, así como también del bosque del que fueron extraídos, las cuales se detallan a continuación:

Para empezar las probetas llevarán al inicio de cada nomenclatura;

BB: Por pertenecer a una primera característica visual (Bosque Blanco)

Referido a los ensayos de propiedades físicas:

### **CONTENIDO DE HUMEDAD**

CH: viene de la frase Contenido de Humedad

X: Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

En conclusión la muestra será codificada de la siguiente manera:

CH. - X; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

### **CONTRACCIÓN**

CT: viene de la palabra Contracción

X: Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

En conclusión la muestra será codificada de la siguiente manera:

CT. - X; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

### **DENSIDAD**

Ds: viene de la palabra Densidad

X: Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

En conclusión la muestra será codificada de la siguiente manera:

Ds. - X; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

Referido a los ensayos de propiedades Mecánicas:

### **Ensayos de probetas de elementos individuales a COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.**

Para este ensayo se denominará con:

C: viene de la palabra compresión

C<sub>102</sub>: será número uno cuando sea de la parte baja del tallo, quiere decir el más cerca al rizoma y dos cuando sea de la parte alta del tallo, quiere decir el más cerca de la copa.

X: Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

En conclusión la muestra será codificada de la siguiente manera:

C<sub>102</sub>-X; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

**Ensayos de probetas de elementos individuales a TRACCIÓN PARALELAS A LA FIBRA.**

T: viene de la palabra tracción

X: Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

En conclusión la muestra será codificada de la siguiente manera:

T-X; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

**Ensayos de probetas de elementos individuales de CORTE PARALELO A LA FIBRA.**

V: viene de la denominación que se utiliza en los diagramas de fuerza cortantes.

X: Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

En conclusión la muestra será codificada de la siguiente manera:

V-X; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

**Ensayos de probetas de elementos individuales a FLEXIÓN ESCALA REAL.**

FLX SR: viene de la frase flexión escala real.

X: Número variable de acuerdo al número de caña elegida

En conclusión la muestra será codificada de la siguiente manera:

**FLX SR.-X**; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso

### **Ensayos de probetas de elementos individuales a FLEXIÓN ESTÁTICA.**

FLX Sr: viene de la frase flexión escala reducida.

X: Número variable de acuerdo al número de caña elegida

Conclusión la muestra será codificada de la siguiente manera:

**FLX Sr.-X**; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

Referido a los ensayos de uniones estructurales:

### **Ensayos de probetas de elementos individuales en UNIONES ESTRUCTURALES.**

BC: viene de la palabra blanco (B) y de la palabra colineal (C).

X: Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

En conclusión la muestra será codificada de la siguiente manera:

**BC.-X**; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

BP: viene de la palabra blanco (B) y de la palabra perpendicular (P).

X: Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

En conclusión la muestra será codificada de la siguiente manera:

**BP.-X**; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

BD: viene de la palabra blanco (B) y de la palabra diagonal (D).

X: Número variable de acuerdo al número de caña elegida.

En conclusión la muestra será codificada de la siguiente manera:

**BD.-X**; donde x varía de 1 a 51 según sea el caso.

En resumen se muestra las denominaciones de las probetas en la tabla N° 3.5 como se muestra a continuación:

ENSAYOS	DENOMINACION
<b>Ensayo de Propiedades Físicas</b>	
Contenido de Humedad	CH-X
Contracción	CT-X
Densidad	DS-X
<b>Ensayo de Propiedades Mecánicas</b>	
Ensayo de Compresión	C <sub>102</sub> - X
Ensayo de Tracción	T
Ensayo de Corte	V
Ensayo de Flexión Escala Real	FLX SR-X
Ensayo de Flexión Escala Reducida	FLX Sr-X
<b>Ensayo de Uniones Estructurales</b>	
Ensayo de Uniones Colineales	BC-X
Ensayo de Uniones Perpendiculares	BP-X
Ensayo de Uniones Diagonales	BD-X

**Tabla N° 3.5 Denominación de muestras por ensayo.**

Para todas las probetas se tomaron los siguientes datos:

**Altura:** Se tomaron las medidas con un pie de rey, el cual arroja un margen de error de 0.01 cm. Se realizaron tres medidas cada 120°.

**Diámetro Externo:** Se tomaron tres medidas a 120° una con respecto a la otra y en ambos extremos de la probeta. Se utilizó un calibrador “pie de rey” que da una aproximación en la lectura de 0.01 cm.

**Espesor de la Pared:** Este dato se obtuvo midiendo en ambas bases con un calibrador “pie de rey”. Se tomaron 3 medidas en ambos extremos de la probeta.

**Diámetro Interno:** Se tomaron tres medidas a 120° una con respecto a la otra y en ambos extremos de la probeta. Se utilizó un calibrador “pie de rey” que da una aproximación en la lectura de 0.01 cm.

### **3.8.- ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.**

#### **3.8.1.- Determinación del contenido de humedad en probetas de Guadua.**

##### **3.8.1.1.- Objeto**

Este método cubre la determinación en el laboratorio del contenido de humedad en probetas de Guadua.

El contenido de humedad del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua libre y la masa de las partículas sólidas de material.

##### **3.8.1.2.- Resumen del método**

Conocer el peso del material cuando está húmedo (espécimen de prueba) y el peso de la muestra seca al horno durante 24 horas a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  aproximadamente. El contenido de humedad corresponde a un porcentaje del peso seco al horno.

##### **3.8.1.3.- Uso y significado**

El contenido de humedad es una de las propiedades índices más significativas, que se emplea para establecer una correlación entre el comportamiento de la guadua y sus propiedades mecánicas.

##### **3.8.1.4.- Equipo**

-Horno eléctrico.

-Balanzas, con una precisión de 0.01 g.

-Equipo para asegurar la retención de humedad en las piezas de ensayo, por ejemplo, matraces vidrio esmerilado.

### 3.8.1.5.- Muestras

Mantener las muestras en un lugar resguardado de la luz solar y del agua.

La determinación del contenido de humedad, deberá hacerse, tan pronto como sea posible, después de hacerse los ensayos, si es el caso.

### 3.8.1.6.- Espécimen de ensayo

Se tomarán las probetas ensayadas (cuando su longitud sea menor de 0.3 m) ó un segmento del culmo (cuando sea posible se cortarán cilindros de longitud igual a 7 cm.) que contenga parte del nudo y parte de las paredes del material.

### 3.8.1.7.- Procedimiento

Después que el material se haya secado a peso constante (24 horas a  $103 \pm 2$  °C), retirar la probeta del horno, permitir que el material disipe la energía calórica hasta que pueda ser manipulada sin riesgo, evitando que absorba humedad del ambiente y pésese el material.

Determinese el peso de la muestra seca al horno, usando la misma balanza que usó para determinar el peso húmedo.

### 3.8.1.8.- Cálculos

Calcúlese el contenido de agua de la muestra así:

$$CH = \left[ \frac{m - m_0}{m_0} \right] \times 100$$

Donde:

CH : Contenido de agua %

m : Es la masa de pieza de ensayo antes del secado, g.

$m_0$  : Es la masa de pieza de ensayo después del secado, g.

### **3.8.2.- Contracción**

#### **3.8.2.1.- Alcance**

Esta cláusula especifica un método para determinar la contracción de cañas completas de bambú.

#### **3.8.2.2.- Principio**

La determinación de la contracción de una sección internado de la caña de bambú, midiendo el diámetro exterior, grosor y altura de pared, antes y después del sacado.

#### **3.8.2.3.- Artefactos**

-Pie de Rey para medición.

-Horno, controlado termostáticamente, preferiblemente del tipo de corriente de aire y que mantenga una temperatura uniforme en toda la cámara de secado.

-Balanzas, con una división de escala de  $\pm 0.1$  g para muestras que tengan un peso de 500 g o menos.

#### **3.8.2.4.- Preparación de especímenes de ensayo**

Los especímenes deben prepararse con cañas de bambú completas, secciones internados, con una altura de 100 mm. En el caso de ensayos sobre compresión, cizallamiento y tensión, éstas deben tomarse lo más cerca posible a estas piezas de ensayo; en el caso de ensayos de doblado, estos deben ser tomados lo más cerca posible a la ubicación de falla. En cada caso, estos deben ser libres de cualquier rompimiento inicial. Si los ensayos de contracción se efectúan independientemente de cualquier otro ensayo, los especímenes deben ser tomados de la sección más inferior de la caña.

#### **3.8.2.5.- Procedimientos**

-La contracción deberá ser observada en el diámetro exterior  $D$ , en el grosor de la pared  $t$  y también en la longitud  $L$  del espécimen.

-Los especímenes finalmente deben ser puestos en un horno a una temperatura aproximadamente  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , a fin de que los especímenes se vuelvan completamente secos, luego de los cuales las dimensiones serán tomadas por última vez.

### 3.8.2.6.- Cálculo y expresión de resultados

La contracción de una condición inicial a la condición de secado, expresado como un porcentaje correcto a una ubicación de decimal, deberá ser calculado por la siguiente fórmula:

$$\left[ \frac{I - F}{I} \right] \times 100$$

Donde:

I : Es la lectura inicial.

F : Es la lectura final.

Siendo cada uno de estos el valor de promedio para el diámetro, grosor y longitud de pared, con una exactitud al mm más cercano.

### 3.8.3.- Densidad

#### 3.8.3.1.- Alcance

Esta cláusula especifica un método para determinar la masa por volumen (densidad) del bambú para ensayos físicos y mecánicos. Para una comparación exacta entre los valores reportados, la masa básica por el volumen  $p$  es la más apropiada, para la determinación de qué masa de secado en horno y volumen verde deben ser usadas porque estos no cambiarán, independientemente de las condiciones de clima. Si la masa por volumen debe ser reportada en el contenido de humedad de la muestra de ensayo, la masa es tomada como masa secada al horno y solamente el volumen es tomado en el MC de la muestra. El símbolo es  $P_o$ .

### 3.8.3.2.- Principio

Determinación de la masa de la pieza de ensayo mediante el peso, y de su volumen por la medición de sus dimensiones o por otro método. Cálculo de la masa de un volumen de unidad del bambú.

### 3.8.3.3.- Artefactos

-Instrumento de medida, capaz de determinar las dimensiones de las piezas de ensayo con una exactitud de 0,1 mm.

-Balanza, que pueda pesar a una exactitud de 0,01 g.

-Equipo, para la determinación del contenido de la humedad.

### 3.8.3.4.- Preparación de piezas de ensayo

Las piezas de ensayo deben ser preparados como se especifica en 3.8.1.6 Para la determinación de masa por volumen, también se permite preparar la pieza de ensayo desde una sección transversal de una caña, siempre y cuando el volumen pueda ser medido con facilidad.

### 3.8.3.5.- Procedimiento

Medir las dimensiones de las piezas de ensayo al más aproximado 0,1 mm, y calcular el volumen, o determinar el volumen mediante un método adecuado (por ejemplo inmersión) a una exactitud de  $10 \text{ mm}^3$ . Realizar esto en la condición verde o en el MC<sup>\*</sup> durante el ensayo mecánico, según sea requerido. En el último caso, determinar el MC como en la cláusula 6 de la norma ISO 22157-1:2004(E).

Secar las piezas de ensayo para la masa constante, pero realizarlo gradualmente para minimizar su deformación y desplazamiento.

Efectuar las operaciones de peso inmediatamente después del secado.

---

\* contenido de humedad

Determinar la masa de las piezas del ensayo a una exactitud de 0,01 g.

### 3.8.3.6.- Cálculo y expresión de resultados

La masa de secado al horno por volumen de cada pieza de ensayo es determinada por la siguiente fórmula:

$$\rho = \left( \frac{m}{V} \right) \times 10^6$$

Donde:

$\rho$  : Es la masa por volumen, en kg/m<sup>3</sup>.

m : Es la masa, en g, de la pieza de ensayo.

V : Es el volumen verde de la pieza de ensayo, en mm<sup>3</sup>

Expresar el resultado al kg/m<sup>3</sup> más cercano.

## 3.9.- ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 3.9.1.- Resistencia a la compresión paralela a la fibra de cilindros de Guadua

#### 3.9.1.1.- Objeto

Este ensayo determina la resistencia a la compresión de especímenes de Guadua y su módulo de elasticidad.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen. El módulo de elasticidad se halla determinando la pendiente de la curva esfuerzo-deformación unitaria del material.

### **3.9.1.2.- Uso y significado**

Los resultados de este ensayo pueden usarse como dato de resistencia última a la compresión de la guadua para el diseño de estructuras.

### **3.9.1.3.- Aparatos**

-Pie de Rey para medición.

-Los ensayos deben realizarse en una máquina de ensayo adecuada. Por lo menos una plancha de la máquina de ensayo debe estar equipada con un soporte hemisférico para obtener la distribución uniforme de la carga sobre los extremos del espécimen. Entre las planchas de acero de la máquina y en los extremos del espécimen se debe aplicar una capa intermedia para reducir la fricción a un mínimo.

Velocidad de Carga. Aplíquese la carga continuamente sin golpes bruscos. Para las máquinas de ensayo del tipo tornillo, la cabeza móvil debe avanzar a una velocidad de 0,01 mm/s cuando la máquina está operando sin transmitir carga. Para las máquinas hidráulicamente operadas la carga debe aplicarse a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de 0.14 a 0.34 MPa/s (20 a 50 Psi/s). La velocidad escogida se debe mantener al menos durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor.

Aplíquese la carga hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Anótense el valor de la carga de falla, el tipo de falla y la apariencia de la probeta.

La máquina debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

División de escala.- La división de escala de la máquina de ensayo, determinada con un elemento de calibración elástico, debe cumplir con los siguientes requisitos:

a) El porcentaje de error de las cargas dentro del rango propuesto para la máquina, no excederá del  $\pm 1.0\%$  de la carga indicada.

La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga, de acero con caras endurecidas, uno de los cuales es un bloque con rótula el cual descansa sobre la superficie superior de la muestra para obtener una distribución uniforme de carga, y el otro un bloque sólido sobre el cual se colocará el espécimen.

Las superficies de los bloques que están en contacto con el espécimen deben tener una dimensión al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen ensayado. El bloque inferior de carga debe cumplir los siguientes requisitos:

Las superficies superiores e inferiores deben ser paralelas una a la otra. El bloque debe poder asegurarse a la platina de la máquina de ensayo.

El bloque de carga inferior debe tener al menos 25 mm (1") de espesor cuando sea nuevo.

**Nota:** Si la máquina de ensayo está diseñada de tal forma que la misma plataforma pueda mantenerse con su superficie en las condiciones especificadas, no se requerirá un bloque inferior.

El bloque de carga con rótula debe cumplir los siguientes requisitos:

- El centro de la rótula debe coincidir con el de la superficie de la cara de carga dentro de una tolerancia de  $\pm 5\%$  del radio de la rótula.
- □ La rótula debe ser diseñada de tal forma que el acero en el área de contacto no sufra deformaciones permanentes debido al uso.
- Las superficies de la rótula deben mantenerse limpias y lubricadas con aceite mineral, convencional. Después de entrar en contacto con el espécimen y de aplicar una pequeña carga inicial, debe evitarse cualquier movimiento adicional del bloque con rótula.
- La porción móvil del bloque de carga debe sostenerse lo más segura que sea posible, pero el diseño debe ser tal que la cara de carga pueda girar libremente e inclinarse al menos  $4^\circ$  en cualquier dirección.

### **3.9.1.4.- Muestras**

Preparación de especímenes de la prueba.

Estos especímenes se marcarán con las letras correspondientes según la sección proceso de codificación respectivamente, las probetas se deben limpiar de líquenes, musgos y sólidos adheridos al material, sin disminuir la capa exterior de la guadua y no deberán tener defectos como grietas por secado, perforaciones por ataque biológico, hongos, etc.

La prueba de compresión paralela al eje se hará con probetas cilíndricas las cuales serán de 10 cm de diámetro debido a la gran variedad de diámetros de la caña de las cañas extraídas.

Los planos de las caras extremas serán llanos y paralelos. No diferir los planos horizontales en más de 3°.

Se deben descartar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de cortado de la guadua.

El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra debe determinarse con una división de escala de 0.1 mm promediando tres diámetros medidos en ángulo de 120°.

### **3.9.1.5. Procedimiento**

Colocación de anillos de apoyo para el deformímetro mecánico. Antes de colocar la muestra en la maquina de compresión se debe seleccionar el anillo de apoyo para el deformímetro, el cual debe ser el más apropiado para cada espécimen; una vez seleccionado el juego de anillos se procede a colocar la probeta en una superficie plana y nivelada.

Colocación de la muestra. Si la maquina lo requiere, colóquese el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo directamente debajo del bloque superior. Límpiase con un paño las superficies de los bloques superiores e inferiores.

Ninguna de las muestras ensayadas a compresión debe separarse de la perpendicularidad del eje en más de 0.5° (equivalentes a 3 mm en 300 mm aproximadamente).

Cuídese que el eje del espécimen quede alineado con el centro del bloque superior. El bloque con rótula debe rotarse inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida.

La carga se aplicará continuamente durante la prueba para encausar la cabeza móvil de la máquina, para viajar a una velocidad constante de 0.01 mm por segundo.

Lecturas de deformación. Las lecturas del deformímetro se leerán para incrementos de carga constantes de 500 Kg. (cuando sea posible, en su defecto se debe indicar el proceso de toma de datos) para trazar con suficiente exactitud el diagrama esfuerzo-deformación.

La lectura final de la carga máxima, en la cual el espécimen falla, se anotará.

Tomar los especímenes para determinación de contenido de humedad.

### 3.9.1.6.- Cálculos y resultados

El esfuerzo máximo de compresión se determinará siguiendo la fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{4 \times F_{ult}}{\pi \times \left[ \bar{D}_e^2 - (\bar{D}_e - 2e)^2 \right]}, MPa$$

Donde:

$\sigma_{ult}$  : Esfuerzo de compresión último, con una aproximación de 0.5 MPa.

$F_{ult}$  : Carga máxima a la que el espécimen falla

$\bar{D}_e$  : Diámetro exterior promedio (teniendo en cuenta ambos extremos de la probeta)

$e$  : Espesor promedio.

Para la determinación del módulo de Elasticidad, se define sobre la curva Esfuerzo vs. Deformación unitaria, aquellos puntos que reflejan proporcionalidad y sobre los cuales se ajusta por regresión lineal una recta; posteriormente se calcula la pendiente que será igual al módulo de elasticidad en cada probeta. El esfuerzo máximo para determinar el límite de proporcionalidad debe tomarse igual al 55% del esfuerzo último.

### **3.9.2.- Resistencia a la tracción paralela a la fibra de Guadua.**

#### **3.9.2.1.- Objeto**

Este ensayo permite determinar la resistencia a la tracción paralela a la fibra de láminas de Guadua.

El ensayo consiste en aplicar unas cargas axiales a tracción a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla. La resistencia a tracción del espécimen se determina al dividir la carga máxima aplicada entre el área del elemento y, con las cargas últimas los esfuerzos últimos a tracción.

#### **3.9.2.2.- Uso y significado**

Los resultados de este ensayo pueden ser usados como dato de esfuerzo máximo a tracción paralela a la fibra de la Guadua para el diseño de estructuras.

#### **3.9.2.3.- Aparatos**

Las agarraderas de la maquina de tensión deben garantizar que al carga sea aplicada en todo el eje longitudinal de la pieza de ensayo, y debe evitar el torsión longitudinal de la pieza de ensayo. Las agarraderas deben presionar la pieza de ensayo perpendicularmente a las fibras y en dirección radial

La carga debe ser aplicada continuamente por todo el ensayo a una capacidad de movimiento del cabezal transversal de 0,01 mm/s. la carga debe ser medida a 1%

Las dimensiones transversales seccionales de la sección de calibración de la pieza de ensayo deben ser medidas con una precisión de 0,1 mm.

### 3.9.2.4.- Muestras

Preparación de especímenes de la prueba. Se tomarán láminas de una longitud igual a 50 cm. Las láminas deben tener sección constante, rectangular. Estos especímenes se marcarán con las letras correspondientes a la sección proceso de codificación de muestras respectivamente. No deberán tener defectos como grietas por secado, perforaciones por ataque biológico, hongos. Las probetas se deben limpiar de líquenes, musgos y sólidos adheridos al material, sin disminuir la capa exterior de la guadua.

Se deben eliminar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de corte.

Debe prevenirse la pérdida de humedad antes de realizar el ensayo.

Las dimensiones empleadas para calcular el área de la sección transversal de la muestra debe determinarse con una división de escala de 0.1 mm, promediando tres espesores y anchos medidos en diferentes secciones de la probeta.

La longitud debe medirse con una aproximación de 0.1 mm

### 3.9.2.5.- Procedimiento

Colocación de mordazas. Debe ser una mordaza plana con textura y nivel de rugosidad específicas para que no se presente deslizamientos de las probetas.

La lectura de la carga máxima, para la cual el espécimen falla, se anotará.

Toma de muestras para determinación de contenido de humedad.

### 3.9.2.6.- Cálculos y resultados

La resistencia última a tracción se determinará siguiendo la fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}, \quad MPa$$

Donde:

$\sigma_{ult}$  : Esfuerzo último a la tracción paralela a la fibra, con aproximación de 0.1 MPa

$F_{ult}$  : Carga máxima que resiste antes de fallar, en kN.

A : Área de la sección (mm<sup>2</sup>)

El Módulo de Elasticidad, se calcula como la pendiente de la curva esfuerzo vs. Deformación unitaria determinada entre los valores de carga 0.2  $F_{ult}$  y 0.8  $F_{ult}$

### **3.9.3.- Resistencia al corte paralelo a la fibra de cilindros de Guadua.**

#### **3.9.3.1.- Objetivo**

Este ensayo permite determinar la resistencia al corte de especímenes de Guadua.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla. La resistencia al corte del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo entre el área de la sección longitudinal del material.

#### **3.9.3.2.- Uso y significado**

Los resultados de este ensayo pueden usarse como dato de resistencia última al corte de guadua para el diseño de estructuras.

#### **3.9.3.3.- Aparatos**

-Máquina de Ensayo. La máquina de ensayo deberá tener una capacidad de carga de 20 toneladas y debe reunir las condiciones de velocidad

-Velocidad de Carga. Aplíquese la carga continuamente sin golpes bruscos. Para las máquinas de ensayo del tipo tornillo, la cabeza móvil debe avanzar a una velocidad de 0,01 mm/s cuando la máquina está operando sin transmitir carga. Para las máquinas hidráulicamente operadas la carga debe aplicarse a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de 0.14 a 0.34 MPa/s (20 a 50 Psi/s). La velocidad escogida se debe

mantener al menos durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor.

Aplíquese la carga hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Anótense el tipo de falla y la apariencia de la misma.

La máquina debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

División de escala.- La división de escala de la máquina de ensayo, determinada con un elemento de calibración elástico, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El porcentaje de error de las cargas dentro del rango propuesto para la máquina, no excederá del  $\pm 1.0\%$  de la carga indicada.
- b) Los planos de las caras extremas serán llanos y paralelos. No deben diferir los planos horizontales en más de  $3^\circ$ .

La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga, de acero con caras endurecidas, uno de los cuales es un bloque con rótula el cual descansa sobre la superficie superior del dispositivo de ensayo para obtener una distribución de carga, y el otro un bloque sólido sobre el cual se colocará la otra parte del dispositivo de ensayo.

El bloque inferior de carga debe cumplir los siguientes requisitos:

Las superficies superiores e inferiores deben ser paralelas (tolerancia de  $3^\circ$ ) una a la otra. El bloque debe poder asegurarse a la platina de la máquina de ensayo.

El bloque de carga inferior debe tener al menos 25 mm (1") de espesor cuando sea nuevo.

El dispositivo de ensayo debe cumplir los siguientes requisitos:

El centro del dispositivo debe coincidir con el de la superficie de la cara de carga dentro de una tolerancia de  $\pm 5\%$  del radio de la rótula.

El dispositivo de ensayo debe ser diseñado de tal forma que el acero en el área de contacto no sufra deformaciones permanentes debido al uso. Las superficies de la rótula deben mantenerse limpias y lubricadas con aceite de mineral, convencional. Después de entrar en contacto con el dispositivo y de aplicar una pequeña carga inicial, debe evitarse cualquier movimiento adicional del bloque con rótula.

Indicador de Carga. La escala graduada del dial debe ser tal, que permita leer con una división de escala del 1% de la carga total de la escala. La escala debe tener una línea y un número que indique el cero (0). El puntero debe tener una longitud tal, que alcance las marcas indicadoras. El espesor del extremo del puntero no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada dial debe estar equipado con un dispositivo de ajuste al cero, accesible desde afuera, y con un indicador apropiado para que en todo momento y hasta cuando sea reiniciado, indique con una exactitud del 1%, la carga máxima aplicada al espécimen.

Si la máquina de ensayos indica la carga en forma digital, el número debe ser suficientemente grande para que sea legible, con un incremento numérico igual o menor al 0.05% de la carga total de la escala y dentro del 1.0% de la carga indicada en cualquier nivel dentro del rango de valores de carga dados.

Dispositivos de ensayos para corte (ver anexo 5 "Planos")

#### **3.9.3.4.- Muestras**

Preparación de especímenes de la prueba.

Estos especímenes se marcarán con las letras correspondientes a la sección proceso de codificación respectivamente y no deberán tener defectos, como grietas por secado, perforaciones por ataque biológico, hongos.

La prueba de corte paralelo a la fibra se hará con cilindros sin y con nudo en su altura media, y se tomará especímenes de longitud igual a 10 cm.

Las probetas se deben limpiar de líquenes, musgos y sólidos adheridos al material, sin disminuir la capa exterior de la guadua.

Los planos de las caras extremas serán llanos y paralelos Se deben eliminar las probetas que desarrollen grietas en el proceso de corte.

Debe prevenirse la pérdida de humedad antes de realizar el ensayo.

El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra debe determinarse con una división de escala de 0.1 mm promediando tres diámetros medidos en ángulo de 120°.

La longitud debe medirse con una aproximación de 0.1 mm.

#### **3.9.3.5.- Procedimiento**

Colocación de dispositivos de ensayo. Antes de colocar la muestra en la máquina se debe colocar la parte inferior en la rótula de la máquina, teniendo en cuenta que debe quedar centrada. Se procede a colocar la probeta y encima de esta la parte faltante del dispositivo.

Se medirán cargas últimas para cada una de las probetas a ensayar.

Colocación de la Muestra. Cuidar que el eje del espécimen quede alineado con el centro del dispositivo de ensayo. El bloque con rótula debe rotarse inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida.

La carga se aplicará continuamente durante la prueba para encausar la cabeza móvil de la máquina, para viajar a una velocidad constante de 0.01 mm por segundo

Lecturas de carga. Sólo se leerán y anotarán cargas últimas y la forma en que falla.

Toma de muestras para determinación de contenido de humedad.

### 3.9.3.6.- Cálculos y resultados

El esfuerzo máximo a corte paralelo a la fibra se determinará:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(t \times L)} \quad MPa$$

Donde:

$\tau_{ult}$  : Esfuerzo a corte, con una aproximación de 0.1 MPa

$F_{ult}$  : Carga máxima a la cual el espécimen falla, en N.

$\sum(t \times L)$ : Es la suma de los cuatro productos de t y L.

t : Espesor promedio de la probeta (cm)

L : Longitud de la probeta (cm)

### 3.9.4.- Esfuerzo máximo a flexión de Guadua.

#### 3.9.4.1.- Objeto

Este ensayo permite determinar la resistencia a la flexión de especímenes de Guadua y su módulo de elasticidad.

El ensayo consiste en aplicar unas cargas puntuales a una distancia aproximada a los L/3 (donde se encuentre un nudo), a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla. La resistencia a flexión del espécimen se determina al encontrar el momento máximo generado para cada aplicación de carga y, con las cargas últimas los esfuerzos últimos a flexión. El módulo de elasticidad se obtiene de forma indirecta a partir de los ensayos de flexión elástica.

#### 3.9.4.2.- Uso y significado

Los resultados de este ensayo pueden ser usados dependiendo el tipo de falla. Si la falla es debida al corte, entonces se pueden usar los datos de esfuerzo máximo a cortante. Si la falla es debida a la flexión los datos a utilizar son los de

esfuerzo máximo a flexión. Si se presenta la falla por flexión entonces estos datos no pueden ser usados

### 3.9.4.3.- Aparatos

-Un calibrador con capacidad de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1 mm.

-Máquina de Ensayo: La máquina de ensayo deberá tener una capacidad de carga de 20 toneladas o más y debe reunir las condiciones de velocidad expuesta en el siguiente numeral.

Aplíquese la carga cada 50 Kg. para obtener una cantidad suficiente de datos de deflexiones para graficar.

Aplíquese la carga hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Anótense el tipo de falla y la apariencia de la probeta.

La deflexión se mide en el centro de la luz. El deformímetro se coloca sobre su soporte apoyado en el cabezal inferior de la máquina y garantizando que el vástago del deformímetro quede en contacto con la parte inferior de la probeta, de tal forma que mida únicamente deflexiones verticales.

La máquina debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

### 3.9.4.4.- Procedimiento

Determinar el valor promedio del diámetro exterior  $D$  y el grosor de la pared  $t$  para poder calcular el segundo momento del área:

$$I_b = \pi / 64 \times [D^4 - (D - 2r)^4]$$

Nota: el Valor de  $I_b$  es empleado para predecir el comportamiento durante el ensayo

Poner la caña en su ligar en la maquina de doblado, reposando sobre los dispositivos de apoyo en ambos soportes permitiendo que la caña encuentre su posición propia línea la caña con los dos transmisores de carga y los soportes visualmente en un plano vertical.

La carga de la caña debe ser realizada uniformemente a una velocidad constante. La velocidad de ensayo (preferiblemente a una capacidad constante de carga debe ser 0,5 mm/s. La carga máxima deberá ser determinada con una precisión de 1% a la carga más cerca y la deflexión al mm más cercano. Observar las rajaduras y describir la forma de la falla.

Plotear un diagrama de deflexión de carga.

Luego del ensayo, determinar el diámetro  $d$  y el grosor de la pared  $t$  nuevamente, lo mas próximo posible a los puntos de carga. El promedio de los diámetros y los grosores de la pared debe ser empleado para calcular el segundo momento de área  $I_b$

Determinar el contenido de humedad.

#### 3.9.4.5.- Cálculos y expresión de resultados

La resistencia principal  $\sigma_{ult}$ , en MPa (o N/mm<sup>2</sup>), en doblado estático con el contenido de humedad en el momento en que el ensayo es determinado por la formula:

$$\sigma_{ult} = F \times L \times (D/2) / (6 \times I_b)$$

Donde:

F : Es la máxima carga aplicada en N (la carga total aplicada a los dos puntos de carga).

L : Es el tramo libre en mm.

D : Es el diámetro exterior en mm.

$I_b$  : Es el segundo momento de área en mm<sup>4</sup>.

Expresa el resultado a una precisión de 1 Mpa (o N/mm<sup>2</sup>).

Los módulos de elasticidad (módulos de Young) son determinados por la inclinación de una parte lineal del diagrama de deformación de carga.

Los módulos de elasticidad E, en MPa, es calculado empleando la formula:

$$E = 23 \times F \times L^3 / (1296 \times \delta \times I_b)$$

Donde:

F : Es la máxima carga aplicada, en N (la carga total aplicada a los dos puntos de carga.

L : Es el tramo libre, en mm. (o tramo limpio)

I<sub>b</sub> : Es segundo momento de área, en mm<sup>4</sup>.

δ : Es el tramo medio de deflexión, en mm.

## **CAPITULO IV: UNIONES ESTRUCTURALES COLINEALES, PERPENDICULARES Y DIAGONALES.**

### **4.1 RESISTENCIA DE UNIONES ESTRUCTURALES, COLINEALES, PERPENDICULARES Y DIAGONALES.**

En el mundo ya existen varios nuevos ensayos y técnicas de como unir la Guadua. Pero todavía ninguna se estableció a gran escala en el campo de construcción y sólo algunas sirven para estructuras espaciales. Además, se publicaron pocos estudios sobre la resistencia de las uniones. Aquí se mostraran sólo algunas posibilidades que se estudiaron en el contexto de esta investigación, y con estas propuestas se busca también utilizar las que tengan un procedimiento constructivo más sencillo.

En investigaciones anteriores se han mostrado propuestas de madera perforada, sistemas que consisten en un elemento cónico al interior del bambú y un segundo elemento que sirve como cinta alrededor del bambú para que el primero elemento no salga a tracción. La cinta puede ser de acero o de fibras de vidrio.

Otra técnica es la de formar uniones a base de platinas de acero soldadas y otra técnica con varillas longitudinales y mortero dentro de la guadua que se articulan en un apoyo de madera.

Así como estas mencionadas existen muchas otras técnicas de unir el bambú, las cuales varían de acuerdo a las exigencias y condiciones que se tengan. Algunas de estas se ven influenciadas por el diseño de los arquitectos y es en estos casos que la creatividad está presente en las uniones.

#### **4.1.1. Objeto**

Este ensayo permite determinar la resistencia de las uniones estructurales ejerciéndoles una fuerza paralela a la fibra de láminas de Guadua.

El ensayo consiste en aplicar unas cargas axiales a tracción a una velocidad de carga prescrita hasta que se presente la falla. La resistencia del espécimen se determina por medio de la maquina al alcanzar la carga máxima aplicada entre los elementos.

#### 4.1.2. Uso y significado

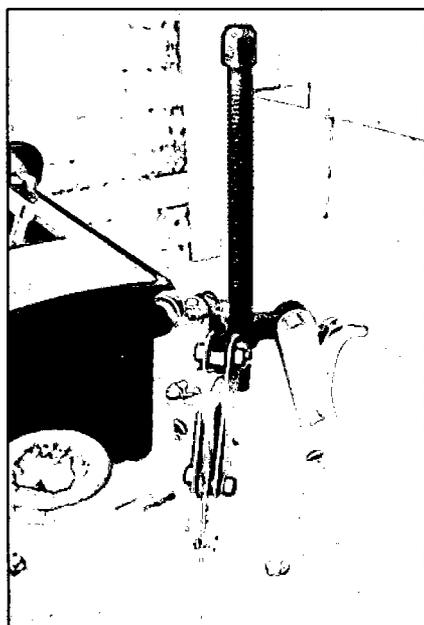
Los resultados de este ensayo pueden ser usados como dato de resistencia máxima en uniones con pernos de la Guadua para el diseño de estructuras.

#### 4.1.3. Aparatos

Un calibrador con capacidad de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1 mm.

Mordazas que no permitan el deslizamiento de la lámina de Guadua.

Máquina de Ensayo: La máquina de ensayo deberá tener una capacidad de carga de 20 toneladas o más y debe reunir las condiciones de velocidad expuesta en el siguiente numeral.



Aplicase la carga hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Anótense el tipo de falla y la apariencia de la probeta.

La máquina debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques.

Extractores mecánicos.

**Figura N° 4.1 Extractor mecánico**

#### 4.1.4. Preparación de propuestas de ensayo

El objetivo de la propuesta es una unión que puede transmitir un máximo de fuerza, que es relativamente liviano, que tiene un alto nivel de prefabricación y que finalmente permite el montaje y desmontaje rápido y fácil para estructuras temporales.

#### **4.1.4.1. Muestras**

##### **Unión colineal**

La unión consiste en tres elementos. Dos tubos de bambú de 10 cm de diámetro aproximadamente y 20 cm de largo, el tercer elemento es una pieza de madera la cual actúa como tarugo. Para este tipo de unión se trabajó con dos tipos de madera (Capirona y Eucalipto). Las fuerzas axiales se transmiten a través de ganchos especialmente fabricados para este ensayo

Además de utilizar la madera, estas serán sujetas con el bambú en forma colineal con pernos transversales de 3/8" de diámetro.

Entre las cañas se colocarán arandelas para que el extractor no dañe las cañas de bambú.

Todos estos elementos se presentan en el anexo 5 "planos".

Su fácil montaje y desmontaje convierte este sistema apto para arquitectura temporal.

##### **Unión perpendicular**

La unión consiste de cuatro elementos. Un tubo de bambú de 10 cm de diámetro aproximadamente y 20 cm de largo, el segundo elemento es la base conformada de un tubo de bambú que contiene un entrenado por lo menos, el tercer elemento es una varilla de acero de 3/8" que termina en forma de gancho en sus extremos, el cuarto elemento es el mortero (proporción 1:3) que será introducido en los tubos de bambú. Además, de utilizar concreto y las varillas de acero con ganchos, estas serán sujetas con el bambú en forma perpendicular con pernos de 3/8" de diámetro.

Todos estos elementos se presentan en el anexo 5

Su fácil montaje y desmontaje convierte este sistema apto para arquitectura temporal.

## Unión diagonal

La unión consiste en cuatro elementos. Un tubo de bambú de 10 cm de diámetro Aproximadamente y 20 cm de largo, el segundo elemento es la base conformada de un tubo de bambú que contiene un entrenado por lo menos, el tercer elemento es un una varilla de acero de 3/8" que termina en forma de gancho en sus extremos, el cuarto elemento es el mortero (proporción 1:3) que será introducido en los tubos de bambú.

Además, de utilizar concreto y las varillas de acero con ganchos, estas serán sujetas con el bambú en forma perpendicular con pernos de 3/8" de diámetro.

Todos estos elementos se presentan en el anexo 5

Su fácil montaje y desmontaje convierte este sistema apto para arquitectura temporal.

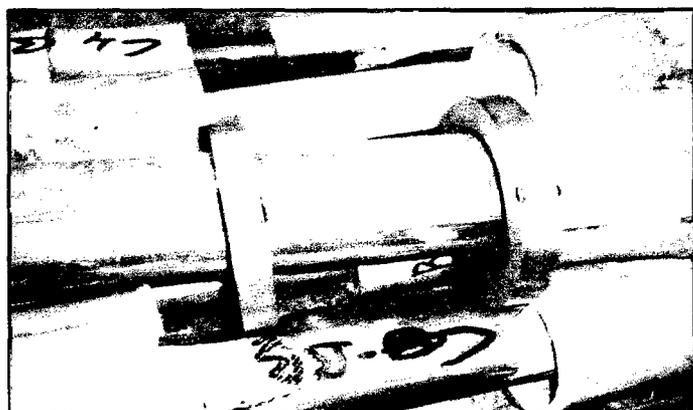
## 4.2 ENSAYO DE UNIONES EN TRACCIÓN

### 4.2.1 Ensayo en uniones colineales.

**Primera propuesta: Uso de madera Capirona – pernos transversales de 3/8 de pulgada (uno a cada extremo)**

La experiencia realizada, fue utilizando madera Capirona, por dos razones: la primera, resistencia con el uso de pernos; la segunda, se encuentra con secciones transversales cuadradas según el diámetro del bambú. Se colocó el tarugo de madera y luego se insertaron transversalmente los pernos de 3/8 de pulgada.

**Figura N° 4.2 Arandelas para ensayo de uniones colineales.**



La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas fue:

<b>MADERA CAPIRONA</b>		
<b>MUESTRA</b>	<b>EQUIVALENCIA</b>	<b>CARGA (kg)</b>
<b>C3BB</b>	BC-3	<b>600.00</b>
<b>C6BB</b>	BC-6	<b>660.00</b>
<b>C7BB</b>	BC-7	<b>490.00</b>
<b>C8BB</b>	BC-8	<b>740.00</b>
<b>C9BB</b>	BC-9	-
<b>C10BB</b>	BC-10	<b>370.00</b>

**Tabla N° 4.1 Resultados de ensayos con madera Capirona – primera propuesta.**

**Segunda propuesta: Uso de madera Eucalipto – pernos transversales de 3/8 de pulgada (uno a cada extremo)**

La experiencia realizada fue utilizando madera Eucalipto, por dos razones: la primera es una madera muy común se puede encontrar en todos lados y la segunda porque tiene un costo muy barato, se colocó el cilindro de madera Eucalipto y luego se insertaron transversalmente los pernos de 3/8 de pulgada.

<b>MADERA EUCALIPTO</b>		
<b>MUESTRA</b>	<b>EQUIVALENCIA</b>	<b>CARGA (kg)</b>
<b>C1BBX</b>	BC-1	<b>550.00</b>
<b>C2BB</b>	BC-2	<b>250.00</b>
<b>C4BB</b>	BC-4	<b>730.00</b>
<b>C5BB</b>	BC-5	<b>600.00</b>

**Tabla N° 4.2 Resultados de ensayos con madera Eucalipto – segunda propuesta.**



Figura N° 4.3 probeta en ensayo

**Tercera propuesta: Uso de madera Capirona – pernos transversales de 3/8 de pulgada (dos a cada extremo)**

La experiencia realizada fue utilizando madera Capirona, Se colocó el tarugo de madera y luego se insertaron transversalmente los pernos de 3/8 de pulgada.

MADERA CAPIRONA		
ITEM	EQUIVALENCIA	CARGA (kg)
1	BB 1C	1360.00
2	BB 2C	1360.00
3	BB 3C	1220.00
4	BB 4C	1400.00
5	BB 5C	1630.00

**Tabla N° 4.3 Resultados de ensayos con madera Capirona – tercera propuesta.**

**Cuarta propuesta: Uso de madera Eucalipto – pernos transversales de 3/8 de pulgada (dos a cada extremo)**

La experiencia realizada fue utilizando madera Eucalipto, se colocó el cilindro de madera y luego se insertaron transversalmente los pernos de 3/8 de pulgada, dos a cada lado.

<b>MADERA EUCALIPTO</b>		
<b>ITEM</b>	<b>EQUIVALENCIA</b>	<b>CARGA (kg)</b>
<b>1</b>	<b>BB 6C</b>	<b>1600.00</b>
<b>2</b>	<b>BB 7C</b>	<b>1220.00</b>
<b>3</b>	<b>BB 8C</b>	<b>1200.00</b>
<b>4</b>	<b>BB 9C</b>	<b>1180.00</b>
<b>5</b>	<b>BB 10C</b>	<b>1610.00</b>

**Tabla N° 4.4 Resultados de ensayos con madera Eucalipto – cuarta propuesta.**

**Quinta propuesta: Uso de madera Capirona – pernos transversales de 1/2 de pulgada (uno a cada extremo)**

La experiencia fue utilizando madera Capirona, Se colocó el tarugo y se insertaron transversalmente los pernos de 1/2 de pulgada.

<b>MADERA CAPIRONA</b>		
<b>ITEM</b>	<b>EQUIVALENCIA</b>	<b>CARGA (kg)</b>
<b>1</b>	<b>BB 11C</b>	<b>1080.00</b>
<b>2</b>	<b>BB 12C</b>	<b>1300.00</b>
<b>3</b>	<b>BB 13C</b>	<b>1400.00</b>
<b>4</b>	<b>BB 14C</b>	<b>1230.00</b>
<b>5</b>	<b>BB 15C</b>	<b>1160.00</b>

**Tabla N° 4.5 Resultados de ensayos con madera Capirona – quinta propuesta.**

**Sexta propuesta: Uso de madera Eucalipto – pernos transversales de 1/2 de pulgada (uno a cada extremo)**

La experiencia fue utilizando madera Eucalipto, se colocó el tarugo y se insertaron transversalmente los pernos de 1/2 de pulgada.

MADERA EUCALIPTO		
ITEM	EQUIVALENCIA	CARGA (kg)
1	BB 16C	1850.00
2	BB 17C	1040.00
3	BB 18C	1600.00
4	BB 19C	980.00
5	BB 20C	810.00

**Tabla N° 4.6 Resultados de ensayos con madera Eucalipto – sexta propuesta.**

Esto muestra que se puede trabajar con probetas de madera Eucalipto y Capirona los cuales demandaron igual tiempo para habilitar. Se puede observar que a comparación de la madera Eucalipto, la madera Capirona ya tiene dimensiones establecidas las cuales puede ser útil cuando se sabe el diámetro del bambú,

**4.3 ENSAYO DE UNIONES DE ELEMENTOS PERPENDICULARES**

Para los ensayos de uniones perpendiculares se adapto un sistema de tracción el cual muestre una unión para que trabaje el bambú en todo sentido

El sistema consistio en un cuadrado de acero estructural y dos Us de 5/8", además se instalaron dos planchas de acero curvadas que servirían como distribuidor de la fuerza en la zona de contacto entre el acero y el bambu.



**Figura N° 4.4 Equipo completo para ensayo de uniones estructurales**

**Primera Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 3/8".**

Se utilizó la barra de 3/8" interiormente con ganchos en los extremos. El mortero utilizado de una relación de cemento/arena gruesa de 1 a 3. Además, se colocó un tornillo en la parte superior del brazo en el bambú vertical y uno en la base, esto con el objetivo de generar que funcione el nodo en el bambú vertical, y se colocó el otro perno en la base para hacer trabajar el bambú al corte.

En el proceso constructivo se cortaron los bambú teniendo en cuenta para el vertical una longitud de 20 cm y para el horizontal una disposición de manera que quedase un culmo entre nodos el cual sería perforado para poder pasar por el gancho que está hecho de varilla estructural 3/8 y luego atravesar un pasador que será un perno de 3/8".

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas fue:

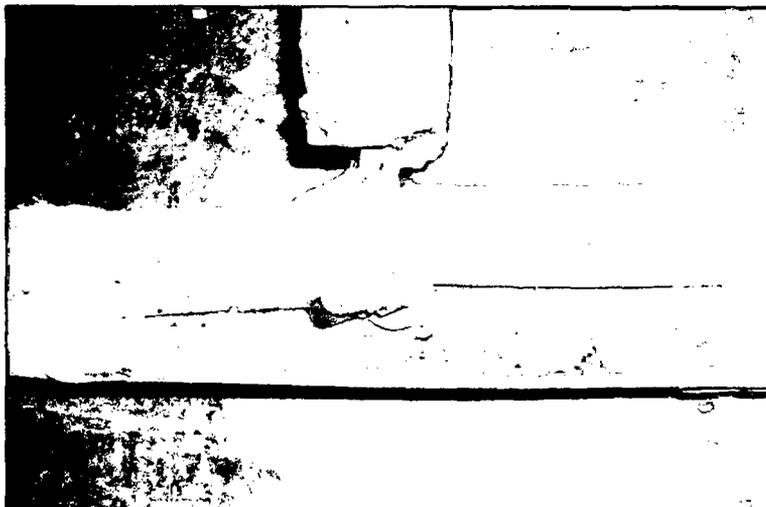
PERPENDICULARES		CARGA (kg)	
MUESTRA	EQUIVALENCIA	14 DIAS	21 DIAS
BP-1	BP-1	700.00	
BP-2	BP-2	700.00	
BP-30	BP-3	870.00	
BP-4	BP-4	980.00	
BP-40	BP-5		740.00
BP-60	BP-6		630.00
BP-70	BP-7		1100.00
BP-8	BP-8	540.00	
BP-9	BP-9		1030.00
BP-180	BP-10		670.00

**Tabla N° 4.7 Resultados de ensayos en uniones perpendiculares - primera alternativa.**

Estos resultados nos indicaron que el sistema utilizado debería ser modificado, la adherencia entre el mortero y el bambú fue menor a la esperada, así como la resistencia al corte perpendicular a la fibra. Los bambúes tanto horizontales como verticales tampoco sufrieron mayor daño al ser inspeccionados visualmente, esto nos indicaba que se deberían de hacer modificaciones importantes a la metodología de construcción de la unión.



**Figura N° 4.5 Unión perpendicular primera alternativa.**

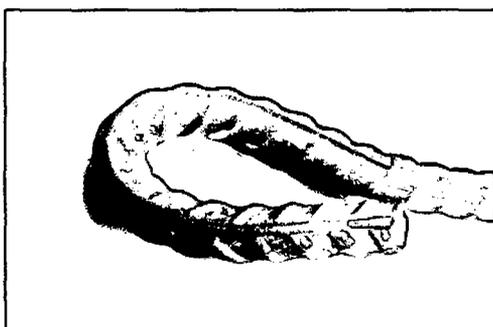


**Figura N° 4.6** Falla por corte perpendicular a la fibra, originado en el plano de falla donde se colocó el perno, la abertura del gancho inferior origina el desplazamiento del brazo en la muestra.

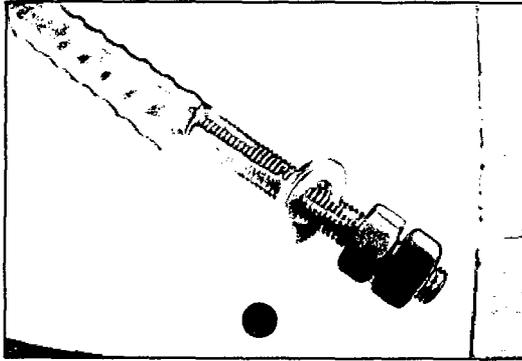
**Segunda Alternativa:** Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de 3/8" al otro extremo y pasador de 3/8".

En esta alternativa se modificaron los siguientes elementos:

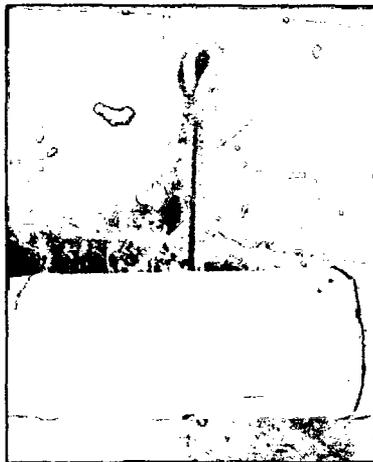
- Se cambio la vara longitudinal roscada por una de construcción de 8mm.
- Se doblo la barra en su parte superior en forma de bastón, zona por la que atravesaría el perno de 3/8 transversalmente.
- Se modifco la barra en su parte inferior, en el torno se mando realizar una rosca a medida, este proceso demando más tiempo debido ya que el torno por cada rosca tomaba en promedio 20-30 minutos.



**Figura N° 4.7** cambio realizado en el gancho para la segunda alternativa.



**Figura N° 4.8** Barra de acero interior, forma de bastón superior y rosca inferior, ambos realizados expresamente para la segunda alternativa.



Con estas modificaciones se esperaba aumentar considerablemente la resistencia a la tracción de la unión perpendicular, condición que se comprobaría al realizar los ensayos.

**Figura N° 4.9** Ensamblaje de unión, colocación de vara longitudinal y perno transversal.



**Figura N° 4.10** Unión perpendicular utilizando un perno transversal y acero longitudinal, unión lista para la prueba de tracción.

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas fue:

PERPENDICULARES	CARGA (kg)
MUESTRA	7 DIAS
BB - 1	840.00
BB - 2	680.00
BB - 3	770.00
BB - 4	560.00
BB - 5	640.00

**Tabla N° 4.8 Resultados de ensayos en uniones perpendiculares. Segunda alternativa**

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, a diferencia de la unión mortero – barra de acero, ahora el usar una barra con un bastón - rosca y además un perno transversal significa que a los siete días este obtenga la misma resistencia que a los catorce días aproximadamente. Esta vez sí se sometió a esfuerzo la unión hasta que falló el bambú completamente y la unión mortero – acero tuvo una buena adherencia.

Era de esperarse por investigaciones anteriores (Sergio Gutiérrez 2010) en este ensayo una deformación en el bambú horizontal, y que se producía un pandeo debido a la falla del mortero interior y de la consecuente falla del bambú así que se puso una pequeña plancha de metal para que esta, soporte la fuerza ejercida por el perno.

**Tercera Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 1/2".**

Se utilizó la barra de 3/8" interiormente con ganchos en los extremos. El mortero utilizado de una relación de cemento/arena gruesa de 1 a 3. Además, se colocó un tornillo en la parte superior del brazo en el bambú vertical y uno en la base, esto con el objetivo de generar que funcione el nodo en el bambú vertical, y se colocó el otro perno en la base para hacer trabajar el bambú al corte.

En el proceso constructivo se cortaron los bambú teniendo en cuenta para el vertical una longitud de 20 cm y para el horizontal una disposición de manera

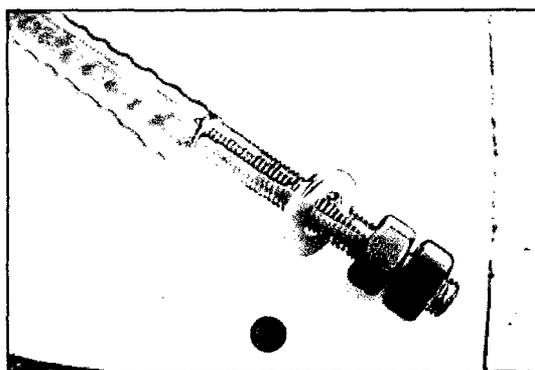
que quedase un nodo el cual sería perforado para poder pasar por el gancho que está hecho de varilla estructural 3/8 y luego atravesar un pasador que será un perno de 1/2”.

PERPENDICULARES		CARGA (kg)
ITEM	EQUIVALENCIA	7 DIAS
1	BP-1	730.00
2	BP-2	350.00
3	BP-3	450.00
4	BP-4	600.00
5	BP-5	680.00
6	BP-6	750.00
7	BP-7	700.00
8	BP-8	840.00
9	BP-9	700.00
10	BP-10	650.00

**Tabla N° 4.9 Resultados de ensayos en uniones perpendiculares – tercera alternativa.**

**Cuarta Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8” longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de 3/8” al otro extremo y pasador de 1/2”.**

Será igual que la alternativa número dos pero la única modificación que se hace en esta alternativa es que el pasador ahora será 1/2”.



**Figura N° 4.11 Barra de acero interior, forma de bastón superior y rosca inferior, ambos realizados expresamente para la segunda alternativa.**

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas fue:

PERPENDICULARES	CARGA (kg)
MUESTRA	7 DIAS
BB - 11	620.00
BB - 12	630.00
BB - 13	550.00
BB - 14	500.00
BB - 15	520.00
BB - 16	670.00
BB - 17	760.00
BB - 18	560.00
BB - 19	750.00

**Tabla N° 4.10 Resultados de ensayos en uniones perpendiculares. Cuarta alternativa**

#### 4.4 ENSAYO DE UNIONES DE ELEMENTOS DIAGONALES

**Primera Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 3/8".**

Se utilizó la barra de 3/8" interiormente con ganchos en los extremos. El mortero utilizado de una relación de cemento/arena gruesa de 1 a 3. Además, se colocó un tornillo en la parte superior del brazo en el bambú vertical y uno en la base, esto con el objetivo de generar que funcione el nodo en el bambú vertical, y se colocó el otro perno en la base para hacer trabajar el bambú al corte.

En el proceso constructivo se cortaron los bambú teniendo en cuenta para el vertical una longitud de 20 cm (la vertical formara 45° con la horizontal) y para el horizontal una disposición de manera que quedase un culmo entre nodos el cual sería perforado para poder pasar por el gancho que está hecho de varilla estructural 3/8 y luego atravesar un pasador que será un perno de 3/8".

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas fue:

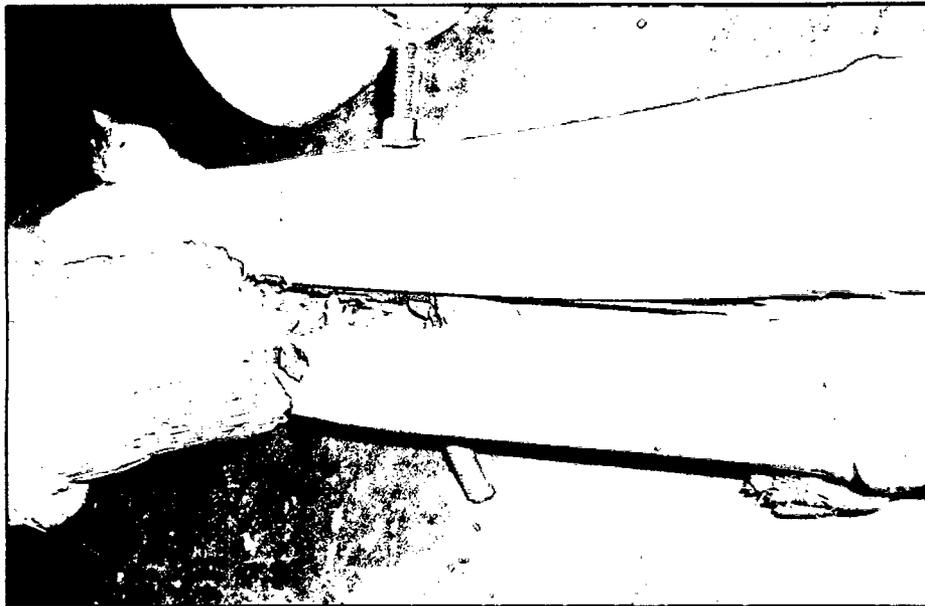
DIAGONALES		CARGA (kg)		
MUESTRA	EQUIVALENCIA	7 días	14 días	21 días
BD-1	BD-1			580.00
BD-2	BD-2			550.00
BD-3	BD-3			640.00
BD-110	BD-4	600.00		
BD-5	BD-5			1090.00
BD-6	BD-6		850.00	
BD-120	BD-7	580.00		
BD-130	BD-8	800.00		
BD-9	BD-9		830.00	
BD-200	BD-10		810.00	
	<b>MEDIA</b>	660.00	830.00	715.00
	<b>DESVIACION</b>	121.66	20.00	252.78

**Tabla N° 4.11 Resultados de ensayos en uniones diagonales – primera alternativa**

Estos resultados nos indicaron que el sistema utilizado debería ser modificado, la adherencia entre el mortero y el bambú fue menor a la esperada, así como la resistencia al corte perpendicular a la fibra. Los bambúes tanto horizontales como verticales tampoco sufrieron mayor daño al ser inspeccionados visualmente, esto nos indicaba que se deberían de hacer modificaciones importantes a la metodología de construcción de la unión.



**Figura N° 4.12 Unión diagonal**



**Figura N° 4.13 Doble interior de los ganchos y del perno, recomendación alargar la longitud de los ganchos.**

**Segunda Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 1/2".**

Se utilizó la barra de 3/8" interiormente con ganchos en los extremos. El mortero utilizado de una relación de cemento/arena gruesa de 1 a 3. Además, se colocó un tornillo en la parte superior del brazo en el bambú vertical y uno en la base, esto con el objetivo de generar que funcione el nodo en el bambú vertical, y se colocó el otro perno en la base para hacer trabajar el bambú al corte.

En el proceso constructivo se cortaron los bambú teniendo en cuenta para el vertical una longitud de 20 cm (la vertical formara 45° con la horizontal) y para el horizontal una disposición de manera que quedase un nodo el cual sería perforado para poder pasar por el gancho que está hecho de varilla estructural 3/8 y luego atravesar un pasador que será un perno de 1/2".

La resistencia obtenida al someter a tracción estas probetas fue:

DIAGONALES		CARGA (kg)
ITEM	EQUIVALENCIA	7 días
1	BD-1	330.00
2	BD-2	220.00
3	BD-3	150.00
4	BD-4	450.00
5	BD-5	430.00
6	BD-6	200.00
7	BD-7	400.00
8	BD-8	280.00
9	BD-9	480.00
10	BD-10	420.00
MEDIA		365.00
DESVIACION		117.11

**Tabla N° 4.12 Resultados de ensayos en uniones diagonales – segunda alternativa.**

**Tercera Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de 3/8" al otro extremo y pasador de 1/2".**

Se utilizó la barra de 3/8" interiormente con un gancho en uno de sus extremos y en el otro un perno de 3/8". El mortero utilizado de una relación de cemento/arena gruesa de 1 a 3. Además, se colocó un tornillo en la parte superior del brazo en el bambú vertical y uno en la base, esto con el objetivo de generar que funcione el nodo en el bambú vertical, y se colocó el otro perno en la base para hacer trabajar el bambú al corte.

En el proceso constructivo se cortaron los bambú teniendo en cuenta para el vertical una longitud de 20 cm (la vertical formara 45° con la horizontal) y para el horizontal una disposición de manera que quedase un nodo el cual sería perforado para poder pasar por el gancho que está hecho de varilla estructural 3/8 y luego atravesar un pasador que será un perno de 1/2".

<b>DIAGONALES</b>		<b>CARGA (kg)</b>
<b>ITEM</b>	<b>EQUIVALENCIA</b>	<b>7 días</b>
<b>1</b>	<b>BD-11</b>	<b>580.00</b>
<b>2</b>	<b>BD-12</b>	<b>370.00</b>
<b>3</b>	<b>BD-13</b>	<b>600.00</b>
<b>4</b>	<b>BD-14</b>	<b>630.00</b>
<b>5</b>	<b>BD-15</b>	<b>200.00</b>
<b>6</b>	<b>BD-16</b>	<b>630.00</b>
<b>7</b>	<b>BD-17</b>	<b>710.00</b>
<b>8</b>	<b>BD-18</b>	<b>600.00</b>
<b>9</b>	<b>BD-19</b>	<b>250.00</b>
<b>10</b>	<b>BD-20</b>	<b>660.00</b>
	<b>MEDIA</b>	<b>600.00</b>
	<b>DESVIACION</b>	<b>180.74</b>

**Tabla N° 4.13 Resultados de ensayos en uniones diagonales – tercera alternativa.**

## CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

### 5.1.- ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS

#### 5.1.1 Ensayo de Contenido de Humedad

El contenido de humedad obtenido estuvo en el rango de 14% a 10% para todas las pruebas excepto en los ensayos de uniones, los cuales no se tomaron, puesto que el contenido de humedad variara de acuerdo a los diferentes factores que influyen en el proceso constructivo, como por ejemplo: la cantidad de agua que se le vierte al mortero, o si le cae agua por factores externos, y más en el proceso de llenado que puede mojarse, sin embargo ya en el proceso de construcción de una unión se debe tener en cuenta si esta trabajara en ambientes con mas de 30% o en medios húmedos por los pernos y arandelas que se usaran.

La humedad del bambú en el momento que llego al laboratorio era de 14.00 %.

La humedad del bambú ensayado a compresión era de 13.95 %.

La humedad del bambú ensayado a corte era de 12.69%.

La humedad del bambú ensayado a flexión era de 10.89 %.

Todo esto se resume en la tabla 5.1

	CONTENIDO HUMEDAD
ITEM	C.H. - 0 %
INICIAL	14.00
COMPRESION	13.95
CORTE	12.69
FLEXION	10.89

**Tabla N° 5.1 Resumen de contenido de humedad.**

### 5.1.2 Ensayo de densidad

Respecto a la densidad de las muestras en las pruebas de propiedades físicas esta estuvo en el intervalo de  $457.42 \text{ kg/cm}^3$  a  $591.16 \text{ kg/m}^3$  aprox.

La densidad del bambú tuvo una densidad promedio de  $524.29 \text{ kg/m}^3$  y una desviación estándar de  $67.60 \text{ kg/m}^3$ .

### 5.1.2 Ensayo de contracción

Se hicieron dos ensayos de contracción con variación del contenido de humedad, la primera tenía el contenido de humedad natural (Contenido de humedad del material natural) la segunda se saturó el material para ver las diferencias de contracción entre estas, y el resultado de estos ensayos se muestran en las siguientes tablas:

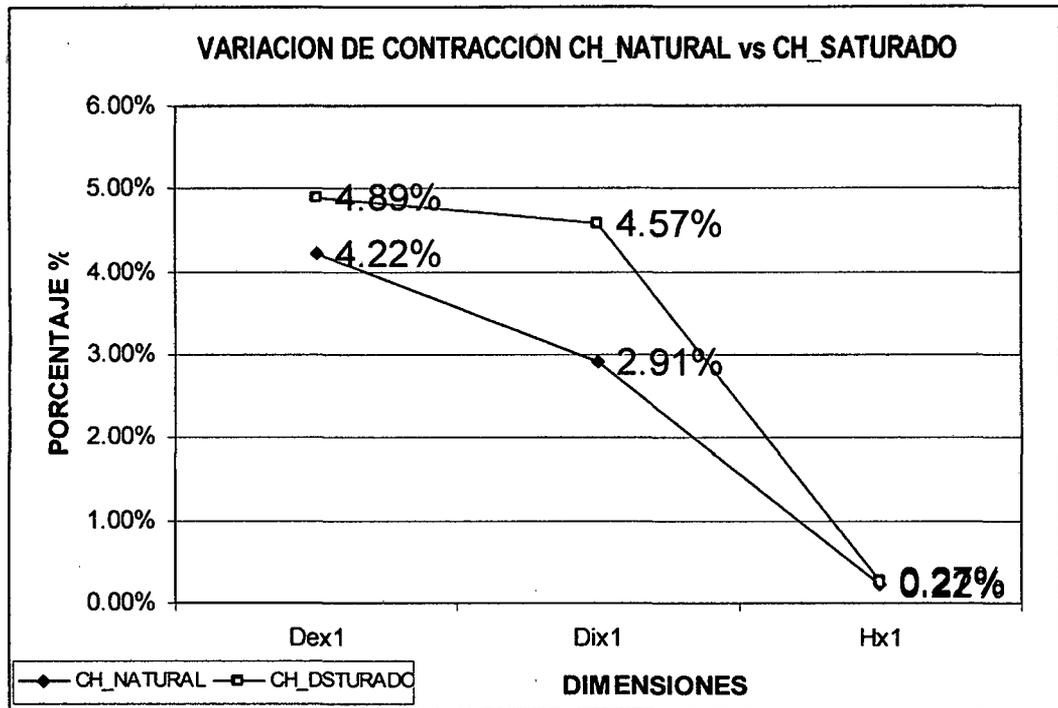
∖ Contracción/Promedios		
Dex1	Dix1	Hx1
4.222%	2.910%	0.223%
1.329%	1.255%	0.250%

**Tabla N° 5.2 Resultados de ensayos de contracción en probetas de bambú con contenido de humedad natural.**

∖ Contracción/Promedios		
Dex1	Dix1	Hx1
4.89%	4.571%	0.269%
1.212%	1.976%	0.183%

**Tabla N° 5.3 Resultados de ensayos de contracción en probetas de bambú con contenido de humedad saturado.**

Como se puede observar en el gráfico N° 5.1 hay una gran diferencia si se satura la muestra o si se trabaja con el material en medios húmedos, los cuales se pueden observar en las dimensiones radiales.



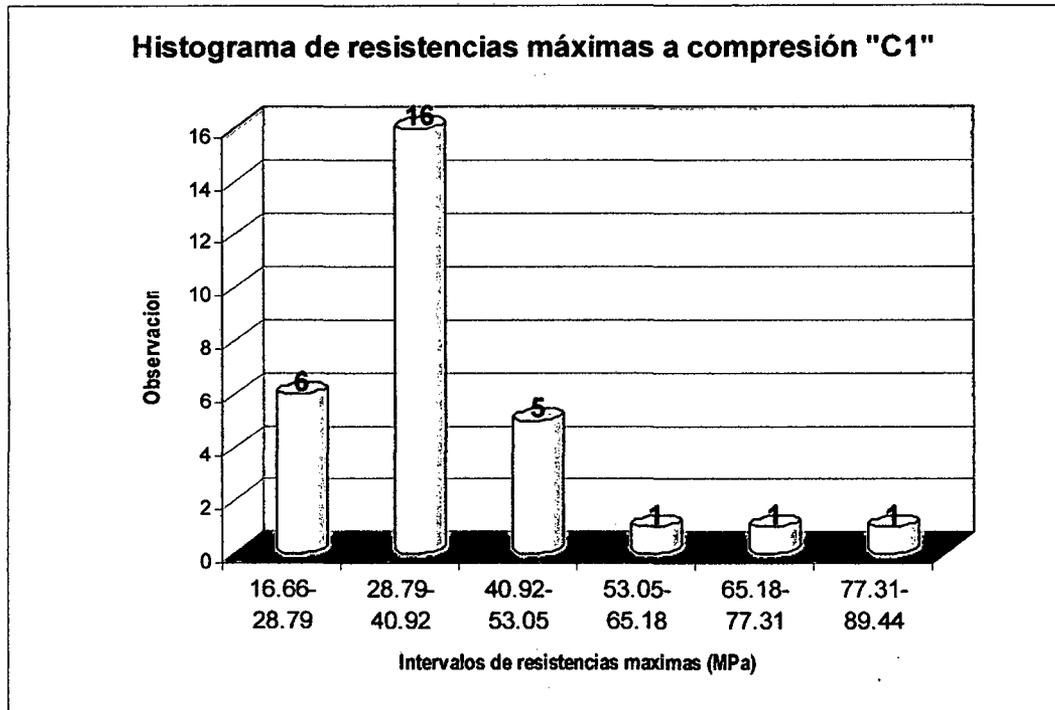
**Gráfico N° 5.1 Variación de la contracción, según el contenido de humedad en las probetas de ensayo.**

## 5.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS

### 5.2.1 Ensayo de compresión paralela a la fibra

La propuesta de normas internacionales para ensayos de bambú "Inbar standard for determination of physical and mechanical properties of Bamboo", especifican para el ensayo de compresión una altura de la probeta entre 1 y 2 veces el diámetro, para que el ensayo resulte evaluando las propiedades del material, sin que sea afectado por efectos secundarios como el pandeo.

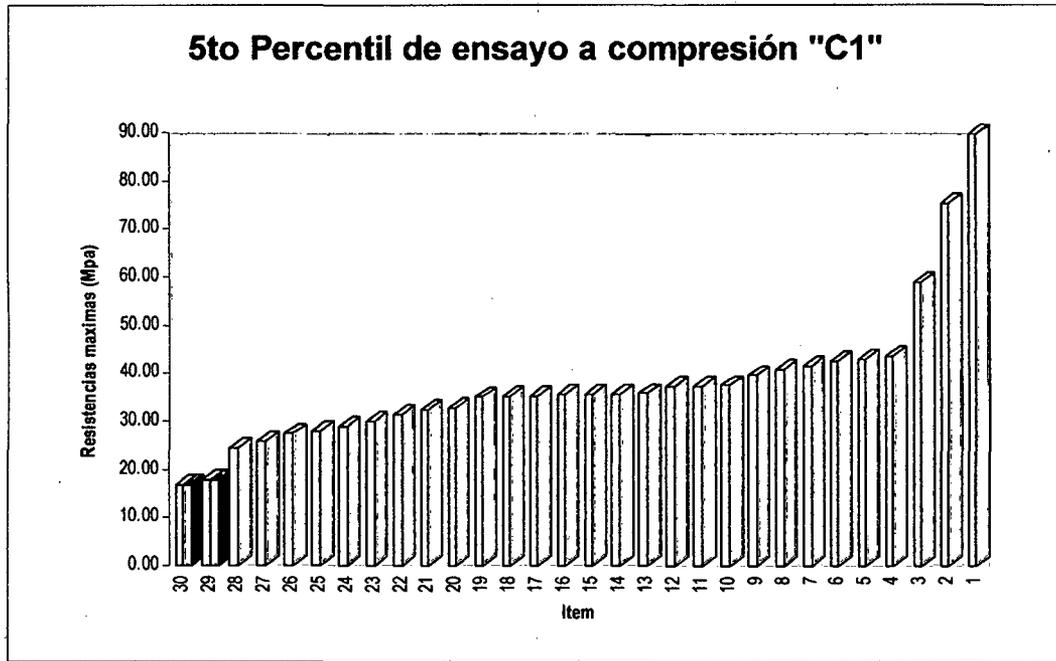
La gráfica 5.2 Y 5.4 muestra la distribución de las resistencias máximas a compresión. El comportamiento de las columnas está condicionado por la longitud de las mismas, por lo que, para hacer esta distribución se trató de dejar a un lado el problema del pandeo, las columnas largas e intermedias fueron convertidas en cortas y sus resistencias máximas a compresión convertidas en resistencias máximas para columnas equivalentes de longitud 0.10 m, mediante un procedimiento aproximado.



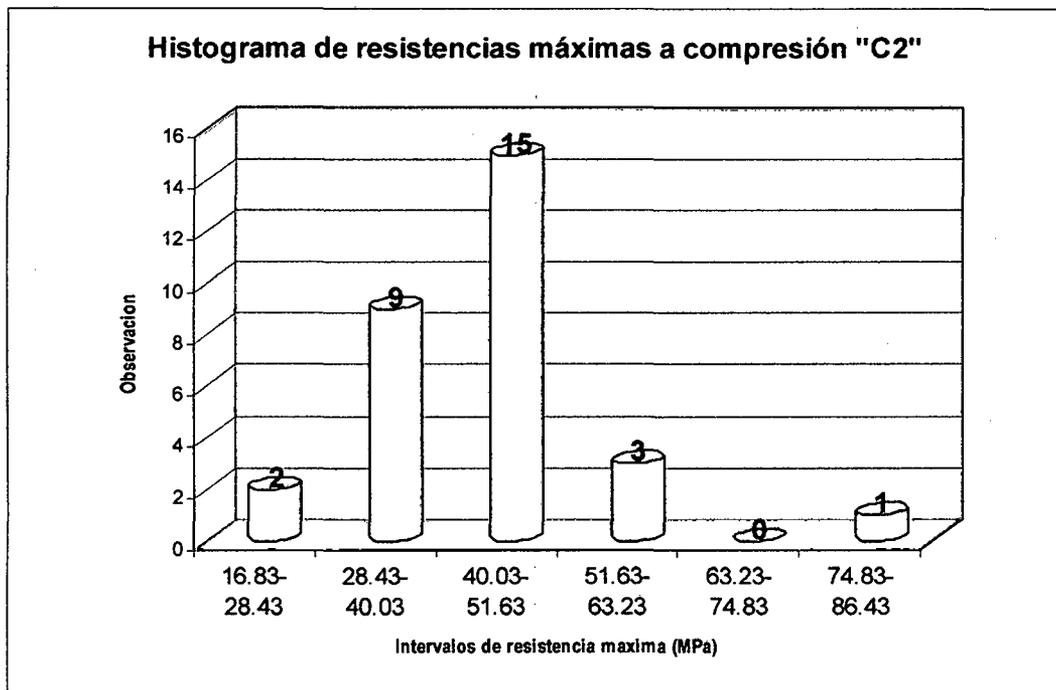
**Gráfico N° 5.2 Histogramas de resistencia máximas a compresión C1. (En la parte inferior de la las cañas).**

Respecto a la compresión paralela a las fibras de las muestras en las pruebas de propiedades mecánicas, se obtuvo para las muestras denominadas C1 que la media es de 377.94 kg/cm<sup>2</sup> o de 37.08 MPa con una desviación estándar de 147.29 kg/cm<sup>2</sup> o 14.45 MPa.

En el siguiente gráfico N° 5.3 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores de esfuerzos máximos obtenidos de los ensayos en compresión. En donde el esfuerzo 5º percentil es 245.44 kg/cm<sup>2</sup> o de 24.08 MPa



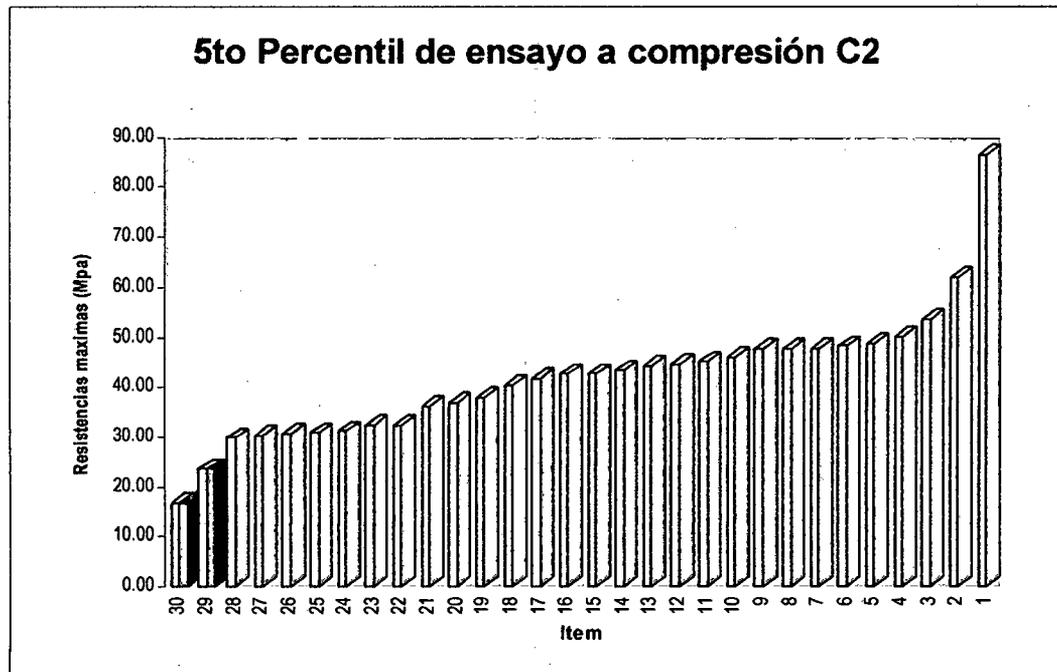
**Gráfico N° 5.3 Valor que define el límite de exclusión el esfuerzo máximo en compresión.**



**Gráfico N° 5.4 Histogramas de resistencia máximas a compresión C2. (En la parte superior de la las cañas).**

Respecto a la compresión paralela a las fibras de las muestras en las pruebas de propiedades mecánicas, se obtuvo para las muestras denominadas C2 que la media es de de 418.75 kg/cm<sup>2</sup> o de 41.08 MPa con una desviación estándar de 127.50 kg/cm<sup>2</sup> o 12.51 MPa.

En el siguiente gráfico N° 5.5 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores de esfuerzos máximos obtenidos de los ensayos en compresión. En donde el esfuerzo 5º percentil es 298.89 kg/cm<sup>2</sup> o de 29.32 MPa.



**Gráfico N° 5.5 Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en compresión.**

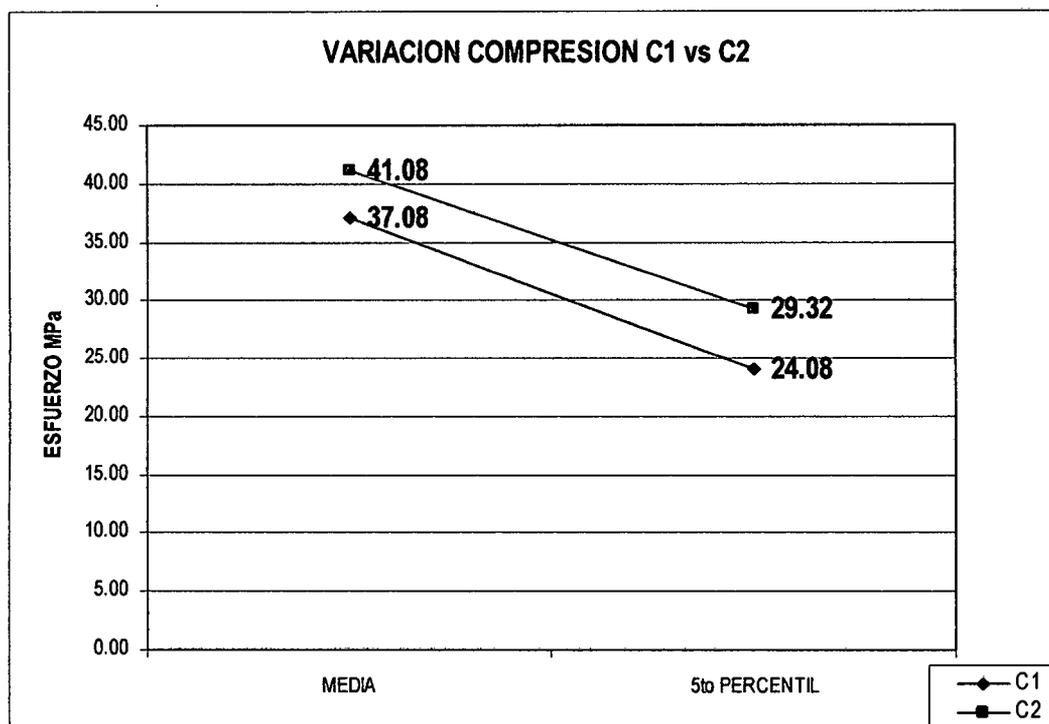


Gráfico Nº 5.6 Variación de la media y quinto percentil entre C1 y C2

### 5.2.2 Ensayo de tracción paralela a la fibra

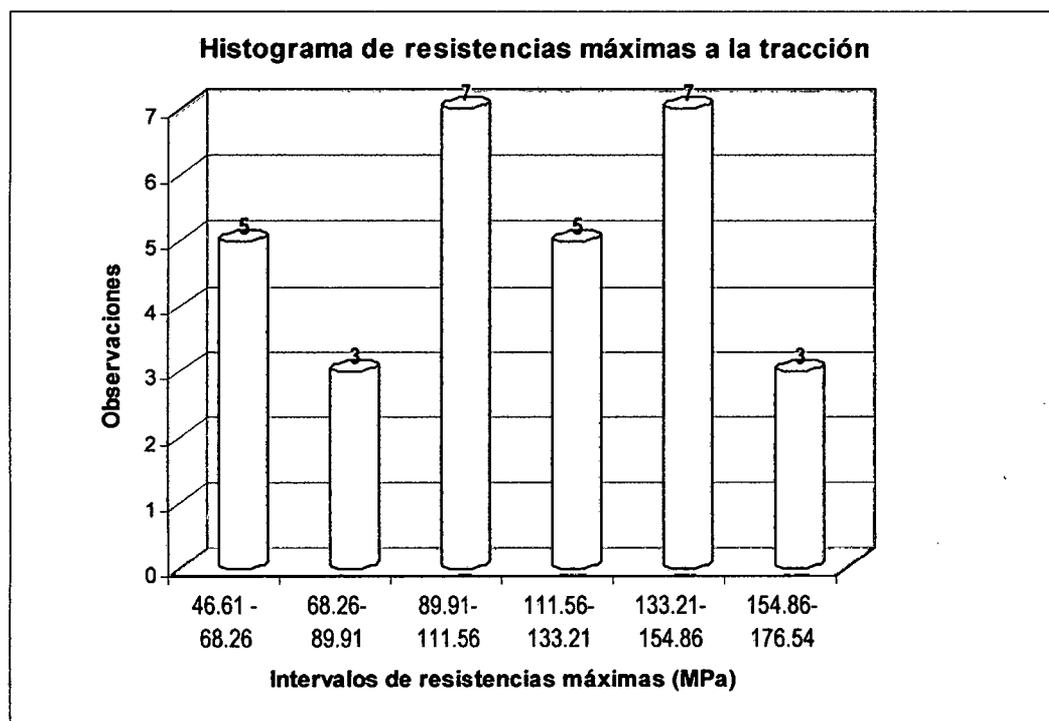
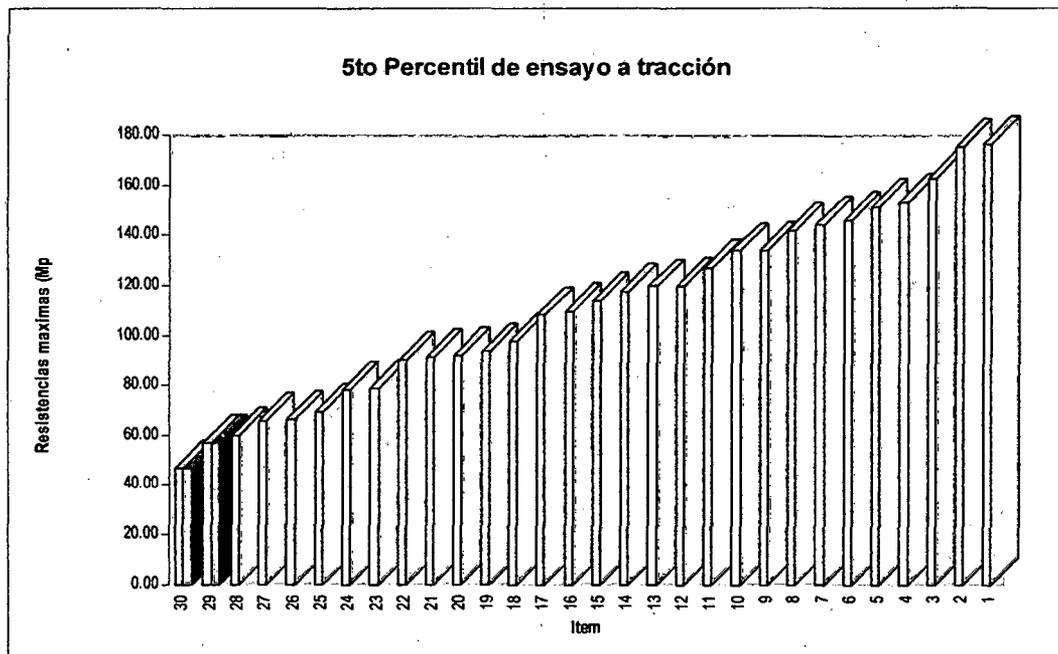


Gráfico Nº 5.7 Histograma de resistencia máxima a la tracción.

Los resultados de los ensayos de tracción se muestran en la distribución de la gráfica 5.7, los datos se agrupan alrededor de la media, 1110.99 kg/cm<sup>2</sup> o 108.99 MPa, con una desviación estándar de 365.65 kg/cm<sup>2</sup> o 35.87 MPa. Con base en este gráfico se determinará un valor de diseño para tracción.

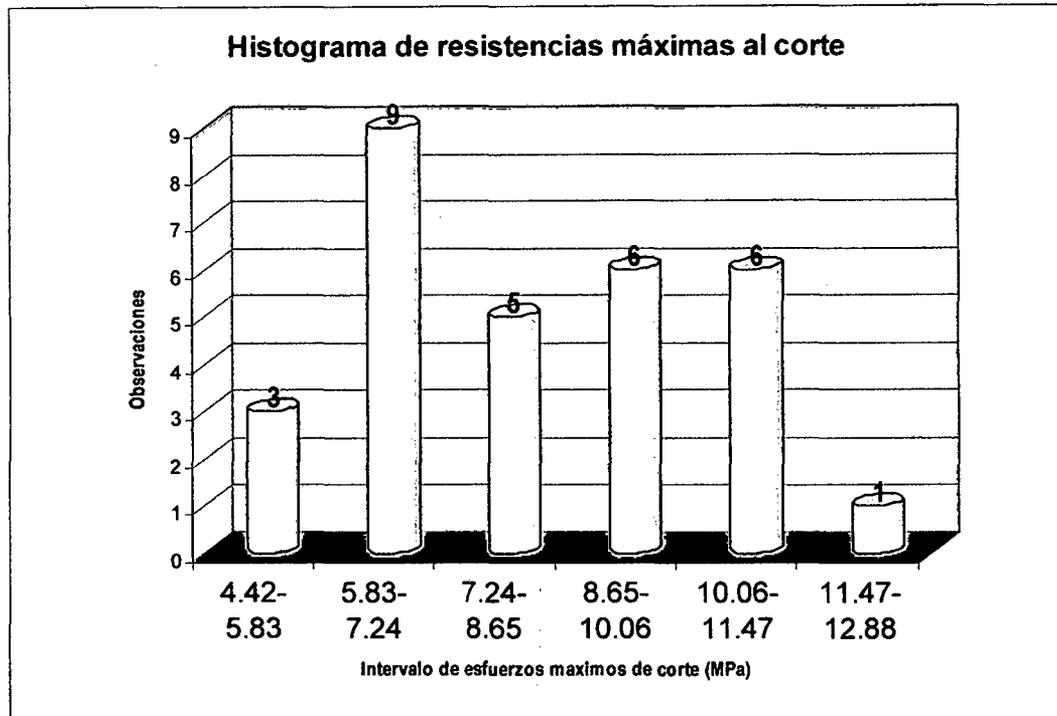
En el siguiente gráfico N° 5.8 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores de esfuerzos máximos obtenidos de los ensayos a tracción. En donde el esfuerzo 5º percentil es 598.70 kg/cm<sup>2</sup> o de 58.73 MPa.



**Gráfico N° 5.8 Valor que define el límite de exclusión del esfuerzo máximo en tracción.**

### 5.2.3 Ensayo de corte paralela a la fibra

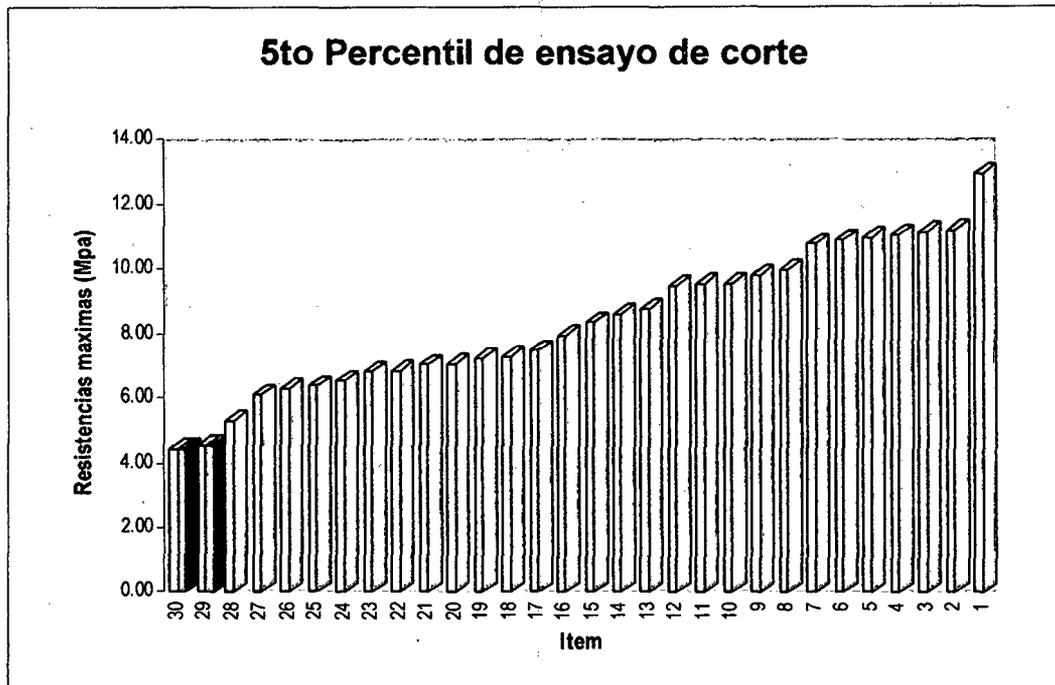
En la gráfica 5.9, se muestra la distribución de las resistencias al corte de las 30 probetas. El comportamiento es dominado por tres intervalos donde se concentran el 70% del total de las muestras.



**Gráfico N° 5.9 Histogramas de resistencia máximas a corte. (En la parte inferior de la las cañas).**

Respecto al corte la media es  $83.43 \text{ kg/cm}^2$  o  $8.18 \text{ MPa}$  y se localiza en el segundo intervalo más importante. La desviación estándar fue de  $21.92 \text{ kg/cm}^2$  o  $2.15 \text{ MPa}$  que resulta pequeña comparada con los ensayos de tracción, compresión y flexión.

En el siguiente gráfico N° 5.10 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores de esfuerzos máximos obtenidos de los ensayos en corte. En donde el esfuerzo 5º percentil es  $52.97 \text{ kg/cm}^2$  o de  $5.20 \text{ MPa}$ .



**Gráfico N° 5.10 Valor que define el límite de exclusion del esfuerzo máximo en corte.**

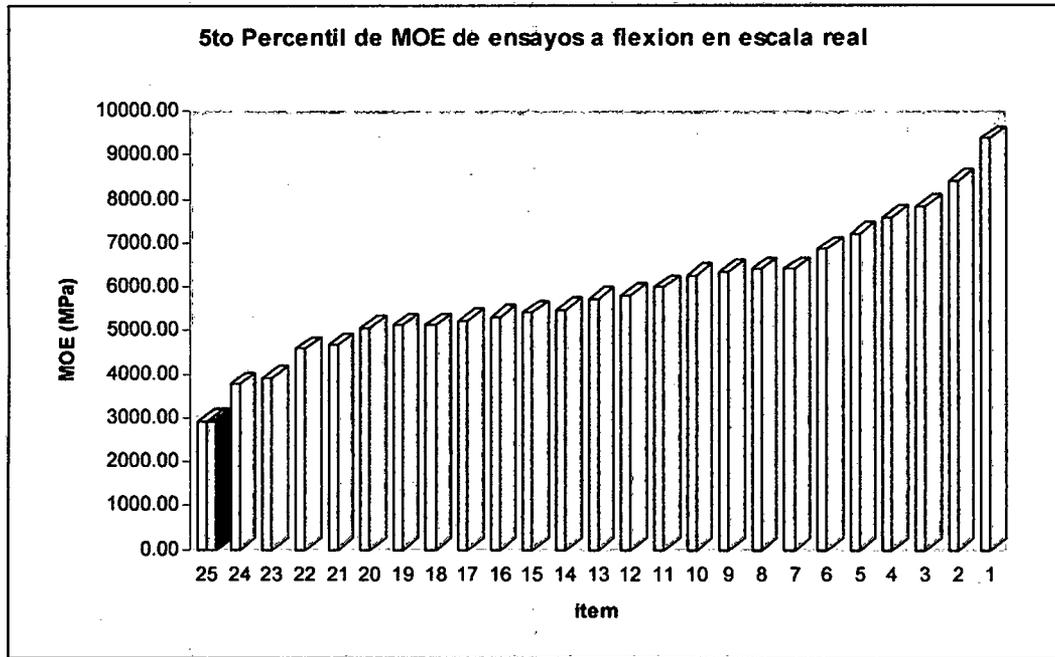
#### 5.2.4 Ensayo de flexión escala natural

Respecto a la flexión y su ELP La media es  $160.73 \text{ kg/cm}^2$  o  $15.77 \text{ MPa}$  y la desviación estándar fue de  $49.36 \text{ kg/cm}^2$  o  $4.84 \text{ MPa}$ .

Se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores del ELP obtenidos de los ensayos a flexión de vigas a escala natural. En donde el esfuerzo 5º percentil es  $101.45 \text{ kg/cm}^2$  o de  $9.95 \text{ MPa}$ .

Respecto la flexión en escala natural y su MOE, La media es  $598.41 \text{ kg/mm}^2$  o  $5870.40 \text{ MPa}$ . La desviación estándar fue de  $150.24 \text{ kg/mm}^2$  o  $1473.85 \text{ MPa}$ .

En el siguiente gráfico N° 5.11 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores del modulo de rotura obtenidos de los ensayos a flexión de vigas a escala natural. En donde el esfuerzo 5º percentil es  $382.94 \text{ kg/mm}^2$  o de  $3756.63 \text{ MPa}$ .



**Gráfico N° 5.11 Valor que define el limite de exclusión del MOE en flexión escala natural.**

### 5.2.5 Ensayo de flexión estática

En la gráfica 5.12 se muestra la distribución de las resistencias de todos los ensayos disponibles de flexión.

Se observa que los datos tienen una marcada tendencia hacia las resistencias más bajas, nuevamente se pone de manifiesto la gran dificultad que involucran los ensayos de flexión, que en la mayoría de los casos son dominados por fallas debidas a efectos locales como el aplastamiento.

De todas formas la resistencia media es  $221.94 \text{ kg/cm}^2$  o  $21.77 \text{ MPa}$ , con una desviación estándar de  $64.66 \text{ kg/cm}^2$  o  $6.34 \text{ MPa}$ .

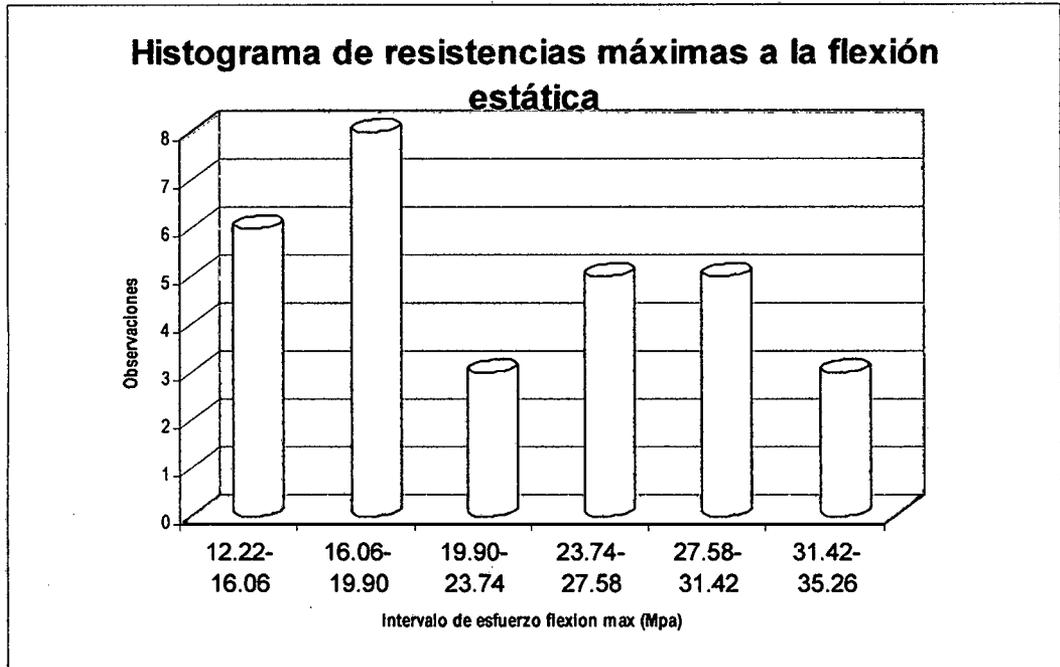


Gráfico N° 5.12 histogramas de resistencia máximas a flexión estática.

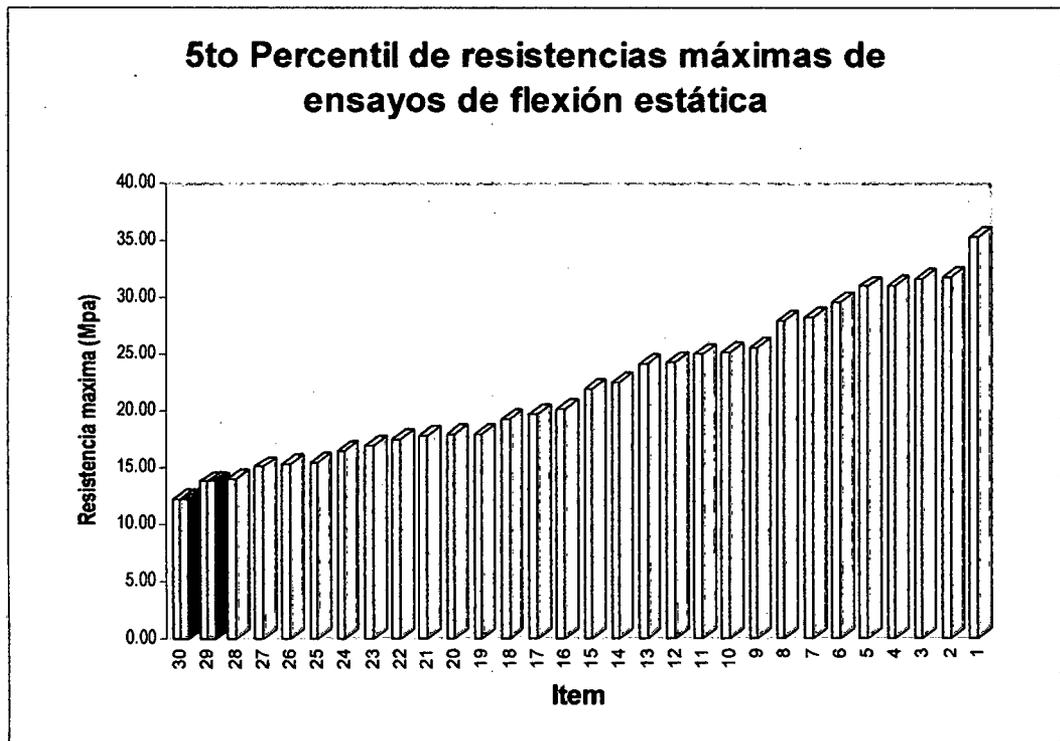
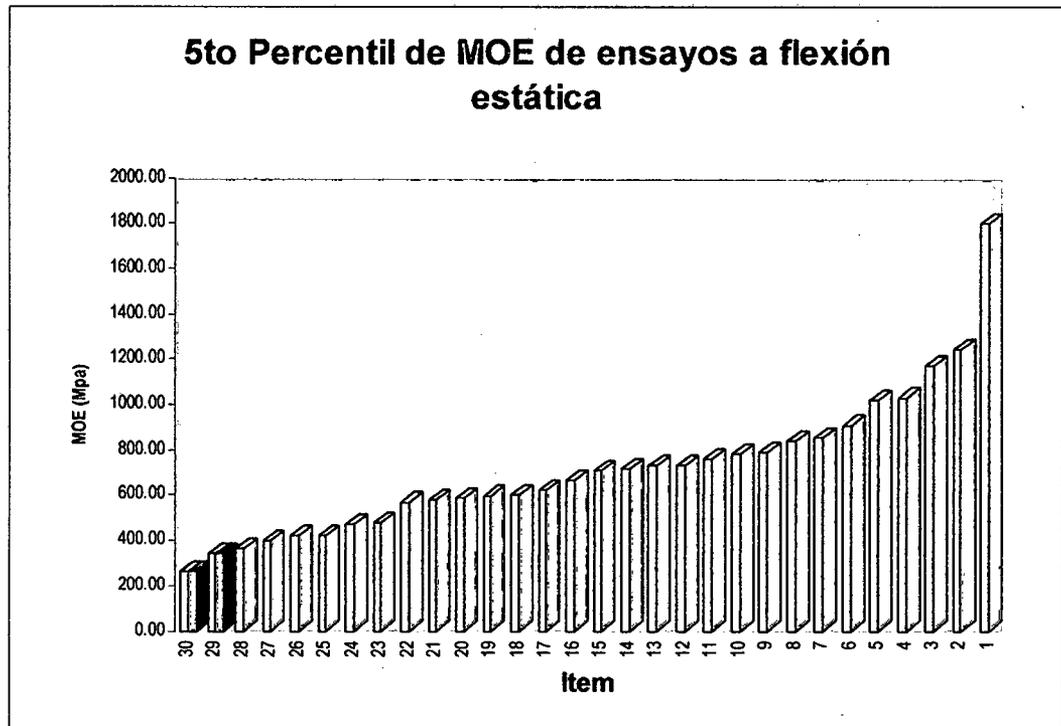


Gráfico N° 5.13 Valor que define el límite de exclusión del MOR en flexión estática.

En el gráfico N° 5.13 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores del modulo de rotura obtenidos de los ensayos a flexión estática. En donde el esfuerzo 5° percentil es 139.32 kg/cm<sup>2</sup> o de 13.67 MPa.

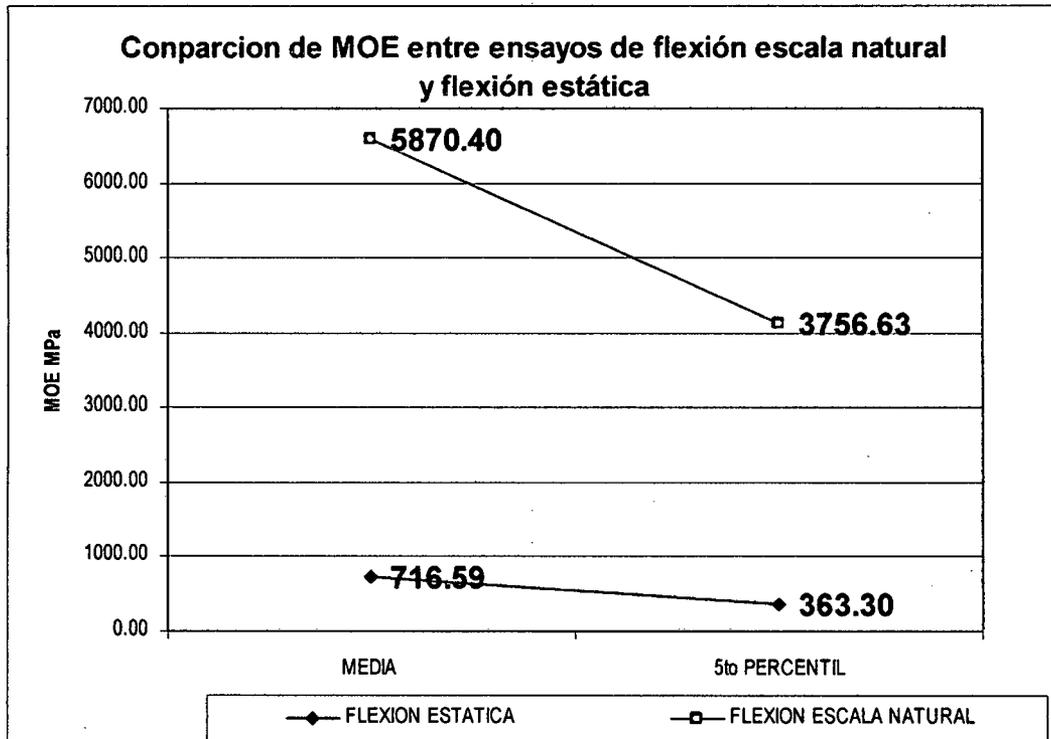
Respecto la flexión estática y su MOE La media es 71.80 kg/mm<sup>2</sup> o 704.38 MPa. La desviación estándar fue de 31.70 kg/mm<sup>2</sup> o 310.99 MPa.

En el siguiente gráfico N° 5.14 se muestra el valor que define el límite de exclusión del 5% de los valores del modulo de elasticidad obtenidos de los ensayos de flexión estática. En donde el esfuerzo 5° percentil es 36.40 kg/mm<sup>2</sup> o de 357.11 MPa.



**Gráfico N° 5.14 Valor que Define el límite de exclusión del MOE en flexión estática.**

Considerando el ELP en los ensayos de flexión estática se obtiene una media de 113.92 kg/cm<sup>2</sup> o 11.18 MPa con una desviación de 51.47 kg/cm<sup>2</sup> o 5.05 MPa



**Gráfico N° 5.15 Comparación de los Valores de MOE entre la flexión estática y la flexión en escala real.**

### 5.3 ENSAYOS A UNIONES

En esta investigación se busco demostrar la funcionalidad tanto del material utilizado (bambú) como de los materiales adicionales que se utilizaron para formar las uniones, además se trato de que tengan un proceso constructivo simple y económico.

#### 5.3.1 Uniones colineales

Se trato de buscar variaciones de métodos y accesorios mostraron la gran diferencia que se encontró dependiendo del material empleado.

En el caso de los ensayos a uniones colineales fue el uso de dos materiales; madera Eucalipto y madera Capirona.

Estos interiormente colocados, se busco uno por la facilidad de colocación, resistencia y economía. Con lo que se encontró que en resistencia las uniones mostraron igual resistencia, pero se pudo rescatar la funcionalidad que tendría la madera Capirona ya que esta se encuentra en los puntos de venta con

dimensiones ya definidas como 2"x2" de sección transversal que fue la que se utilizó y nos daría una mayor velocidad de habilitación, a diferencia de la madera Eucalipto que tiene imperfecciones y se encuentran con pequeñas curvaturas y ojos que pueden dañar la madera y hacerla menos resistente. Además este tipo de uniones tiene otras ventajas como la mayor velocidad de habilitación, al no necesitar de esperar 30 días para lograr la máxima resistencia y la posibilidad de pre fabricar los cilindros de madera Eucalipto antes de llegar al campo.

**Primera propuesta: Uso de madera Capirona – pernos transversales de 3/8 de pulgada (uno a cada extremo).**

<b>MADERA CAPIRONA</b>	
<b>MEDIA</b>	<b>572.00</b>
<b>DESVIACION</b>	<b>145.16</b>

**Tabla N° 5.4 Tabla de resultado en madera Capirona - Primera propuesta.**

**Segunda propuesta: Uso de madera Eucalipto – pernos transversales de 3/8 de pulgada (uno a cada extremo).**

<b>MADERA EUCALIPTO (kg)</b>	
<b>MEDIA</b>	<b>532.50</b>
<b>DESVIACION</b>	<b>203.04</b>

**Tabla N° 5.5 Tabla de resultado en madera Eucalipto - Segunda propuesta.**

**Tercera propuesta: Uso de madera Capirona – pernos transversales de 3/8 de pulgada (dos a cada extremo)**

<b>MADERA CAPIRONA (kg)</b>	
<b>MEDIA</b>	<b>1394.00</b>
<b>DESVIACION</b>	<b>148.59</b>

**Tabla N° 5.6 Tabla de resultado en madera Capirona - Tercera propuesta.**

**Cuarta propuesta: Uso de madera Eucalipto – pernos transversales de 3/8 de pulgada (dos a cada extremo)**

<b>MADERA EUCALIPTO (kg)</b>	
<b>MEDIA</b>	<b>1362.00</b>
<b>DESVIACION</b>	<b>222.31</b>

**Tabla N° 5.7 Tabla de resultado en madera Eucalipto - Cuarta propuesta.**

**Quinta propuesta: Uso de madera Capirona – pernos transversales de 1/2 de pulgada (uno a cada extremo)**

<b>MADERA CAPIRONA (kg)</b>	
<b>MEDIA</b>	<b>1234.00</b>
<b>DESVIACION</b>	<b>123.61</b>

**Tabla N° 5.8 Tabla de resultado en madera Capirona - Quinta propuesta.**

**Sexta propuesta: Uso de madera Eucalipto – pernos transversales de 1/2 de pulgada (uno a cada extremo)**

<b>MADERA EUCALIPTO (kg)</b>	
<b>MEDIA</b>	<b>1256.00</b>
<b>DESVIACION</b>	<b>445.23</b>

**Tabla N° 5.9 Tabla de resultado en madera Eucalipto - Sexta propuesta.**

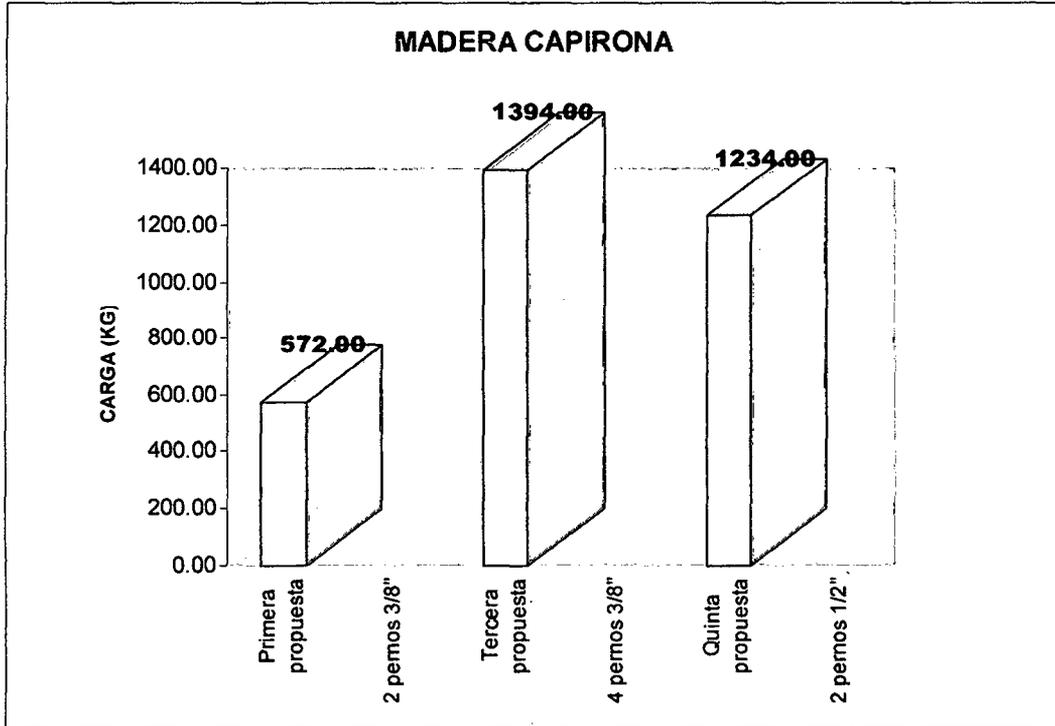


Gráfico N° 5.16 Comparación de las propuestas de uniones colineales en madera Capirona.

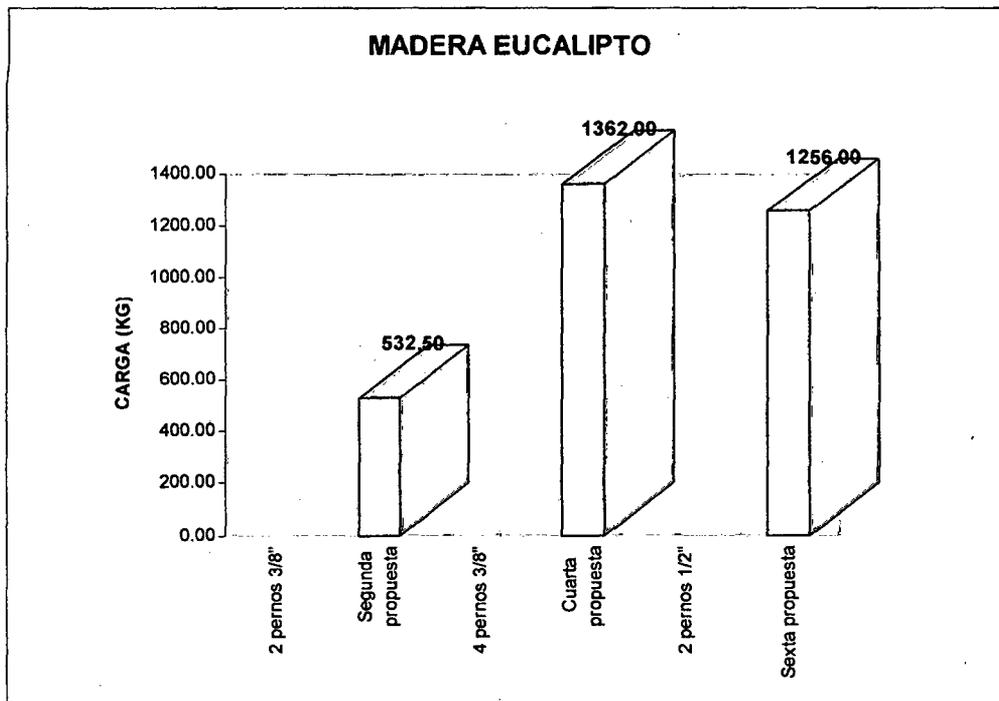
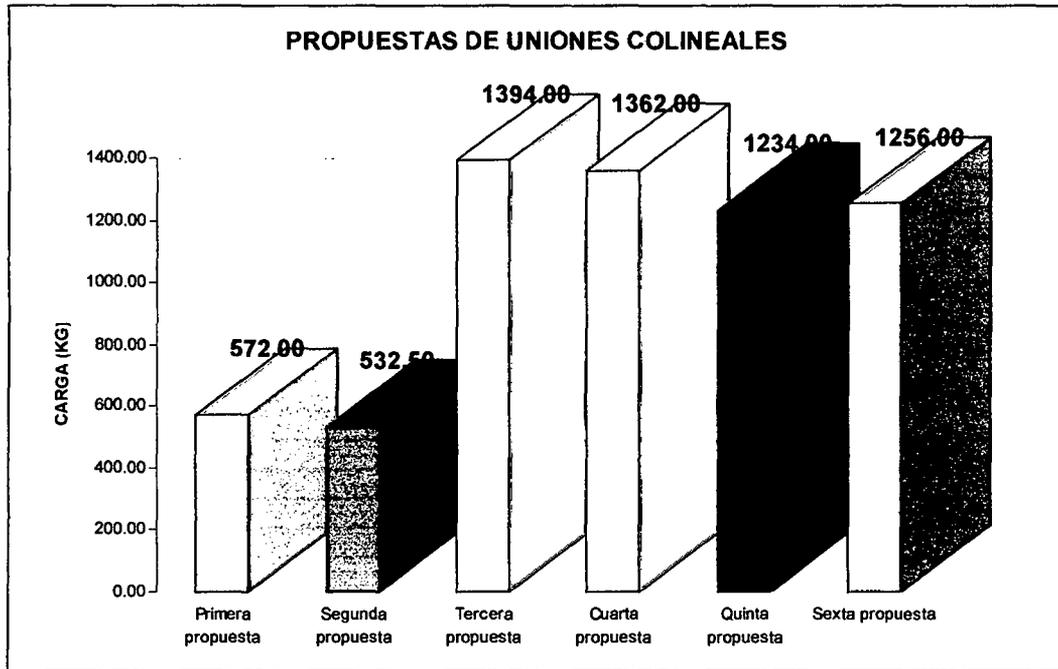


Gráfico N° 5.17 Comparación de las propuestas de uniones colineales en madera Eucalipto.



**Gráfico N° 5.18 Comparación de las propuestas de uniones colineales sin importar el tipo de madera**

### 5.3.2 Uniones perpendiculares

**Primera Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 3/8".**

En el caso de uniones perpendiculares, se propuso que en la unión trabaje netamente en el bambú, se utilizó una varilla de 3/8" doblada en los dos extremos en forma de gancho y con dos pasadores hechos de pernos de 3/8". Este tipo de unión resistía la carga administrada hasta la falla del bambú por tracción en el tramo vertical y por corte en el tramo horizontal.

PERPENDICULARES	CARGA (kg)	
	14 DIAS	21 DIAS
TIEMPO		
MEDIA	758.00	933.33
DESVIACION	170.35	230.72

**Tabla N° 5.10 Tabla de resultado en uniones perpendiculares. - primera alternativa.**

**Segunda Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de 3/8" al otro extremo y pasador de 3/8".**

En este caso de uniones perpendiculares, se propuso que en la unión trabaje el bambú y los otros materiales en conjunto, se utilizó una varilla de 3/8" doblada en uno de los extremos en forma de gancho y en el otro extremo se le unió con un perno de 3/8" mediante soldadura. Esta será sujeta con un pasador hecho de pernos de 3/8" en el gancho. Este tipo de unión resistía la carga administrada hasta la falla del bambú por tracción en el tramo vertical y por compresión en el tramo horizontal.

PERPENDICULARES	CARGA (kg)
MUESTRA	7 DIAS
MEDIA	698.00
DESVIACION	109.64

**Tabla N° 5.11 Tabla de resultado en uniones perpendiculares. - Segunda alternativa.**

**Tercera Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 1/2".**

En este caso se construyó la unión al igual que en la primera alternativa, con la variación del pasador, que cambió de 3/8" a 1/2", y de la ubicación de la unión la cual se colocó atravesando un nodo.

PERPENDICULARES	CARGA (kg)
MUESTRA	7 DIAS
MEDIA	690.00
DESVIACION	145.54

**Tabla N° 5.12 Tabla de resultado en uniones perpendiculares. – Tercera alternativa.**

**Cuarta Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de 3/8" al otro extremo y pasador de 1/2".**

En este caso se construyo la unión al igual que en la segunda alternativa, con la variación del pasador, que cambio de 3/8" a 1/2", y de la ubicación de la unión la cual se colocó atravesando un nodo.

PERPENDICULARES	CARGA (kg)
MUESTRA	7 DIAS
MEDIA	620.00
DESVIACION	94.84

**Tabla N° 5.13 Tabla de resultado en uniones perpendiculares. – Cuarta alternativa**

### 5.3.3 Uniones diagonales

**Primera Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 3/8".**

Al igual que en el caso de uniones perpendiculares, se propuso que en la unión trabaje netamente en el bambú, se utilizó una varilla de 3/8" doblada en los dos extremos en forma de gancho y con dos pasadores hechos de pernos de 3/8". Este tipo de unión resistía la carga administrada hasta la falla del bambú por tracción en el tramo vertical y por corte en el tramo horizontal.

DIAGONALES	CARGA (kg)		
TIEMPO	7	14	21
MEDIA	660.00	830.00	715.00
DESVIACION	121.66	20.00	252.78

**Tabla N° 5.14 tabla de resultado en uniones diagonales – primera alternativa**

Se puede observar que según los resultados mostrados la resistencia a los 21 días disminuyo en promedio, esto es posible debido a la colocación del gancho en la base (cóncavo hacia arriba o hacia abajo) y al alineamiento que puede

existir entre el brazo de la muestra y la fuerza, que puede provocar la abertura de los ganchos haciendo que al resistencia de las uniones disminuya.

**Segunda Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 1/2".**

En este caso se construyo la unión al igual que en la primera alternativa, con la variación del pasador, que cambio de 3/8" a 1/2". Y con la ubicación de la unión que en este caso ya no fue en el medio del entrenodo, sino se ubico en el nodo.

DIAGONALES	CARGA (kg)
MUESTRA	7 DIAS
MEDIA	365.00
DESVIACION	117.11

**Tabla N° 5.15 tabla de resultado en uniones diagonales – segunda alternativa**

**Tercera Alternativa: Uso de mortero, barra de 3/8" longitudinal con un gancho a su extremo y un perno de 3/8" al otro extremo y pasador de 1/2".**

En este caso se construyo la unión con un perno pasante, como se hizo en las uniones perpendiculares, con la variación del pasador que cambio de 3/8" a 1/2". Y con la ubicación de la unión que en este caso ya no fue en el medio del entrenodo, sino se ubico en el nodo.

DIAGONALES	CARGA (kg)
MUESTRA	7 DIAS
MEDIA	600.00
DESVIACION	180.74

**Tabla N° 5.16 tabla de resultado en uniones diagonales – tercera alternativa**

#### 5.4.- TABLAS DE RESUMEN FINAL DE DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

**BOSQUE BLANCO : FLOR DEL VALLE**

**Distrito : Rioja**

**Provincia : Rioja**

**Departamento : San Martín**

**Tabla N° 5.17 Resumen de resultados de ensayos propiedades mecánicas “Promedio”.**

	<u>ENSAYOS</u>							
	TRACCION	CORTE	COMPRESION C1	COMPRESION C2	FLEXION ESCALA REAL		FLEXION ESTATICA	
	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	ELP (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/mm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/mm <sup>2</sup> )			
<b>BOSQUE BLANCO</b>	<b>1110.99</b>	<b>83.43</b>	<b>377.94</b>	<b>418.75</b>	<b>160.73</b>	<b>598.41</b>	<b>221.94</b>	<b>71.80</b>
<b>MPa.</b>	<b>108.99</b>	<b>8.18</b>	<b>37.08</b>	<b>41.08</b>	<b>15.77</b>	<b>5870.40</b>	<b>21.77</b>	<b>704.38</b>

**Tabla N° 5.18 Resumen de resultados de ensayos propiedades mecánicas “Desviación Estándar”.**

	<u>ENSAYOS</u>							
	TRACCION	CORTE	COMPRESION C1	COMPRESION C2	FLEXION ESCALA REAL		FLEXION ESTATICA	
	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FLP (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/mm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/mm <sup>2</sup> )			
<b>BOSQUE BLANCO</b>	<b>365.65</b>	<b>21.92</b>	<b>147.29</b>	<b>127.5</b>	<b>49.36</b>	<b>150.24</b>	<b>64.66</b>	<b>31.70</b>
<b>MPa.</b>	<b>35.87</b>	<b>2.15</b>	<b>14.45</b>	<b>12.51</b>	<b>4.84</b>	<b>1473.85</b>	<b>6.34</b>	<b>310.98</b>

**Tabla N° 5.19 Resumen de resultados de ensayos propiedades mecánicas “Quinto Percentil”.**

	<u>ENSAYOS</u>							
	TRACCION	CORTE	COMPRESION C1	COMPRESION C2	FLEXION ESCALA REAL		FLEXION ESTATICA	
	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FLP (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/mm <sup>2</sup> )	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/mm <sup>2</sup> )			
<b>BOSQUE BLANCO</b>	<b>598.70</b>	<b>52.97</b>	<b>245.44</b>	<b>298.89</b>	<b>101.45</b>	<b>382.94</b>	<b>139.32</b>	<b>36.40</b>
<b>MPa.</b>	<b>58.73</b>	<b>5.20</b>	<b>24.08</b>	<b>29.32</b>	<b>9.95</b>	<b>3756.63</b>	<b>13.68</b>	<b>357.08</b>

**Tabla N° 5.20 Comparación con otras investigaciones “Promedio”.**

	ENSAYOS					
	TRACCION	CORTE	COMPRESION	FLEXION ESCALA NATURAL	FLEXION ESTATICA	FLEXION ESTATICA
	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/mm <sup>2</sup> )	MOR Mpa	E (kg/mm <sup>2</sup> )
BOSQUE ROJO	1216.69	72.39	379	538.50	31.52	137.3
BOSQUE BLANCO	1110.99	83.43	378	598.41	21.77	71.80
SERGIO GUTIERREZ	1097.76	65.24	467	-	.	-
LOPEZ Y TRUJILLO	545.46	70.03	486	1152	.	662

**NOTA:**

Bosque blanco es la investigación actual y bosque rojo es la investigación del bosque: Aramango, distrito: Aramango, provincia: Bagua, departamento. Amazonas.

Sergio Gutierrez (tesis: Uniones estructurales - UNI 2010), López y Trujillo (Diseño de uniones y elementos estructurales de guadua).

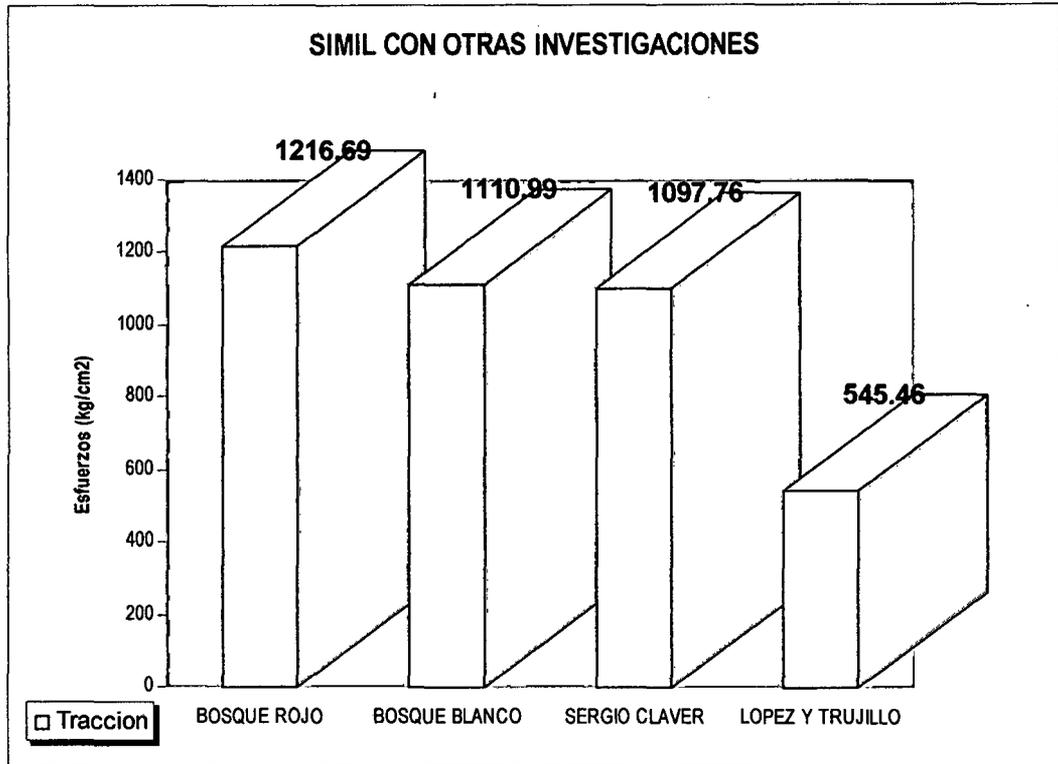


Gráfico N° 5.19 Símil con otras investigaciones en ensayos de tracción. – promedio.

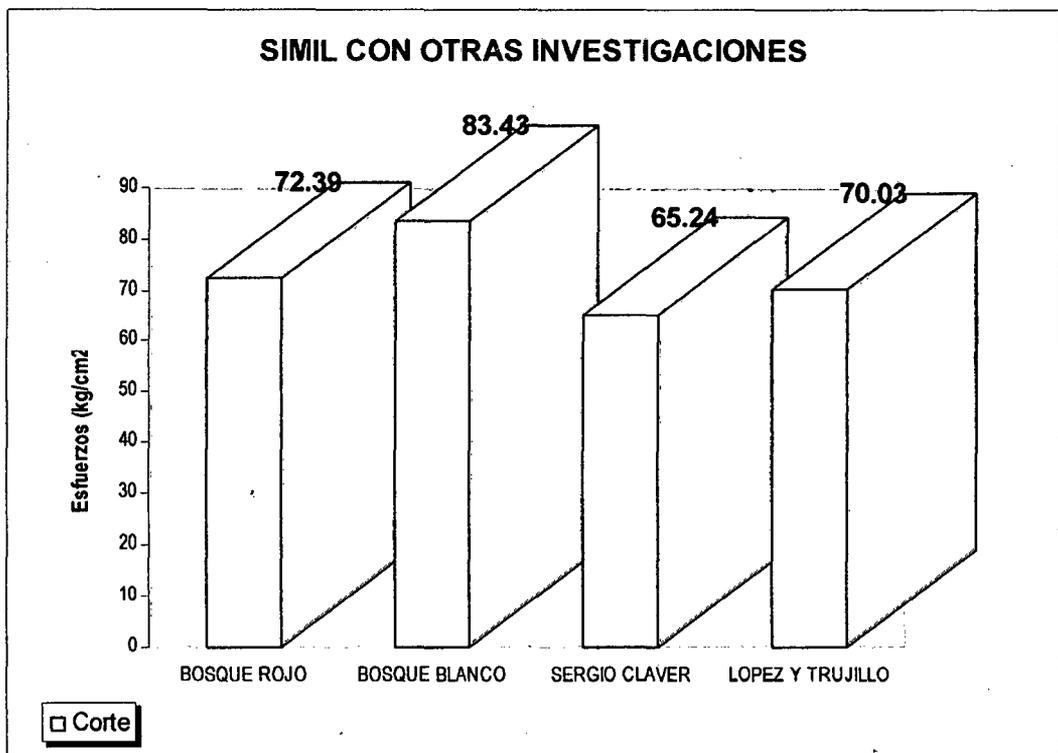
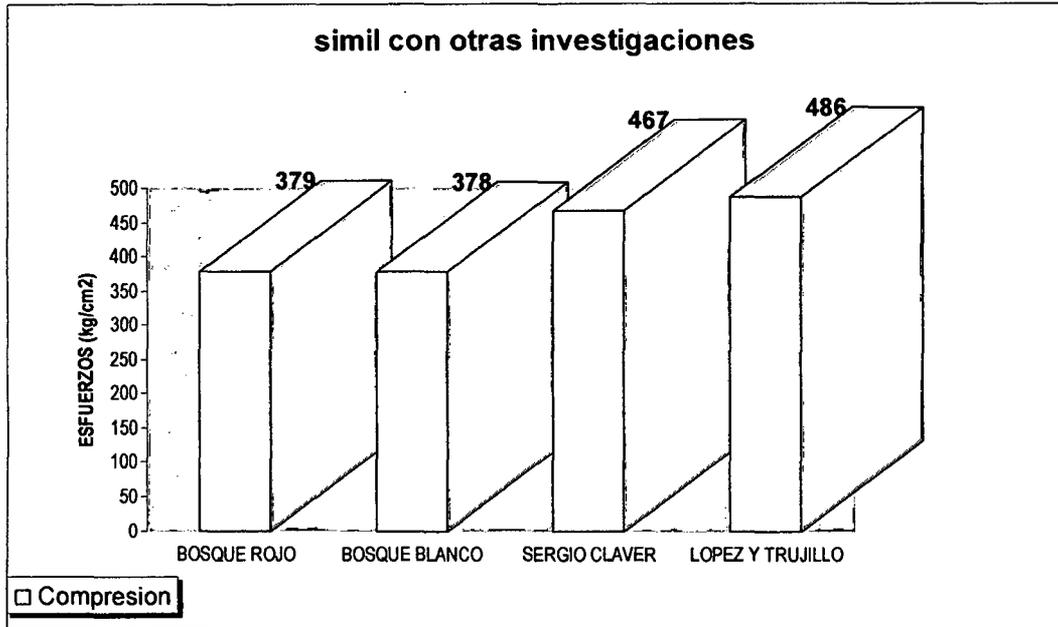
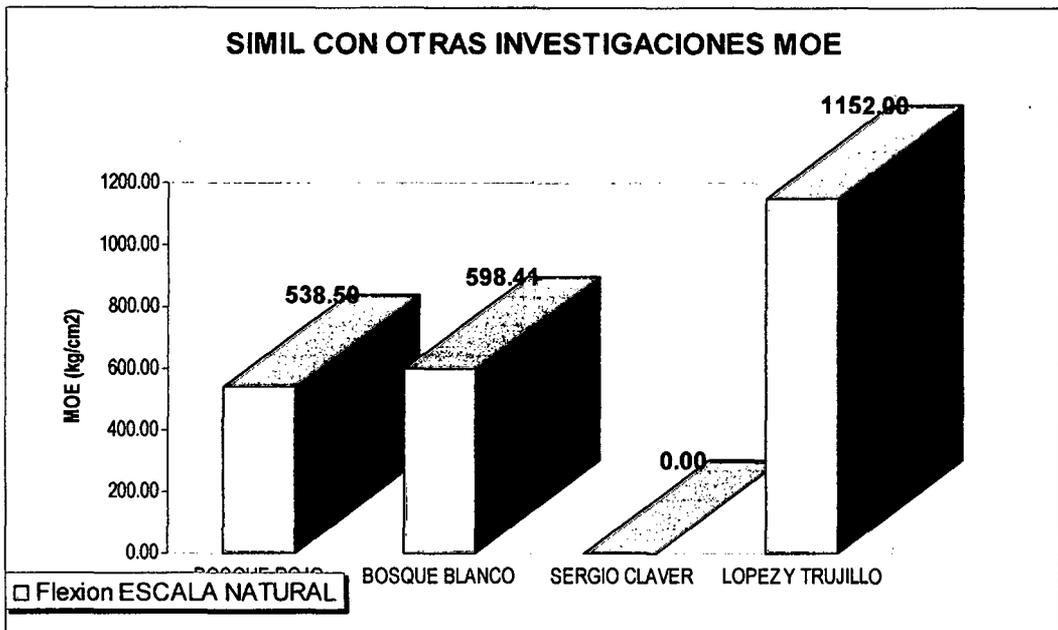


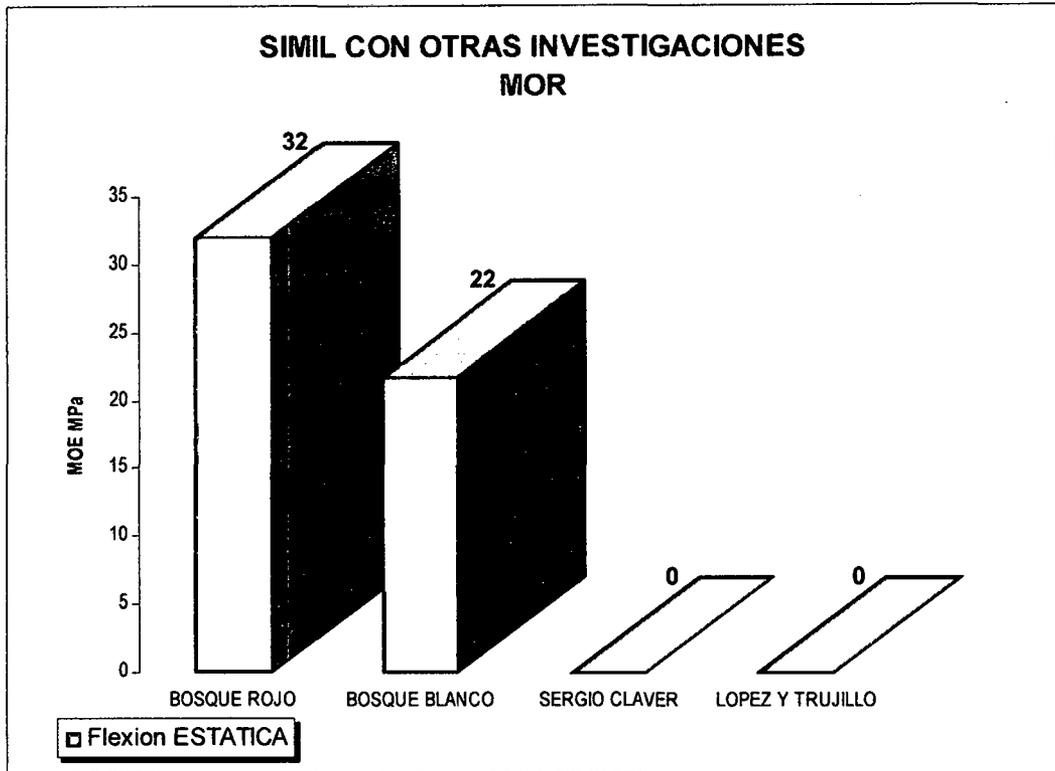
Gráfico N° 5.20 Símil con otras investigaciones en ensayos de corte. – promedio.



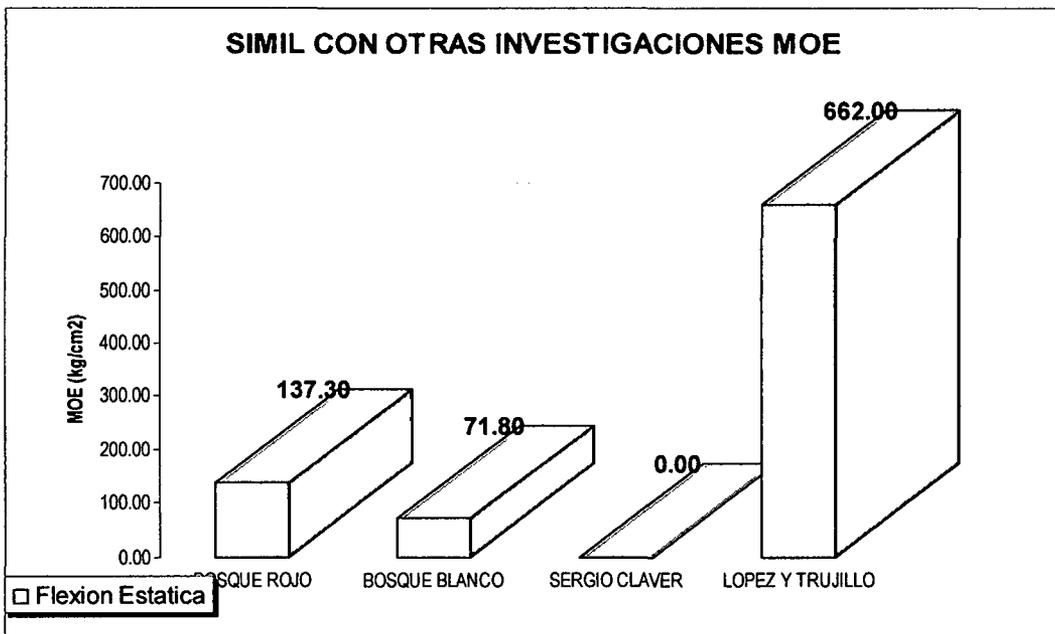
**Gráfico N° 5.21** Símil con otras investigaciones en ensayos de compresión. – promedio.



**Gráfico N° 5.22** Símil de MOE con otras investigaciones en ensayos de flexión escala natural. – promedio.



**Gráfico N° 5.23** Símil de MOR con otras investigaciones en ensayos de flexión estática.



**Gráfico N° 5.24** Símil de MOE con otras investigaciones en ensayos de flexión estática.

Tabla N° 5.21 Resumen de resultados de ensayos en uniones estructurales "Promedio"- Bosque Blanco. – primera alternativa.

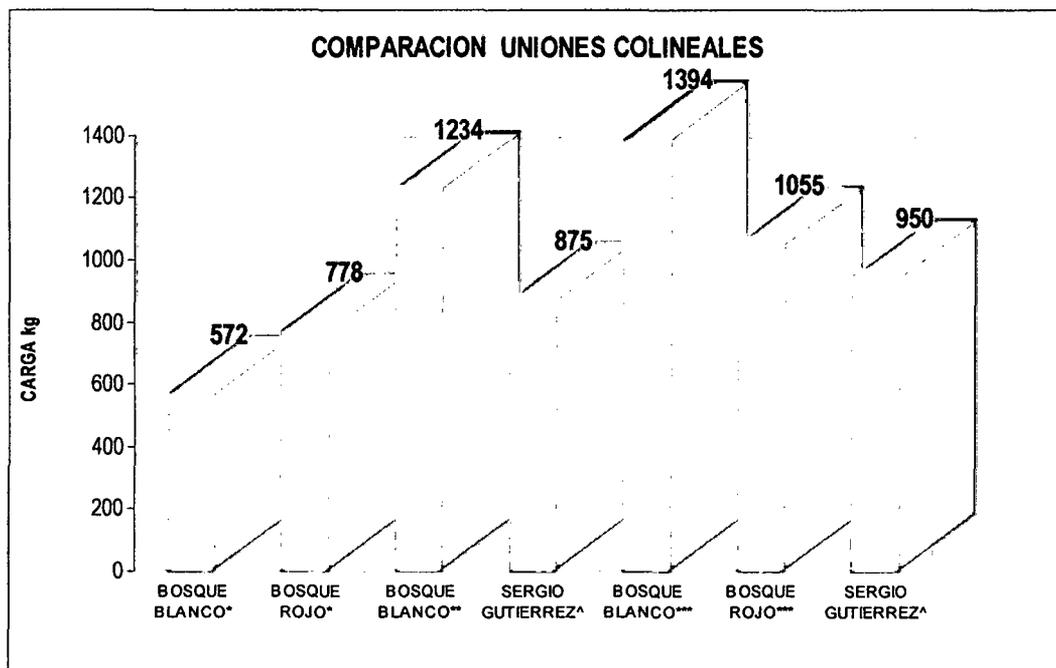
BOSQUE BLANCO	UNIONES								
	COLINEALES		PERPENDICULARES			DIAGONALES			PERP. 2DA PROPUESTA
	M. EUCALIPTO	M. CAPIRONA	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	7 DIAS
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
PROMEDIO	533	572	-	758	933	660	830	715	698
DESVIACION	203	145	-	170	231	122	20	253	110

Tabla N° 5.22 Resumen de resultados de ensayos en uniones estructurales "Promedio"- Bosque Rojo. - primera alternativa.

BOSQUE ROJO	UNIONES								
	COLINEALES		PERPENDICULARES			DIAGONALES			PERP. 2DA PROPUESTA
	M. EUCALIPTO	M. CAPIRONA	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	7 DIAS
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
PROMEDIO	800	778	570	650	865	865	660	650	816
DESVIACION	152	161	92	83	21	184	269	60	110

**Tabla N° 5.23 Uniones colineales con otras investigaciones y símiles.**

<b>UNIONES COLINEALES</b>		
<b>INVESTIGACION</b>	<b>CARGA (kg)</b>	<b>ACCESORIO</b>
BOSQUE BLANCO*	572	1 perno de 3/8 en cada extremo.
BOSQUE ROJO*	778	1 perno de 3/8 en cada extremo.
BOSQUE BLANCO**	1234	1 perno de 1/2 en cada extremo.
SERGIO GUTIÉRREZ	875	1 perno de 1/2 en cada extremo.
BOSQUE BLANCO***	1394	2 pernos de 3/8 en cada extremo sin arandelas.
BOSQUE ROJO***	1055	2 pernos de 3/8 en cada extremo sin arandelas.
SERGIO GUTIÉRREZ	950	2 pernos de 1/2 en cada extremo sin arandelas.



**Gráfico N° 5.25 Comparación uniones colineales con otras investigaciones.**

\* Primera propuesta, cinco muestras ensayadas.

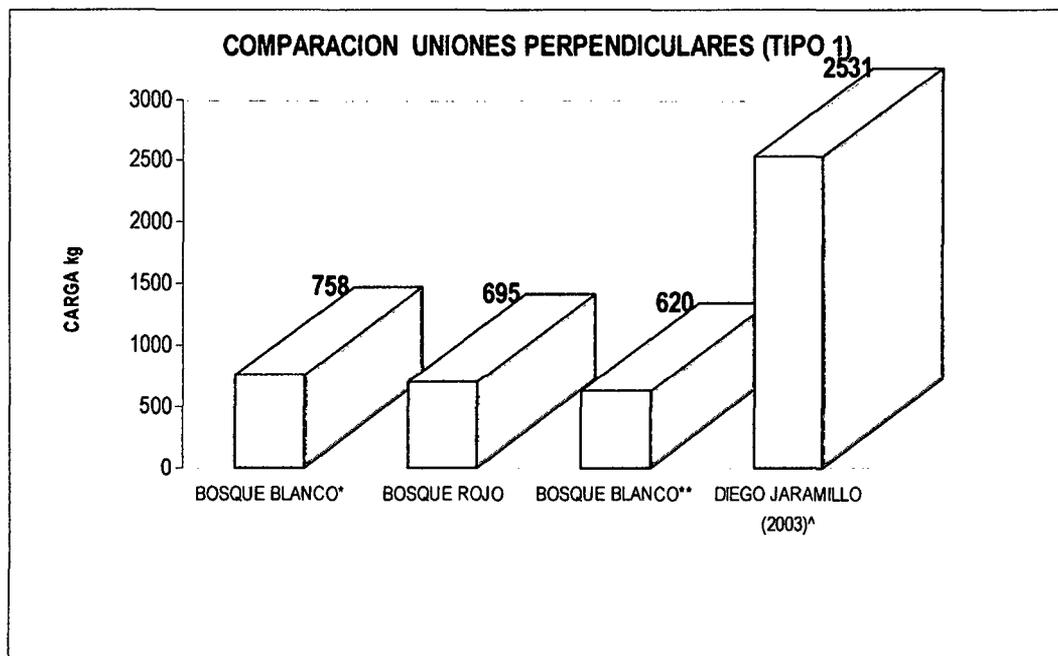
\*\* Quinta propuesta, cinco muestras ensayadas, en estas muestras los agujeros se hicieron con mayor diámetro del perno.

\*\*\* Tercera propuesta, cinco muestras ensayadas.

^ Sergio Gutiérrez, Uniones Estructurales Con Bambú (*Guadua Angustifolia*), 2010, Lima.

**Tabla N° 5.24 Uniones perpendiculares (tipo 1) con otras investigaciones y similares.**

<b>UNIONES PERPENDICULARES TIPO 1</b>		
<b>INVESTIGACION</b>	<b>CARGA (kg)</b>	<b>ACCESORIO</b>
BOSQUE BLANCO*	758	2 Pasador de 3/8, ganchos longitudinal, mortero.
BOSQUE ROJO	695	2 Pasador de 3/8, ganchos longitudinal, mortero.
BOSQUE BLANCO**	620	2 Pasador de 1/2, ganchos longitudinal, mortero.
DIEGO JARAMILLO (2003)^	2531	2 Pasador de 3/8, ganchos longitudinal, mortero.



**Gráfico N° 5.26 Comparación uniones perpendiculares con otras investigaciones (tipo 1).**

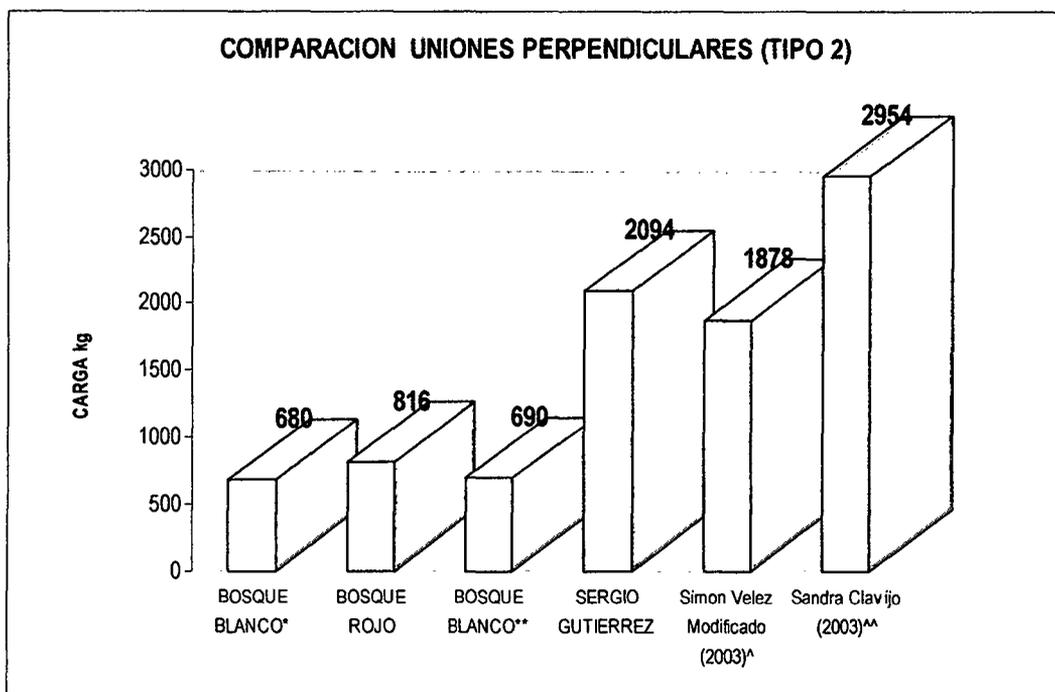
\* Primera alternativa, cinco muestras ensayadas, valor a los 14 días. Cinco muestras dieron 933 kg a los 21 días.

\*\* Tercera alternativa, nueve muestras ensayadas a los 7 días.

^ Gancho longitudinal en forma de s, espesor de la guadua de casi 2cm, se desconoce el tiempo de ensayo del concreto.

**Tabla N° 5.25 Uniones perpendiculares (tipo 2) con otras investigaciones y similares.**

<b>UNIONES PERPENDICULARES TIPO 2</b>		
<b>INVESTIGACION</b>	<b>CARGA (kg)</b>	<b>ACCESORIO</b>
BOSQUE BLANCO*	680	Pasador de 3/8 perno longitudinal y mortero
BOSQUE ROJO	816	Pasador de 3/8 perno longitudinal y mortero
BOSQUE BLANCO**	690	Pasador de 1/2, perno longitudinal y mortero
SERGIO GUTIERREZ	2094	Pasador de 1/2, perno longitudinal y mortero
Simon Velez Modificado (2003)^	1878	Perno Longitudinal y Mortero
Sandra Clavijo (2003)^^	2954	Lamina de acero alrededor y tornillos



**Gráfico N° 5.27 Comparación uniones perpendiculares con otras investigaciones (tipo 2).**

\* Segunda alternativa, cinco muestras ensayadas.

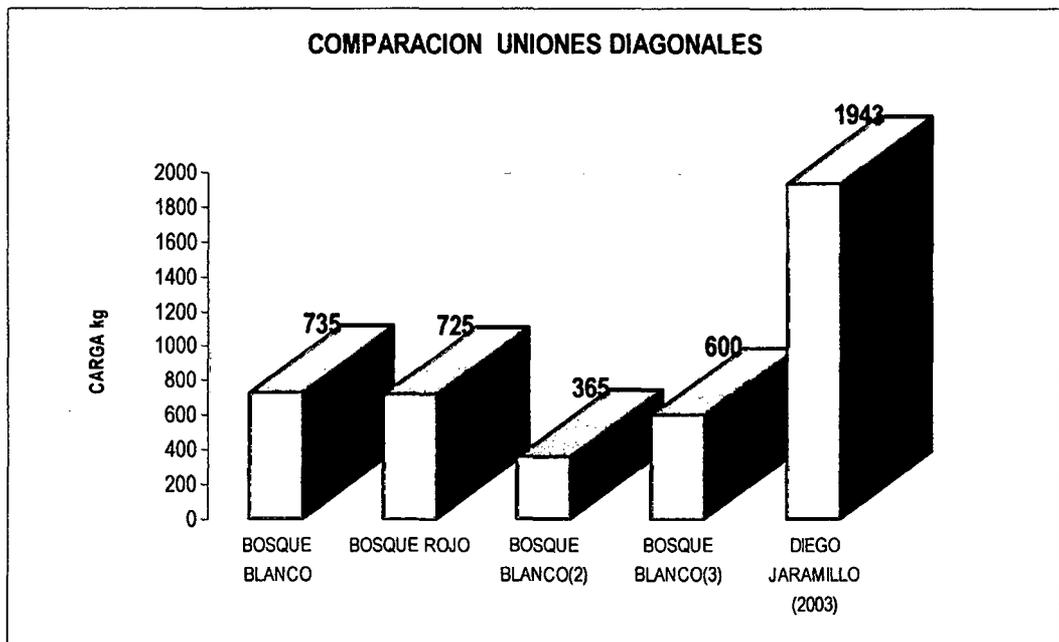
\* Cuarta alternativa, diez muestras ensayadas a los 7 días.

^ Simon velez utilizó una varilla roscada de 5/8", utilizó 4 muestras y se desconoce el tiempo de ensayo con el concreto

^^ Sandra clavijo utilizó laminas de acero, se desconoce el tiempo de ensayo con el concreto.

**Tabla 5.26 Uniones diagonales con otras investigaciones y similares.**

<b>UNIONES DIAGONALES</b>		
<b>INVESTIGACION</b>	<b>CARGA (kg)</b>	<b>ACCESORIO</b>
BOSQUE BLANCO*	660	2 Pasador de 3/8 gancho longitudinal y mortero
BOSQUE ROJO	725	2 Pasador de 3/8 gancho longitudinal y mortero
BOSQUE BLANCO**	365	2 Pasador de 1/2 gancho longitudinal y mortero
BOSQUE BLANCO***	600	Pasador de 1/2, perno longitudinal y mortero
DIEGO JARAMILLO (2003)^	1943	1 perno de 3/8 en cada extremo



**Gráfico N° 5.28 Comparación uniones diagonales con otras investigaciones.**

\* Primera alternativa, diez muestras ensayadas a los 7 días. 830 a los 14 días y 715 a los 21 días.

\*\* Segunda alternativa, diez muestras ensayadas a los 7 días.

\*\*\* Tercera alternativa, diez muestras ensayadas a los 7 días.

^ Diego Jaramillo, unión en tipo v con un accesorio especial para ensayar este tipo de uniones, usado en tijerales normalmente.

## CONCLUSIONES

- Con respecto a la densidad, se concluye que se debe considerar el peso del bambú en el diseño, ya que ésta alcanza un promedio de  $524.29 \text{ kg/m}^3$ . y una desviación estándar de  $67.60 \text{ kg/m}^3$ .
- En el ensayo de contracción se pudo comprobar que al saturar el material, éste no sufre gran variación de su diámetro exterior y en su altura, pero comparando el bambú saturado con el bambú en estado natural, si existe una diferencia entre el diámetro interior.
- Respecto a la resistencia a la compresión se pudo comprobar que en una caña la parte superior resiste más a la compresión debido a que las fibras de ésta están más juntas.
- La resistencia al corte fue alta, similar también a investigaciones anteriores, realizadas en el Perú llegando a un promedio de 8.18 MPa.
- El MOE en los ensayos de flexión en escala real es bajo en comparación con los resultados de otras investigaciones, pero tenemos que considerar que estos ensayos han sido realizados sin evitar otros efectos como corte y aplastamiento, como lo han hecho las otras investigaciones, en especial las de Colombia.
- El MOR y MOE en los ensayos de flexión estática es bajo en comparación con los de otras investigaciones.
- En uniones colineales, se puede concluir que si se utiliza madera Eucalipto y madera Capirona, la resistencia no sufre una variación considerable, puesto que estos dos tipos de madera han obtenido resultados similares.
- La propuesta que tuvo una mayor resistencia en esta investigación fue la que utilizó madera Capirona interiormente de 2." de diámetro y 2 pernos transversales de 3/8 de pulgada en cada extremo. La resistencia promedio alcanzada fue de 1384 kg mientras que el caso en que se utilizó madera Eucalipto alcanzó una resistencia de 1362 kg. En comparación con otras investigación se ha obtenido en esta propuesta, mayores valores.

- Se pudo observar que cuando se hizo los agujeros mayores que el diámetro de los pernos, aumento la resistencia y esto se debió a que el bambú no sufre pre - esfuerzos.
- En el caso de uniones perpendiculares a la carga la propuesta que alcanzó la mayor resistencia fue la que usó mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 3/8". La primera alternativa alcanzó una carga promedio de 758 kg a los 14 días.
- En el caso de uniones diagonales la propuesta que alcanzó la mayor resistencia fue la que uso mortero, barra de 3/8" longitudinal con ganchos a los extremos y pasador de 3/8". La primera propuesta alcanzó una carga promedio de 660 kg a los 7.
- De la comparación con otros estudios se observa una notable diferencia en la resistencia para el caso de las uniones perpendiculares, esto se debe principalmente al proceso constructivo aplicada por cada investigador y a los accesorios. Los elementos utilizados en esta investigación procuraron ser los de más fácil preparación, ensamblaje y económicos.
- Un total de 4 o 5 probetas por cada ensayo en uniones no es suficiente para obtener una muestra representativa que permita establecer parámetros de diseño de mayor confiabilidad, es por eso que se realizaron más ensayos.
- En algunos casos el relleno de mortero tendía a expandirse produciendo una falla previa al elemento antes del ensayo, además el hecho de rellenar las uniones con mortero produjo un aumento del 100%, es decir las uniones pesan el doble que las uniones sin mortero.
- Las fallas presentadas en las uniones estuvieron más allá de las expectativas, puesto que presentaron distintas formas para cada tipo de unión, permitiendo hacer un análisis más amplio.
- Durante el proceso de armado de las uniones es necesario los controles necesarios para que el ángulo de inclinación sea el correcto, de modo que los ejes de transmisión de fuerzas coincidan entre sí.

## RECOMENDACIONES

- Revisar cuidadosamente el bambú al ser obtenido, especialmente que no esté contaminado o infectado con insectos o que haya sido sometido a esfuerzos durante el transporte que haya podido generar resquebrajamientos interiores.
- En los ensayos de flexión en escala real se recomienda mandar a fabricar los accesorios para poder colocar las piezas a ensayar a la altura de la maquina puesto que al usar los bloques de acero con los que se hace este ensayo, deforman a la viga pudiendo no dar valores correctos.
- Tener en cuenta el tiempo/costo que se tendrá que invertir para prefabricar los accesorios y llevarlos luego a campo, de los resultados obtenidos en esta investigación y teniendo en cuenta la relación costo/tiempo y resistencia el usar 4 pernos en la probeta, dos a cada extremo es la opción mejor para el caso de uniones colineales.
- Para poder diseñar y tener mayor certeza de los valores de diseño se recomendaría hacer unos ensayos del material a utilizar para obtener tener mayor certeza de los valores propiedades físicas y mecánicas

## BIBLIOGRAFÍA

1. Arbelaez Arce, Anacilia. Investigaciones sobre *Guadua Angustifolia Kunth* realizadas en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias y departamento de bibliotecas corporación autónoma regional del Quindío, Colombia, 2001.
2. Clavijo Sandra y Trujillo David. Evaluación de uniones a tracción en guadua, 2000, Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
3. Guerrero, Mónica. Trabajo de desarrollo sostenible utilizando bambú – tacuara en el oriente boliviano, 2005, Argentina.
4. Gutierrez, J y Gomez R. Diseño y elaboración a escala natural de armaduras en *Guadua Angustifolia*, 2002, Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia.
5. Gutierrez, S. Uniones estructurales con bambú, 2010, Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
6. Hidalgo López, Oscar. Nuevas técnicas de construcción con bambú, 1978, Colombia.
7. Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE). 2010, Perfil de mercado Bambú y Jatata, extraído el 4 de junio de 2010 desde [http://www.ibce.org.bo//documentos/perfil\\_mercado\\_Bambu\\_JatataCB12.pdf](http://www.ibce.org.bo//documentos/perfil_mercado_Bambu_JatataCB12.pdf)
8. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Norma Técnica de Colombia: Estructuras de Guadua, 2006, Colombia.
9. Jansen Jules. 2002, Mechanical properties of bamboo. extraído el 5 de Mayo de 2010 desde <http://bambus.rwth-aachen.de/eng/PDF-Files/Mechanical%20properties%20of%20bamboo.pdf>
10. Junta del acuerdo de Cartagena (JUNCA). Manual de diseño para maderas del grupo andino, 1984, Perú.
11. Londoño Ximena, "et als.", American Bamboos, 1999, Estados Unidos.
12. Lopez Luis y Trujillo David. Diseño de uniones y elementos en estructuras de guadua, 2002, Seminario Taller Avances en la investigación sobre Guadua, Colombia.
13. Martin Obermann, Tim. Bambú: Recurso sostenible para estructuras espaciales, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2004, Colombia.

14. Ordóñez Candelaria, Víctor Rubén. Perspectivas del bambú para la construcción en México. Departamento de Productos Forestales y Conservaciones de Bosques, 1999, México.
15. Organización Internacional de Normalización (ISO). Norma ISO/22156-1:2004 Bamboo – Diseño Estructural, 2004, Suiza.
16. Organización Internacional de Normalización (ISO). Norma ISO/22157-1:2004 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties - part 1: requirements, 2004, Suiza.
17. Organización Internacional de Normalización (ISO), Norma ISO/22157-2:2004 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties – part 2: laboratory manual, 2004, Suiza.
18. Salas Delgado, Eduardo. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia, 2006, España.
19. Takahashi, Josefina. Bambú en el Perú. III Simposio Latinoamericano del Bambú, 2006, Ecuador.
20. Takeuchi, Caori. 2004, Comportamiento estructural de la *Guadua Angustifolia*. Uniones en Guadua, 24, 3-7. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

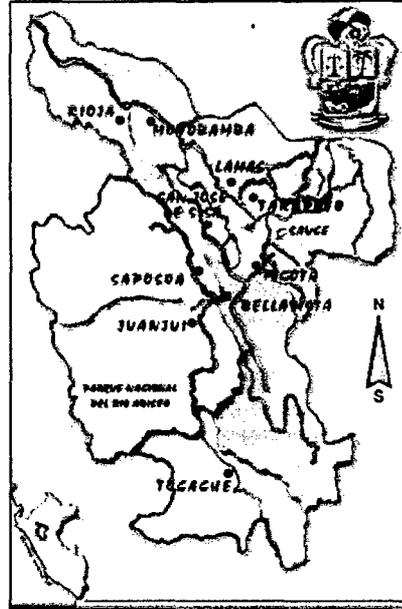
## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### TAXONOMÍA DEL BAMBÚ DE LOS BOSQUES UTILIZADOS

El lugar de procedencia de las cañas y las coordenadas de las parcelas para el bosque Blanco es:

FLOR DEL VALLE/Distrito de Rioja/Provincia de Rioja/Dep. San Martín.



1.- 18 M 0256790, 9332322	6.- 18 M 0256895, 9332429
2.- 18 M 0256808, 9332318	7.- 18 M 0256830, 9332473
3.- 18 M 0256831, 9332409	8.- 18 M 0256895, 9332459
4.- 18 M 0256852, 9332396	9.- 18 M 0256833, 9332565
5.- 18 M 0256835, 9332450	10.- 18 M 0256924, 9332543

Ambos lotes (bosque blanco y bosque rojo) de bambúes son taxonómicamente:

SUB FAMILIA: Bambusoideae

TRIBU: Bambuseae

SUB TRIBU: Guaduinae

GENERO: Guadua

ESPECIE: *Guadua angustifolia* Kunth (Journal Phys. Chem. Hist. Nat. Arts, 95, 150. 1822). Sinónimo *Bumbusa* Schreber subgenus *Guadua* (Kunbth) Hackel).

SUB ESPECIE O BIOTIPO:

De acuerdo a las características morfológicas, aparentemente es una sub especie diferente a la *G. angustifolia* de Colombia y Ecuador; pero la confirmación será posible cuando concluyan los estudios del ADN, que se están realizando en Colombia, con recursos de PERÚBAMBU (comunicación personal Ximena Londoño, Mayo 2010, Perú).

**ANEXO 2**

**RESULTADO DE ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**

**2.1 ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD**

**2.1.1 CONTENIDO DE HUMEDAD: INICIAL**

<b>BOSQUE BLANCO</b>				
	<b>TIPO</b>	<b>MUESTRA INI</b>	<b>MUESTRAS SECAS</b>	<b>CONTENIDO HUMEDAD</b>
<b>ITEM</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>m (gr)</b>	<b>m<sub>0</sub> (gr)</b>	<b>C.H - 0 %</b>
1	B - 30	82.50	72.50	13.79
2	B - 2	107.50	94.00	14.36
3	B - 5	118.50	103.50	14.49
4	B - 11	122.00	107.00	14.02
5	B - 7	108.00	95.00	13.68
6	B - 8	109.50	96.50	13.47
7	B - 16	85.00	74.50	14.09
8	B - 28	57.50	50.50	13.86
9	B - 6	73.00	64.00	14.06
10	B - 4	96.50	84.50	14.20

<b>Promedio</b>	<b>14.00</b>
-----------------	--------------

**2.1.2 CONTENIDO DE HUMEDAD: COMPRESION**

BOSQUE BLANCO				
	TIPO	MUESTRA INI	MUESTRAS SECAS	CONTENIDO HUMEDA
ITEM	MUESTRA	m (gr)	m. (gr)	C.H - 0 %
1	BB-36-C1	245.50	215.00	14.19
2	BB17-C1	178.50	158.50	12.62
3	BB-26-C1	204.50	181.00	12.98
4	BB-41-C2	143.00	127.00	12.60
5	BB-23-C1	219.50	193.00	13.73
6	BB-37-C2	114.50	102.50	11.71
7	BB-23-C2	125.50	111.50	12.56
8	BB-47-C1	199.50	170.50	17.01
9	BB-32-C2	147.50	131.00	12.60
10	BB-29-C2	101.50	90.50	12.15
11	BB-47-C2	106.50	95.50	11.52
12	BB-41-C1	211.00	186.50	13.14
13	BB-25-C1	131.00	115.50	13.42
14	BB-07-C2	107.00	95.50	12.04
15	BB-38-C1	217.00	190.00	14.21
16	BB-50-C2	149.00	132.50	12.45
17	BB-50-C1	226.50	199.00	13.82
18	BB-36-C2	172.00	143.50	19.86
19	BB-19-C1	178.50	156.50	14.06
20	BB-25-C2	87.00	77.00	12.99
21	BB-20-C2	110.50	98.50	12.18
22	BB-20-C1	161.50	143.50	12.54

BOSQUE BLANCO				
ITEM	TIPO	MUESTRA NI	MUESTRAS SECAS	CONTENIDO HUMEDA
	MUESTRA	m <sub>i</sub> (gr)	m <sub>s</sub> (gr)	C.H - 0 %
23	BB-37-C1	207.50	182.50	13.70
24	BB-16-C2	135.50	120.00	12.92
25	BB-16-C1	129.50	115.00	12.61
26	BB-45-C1	175.00	155.00	12.90
27	BB-38-C2	111.50	99.00	12.63
28	BB-17-C2	108.50	96.50	12.44
29	BB-15-C1	180.00	159.00	13.21
30	BB-07-C1	156.00	134.00	16.42
31	BB-27-C2	124.00	106.50	16.43
32	BB-15-C2	116.00	99.50	16.58
33	BB-26-C2	98.00	87.50	12.00
34	BB-26-C1	179.50	158.00	13.61
35	BB-19-C2	102.50	91.50	12.02
36	BB-27-C1	180.50	159.00	13.52
37	BB-45-C2	105.50	94.00	12.23
38	BB-51-C	109.50	97.00	12.89
39	BB-31-C2	92.00	81.00	13.58
40	BB-35-C1	213.50	186.00	14.78
41	BB-03-C2	119.00	103.50	14.98
42	BB-05-C1	199.00	173.00	15.03
43	BB-08-C1	223.50	194.00	15.21
44	BB-43-C1	226.50	197.00	14.97
45	BB-35-C2	141.50	123.00	15.04
46	BB-31-C1	158.50	137.00	15.69
47	BB-14-C1	200.00	173.50	15.27
48	BB-19-C2	116.50	101.00	15.35
49	BB-28-C2	164.00	143.00	14.69
50	BB-08-C2	143.00	125.00	14.40
51	BB-28-C1	260.00	226.00	15.04
52	BB-03-C1	198.00	172.00	15.12
53	BB-39-C2	107.00	91.00	17.58
54	BB-39-C1	171.00	149.00	14.77
55	BB-05-C2	134.50	116.50	15.45

Promedio

13.95

**2.1.3 CONTENIDO DE HUMEDAD: CORTE**

BOSQUE BLANCO				
	TIPO	MUESTRA INI	MUESTRAS SECAS	CONTENIDO HUMEDA
ITEM	MUESTRA	m (gr)	m <sub>0</sub> (gr)	C.H - 0 %
1	BB - 03	90.00	74.50	20.81
2	BB - 05	41.00	37.00	10.81
3	BB - 07	24.00	21.50	11.63
4	BB - 08	63.50	57.00	11.40
5	BB - 14	22.00	18.00	22.22
6	BB - 15	53.00	48.00	10.42
7	BB - 16	51.00	46.00	10.87
8	BB - 17	50.50	45.50	10.99
9	BB - 18	72.00	65.00	10.77
10	BB - 19	28.50	25.50	11.76
11	BB - 20	84.50	70.00	20.71
12	BB - 23	37.00	33.00	12.12
13	BB - 25	16.50	15.50	6.45
14	BB - 26	78.50	70.50	11.35
15	BB - 27	60.00	54.00	11.11
16	BB - 28	114.00	102.50	11.22
17	BB - 29	26.00	24.00	8.33
18	BB - 31	43.50	39.00	11.54
19	BB - 32	43.50	39.50	10.13
20	BB - 35	93.00	84.50	10.06
21	BB - 36	155.00	140.00	10.71
22	BB - 37	69.00	60.00	15.00
23	BB - 38	28.50	26.00	9.62
24	BB - 39	51.00	45.50	12.09
25	BB - 41	72.00	65.00	10.77
26	BB - 43	16.50	14.00	17.86
27	BB - 45	32.00	29.00	10.34
28	BB - 47	47.00	37.00	27.03
29	BB - 50	31.50	28.50	10.53
30	BB - 51	51.50	46.00	11.96

<b>Promedio</b>	<b>12.69</b>
-----------------	--------------

### 2.1.4 CONTENIDO DE HUMEDAD: FLEXION

BOSQUE BLANCO				
	TIPO	MUESTRA INI	MUESTRAS SECAS	CONTENIDO HUMEDA
ITEM	MUESTRA	m (gr)	m <sub>s</sub> (gr)	C H - S %
1	BB-03	132.50	120.00	10.42%
2	BB-05	148.00	133.00	11.28%
3	BB-07	111.50	100.50	10.95%
4	BB-08	153.00	137.00	11.68%
5	BB-14	182.00	164.50	10.64%
6	BB-15	117.50	107.00	9.81%
7	BB-16	87.00	78.00	11.54%
8	BB-17	110.50	98.50	12.18%
9	BB-18	153.00	138.00	10.87%
10	BB-19	167.50	151.00	10.93%
11	BB-20	118.00	106.50	10.80%
12	BB-23	204.50	183.50	11.44%
13	BB-25	89.00	81.00	9.88%
14	BB-26	171.00	155.00	10.32%
15	BB-27	124.00	112.50	10.22%
16	BB-28	248.50	222.50	11.69%
17	BB-29	173.50	154.50	12.30%
18	BB-31	139.50	123.50	12.96%
19	BB-32	130.00	117.50	10.64%
20	BB-35	143.50	129.00	11.24%
21	BB-36	233.00	208.50	11.75%
22	BB-37	182.00	164.00	10.98%
23	BB-38	132.50	120.00	10.42%
24	BB-39	159.50	144.00	10.76%
25	BB-41	144.50	130.00	11.15%
26	BB-43	114.00	103.50	10.14%
27	BB-45	124.50	112.00	11.16%
28	BB-47	110.00	100.00	10.00%
29	BB-50	145.00	134.50	7.81%
30	BB-51	107.50	97.00	10.82%

<b>Promedio</b>	<b>10.89%</b>
-----------------	---------------

**2.2 ENSAYO: DENSIDAD**

<b>BOSQUE BLANCO</b>		
	<b>TIPO</b>	<b>DENSIDAD</b>
<b>ITEM</b>	<b>MUESTRA</b>	<b><math>\rho</math> (KG/M<sup>3</sup>)</b>
1	BB-03	523.66
2	BB-05	426.74
3	BB-07	470.68
4	BB-08	537.97
5	BB-14	420.45
6	BB-15	529.91
7	BB-16	560.39
8	BB-17	527.72
9	BB-18	479.10
10	BB-19	600.03
11	BB-20	600.11
12	BB-23	537.67
13	BB-25	409.55
14	BB-26	538.57
15	BB-27	636.03
16	BB-28	520.25
17	BB-29	577.07
18	BB-31	357.00
19	BB-32	544.22
20	BB-35	602.37
21	BB-36	527.71
22	BB-37	517.90
23	BB-38	537.22
24	BB-39	514.03
25	BB-41	629.84
26	BB-43	613.84
27	BB-45	502.10
28	BB-47	518.70
29	BB-50	533.18
30	BB-51	434.62

<b>MEDIA</b>	<b>524.29</b>
<b>DESVIACION</b>	<b>66.87</b>

## 2.3 ENSAYO: CONTRACCION

### 2.3.1 CONTRACCION- ESTADO NATURAL

#### DATOS INICIALES

ITEM	TIPO MUESTRA	DIAMETRO EXT.				DIAMETRO INT.				ALTURA			
		De1	De2	De3	De4	DI1	DI2	DI3	DI4	H1	H2	H3	H4
1	BB-03	94.87	92.37	96.07	97.01	77.75	75.51	79.86	79.89	100.67	100.99	99.83	98.64
2	BB-05	106.81	109.05	104.23	101.92	84.76	89.95	83.69	80.07	98.95	100.18	100.41	100.22
4	BB-07	91.50	92.67	93.75	93.46	76.51	76.62	77.72	76.64	100.89	100.45	100.65	99.16
5	BB-08	97.36	95.03	100.09	94.97	78.67	75.98	78.06	80.82	100.77	100.62	98.62	100.50
6	BB-14	97.43	99.72	100.92	103.84	71.05	66.27	72.85	76.30	100.61	99.65	100.53	100.41
7	BB-15	93.46	91.00	93.11	94.22	75.54	75.60	79.44	81.20	101.46	100.11	98.44	101.10
8	BB-16	81.55	86.04	84.44	89.75	75.89	71.00	72.40	77.98	99.36	100.38	99.04	99.97
9	BB-17	87.27	89.39	87.70	87.46	74.89	73.34	71.59	73.21	100.29	100.42	100.27	100.22
3	BB-18	103.44	103.30	100.84	99.27	80.81	79.96	83.82	82.65	100.50	99.74	99.69	101.70
10	BB-19	93.18	93.30	92.26	93.74	73.21	73.42	73.56	75.97	100.31	100.68	100.33	100.55
11	BB-20	92.25	91.14	89.42	90.30	77.71	77.20	78.00	76.85	100.48	100.91	100.53	100.93
12	BB-23	99.84	103.18	99.92	96.39	73.76	75.28	77.07	73.89	99.77	101.62	98.57	100.40
13	BB-25	94.64	93.17	92.87	89.94	77.25	77.55	77.70	79.55	99.96	101.39	100.58	101.14
14	BB-26	88.76	90.73	88.51	92.01	69.62	66.06	64.89	66.66	100.59	101.11	100.23	101.06
15	BB-27	90.31	94.00	89.36	92.56	78.60	76.67	78.92	79.25	100.53	100.25	100.70	100.23

ITEM	TIPO MUESTRA	DIAMETRO EXT.				DIAMETRO INT.				ALTURA			
		De1	De2	De3	De4	DI1	DI2	DI3	DI4	H1	H2	H3	H4
16	BB-28	111.46	104.83	102.95	103.88	76.04	80.05	73.08	75.22	101.00	100.10	100.75	101.62
17	BB-29	95.63	94.41	93.48	94.58	74.72	72.77	72.68	76.75	98.69	100.30	99.03	100.11
18	BB-31	97.72	94.43	97.15	96.03	68.44	71.07	71.88	68.16	99.15	99.52	100.85	101.29
19	BB-32	89.25	92.09	92.85	90.32	74.42	75.96	75.19	72.49	100.51	98.75	99.75	100.59
21	BB-35	93.17	98.19	90.86	97.83	75.22	83.33	80.67	78.57	99.75	101.18	101.00	99.72
22	BB-36	106.70	108.32	107.35	97.93	77.83	76.79	81.86	74.05	99.99	100.09	100.29	100.96
23	BB-37	97.94	97.25	102.55	100.96	74.85	73.72	78.86	79.10	97.62	101.67	98.64	99.05
24	BB-38	91.18	93.07	94.23	95.58	74.70	77.55	78.82	76.55	99.30	101.26	101.11	100.22
25	BB-39	94.92	88.73	89.13	90.73	73.61	70.74	61.65	67.37	100.50	97.61	98.28	101.25
26	BB-41	93.09	90.91	92.53	94.37	77.27	77.90	76.58	77.72	99.21	100.91	100.60	101.70
27	BB-43	81.46	84.07	84.23	88.36	72.88	67.81	68.42	73.61	99.86	100.58	98.72	100.31
28	BB-45	92.39	91.04	94.76	95.56	76.66	76.84	75.81	78.15	100.81	100.39	99.64	101.68
29	BB-47	82.26	81.82	89.28	85.80	69.56	70.26	69.07	66.61	99.91	99.58	100.66	101.34
20	BB-50	79.96	79.19	77.47	75.99	51.89	53.19	54.00	55.69	98.46	100.30	100.74	98.88
30	BB-51	77.34	96.56	78.16	77.96	63.17	63.15	64.43	61.31	98.47	100.93	100.81	100.58

**DATOS FINALES**

ITEM	TIPO MUESTRA	DIAMETRO EXT.				DIAMETRO INT.				ALTURA			
		De1	De2	De3	De4	Di1	Di2	Di3	Di4	H1	H2	H3	H4
1	BB-03	91.47	93.32	89.96	91.52	77.18	79.08	76.02	74.13	100.54	98.94	101.14	100.68
2	BB-05	98.32	99.56	99.69	106.91	88.93	82.58	88.61	83.77	99.60	100.74	100.67	99.22
4	BB-07	85.23	91.82	87.08	91.64	70.27	76.95	70.58	77.82	100.11	101.93	99.42	100.70
5	BB-08	90.57	96.30	92.51	97.69	75.40	64.62	75.30	78.68	100.90	100.24	98.73	100.42
6	BB-14	93.16	96.45	99.45	93.26	71.70	72.60	62.14	73.39	100.38	100.43	99.32	100.43
7	BB-15	89.00	92.10	90.10	86.75	78.01	76.42	71.17	75.99	100.66	98.74	101.18	99.52
8	BB-16	86.05	78.19	78.76	88.81	66.73	78.17	67.65	76.18	100.59	99.46	100.06	99.34
9	BB-17	85.04	85.80	84.08	84.24	71.96	70.61	72.84	69.04	99.77	100.26	99.76	100.24
3	BB-18	97.36	96.60	95.97	96.21	80.53	79.47	76.42	74.90	100.60	99.53	100.85	100.39
10	BB-19	91.47	87.45	91.29	87.08	71.56	67.63	73.00	71.62	100.56	100.12	100.89	100.26
11	BB-20	86.43	89.85	90.69	88.04	77.98	76.12	74.54	77.48	100.86	100.64	101.28	101.14
12	BB-23	96.68	95.15	95.46	92.46	74.21	71.94	71.18	71.20	99.55	99.41	98.47	100.07
13	BB-25	91.03	91.25	85.83	91.62	74.10	79.10	76.01	77.52	99.99	100.58	101.04	99.74
14	BB-26	85.54	89.55	88.36	86.93	65.21	64.97	65.74	67.90	100.54	101.14	101.02	101.29
15	BB-27	86.53	89.46	89.70	89.50	76.12	74.77	74.00	74.49	100.39	100.54	100.92	100.59

ITEM	TIPO MUESTRA	DIAMETRO EXT.				DIAMETRO INT.				ALTURA			
		De1	De2	De3	De4	DI1	DI2	DI3	DI4	H1	H2	H3	H4
16	BB-28	103.10	96.99	96.10	100.95	72.55	78.83	69.30	75.03	100.04	101.31	100.19	100.29
17	BB-29	92.90	91.28	91.56	87.88	73.05	70.89	71.47	71.01	100.43	99.53	98.99	100.21
18	BB-31	89.32	84.81	90.38	94.90	67.66	69.46	68.58	68.15	100.64	99.65	100.42	99.87
19	BB-32	85.69	89.41	86.49	88.02	73.41	73.86	75.62	70.89	98.94	101.01	99.22	99.79
21	BB-35	95.29	89.14	87.56	94.63	73.48	82.20	73.66	78.04	99.75	100.83	100.84	99.69
22	BB-36	91.61	102.49	100.56	101.83	73.78	76.64	79.14	70.35	99.57	99.67	100.61	99.16
23	BB-37	96.88	97.98	93.20	94.18	75.97	78.76	71.91	72.82	101.18	98.55	98.06	100.01
24	BB-38	86.80	91.52	89.50	83.18	71.47	74.29	75.14	78.82	100.61	101.08	99.73	99.91
25	BB-39	89.24	85.27	91.46	85.42	64.78	60.35	71.26	68.62	97.10	101.11	100.43	97.96
26	BB-41	90.30	89.63	88.83	87.45	73.25	73.79	76.70	72.45	99.11	99.52	100.70	99.44
27	BB-43	78.64	83.12	84.21	83.22	68.43	69.80	66.52	66.09	99.27	99.96	99.83	99.10
28	BB-45	89.03	87.70	90.02	90.16	75.32	74.25	76.13	76.10	99.84	100.55	101.04	99.87
29	BB-47	81.31	80.99	81.58	81.53	69.28	66.15	65.83	67.08	98.94	100.77	100.26	99.50
20	BB-50	77.88	79.68	77.94	77.84	58.48	57.21	58.93	58.69	100.85	99.91	100.14	100.73
30	BB-51	75.17	76.16	74.83	77.44	58.90	63.55	61.36	60.99	100.57	100.19	99.23	100.85

**RESULTADOS**

ITEM	TIPO MUESTRA	MEDIDAS Inicial PROMEDIO			MEDIDAS Final PROMEDIO			Construcción		
		Dex1	Dix1	Hx1	Dex1	Dix1	Hx1	Dex1	Dix1	Hx1
1	BB-03	95.08	78.25	100.03	91.57	76.60	100.01	3.694%	2.109%	0.022%
2	BB-05	105.50	84.62	99.94	101.12	83.87	99.93	4.154%	0.883%	0.010%
4	BB-07	92.85	76.87	100.29	88.94	73.91	100.28	4.203%	3.860%	0.007%
5	BB-08	96.86	78.38	100.13	94.27	73.50	100.07	2.678%	6.229%	0.055%
6	BB-14	100.48	71.62	100.30	95.58	69.96	100.14	4.874%	2.318%	0.160%
7	BB-15	92.95	77.95	100.28	89.49	75.40	100.03	3.723%	3.268%	0.252%
8	BB-16	85.45	74.32	99.69	82.95	72.18	99.67	2.917%	2.873%	0.018%
9	BB-17	87.96	73.26	100.30	84.79	71.11	100.01	3.598%	2.928%	0.292%
3	BB-18	101.71	81.81	100.41	96.54	77.83	100.34	5.090%	4.865%	0.065%
10	BB-19	93.12	74.04	100.47	89.32	70.95	100.46	4.078%	4.171%	0.010%
11	BB-20	90.78	77.44	100.71	88.75	76.53	100.69	2.231%	1.175%	0.022%
12	BB-23	99.83	75.00	100.09	94.94	72.13	99.38	4.903%	3.823%	0.714%
13	BB-25	92.66	78.01	100.77	89.93	76.68	100.34	2.938%	1.705%	0.427%
14	BB-26	90.00	66.81	100.75	87.60	65.96	100.02	2.675%	1.276%	0.722%
15	BB-27	91.56	78.36	100.43	88.80	74.85	100.37	3.014%	4.486%	0.057%
16	BB-28	105.78	76.10	100.87	99.29	73.93	100.46	6.140%	2.852%	0.406%
17	BB-29	94.53	74.23	99.53	90.91	71.61	99.50	3.830%	3.536%	0.033%
18	BB-31	96.33	69.89	100.20	89.85	68.46	100.15	6.727%	2.039%	0.057%
19	BB-32	91.13	74.52	99.90	87.40	73.45	99.74	4.088%	1.436%	0.160%
21	BB-35	95.01	79.45	100.41	91.66	76.85	100.28	3.534%	3.276%	0.134%
22	BB-36	105.08	77.63	100.33	99.12	74.98	99.75	5.665%	3.420%	0.578%
23	BB-37	99.68	76.63	99.25	95.56	74.87	99.21	4.128%	2.306%	0.035%
24	BB-38	93.52	76.91	100.47	87.75	74.93	100.33	6.165%	2.568%	0.139%
25	BB-39	90.88	68.34	99.41	87.85	66.25	99.15	3.334%	3.058%	0.262%
26	BB-41	92.73	77.37	100.61	89.05	74.05	99.69	3.961%	4.291%	0.907%
27	BB-43	84.53	70.68	99.87	82.30	67.71	99.54	2.641%	4.202%	0.328%
28	BB-45	93.44	76.87	100.63	89.23	75.45	100.33	4.506%	1.841%	0.303%
29	BB-47	84.79	68.88	100.37	81.35	67.09	99.87	4.054%	2.599%	0.503%
20	BB-50	78.15	53.69	99.60	74.15	53.15	99.59	5.121%	1.010%	0.005%
30	BB-51	82.51	63.02	100.20	75.90	61.20	100.18	8.006%	2.882%	0.017%

### 2.3.2 CONTRACCION- ESTADO SATURADO

#### DATOS INICIALES

ITEM	TIPO MUESTRA	DIAMETRO EXT. ( mm)				DIAMETRO INT. (mm)				AL TURA (mm)			
		De1	De2	De3	De4	DI1	DI2	DI3	DI4	H1	H2	H3	H4
1	BB-03	100.76	95.19	96.20	96.32	83.11	79.51	79.87	80.87	101.08	99.40	99.97	98.93
2	BB-05	109.17	107.47	104.90	107.48	87.46	90.19	91.08	90.93	101.45	99.52	98.54	99.63
3	BB-07	95.21	95.82	98.21	95.41	78.17	81.25	79.55	78.42	101.03	100.01	101.31	100.19
4	BB-08	100.41	99.86	97.72	99.96	80.52	79.64	79.20	80.04	97.93	100.97	99.70	100.83
5	BB-14	101.31	100.14	101.64	103.45	73.45	69.54	75.84	70.80	100.02	101.70	99.99	99.91
6	BB-15	97.96	98.09	99.86	95.33	85.02	81.56	84.10	85.63	100.34	99.07	100.26	99.88
7	BB-16	89.88	91.15	89.78	92.77	77.11	78.76	78.19	78.08	100.49	99.73	99.56	101.58
8	BB-17	90.93	95.32	90.14	93.83	75.50	78.18	79.17	75.46	99.55	100.84	101.55	100.99
26	BB-18	88.56	88.47	86.39	87.16	69.73	68.88	67.84	69.25	100.07	100.96	100.50	100.65
9	BB-19	95.20	97.81	93.52	93.78	75.10	76.94	76.34	77.28	101.05	99.64	100.12	99.70
10	BB-20	94.92	92.35	93.34	94.78	79.17	77.79	81.37	78.64	100.66	101.51	100.25	100.04
11	BB-23	100.02	105.14	98.94	102.50	77.92	84.17	76.39	75.69	101.32	98.79	98.06	100.88
12	BB-25	97.98	97.71	94.19	96.89	82.15	82.05	82.40	81.00	99.18	99.36	100.50	99.60
13	BB-26	95.72	94.40	91.68	93.75	74.49	71.84	74.18	74.09	101.07	99.69	100.29	101.57
14	BB-27	95.75	95.84	96.93	99.48	78.99	82.85	82.86	79.59	100.37	100.27	101.22	99.21
15	BB-28	107.37	108.90	107.13	108.57	77.88	81.46	80.01	75.67	101.05	100.56	100.57	99.52

ITEM	TIPO MUESTRA	DIAMETRO EXT. (mm)				DIAMETRO INT. (mm)				ALTURA (mm)			
		De1	De2	De3	De4	DI1	DI2	DI3	DI4	H1	H2	H3	H4
16	BB-29	93.95	95.92	95.98	96.40	76.14	75.85	75.06	75.30	100.53	100.90	101.92	100.68
17	BB-31	97.24	95.34	95.50	97.01	64.67	68.54	68.57	68.64	101.08	100.63	99.56	100.69
18	BB-32	98.29	95.92	96.92	99.90	79.00	73.56	76.90	75.69	100.48	99.97	100.14	99.79
19	BB-35	103.02	95.76	97.85	100.62	83.88	82.48	79.75	86.51	100.83	99.99	100.42	99.91
20	BB-36	108.61	107.21	111.04	109.87	85.07	81.87	83.18	82.26	97.68	98.66	99.26	100.45
21	BB-37	103.85	101.52	101.93	99.15	80.23	82.63	84.33	80.65	101.41	100.32	99.32	99.60
22	BB-38	95.70	96.92	95.62	95.75	80.07	81.06	80.13	81.09	100.46	99.93	100.82	100.92
23	BB-39	91.20	96.45	90.45	95.19	68.25	69.10	69.64	74.87	100.42	100.86	98.62	100.20
24	BB-41	96.32	98.37	99.92	96.64	80.07	81.15	80.13	81.50	99.40	101.36	100.46	100.74
25	BB-43	80.00	81.36	80.07	83.05	63.49	61.56	61.73	60.55	100.88	100.62	99.52	100.46
27	BB-45	99.05	90.59	95.00	91.05	79.89	75.03	77.01	80.53	100.30	99.84	100.93	100.22
28	BB-47	84.59	87.98	86.40	89.85	71.39	72.94	71.34	73.91	100.78	100.90	100.84	100.12
29	BB-50	105.30	103.46	103.67	103.78	85.13	85.81	85.97	85.96	99.54	99.91	100.16	100.36
30	BB-51	82.60	82.85	84.24	79.08	66.99	67.80	66.15	67.58	100.09	99.97	100.45	100.33

**DATOS FINALES**

ITEM	TIPO MUESTRA	DIAMETRO EXT.				DIAMETRO INT.				ALTURA			
		De1	De2	De3	De4	DI1	DI2	DI3	DI4	H1	H2	H3	H4
1	BB - 03	89.54	95.04	88.94	84.13	75.23	81.39	75.27	80.06	98.00	100.00	99.26	100.83
2	BB - 05	100.17	100.30	101.77	98.54	89.77	84.72	91.68	82.07	99.63	98.61	101.65	100.19
3	BB - 07	83.76	104.25	85.49	105.49	67.81	87.74	68.39	88.93	100.71	98.11	99.83	100.78
4	BB - 08	95.43	91.56	95.15	92.11	75.58	74.56	75.47	75.89	99.53	100.91	99.30	100.85
5	BB - 14	98.90	91.95	98.96	96.42	65.72	68.55	66.14	71.18	100.72	100.34	100.02	99.77
6	BB - 15	91.59	93.46	90.87	94.35	79.09	80.76	80.72	81.68	100.11	99.67	98.57	99.72
7	BB - 16	78.22	76.29	97.21	81.67	80.44	63.18	81.19	67.30	99.12	100.15	100.27	101.31
8	BB - 17	84.94	89.17	85.44	89.97	71.24	76.21	74.04	71.72	100.26	100.76	100.89	99.92
26	BB - 18	83.04	88.38	85.34	87.95	64.23	69.11	65.43	69.36	99.00	100.00	100.25	100.15
9	BB - 19	92.98	90.42	92.44	87.29	75.43	71.26	76.94	72.27	100.09	99.56	99.89	100.60
10	BB - 20	87.10	88.91	92.12	85.66	68.77	73.14	72.70	76.07	100.18	100.51	99.81	100.42
11	BB - 23	94.12	94.58	95.90	97.14	72.12	69.14	71.17	71.29	100.42	100.49	99.08	98.14
12	BB - 25	84.10	97.08	85.01	97.19	84.55	71.47	75.52	82.47	99.40	99.27	99.06	100.07
13	BB - 26	91.01	87.73	92.82	91.10	72.67	70.71	68.70	72.35	100.04	100.02	100.40	100.56
14	BB - 27	97.94	91.67	87.63	91.70	75.30	76.80	77.54	75.96	100.33	100.02	99.09	100.09
15	BB - 28	106.59	101.81	101.38	102.83	70.83	78.20	72.93	77.20	100.08	100.01	101.48	99.84

ITEM	TIPO MUESTRA	DIAMETRO EXT.				DIAMETRO INT.				ALTURA			
		De1	De2	De3	De4	DI1	DI2	DI3	DI4	H1	H2	H3	H4
16	BB - 29	90.99	90.23	91.04	92.14	72.52	73.35	72.04	73.48	100.48	100.62	100.51	100.83
17	BB - 31	93.74	89.76	91.59	89.84	66.81	63.77	61.39	63.77	100.54	100.49	100.00	100.52
18	BB - 32	93.41	91.33	91.50	94.07	70.86	74.64	72.46	72.86	100.23	99.89	100.07	100.08
19	BB - 35	95.57	96.78	94.23	95.29	78.48	81.74	80.89	80.37	100.02	99.63	100.72	98.97
20	BB - 36	101.21	99.78	104.35	102.48	79.79	77.74	79.16	76.80	99.21	98.46	98.00	99.93
21	BB - 37	97.29	94.40	95.56	98.63	81.29	79.10	77.91	77.74	99.88	100.22	101.14	98.88
22	BB - 38	92.24	90.75	90.03	91.70	76.90	74.74	79.35	75.90	101.27	99.26	100.52	100.28
23	BB - 39	86.47	93.51	84.57	92.61	61.55	69.79	64.93	72.75	100.39	100.25	98.63	100.03
24	BB - 41	91.78	92.42	92.97	97.31	80.99	74.21	75.25	76.60	100.70	99.91	100.43	99.49
25	BB - 43	79.74	79.96	76.23	78.49	58.91	59.77	59.76	59.87	99.34	100.12	100.09	100.51
27	BB - 45	73.35	110.89	72.79	111.28	59.21	94.01	59.06	98.09	99.90	100.28	100.04	100.38
28	BB - 47	94.57	76.72	75.42	93.41	73.10	68.93	64.23	80.02	101.31	99.98	99.51	100.34
29	BB - 50	91.59	110.33	87.47	106.57	54.57	94.67	73.74	93.22	99.09	99.04	100.00	100.11
30	BB - 51	74.25	73.81	75.83	82.94	58.33	68.05	57.94	69.48	99.97	99.45	100.23	100.39

**RESULTADOS**

ITEM	TIPO MUESTRA	MEDIDAS Inicial PROMEDIO			MEDIDAS Final PROMEDIO			Construcción		
		Dex1	Dix1	Hxz1	Dex1	Dix1	Hxz1	Dex1	Dix1	Hxz1
1	BB - 03	97.12	80.84	99.85	89.41	77.99	99.52	7.934%	3.529%	0.323%
2	BB - 05	107.26	89.92	99.79	100.20	87.06	99.78	6.582%	3.175%	0.005%
3	BB - 07	96.16	79.35	100.64	94.75	78.22	99.86	1.471%	1.424%	0.773%
4	BB - 08	99.49	79.85	99.86	93.56	75.38	99.83	5.956%	5.604%	0.028%
5	BB - 14	101.64	72.41	100.41	96.56	67.90	100.21	4.996%	6.229%	0.192%
6	BB - 15	97.81	84.08	99.89	92.57	80.56	99.52	5.360%	4.181%	0.370%
7	BB - 16	90.90	78.04	100.34	83.35	73.03	100.21	8.304%	6.417%	0.127%
8	BB - 17	92.56	77.08	100.73	87.38	73.30	100.46	5.591%	4.898%	0.273%
26	BB - 18	87.65	68.93	100.55	86.18	67.03	99.85	1.674%	2.746%	0.691%
9	BB - 19	95.08	76.42	100.13	90.78	73.98	100.04	4.517%	3.193%	0.092%
10	BB - 20	93.85	79.24	100.62	88.45	72.67	100.23	5.754%	8.294%	0.383%
11	BB - 23	101.65	78.54	99.76	95.44	70.93	99.53	6.114%	9.692%	0.231%
12	BB - 25	96.69	81.90	99.66	90.85	78.50	99.45	6.048%	4.148%	0.211%
13	BB - 26	93.89	73.65	100.66	90.67	71.11	100.26	3.432%	3.452%	0.398%
14	BB - 27	97.00	81.07	100.27	92.24	76.40	99.88	4.912%	5.763%	0.384%
15	BB - 28	107.99	78.76	100.43	103.15	74.79	100.35	4.482%	5.035%	0.072%
16	BB - 29	95.56	75.59	101.01	91.10	72.85	100.61	4.670%	3.625%	0.394%
17	BB - 31	96.27	67.61	100.49	91.23	63.94	100.39	5.235%	5.429%	0.102%
18	BB - 32	97.76	76.29	100.10	92.58	72.71	100.07	5.299%	4.696%	0.027%
19	BB - 35	99.31	83.16	100.29	95.47	80.37	99.84	3.872%	3.349%	0.451%
20	BB - 36	109.18	83.10	99.01	101.96	78.37	98.90	6.620%	5.683%	0.114%
21	BB - 37	101.61	81.96	100.16	96.47	79.01	100.03	5.061%	3.599%	0.132%
22	BB - 38	96.00	80.59	100.53	91.18	76.72	100.33	5.018%	4.796%	0.199%
23	BB - 39	93.32	70.47	100.03	89.29	67.26	99.83	4.321%	4.555%	0.200%
24	BB - 41	97.81	80.71	100.49	93.62	76.76	100.13	4.286%	4.894%	0.356%
25	BB - 43	81.12	61.83	100.37	78.61	59.58	100.02	3.100%	3.647%	0.354%
27	BB - 45	93.92	78.12	100.32	92.08	77.59	100.15	1.964%	0.669%	0.172%
28	BB - 47	87.21	72.40	100.66	85.03	71.57	100.29	2.494%	1.140%	0.373%
29	BB - 50	104.05	85.72	99.99	98.99	79.05	99.56	4.865%	7.778%	0.433%
30	BB - 51	82.19	67.13	100.21	76.71	63.45	100.01	6.673%	5.482%	0.200%

**2.4 ENSAYO: COMPRESION**

CARGA (KG)	BB-03-C1	BB-05-C1	BB-07-C1	BB-08-C1	BB-14-C1	BB-15-C1	BB-16-C1	BB-17-C1	BB-18-C1	BB-19-C1
KG	$\delta$ (mm)									
500.00	0.18	0.15	0.12	0.20	0.08	0.47	0.65	1.00	0.23	
1000.00	0.40	0.28	0.24	0.40	0.15	0.51	0.74	1.00	0.24	0.50
1500.00	0.47	0.35	0.31	0.46	0.20	0.58	0.78	1.00	0.24	0.54
2000.00	0.48	0.42	0.40	0.52	0.25	0.65	0.84	1.00	0.25	0.58
2500.00	0.49	0.48	0.49	0.58	0.30	0.85	0.87	1.00	0.30	0.62
3000.00	0.49	0.52	0.51	0.63	0.33	0.87	0.91	1.00	0.34	0.66
3500.00	0.49	0.55	0.54	0.66	0.38	0.87	0.95	1.00	0.54	0.70
4000.00	0.49	0.60	0.57	0.70	0.40	0.87	0.96	1.00	0.58	0.74
4500.00	0.50	0.65	0.72	0.74	0.43	0.89	1.00	1.00	0.58	0.75
5000.00	0.52	0.70	0.79	0.78	0.48	0.94	1.02	1.00	0.61	0.79
5500.00	0.55	0.72	0.84	0.81	0.59	0.98	1.17	1.00	0.66	0.82
6000.00	0.73	0.72	0.92	0.85	0.52	1.03	1.17	1.00	0.69	0.85
6500.00	0.75	0.72	0.92	0.89	0.55	1.08	1.17	1.00	0.71	0.88
7000.00	0.78	0.84	0.94	0.90	0.58	1.15	1.17	1.00	0.71	0.93
7500.00	0.80		1.00	0.90	0.60	1.25	1.19	1.00	0.77	0.96
8000.00	0.82		1.12	0.90	0.54	1.30	1.23	1.00	0.80	0.99
8500.00	0.85		1.23	0.90	0.68	1.32	1.42	1.70	0.85	1.04
9000.00	0.88		1.35	0.90	0.70	1.37	1.45	1.70	0.86	1.08
9500.00	0.90		1.76	0.90	0.74	1.50	1.50	1.70	0.90	1.10
10000.00	0.90			0.93	0.78	1.66	1.55	1.70	0.94	1.10
10500.00	0.90			0.95	0.80	1.72	1.59	1.70	1.00	1.10
11000.00	0.90			0.98	0.85	1.77	1.60	1.70	1.14	1.10

CARGA (KG)	BB-03-C1	BB-05-C1	BB-07-C1	BB-08-C1	BB-14-C1	BB-15-C1	BB-16-C1	BB-17-C1	BB-18-C1	BB-19-C1
KG	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)
11500.00	0.90			1.02	0.92	2.13	1.60	2.20		1.50
12000.00	0.90			1.05	1.10		1.70			
12500.00	0.90			1.10			2.00			
13000.00				1.15						
13500.00				1.20						
14000.00				1.38						
14500.00										
15000.00										
<b>CARGA MAXIMA (kg)</b>	<b>12,000.00</b>	<b>7,000.00</b>	<b>9,500.00</b>	<b>14,700.00</b>	<b>11,800.00</b>	<b>11,500.00</b>	<b>12,200.00</b>	<b>11,300.00</b>	<b>10,600.00</b>	<b>11,200.00</b>

	BB-03-C1	BB-05-C1	BB-07-C1	BB-08-C1	BB-14-C1	BB-15-C1	BB-16-C1	BB-17-C1	BB-18-C1	BB-19-C1
D. Ext cm	9.58	11.03	9.92	10.16	10.07	9.04	9.05	9.46	9.40	9.27
Espesor e cm	1.10	1.38	1.09	1.96	1.74	0.57	1.43	1.22	1.16	1.00
Altura H cm	10.09	10.12	10.29	10.11	10.30	10.20	9.97	10.00	10.25	10.18
Fult kg	12000.00	7000.00	9500.00	14700.00	11800.00	11500.00	12200.00	11300.00	10600.00	11200.00
<b><math>\sigma</math>ultimo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>410.06</b>	<b>166.98</b>	<b>313.69</b>	<b>291.70</b>	<b>258.83</b>	<b>754.39</b>	<b>356.93</b>	<b>357.94</b>	<b>353.95</b>	<b>429.47</b>

CARGA (KG)	BB-20-C1	BB-23-C1	BB-25-C1	BB-26-C1	BB-27-C1	BB-28-C1	BB-29-C1	BB-31-C1	BB-32-C1	BB-35-C1
500.00	0.04	0.35	0.10	0.65	0.03	0.18	4.40	0.01	0.15	0.10
1000.00	0.13	0.40	0.20	0.74	0.09	0.19	4.45	0.01	28.00	0.20
1500.00	0.21	0.45	0.32	0.78	0.16	0.19	4.45	0.04	0.48	0.28
2000.00	0.26	0.50	0.43	0.84	0.22	0.22	4.46	0.09	0.55	0.28
2500.00	0.31	0.53	0.47	0.87	0.28	0.26	4.49	0.12	0.60	0.28
3000.00	0.34	0.56	0.56	0.91	0.32	0.30	4.52	0.17	0.66	0.28
3500.00	0.34	0.59	0.56	0.95	0.37	0.50	4.56	0.20	0.70	0.30
4000.00	0.36	0.62	0.78	0.96	0.41	0.52	4.58	0.24	0.73	0.34
4500.00	0.39	0.64	0.85	1.00	0.45	0.55	4.61	0.26	0.76	0.36
5000.00	0.43	0.67	0.88	1.02	0.48	0.60	4.63	0.26	0.82	0.54
5500.00	0.48	0.69	0.88	1.17	0.52	0.62	4.65	0.44	0.88	0.58
6000.00	0.55	0.72	0.93	1.17	0.54	0.64	4.67	0.44	0.88	0.60
6500.00	0.57	0.75	1.00	1.17	0.59	0.66	4.70	0.44	0.94	0.64
7000.00	0.72	0.78	1.27	1.17	0.61	0.68	4.72	0.44	1.00	0.67
7500.00	0.78	0.78	2.54	1.19	0.62	0.70	4.89	0.47	1.04	0.70
8000.00	0.80	0.78		1.23	0.62	0.73	4.89	0.69	1.12	0.74
8500.00	0.85	0.78		1.42	0.62	0.74	4.89	0.75	1.26	0.78
9000.00	1.28	0.81		1.45	0.62	0.81	4.89	0.80	1.50	0.79
9500.00		0.84		1.50	0.62	0.83	4.89	0.90	1.92	0.84
10000.00		0.87		1.55	0.62	0.85	4.90	1.08		0.88
10500.00		0.91		1.59	0.62	0.87	4.91			0.90
11000.00		0.95		1.60	0.62	0.89	4.94			0.95
11500.00		1.06		1.60	0.95	0.91	4.98			1.00

CARGA (KG)	BB-20-C1	BB-23-C1	BB-25-C1	BB-26-C1	BB-27-C1	BB-28-C1	BB-29-C1	BB-31-C1	BB-32-C1	BB-35-C1
12000.00		1.01		1.70	1.05	0.95	5.04			1.08
12500.00		1.14		2.00	1.25	0.99	5.20			1.18
13000.00		1.20				1.00	5.25			
13500.00		1.35				1.00	5.29			
14000.00						1.00	5.31			
14500.00						1.05	5.31			
15000.00						1.06				
15500.00						1.09				
16000.00						1.09				
16500.00						1.09				
17000.00						1.09				
17500.00						1.15				
18000.00						1.60				
<b>CARGA MAXIMA (kg)</b>	<b>8,800.00</b>	<b>13,400.00</b>	<b>7,500.00</b>	<b>12,200.00</b>	<b>11,000.00</b>	<b>18,100.00</b>	<b>14,500.00</b>	<b>10,000.00</b>	<b>8,700.00</b>	<b>12,500.00</b>

	BB-20-C1	BB-23-C1	BB-25-C1	BB-26-C1	BB-27-C1	BB-28-C1	BB-29-C1	BB-31-C1	BB-32-C1	BB-35-C1
D. Ext cm	8.76	9.89	10.63	9.05	7.07	10.40	9.92	9.31	9.23	10.53
Espesor e cm	1.01	1.33	1.45	1.43	0.60	1.47	1.25	1.71	0.95	1.46
Altura H cm	10.17	10.08	9.80	9.97	10.03	10.22	10.08	10.12	10.29	10.22
Fult kg	8800.00	13400.00	7500.00	12200.00	11000.00	18100.00	14500.00	10000.00	8700.00	12500.00
<b>σultimo (kg/cm2)</b>	<b>358.37</b>	<b>374.87</b>	<b>179.89</b>	<b>356.93</b>	<b>896.77</b>	<b>437.90</b>	<b>424.91</b>	<b>245.44</b>	<b>351.33</b>	<b>300.77</b>

CARGA (KG)	BB-36-C1	BB-37-C1	BB-38-C1	BB-39-C1	BB-41-C1	BB-43-C1	BB-45-C1	BB-47-C1	BB-50-C1	BB-51-C1
KG	$\delta$ (mm)									
500.00	0.08		0.10	0.14	0.23	0.01	2.12	0.19	1.30	0.26
1000.00	0.14	0.25	0.18	0.25	0.29	0.10	2.17	0.20	1.45	0.29
1500.00	0.14	0.30	0.26	0.38	0.49	0.14	2.35	0.24	1.50	0.32
2000.00	0.15	0.34	0.34	0.40	0.54	0.18	2.39	0.28	1.58	0.35
2500.00	0.18	0.38	0.37	0.45	0.58	0.24	2.44	0.31	1.64	0.39
3000.00	0.22	0.41	0.43	0.50	0.62	0.28	2.46	0.33	1.67	0.42
3500.00	0.27	0.45	0.43	0.55	0.63	0.32	2.49	0.55	1.70	0.45
4000.00	0.30	0.48	0.48	0.58	0.63	0.37	2.49	0.56	1.74	0.51
4500.00	0.35	0.51	0.53	0.64	0.63	0.40	2.49	0.57	1.76	0.68
5000.00	0.45	0.54	0.62	0.68	0.63	0.48	2.49	0.59	1.79	0.70
5500.00	0.48	0.56	0.74	0.72	0.63	0.48	2.49	0.65	1.84	0.73
6000.00	0.52	0.59	0.74	0.78	0.64	0.48	2.49	0.63	1.84	0.74
6500.00	0.55	0.62	0.75	0.85	0.67	0.48	2.66	0.64	1.85	0.75
7000.00	0.57	0.64	0.80	0.40	0.70	0.48	2.69	0.64	1.89	0.75
7500.00	0.58	0.68	0.84	1.00	0.74	0.48	2.72	0.64	1.91	0.75
8000.00	0.59	0.74	0.89	1.38	0.77	0.48	2.75	0.64	1.92	0.75
8500.00	0.62	0.76	1.09		0.81	0.60	2.78	0.64	1.92	0.75
9000.00	0.66	0.79	1.14		0.85	0.62	2.82	0.64	1.92	0.75
9500.00	0.68	0.82	1.18		0.90	0.65	2.85	0.64	1.92	0.78
10000.00	0.76	0.87	1.20		1.03	0.68	2.89	0.64	1.92	0.81
10500.00	0.81	0.94	1.20		1.08	0.70	2.94	0.65	1.92	1.01
11000.00	0.86	1.04	1.25		1.19	0.75	2.96	0.68	1.92	1.08
11500.00	0.90	1.10	1.50		1.47	0.78	3.29	0.71	1.97	1.11

CARGA (KG)	BB-36-C1	BB-37-C1	BB-38-C1	BB-39-C1	BB-41-C1	BB-43-C1	BB-45-C1	BB-47-C1	BB-50-C1	BB-51-C1
12000.00	0.96	1.22	1.50		1.87	0.82		0.88	2.02	1.15
12500.00	1.00	1.60				0.97		0.91	2.05	1.98
13000.00						0.97		0.94	2.08	
13500.00	1.04					0.97		0.96	2.08	
14000.00	1.08					0.97		1.04	2.12	
14500.00	1.26					0.99		1.45	2.30	
15000.00	1.40					1.04			2.34	
15500.00						1.08			2.38	
16000.00						1.25				
16500.00										
17000.00										
17500.00										
<b>CARGA MAXIMA (kg)</b>	<b>14,600.00</b>	<b>12,700.00</b>	<b>11,600.00</b>	<b>7,600.00</b>	<b>12,100.00</b>	<b>16,000.00</b>	<b>11,900.00</b>	<b>14,200.00</b>	<b>16,000.00</b>	<b>12,300.00</b>

	BB-36-C1	BB-37-C1	BB-38-C1	BB-39-C1	BB-41-C1	BB-43-C1	BB-45-C1	BB-47-C1	BB-50-C1	BB-51-C1
D. Ext cm	10.29	10.37	11.02	8.89	10.22	10.50	9.82	9.28	10.19	8.28
Espesor e cm	1.49	1.38	1.37	1.14	1.31	0.90	1.09	1.57	1.57	1.36
Altura H cm	9.99	10.12	10.25	10.20	10.03	10.16	10.00	10.14	10.22	10.00
Fult kg	14600.00	12700.00	11600.00	7600.00	12100.00	16000.00	11900.00	14200.00	16000.00	12300.00
<b>σultimo (kg/cm2)</b>	<b>353.96</b>	<b>325.29</b>	<b>280.03</b>	<b>274.46</b>	<b>329.86</b>	<b>589.99</b>	<b>396.73</b>	<b>374.04</b>	<b>375.74</b>	<b>416.84</b>

CARGA (KG)	BB-03-C2	BB-05-C2	BB-07-C2	BB-08-C2	BB-14-C2	BB-15-C2	BB-16-C2	BB-17-C2	BB-18-C2	BB-19-C2
KG	$\delta$ (mm)									
500.00	0.29	0.30	2.54	0.10	0.14	0.07	1.05	4.02	0.00	0.24
1000.00	0.32	0.38	2.60	0.20	0.21	0.11	1.07	4.02	0.00	0.34
1500.00	0.38	0.60	2.60	0.23	0.30	0.15	1.07	4.05	0.10	0.37
2000.00	0.44	0.70	2.61	0.28	0.34	0.18	1.07	4.10	0.15	0.38
2500.00	0.48	0.78	2.61	0.28	0.40	0.21	1.07	4.16	0.15	0.42
3000.00	0.52	0.85	2.65	0.50	0.44	0.24	1.07	4.25	0.15	0.48
3500.00	0.70	0.95	2.68	0.56	0.49	0.27	1.68	4.47	0.20	0.65
4000.00	0.76	0.98	2.70	0.60	0.52	0.28	1.71	4.47	0.25	0.69
4500.00	0.90	0.98	2.75	0.74	0.60	0.32	1.75	4.50	0.30	0.74
5000.00	0.90	1.04	2.79	0.78	0.65	0.35	1.77	4.50	0.30	0.79
5500.00	0.90	1.08	2.85	0.50	0.70	0.38	1.82	4.60	0.30	0.85
6000.00	0.84	1.08	2.89	0.75	0.80	0.41	2.04	4.84	0.50	0.93
6500.00	1.10	1.15	2.95	0.77	0.82	0.46	2.10	4.84		1.02
7000.00	1.45	1.30	3.93	0.81	0.92	0.52	2.16	4.90		1.19
7500.00		1.36		0.86		0.55	2.28	5.45		
8000.00		1.45		0.92			2.43			
8500.00		1.45		1.08			2.70			
9000.00		1.45								
9500.00		1.53								
10000.00		1.55								
10500.00		1.75								
11000.00		1.82								
11500.00		1.85								

CARGA (KG)	BB-03-C2	BB-05-C2	BB-07-C2	BB-08-C2	BB-14-C2	BB-15-C2	BB-16-C2	BB-17-C2	BB-18-C2	BB-19-C2
12000.00		1.87								
12500.00										
13000.00										
13500.00										
14000.00										
14500.00										
15000.00										
15500.00										
16000.00										
16500.00										
<b>CARGA MAXIMA (kg)</b>	<b>7,200.00</b>	<b>11,700.00</b>	<b>6,800.00</b>	<b>8,500.00</b>	<b>7,350.00</b>	<b>7,500.00</b>	<b>8,400.00</b>	<b>7,300.00</b>	<b>6,200.00</b>	<b>7,000.00</b>

	BB-03-C2	BB-05-C2	BB-07-C2	BB-08-C2	BB-14-C2	BB-15-C2	BB-16-C2	BB-17-C2	BB-18-C2	BB-19-C2
D. Ext cm	8.89	9.88	9.02	10.16	9.84	10.00	8.69	7.75	9.20	8.15
Espesor e cm	0.63	0.65	0.68	1.96	0.83	0.86	0.95	1.14	0.72	0.61
Altura H cm	10.18	10.12	10.12	10.11	10.23	10.12	10.10	10.00	10.20	10.21
Fult kg	7200.00	11700.00	6800.00	8500.00	7350.00	7500.00	8400.00	7300.00	6200.00	7000.00
<b><math>\sigma</math>ultimo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>442.69</b>	<b>621.12</b>	<b>381.18</b>	<b>168.67</b>	<b>313.15</b>	<b>304.51</b>	<b>363.63</b>	<b>309.11</b>	<b>324.30</b>	<b>484.45</b>

CARGA (KG)	BB-20-C2	BB-23-C2	BB-25-C2	BB-26-C2	BB-27-C2	BB-28-C2	BB-29-C2	BB-31-C2	BB-32-C2	BB-35-C2
KG	$\delta$ (mm)									
500.00	0.03	0.00	0.00	0.65	0.08	0.30	2.67	0.12	0.00	0.34
1000.00	0.07	0.00	0.00	0.74	0.10	0.30	2.71	0.39	0.00	0.45
1500.00	0.09	0.05	0.05	0.78	0.15	0.38	2.75	0.46	0.10	0.50
2000.00	0.13	0.09	0.10	0.84	0.23	0.42	2.80	0.54	0.15	0.55
2500.00	0.16	0.13	0.16	0.87	0.28	0.45	2.84	0.62	0.15	0.60
3000.00	0.20	0.16	0.33	0.91	0.33	0.50	2.89	0.69	0.15	0.65
3500.00	0.25	0.26	0.38	0.95	0.51	0.55	2.93	0.78	0.20	0.68
4000.00	0.28	0.25	0.43	0.96	0.55	0.23	2.97	0.78	0.25	0.73
4500.00	0.33	0.29	0.56	1.00	0.61	0.26	3.00	0.86	0.30	0.75
5000.00	0.37	0.32	0.56	1.02	0.68	0.78	3.04	1.25	0.30	0.80
5500.00	0.41	0.35	2.10	1.17	0.73	0.78	3.10	1.85	0.30	0.85
6000.00	0.46	0.40		1.17	0.76	0.78	3.15		0.50	0.88
6500.00	0.49	0.44		1.17	0.80	0.78	3.21			0.90
7000.00	0.49	0.45		1.17	0.86	0.78	3.30			1.10
7500.00	0.80	0.55		1.19	0.91	0.82	3.70			
8000.00		0.72		1.23	1.04	1.04				
8500.00				1.42	1.10	1.08				
9000.00				1.45	1.44	1.12				
9500.00				1.50		1.18				
10000.00				1.55		1.21				
10500.00				1.59		1.21				
11000.00				1.60		1.40				
11500.00				1.60						

CARGA (KG)	BB-20-C2	BB-23-C2	BB-25-C2	BB-26-C2	BB-27-C2	BB-28-C2	BB-29-C2	BB-31-C2	BB-32-C2	BB-35-C2
12000.00				1.70						
12500.00				2.00						
13000.00										
13500.00										
14000.00										
14500.00										
15000.00										
15500.00										
16000.00										
16500.00										
17000.00										
17500.00										
<b>CARGA MAXIMA (kg)</b>	<b>7,400.00</b>	<b>7,800.00</b>	<b>5,500.00</b>	<b>12,200.00</b>	<b>9,000.00</b>	<b>11,100.00</b>	<b>7,300.00</b>	<b>5,300.00</b>	<b>6,200.00</b>	<b>7,900.00</b>

	BB-20-C2	BB-23-C2	BB-25-C2	BB-26-C2	BB-27-C2	BB-28-C2	BB-29-C2	BB-31-C2	BB-32-C2	BB-35-C2
D. Ext cm	8.75	8.81	9.26	8.47	8.23	9.81	7.87	9.28	9.20	9.17
Espesor e cm	0.59	0.63	0.66	0.57	1.41	0.82	0.59	0.85	0.72	0.68
Altura H cm	10.17	10.27	10.15	10.22	10.12	10.25	10.33	10.06	10.20	10.15
Fult kg	7400.00	7800.00	5500.00	12200.00	9000.00	11100.00	7300.00	5300.00	6200.00	7900.00
<b><math>\sigma_{ultimo}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>489.50</b>	<b>479.60</b>	<b>307.90</b>	<b>866.41</b>	<b>298.89</b>	<b>477.93</b>	<b>538.20</b>	<b>236.37</b>	<b>324.30</b>	<b>434.94</b>

CARGA (KG)	BB-36-C2	BB-37-C2	BB-38-C2	BB-39-C2	BB-41-C2	BB-43-C2	BB-45-C2	BB-47-C2	BB-50-C2	BB-51-C2
KG	$\delta$ (mm)									
500.00	0.05	0.05	0.00	0.30	0.00	0.30	0.14	6.44	1.20	4.09
1000.00	0.13	0.10	0.10	0.40	0.24	0.30	0.21	6.44	1.30	4.13
1500.00	0.17	0.17	0.10	0.50	0.29	0.38	0.24	6.70	1.44	4.17
2000.00	0.20	0.23	0.15	0.55	0.35	0.42	0.28	6.72	1.49	4.22
2500.00	0.24	0.28	0.15	0.55	0.39	0.45	0.42	6.72	1.53	4.26
3000.00	0.27	0.33	0.15	0.65	0.42	0.50	0.42	6.75	1.58	4.31
3500.00	0.32	0.36	0.16	0.75	0.44	0.55	0.42	6.75	1.63	4.41
4000.00	0.35	0.41	0.20	0.85	0.46	0.23	0.42	6.75	1.67	4.41
4500.00	0.38	0.45	0.25	0.98	0.48	0.26	0.45	6.83	1.71	4.42
5000.00	0.42	0.50	0.29	1.04	0.52	0.78	0.64	6.89	1.76	4.45
5500.00	0.44	0.54	0.33	1.10	0.57	0.78	0.68	6.96	1.93	4.50
6000.00	0.48	0.60	0.40	1.40	0.74	0.78	0.75	7.00	1.94	4.55
6500.00	0.51	0.65	0.45		0.78	0.78	0.87	7.00	1.94	4.83
7000.00	0.54	0.68	0.54		0.81	0.78	1.10	7.11	1.94	5.04
7500.00	0.60	1.05	0.70		0.81	0.82		7.25	1.96	
8000.00	0.65				0.82	1.04		7.56	2.01	
8500.00					1.02	1.08			2.05	
9000.00					1.20	1.12			2.13	

CARGA (KG)	BB-36-C2	BB-37-C2	BB-38-C2	BB-39-C2	BB-41-C2	BB-43-C2	BB-45-C2	BB-47-C2	BB-50-C2	BB-51-C2
KG	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)					
9500.00						1.18			2.22	
10000.00						1.21			2.34	
10500.00						1.21			2.55	
11000.00						1.40			2.55	
11500.00									3.44	
12000.00										
12500.00										
13000.00										
13500.00										
14000.00										
14500.00										
15000.00										
<b>CARGA MAXIMA (kg)</b>	<b>8,000.00</b>	<b>7,500.00</b>	<b>7,200.00</b>	<b>6,000.00</b>	<b>8,700.00</b>	<b>11,100.00</b>	<b>6,600.00</b>	<b>7,600.00</b>	<b>10,800.00</b>	<b>6,700.00</b>

	BB-36-C2	BB-37-C2	BB-38-C2	BB-39-C2	BB-41-C2	BB-43-C2	BB-45-C2	BB-47-C2	BB-50-C2	BB-51-C2
D. Ext cm	9.50	8.23	8.49	8.68	9.10	9.81	8.61	8.22	10.12	7.84
Espesor e cm	0.79	0.71	0.63	0.55	0.73	0.82	0.65	0.63	0.89	0.70
Altura H cm	10.21	10.43	10.00	10.19	10.11	10.25	10.15	10.24	10.04	10.24
Fult kg	8000.00	7500.00	7200.00	6000.00	8700.00	11100.00	6600.00	7600.00	10800.00	6700.00
<b><math>\sigma</math>ultimo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>369.48</b>	<b>448.17</b>	<b>462.58</b>	<b>428.54</b>	<b>452.72</b>	<b>477.93</b>	<b>404.17</b>	<b>503.48</b>	<b>420.23</b>	<b>428.35</b>

## 2.5 ENSAYO: TRACCION

MUESTRA	BB - 03	BB - 05	BB - 07	BB - 08	BB - 10	BB - 11	BB - 14	BB - 15	BB - 16	BB - 17
LARGO (mm)	26.23	25.95	26.37	24.11	26.02	24.87	21.29	24.91	26.28	25.89
ANCHO (mm)	6.28	7.83	6.87	7.27	8.22	8.61	8.63	6.75	5.53	5.70
AREA (mm <sup>2</sup> )	164.72	203.19	181.16	175.28	213.88	214.13	183.73	168.14	145.33	147.57
CARGA (kg)	2500.00	2940.00	1700.00	1000.00	1680.00	1000.00	1100.00	1920.00	1580.00	2270.00
$\sigma_{ultimo}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>1517.69</b>	<b>1446.93</b>	<b>938.39</b>	<b>570.52</b>	<b>785.47</b>	<b>467.00</b>	<b>598.70</b>	<b>1141.89</b>	<b>1087.19</b>	<b>1538.22</b>

MUESTRA	BB - 19	BB - 20	BB - 23	BB - 25	BB - 26	BB - 27	BB - 28	BB - 29	BB - 31	BB - 33
LARGO (mm)	25.26	26.38	25.62	25.15	26.09	26.06	25.49	25.68	21.31	24.31
ANCHO (mm)	6.42	6.04	6.16	5.62	5.85	5.93	10.17	6.03	6.23	6.09
AREA (mm <sup>2</sup> )	162.17	159.34	157.82	141.34	152.63	154.54	259.23	154.85	132.76	148.05
CARGA (kg)	2650.00	2140.00	1860.00	1560.00	2700.00	1420.00	1810.00	1020.00	1200.00	1780.00
$\sigma_{ultimo}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>1634.10</b>	<b>1343.08</b>	<b>1178.56</b>	<b>1103.70</b>	<b>1769.02</b>	<b>918.88</b>	<b>698.21</b>	<b>658.70</b>	<b>903.88</b>	<b>1202.31</b>

MUESTRA	BB - 35	BB - 36	BB - 37	BB - 38	BB - 39	BB - 41	BB - 43	BB - 45	BB - 47	BB - 50
LARGO (mm)	21.68	26.30	28.44	23.65	26.52	27.66	25.66	25.29	24.11	21.04
ANCHO (mm)	6.54	7.41	6.30	6.10	5.70	8.24	6.65	6.39	6.22	6.06
AREA (mm <sup>2</sup> )	141.79	194.88	179.17	144.27	151.16	227.92	170.64	161.60	149.96	127.50
CARGA (kg)	2490.00	2620.00	1650.00	1420.00	1930.00	1800.00	2500.00	2300.00	1000.00	1530.00
$\sigma_{ultimo}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>1756.15</b>	<b>1344.40</b>	<b>920.90</b>	<b>984.30</b>	<b>1276.76</b>	<b>789.76</b>	<b>1465.08</b>	<b>1423.24</b>	<b>666.83</b>	<b>1199.98</b>

**2.6 ENSAYO: CORTE**

MUESTRA	BB-3	BB-05	BB-07	BB-8	BB-14	BB-15	BB-16	BB-17	BB-18	BB-19
l1 (mm) =	101.12	99.07	101.45	101.22	100.34	101.65	101.24	100.78	101.57	101.31
l2 (mm) =	102.42	99.25	101.42	102.12	100.82	102.55	102.85	100.17	101.50	100.79
l3 (mm) =	102.37	99.38	100.95	101.25	101.24	101.68	100.31	99.62	101.55	101.32
l4 (mm) =	102.23	99.21	101.81	101.15	100.18	101.81	102.04	100.76	101.21	101.20
e1 (mm) =	6.67	8.67	7.30	7.65	7.03	5.02	6.05	6.78	8.55	5.42
e2 (mm) =	6.03	7.78	6.50	9.63	8.18	6.16	5.47	6.65	7.93	6.79
e3 (mm) =	6.07	6.38	8.20	8.45	7.14	6.15	5.76	6.63	7.21	6.30
e4 (mm) =	5.86	7.18	9.80	7.85	8.04	6.75	7.17	6.18	7.84	6.35
MUESTRA	BB-03	BB-05	BB-07	BB-8	BB-14	BB-15	BB-16	BB-17	BB-18	BB-19
LARGO (cm)	10.20	9.92	10.14	10.14	10.06	10.19	10.16	10.03	10.15	10.12
ESPEJOR (cm)	0.62	0.75	0.80	0.84	0.76	0.60	0.61	0.66	0.79	0.62
L X T (cm <sup>2</sup> )	25.12	29.77	32.25	34.07	30.58	24.55	24.85	26.33	31.99	25.14
CARGA (kg)	<b>2100</b>	<b>2100</b>	<b>2200</b>	<b>2550</b>	<b>1950</b>	<b>2150</b>	<b>1100</b>	<b>2500</b>	<b>3050</b>	<b>2800</b>
$\sigma_{ultimo}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>83.59</b>	<b>70.53</b>	<b>68.21</b>	<b>74.84</b>	<b>63.76</b>	<b>87.59</b>	<b>44.27</b>	<b>94.96</b>	<b>95.34</b>	<b>111.36</b>

MUESTRA	BB-20	BB-23	BB-25	BB-26	BB-27	BB-28	BB-29	BB-31	BB-32	BB- 35
l1 (mm) =	100.18	102.07	99.80	100.80	102.02	102.15	101.19	101.64	101.51	102.02
l2 (mm) =	101.52	102.55	99.74	101.33	101.84	102.72	100.67	100.83	101.80	101.74
l3 (mm) =	101.07	102.39	100.97	101.74	102.34	102.18	101.96	100.52	101.70	100.25
l4 (mm) =	100.62	102.25	100.65	100.70	101.91	102.64	100.76	100.81	101.47	102.22
e1 (mm) =	6.44	6.52	7.40	6.09	6.99	6.78	6.12	7.33	6.76	6.31
e2 (mm) =	5.62	6.25	7.43	5.34	6.98	6.34	6.23	6.99	6.14	6.99
e3 (mm) =	6.14	6.74	5.82	6.84	7.55	6.30	6.33	6.50	5.99	7.13
e4 (mm) =	6.30	7.30	5.72	6.25	6.48	6.84	6.13	7.58	5.71	6.20

MUESTRA	BB-20	BB-23	BB-25	BB-26	BB-27	BB-28	BB-29	BB-31	BB-32	BB- 35
LARGO (cm)	10.08	10.23	10.03	10.11	10.20	10.24	10.11	10.10	10.16	10.16
ESPESOR (cm)	0.61	0.67	0.66	0.61	0.70	0.66	0.62	0.71	0.62	0.67
L X T (cm <sup>2</sup> )	24.70	27.43	26.43	24.80	28.57	26.90	25.10	28.67	25.00	27.03
CARGA (kg)	<b>1800</b>	<b>3550</b>	<b>1400</b>	<b>1700</b>	<b>2800</b>	<b>2950</b>	<b>2500</b>	<b>1300</b>	<b>2150</b>	<b>1650</b>
$\sigma_{ultimo}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>72.87</b>	<b>129.42</b>	<b>52.97</b>	<b>68.54</b>	<b>98.00</b>	<b>109.68</b>	<b>99.62</b>	<b>45.34</b>	<b>86.01</b>	<b>61.03</b>

MUESTRA	BB-36	BB-37	BB-38	BB-39	BB-41	BB-43	BB-45	BB-47	BB-50	BB-51
l1 (mm) =	102.41	101.13	101.06	101.80	101.57	99.19	100.29	102.04	100.45	100.73
l2 (mm) =	100.77	101.41	101.26	101.23	101.50	99.56	100.92	101.50	100.38	100.69
l3 (mm) =	101.92	101.15	102.25	101.73	101.55	99.48	101.32	101.19	100.51	101.51
l4 (mm) =	101.47	101.12	101.07	101.16	101.21	99.19	100.61	102.00	100.27	100.42
e1 (mm) =	8.17	6.43	8.61	5.27	8.55	14.10	6.68	7.41	9.06	7.08
e2 (mm) =	8.83	6.83	7.81	5.12	7.93	14.56	5.96	6.40	9.92	6.34
e3 (mm) =	7.84	6.24	7.94	4.88	7.21	15.22	5.90	6.26	7.80	6.55
e4 (mm) =	7.97	7.46	6.67	5.77	7.84	13.01	6.61	6.11	8.56	6.08
MUESTRA	BB-36	BB-37	BB-38	BB-39	BB-41	BB-43	BB-45	BB-47	BB-50	BB-51
LARGO (cm)	10.16	10.12	10.14	10.15	10.15	9.94	10.08	10.17	10.04	10.08
ESPESOR (cm)	0.82	0.67	0.78	0.53	0.79	1.42	0.63	0.65	0.88	0.65
L X T (cm <sup>2</sup> )	33.34	27.28	31.47	21.35	31.99	56.53	25.34	26.62	35.48	26.27
CARGA (kg)	<b>2100</b>	<b>3050</b>	<b>2500</b>	<b>2300</b>	<b>3050</b>	<b>3700</b>	<b>2800</b>	<b>2900</b>	<b>2500</b>	<b>1900</b>
$\sigma_{ultimo}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>62.98</b>	<b>111.79</b>	<b>79.44</b>	<b>107.73</b>	<b>95.34</b>	<b>65.46</b>	<b>110.49</b>	<b>108.92</b>	<b>70.46</b>	<b>72.33</b>

**2.7 ENSAYO: FLEXION ESCALA NATURAL**

PROBETA	BB-03	BB-05	BB-07	BB-08	BB-14	BB-15	BB-16	BB-17	BB-18	BB-19
CARGA	Deform.									
KG	$\delta$ (cm)									
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.50	1	0.50	0.40	1.20	1.00	2.20	0.60	1.00	1.40
40.00	0.90	1.4	1.10	0.80	1.20	3.50	3.30	1.10	1.50	1.70
60.00	1.50	1.8	1.70	1.30	1.88	4.00	4.40	1.70	2.00	2.10
80.00	1.90	2.3	2.40	1.70	2.50	4.20	5.70	2.20	2.60	2.60
100.00	2.50	2.6	3.10	2.10	2.80	4.80		2.70	3.00	3.20
120.00	3.20	2.6	3.80	2.40	3.70	5.20		3.40	3.60	3.50
140.00	3.60	3.6	5.50	2.70	5.00	5.80		4.20	4.00	4.60
160.00	4.20	4.5	5.70	3.50		6.30		5.10	4.60	5.20
180.00	5.00	5	5.80	4.00		7.30		5.50	5.70	5.50
200.00	5.60	5.6	6.00	4.30		8.50		5.80	6.00	5.80
220.00										
320.00										
$\delta$ (cm)	5.60	5.60	6.00	4.30	5.00	8.50	5.70	5.80	6.00	5.80
CARGA MAXIMA (kg)	200.00	200.00	200.00	200.00	140.00	200.00	80.00	200.00	200.00	200.00

<b>D.ext.i_a(mm)</b>	95.75	104.41	91.05	97.20	97.04	81.33	87.53	88.96	83.97	91.99
<b>D.int.f_a(mm)</b>	66.12	86.46	90.28	68.57	86.87	64.90	71.50	79.92	66.51	81.30
<b>D.ext.i_b(mm)</b>	99.03	106.36	97.35	99.03	99.50	81.02	82.77	91.83	85.64	89.92
<b>D.int.f_b(mm)</b>	67.10	82.03	75.91	75.83	80.38	56.14	82.37	70.99	73.66	67.22
<b>Ia(mm<sup>4</sup>)</b>	3.19E+06	3.09E+06	1.13E+05	3.30E+06	1.56E+06	1.28E+06	1.60E+06	1.07E+06	1.48E+06	1.37E+06
<b>Ib(mm<sup>4</sup>)</b>	3.73E+06	4.06E+06	2.78E+06	3.10E+06	2.76E+06	1.63E+06	4.42E+04	2.24E+06	1.20E+06	2.21E+06
<b>I</b>	3.46E+06	3.58E+06	1.45E+06	3.20E+06	2.16E+06	1.45E+06	8.21E+05	1.66E+06	1.34E+06	1.79E+06
<b>Carga Kg</b>	120.00	160.00	140.00	160.00	120.00	180.00	0.00	160.00	160.00	140.00
<b>Multimo(kg*mm)</b>	60,000.00	80,000.00	70,000.00	80,000.00	60,000.00	90,000.00	0.00	80,000.00	80,000.00	70,000.00
<b>E (kg/mm<sup>2</sup>)</b>	297.03	382.94	773.26	557.70	532.50	698.67	0.00	797.18	955.43	646.64
<b>ELP (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	85.94	119.00	235.65	123.91	138.22	251.04	0.00	221.53	256.14	175.95

PROBETA	BB-20	BB-23	BB-25	BB-26	BB-27	BB-28	BB-29	BB-31	BB-32	BB-35
CARGA	Deform.									
KG	$\delta$ (cm)									
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	1.40	0.00	0.60	1.00	0.60	0.40	0.60	0.60	0.00	0.50
40.00	1.70	1.20	1.50	1.80	1.00	0.80	1.30	1.50	1.50	1.00
60.00	2.10	1.20	2.00	2.40	1.50	1.20	1.50	2.00	1.50	1.40
80.00	2.60	1.20	2.50	2.80	1.90	1.80	2.50	2.50	1.50	1.80
100.00	3.20	2.10	3.10	3.50	2.40	2.00	3.30	3.10	2.40	2.10
120.00	3.50	2.10	3.70	4.00	3.10	2.30	3.80	3.70	2.40	2.60
140.00	4.60	3.30		4.50	3.80	2.80	4.10	4.20	5.00	3.00
160.00	5.20	3.30		5.20	5.10	3.10	4.40	4.80	5.00	3.40
180.00	5.50	3.30			5.20	3.40	4.80	5.00	5.00	3.90
200.00	5.80	3.50			5.60	3.80	5.00		6.50	4.30
220.00		3.50								
240.00		5.80								
260.00										
320.00										
$\delta$ (cm)	5.80	5.80	3.70	5.20	5.60	3.80	5.00	5.00	6.50	4.30
<b>CARGA MAXIMA (kg)</b>	<b>200.00</b>	<b>240.00</b>	<b>120.00</b>	<b>160.00</b>	<b>200.00</b>	<b>200.00</b>	<b>200.00</b>	<b>180.00</b>	<b>200.00</b>	<b>200.00</b>

<b>D.ext.i_a(mm)</b>	89.65	96.87	96.89	91.08	93.73	95.59	83.21	94.40	89.19	98.00
<b>D.int.f_a(mm)</b>	75.08	71.80	75.42	65.57	61.67	79.12	72.48	77.81	67.85	77.30
<b>D.ext.i_b(mm)</b>	92.51	96.27	99.48	88.56	97.43	99.80	87.53	97.65	85.25	99.75
<b>D.int.f_b(mm)</b>	65.99	73.62	77.54	72.43	77.35	67.01	64.93	78.55	69.94	74.91
<b>Ia(mm4)</b>	1.61E+06	3.02E+06	2.74E+06	2.47E+06	3.08E+06	2.17E+06	9.99E+05	2.10E+06	2.07E+06	2.78E+06
<b>Ib(mm4)</b>	2.66E+06	2.77E+06	3.03E+06	1.67E+06	2.67E+06	3.88E+06	2.01E+06	2.59E+06	1.42E+06	3.31E+06
<b>I</b>	2.14E+06	2.90E+06	2.89E+06	2.07E+06	2.87E+06	3.03E+06	1.50E+06	2.35E+06	1.74E+06	3.04E+06
<b>Carga Kg</b>	140.00	140.00	0.00	0.00	160.00	140.00	100.00	160.00	140.00	0.00
<b>Multimo(kg*mm)</b>	70,000.00	70,000.00	0.00	0.00	80,000.00	70,000.00	50,000.00	80,000.00	70,000.00	0.00
<b>E (kg/mm2)</b>	541.11	399.36	0.00	0.00	476.60	583.18	637.25	653.34	592.48	0.00
<b>ELP (kg/cm2)</b>	151.48	116.34	0.00	0.00	135.67	115.39	145.51	166.43	171.29	0.00

PROBETA	BB-36	BB-37	BB-38	BB-39	BB-41	BB-43	BB-45	BB-47	BB-50	BB-51
CARGA	Deform.									
KG	$\delta$ (cm)									
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	0.50	0.40	0.70	32.50	0.40	0.00	0.60	0.30	0.50	0.80
40.00	1.00	1.00	1.00	32.10	0.80	1.00	1.50	0.70	0.80	1.40
60.00	1.70	1.60	1.70	31.30	1.20	1.00	2.00	1.20	1.00	2.20
80.00	2.10	2.10	2.10	30.50	1.50	1.00	2.50	2.00	1.40	3.00
100.00	2.70	2.60	2.70	29.90	1.90	2.10	3.10	2.70	2.00	3.70
120.00	3.40	3.20	3.40	29.30	2.30	2.10	3.70	3.20	2.50	4.70
140.00	4.10	4.20	4.10	28.60	2.60	3.30	4.20	4.00	2.80	5.00
160.00	4.80	5.00	4.80	27.60	3.00	3.30	4.80	4.00	3.30	
180.00	5.90	6.20	5.90	27.40	3.40	3.30	5.00	6.10	3.50	
200.00		6.40		27.20	3.80	4.20			3.90	
220.00				26.80		4.20				
240.00						5.00				
260.00										
320.00										
$\delta$ (cm)	5.90	6.40	5.90	26.80	3.80	5.00	5.00	6.10	3.90	5.00
<b>CARGA MAXIMA (kg)</b>	<b>180.00</b>	<b>200.00</b>	<b>180.00</b>	<b>220.00</b>	<b>200.00</b>	<b>240.00</b>	<b>180.00</b>	<b>180.00</b>	<b>200.00</b>	<b>140.00</b>

<b>D.ext.i a(mm)</b>	92.16	90.27	92.16	94.40	98.36	100.28	94.40	92.18	103.90	82.20
<b>D.int.f a(mm)</b>	73.14	86.80	73.14	72.93	74.86	65.05	77.81	70.51	95.30	56.53
<b>D.ext.i b(mm)</b>	95.05	93.24	95.05	90.11	96.20	94.38	97.65	90.20	106.51	81.16
<b>D.int.f b(mm)</b>	69.73	67.75	69.73	57.32	74.09	84.49	78.55	67.72	76.60	62.35
<b>Ia(mm4)</b>	2.14E+06	4.73E+05	2.14E+06	2.51E+06	3.05E+06	4.09E+06	2.10E+06	2.33E+06	1.67E+06	1.74E+06
<b>Ib(mm4)</b>	2.85E+06	2.68E+06	2.85E+06	2.71E+06	2.72E+06	1.39E+06	2.59E+06	2.22E+06	4.63E+06	1.39E+06
<b>I</b>	2.49E+06	1.57E+06	2.49E+06	2.61E+06	2.89E+06	2.74E+06	2.35E+06	2.27E+06	3.15E+06	1.56E+06
<b>Carga Kg</b>	160.00	180.00	160.00	160.00	140.00	0.00	160.00	160.00	120.00	120.00
<b>Multimo(kg*mm)</b>	80,000.00	90,000.00	80,000.00	80,000.00	70,000.00	0.00	80,000.00	80,000.00	60,000.00	60,000.00
<b>E (kg/mm2)</b>	521.62	856.08	521.62	515.73	611.04	0.00	653.34	552.71	468.09	735.33
<b>ELP (kg/cm2)</b>	152.62	266.53	152.62	138.21	116.54	0.00	166.43	158.67	101.45	155.68

## 2.7 ENSAYO: FLEXION ESTATICA

PROBETA	BB-03	BB-05	BB-07	BB-08	BB-14	BB-15	BB-16	BB-17	BB-18	BB-19
	Deform.									
KG	$\delta$ (mm)									
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
40.00	0.93	2.40	1.60	1.30	1.80	1.24	2.00	1.70	1.52	
80.00	2.71	3.73	2.24	2.14	2.60	2.37	4.44	2.72	2.53	
120.00	3.76	5.41	2.96	3.08	3.74	3.35	7.46	3.90	3.07	
160.00	4.95	5.48	4.62	3.92	4.18	4.43	10.81	5.20	4.28	
200.00	6.12	7.50	7.07	5.25	5.00	6.20	14.25	7.18	5.62	
240.00	8.37	10.81	11.02	6.52	6.20	8.82	21.23	10.27	7.78	
280.00	10.13	13.33	14.80	7.80	7.40	10.95	30.46	13.00	9.24	
320.00	13.74	15.46	16.60	9.00	8.83	12.27			10.74	
360.00		18.86		10.47	9.48	14.14			12.41	
400.00				12.83	10.76				15.66	
440.00				15.18	12.09				17.69	
480.00				17.98	13.48				21.16	
520.00					14.53					

PROBETA	BB- 03	BB-05	BB-07	BB-08	BB-14	BB-15	BB-16	BB-17	BB-18	BB-19
520.00					14.53					
560.00					16.17					
600.00					17.96					
640.00					19.09					14.00
680.00					21.19					
720.00					22.45					
760.00										
800.00										
840.00										
880.00										
920.00										
960.00										
<b>δ max. (mm)</b>	13.74	18.86	16.60	17.98	22.45	14.14	30.46	13.00	21.16	14.00
<b>C. ELP (kg)</b>	200.00	160.00	160.00	360.00		200.00	240.00	200.00	240.00	320.00
<b>CARGA MAXIMA (kg)</b>	320.00	360.00	320.00	480.00	720.00	360.00	280.00	280.00	480.00	640.00
<b>D.ext. (mm)</b>	90.5	103.66	90.72	93.55	98.09	92.50	88.99	91.33	84.54	91.01
<b>espesor</b>	7.8	8.34	7.86	8.60	10.03	7.00	5.23	7.34	7.50	7.4
<b>D.int. (mm)</b>	74.9	86.98	75	76.35	78.03	78.5	78.53	76.65	69.54	76.21
<b>IT(mm4)</b>	1.75E+06	2.86E+06	1.77E+06	2.09E+06	2.72E+06	1.73E+06	1.21E+06	1.72E+06	1.36E+06	1.71E+06
<b>E (kg/mm2)</b>	73.19	26.09	47.81	84.14	103.46	71.87	57.16	78.58	73.33	117.36
<b>ELP(kg/cm2)</b>	97.08	54.40	76.80	150.95	0.00	100.27	165.26	99.51	139.92	159.50
<b>MOR(kg/cm2)</b>	155.33	122.40	153.61	201.27	243.01	180.49	192.80	139.32	279.84	319.00

PROBETA	BB-20	BB-23	BB-25	BB-26	BB-27	BB-28	BB-29	BB-31	BB - 32	BB-35
CARGA	Deform.									
KG	$\delta$ (mm)									
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\delta$ (mm)	$\delta$ (mm)
40.00	1.68	1.02	0.08	0.26	1.50	0.79	0.66	1.30	1.50	0.00
80.00	2.51	1.72	3.02		2.43	2.28	1.08	2.70	2.56	1.93
120.00	3.84	1.40	5.05	1.18	2.98	2.35	1.58	3.27	3.87	2.51
160.00	5.17	2.63	8.83	1.49	3.98	2.69	1.97	3.70	5.00	3.08
200.00	7.00	3.41	11.84	2.21	4.66	3.12	2.40	4.75	6.63	4.29
240.00	10.19	4.22	18.75	3.21	7.24	3.75	3.00	6.00	8.72	5.19
280.00	13.40	4.95	22.91	4.04	9.45	4.40	3.72	7.24	11.80	7.02
320.00	16.17	5.50		4.78	10.98	4.93	4.18	8.50	13.14	8.74
360.00	20.24	6.31		5.63	12.35	5.40	4.59	9.54	15.68	9.90
400.00	23.10	7.12		6.88	12.35	5.82	5.08	10.72	18.72	12.74
440.00		7.55		7.75		6.25	5.56	12.49	20.42	17.93
480.00		8.57		9.30		7.08	6.24	14.60	25.42	20.28
520.00		9.26		11.11		8.00	6.53		33.62	
560.00		10.49		12.77		8.75	7.40			
600.00		11.50		13.27		9.80	8.17			

PROBETA	BB-20	BB-23	BB-25	BB-26	BB-27	BB-28	BB-29	BB-31	BB - 32	BB-35
640.00		12.56		16.10		10.84	8.84			
680.00		13.79		21.13		11.69	9.76			
720.00		15.09				12.08	10.14			
760.00		16.44				12.50	11.43			
800.00		17.00				1.35	12.23			
840.00		18.55				14.20	13.51			
880.00		19.56				15.85	14.00			
920.00		23.20				16.04				
960.00		24.38								
<b>δ max. (mm)</b>	23.10	24.38	22.91	21.13	12.35	16.04	14.00	14.60	33.62	20.28
<b>C. ÉLP (kg)</b>	200.00	480.00	200.00	480.00	240.00	600.00	280.00	240.00	240.00	200.00
<b>CARGA MAXIMA (kg)</b>	400.00	960.00	280.00	680.00	400.00	920.00	880.00	480.00	480.00	440.00
<b>D.ext. (mm)</b>	81.75	98.76	94.57	90.76	94.37	96.85	95.24	92.71	89.50	94.93
<b>espesor</b>	7.5	10.44	6.73	8.96	7.72	10.14	8.63	11.42	8.80	8.50
<b>D.int. (mm)</b>	66.75	77.88	81.11	72.84	78.93	76.57	77.98	69.87	71.9	77.93
<b>IT(mm4)</b>	1.22E+06	2.86E+06	1.80E+06	1.95E+06	1.99E+06	2.63E+06	2.22E+06	2.46E+06	1.84E+06	2.18E+06
<b>E (kg/mm2)</b>	62.48	60.42	42.58	102.44	85.92	124.94	79.05	58.81	34.14	39.83
<b>ELP(kg/cm2)</b>	125.85	155.18	98.41	209.56	106.81	207.02	112.43	84.91	109.57	81.80
<b>MOR(kg/cm2)</b>	251.71	310.35	137.78	296.87	178.01	317.43	353.35	169.83	219.15	179.96

PROBETA	BB-36	BB-37	BB-38	BB-39	BB-41	BB-43	BB-45	BB-47	BB-50	BB-51
CARGA	Deform.									
KG	$\delta$ (mm)									
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.00	1.30	1.50	0.78	1.72	1.42	1.14	1.41	1.52	1.20	1.51
80.00	2.08	2.27	2.10	2.27	1.94	2.34	2.58	2.50	2.08	2.30
120.00	2.80	2.65	2.62	1.97	2.67	3.24	3.68	3.78	2.98	3.12
160.00	3.3	3.62	3.00	3,82	3.09	4.89	5.54	4.59	3.80	4.86
200.00	4.20	4.50	4.62	4,5	3.91	5.51	6.34	6.24	4.02	5.18
240.00	5.11	5.76	7.20	5,5	4.83	8.18	8.76	8.33	5.52	7.08
280.00	6.37	6.57	10.53	6,4	6.00		9.02	10.44	7.18	9.94
320.00	6.92	7.66	12.31	7,7	6.97		11.79	12.94	8.49	12.01
360.00	7.22	8.63	15.12	8,5	7.81		13.32	16.41	9.89	14.45
400.00	8.46	9.89		9.72	9.05			19.00	11.99	19.87
440.00	8.92	10.91		10.91	10.35			20.11	13.06	25.93
480.00	10.13	12.40		11.30	12.18				15.16	
520.00	11.24	13.22		12.46	14.03				16.08	
560.00	12.38	14.90		14.64	16.04					

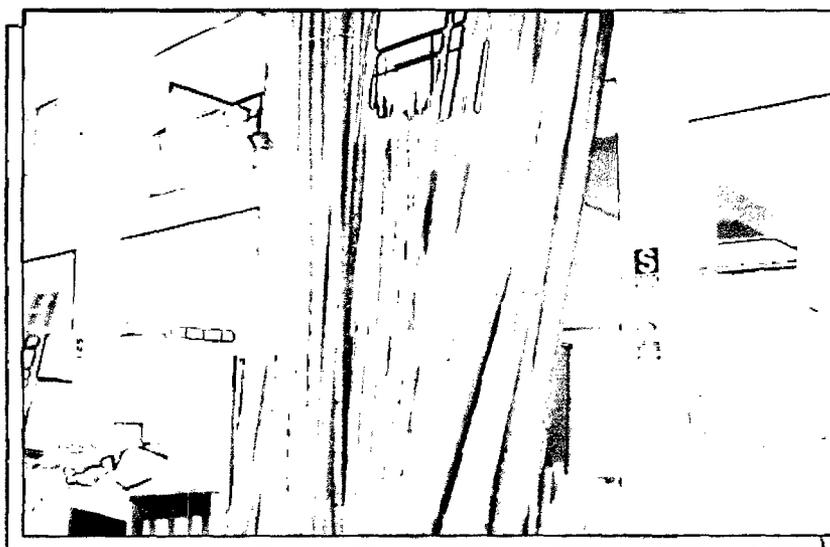
PROBETA	BB-36	BB-37	BB-38	BB-39	BB-41	BB-43	BB-45	BB-47	BB-50	BB-51
640.00	15.52	17.68		19.80	21.00					
680.00	16.86	19.74		22.98						
720.00	17.70	21.00		26.20						
760.00	19.31	26.00								
800.00	20.99	27.62								
840.00	21.22									
880.00	23.80									
920.00	27.00									
960.00	33.20									
<b>δ max. (mm)</b>	33.20	27.62	15.12	26.20	21.00	8.18	13.32	20.11	16.08	25.93
<b>C. ELP (kg)</b>		720.00	160.00	280.00	240.00	200.00	240.00	240.00	200.00	200.00
<b>CARGA MAXIMA (kg)</b>	960.00	800.00	360.00	720.00	640.00	240.00	360.00	440.00	520.00	440.00
<b>D.ext. (mm)</b>	102.34	100.46	90.86	90.65	94.95	79.84	90.46	85.72	101.34	80.05
<b>espesor</b>	12.25	10.34	6.54	9.17	9.54	8.10	7.75	8.60	9.88	7.77
<b>D.int. (mm)</b>	77.84	79.78	77.78	72.31	75.87	63.64	74.96	68.52	81.58	64.51
<b>IT(mm4)</b>	3.58E+06	3.01E+06	1.55E+06	1.97E+06	2.36E+06	1.19E+06	1.74E+06	1.57E+06	3.00E+06	1.17E+06
<b>E (kg/mm2)</b>	70.94	76.09	60.04	47.62	42.50	180.67	91.16	66.88	36.40	58.16
<b>ELP(kg/cm2)</b>	0.00	225.20	87.99	120.63	90.40	125.86	117.17	122.98	63.27	128.78
<b>MOR(kg/cm2)</b>	257.10	250.22	197.98	310.19	241.06	151.03	175.75	225.46	164.51	283.31

### ANEXO 3

## FOTOGRAFÍAS DE ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL BAMBÚ.

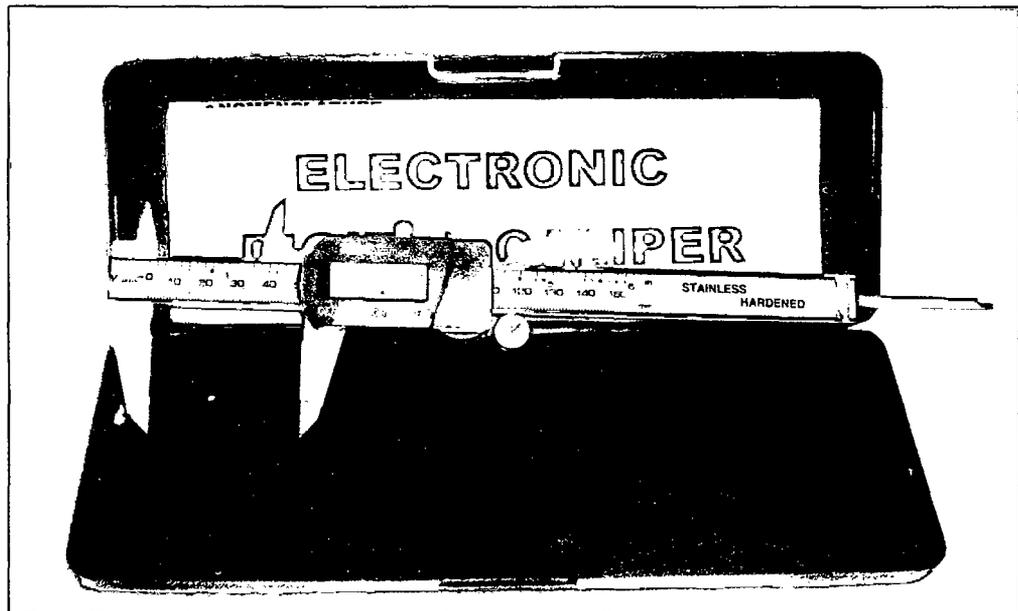


FOTOGRAFÍA N° 1. CAÑAS DE BAMBÚ (PROCESO DE SELECCIÓN).

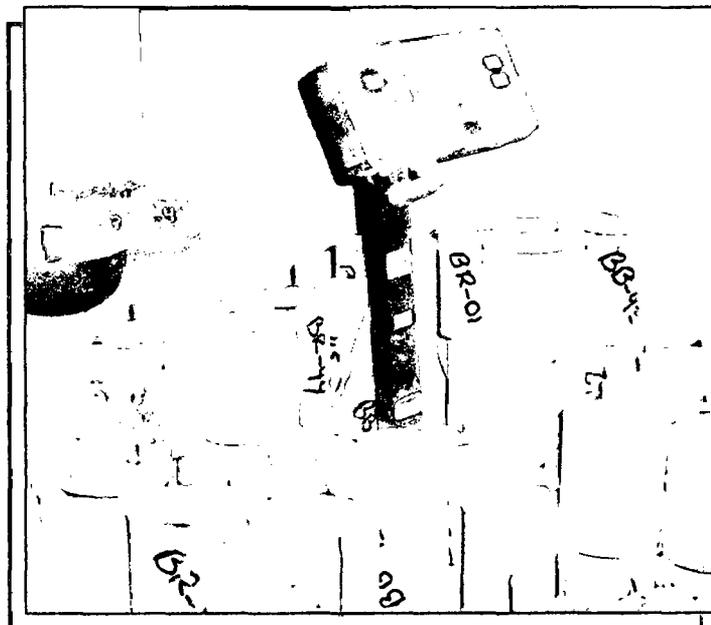


FOTOGRAFÍA N° 2. CAÑAS DE BAMBÚ EN EL LABORATORIO DE RESISTENCIA  
DE MATERIALES (UNI).

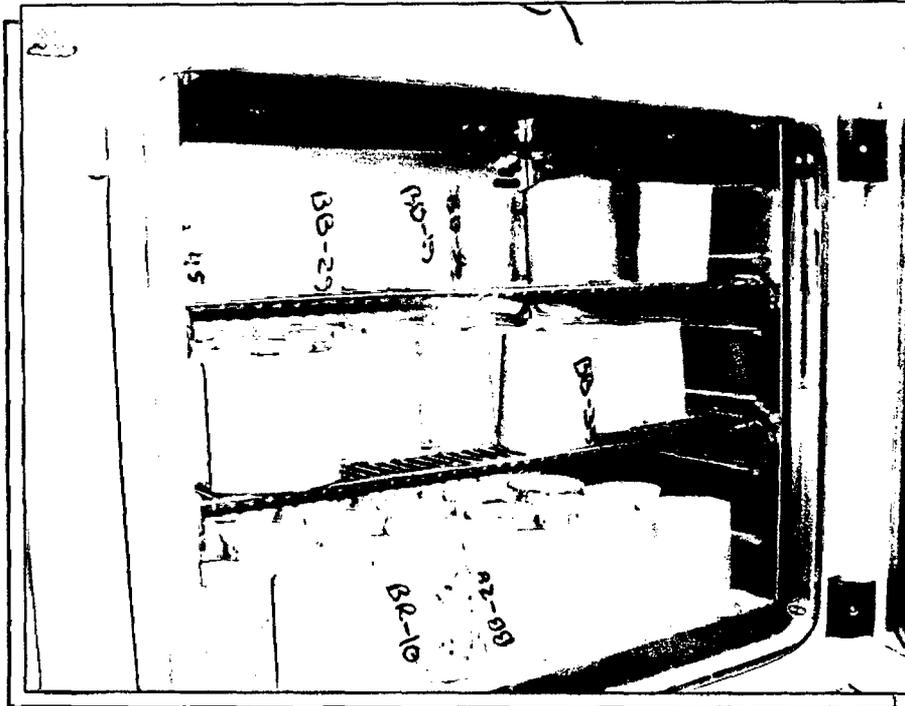
### 3.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN PROBETAS DE GUADUA



Fotografía N° 3. Vernier digital.

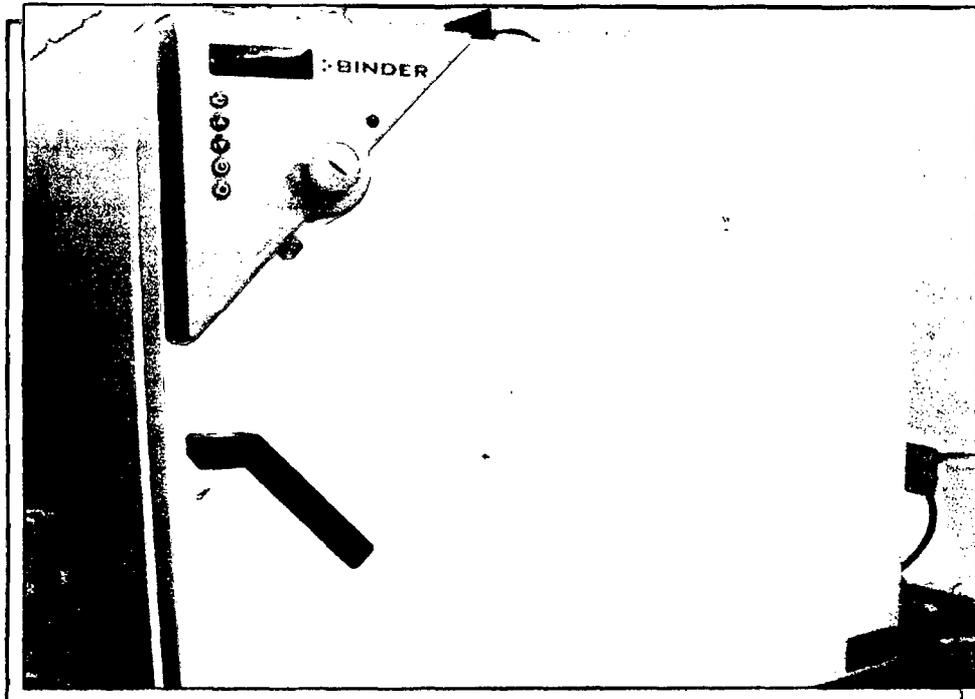


Fotografía N° 4. Balanza digital.



Fotografía N° 5. Horno digital.

### 3.2 CONTRACCIÓN



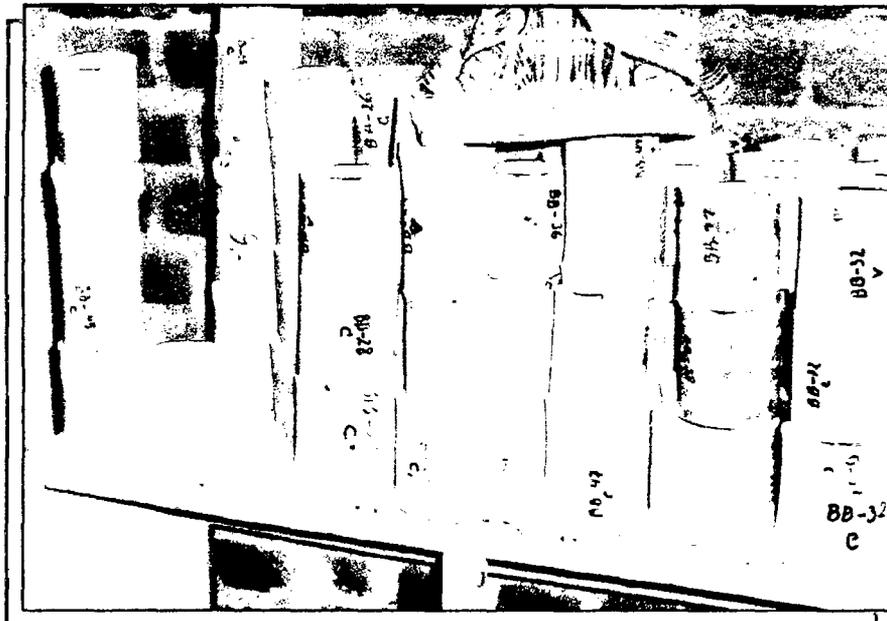
Fotografía N° 6 Horno digital.

## ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA GUADUA

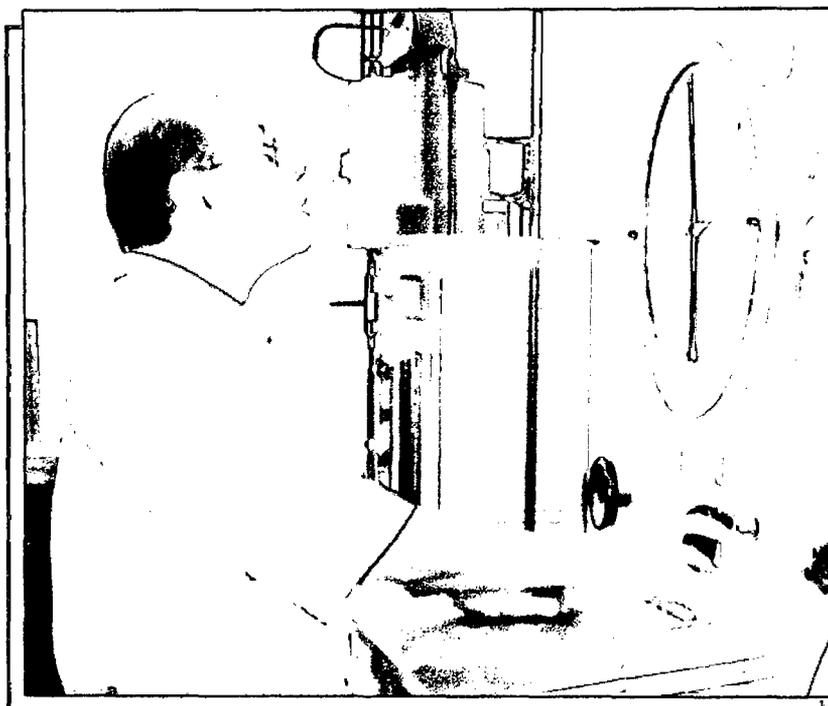
### 3.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA DE CILINDROS DE GUADUA



Fotografía N° 7 Proceso de corte de las cañas.



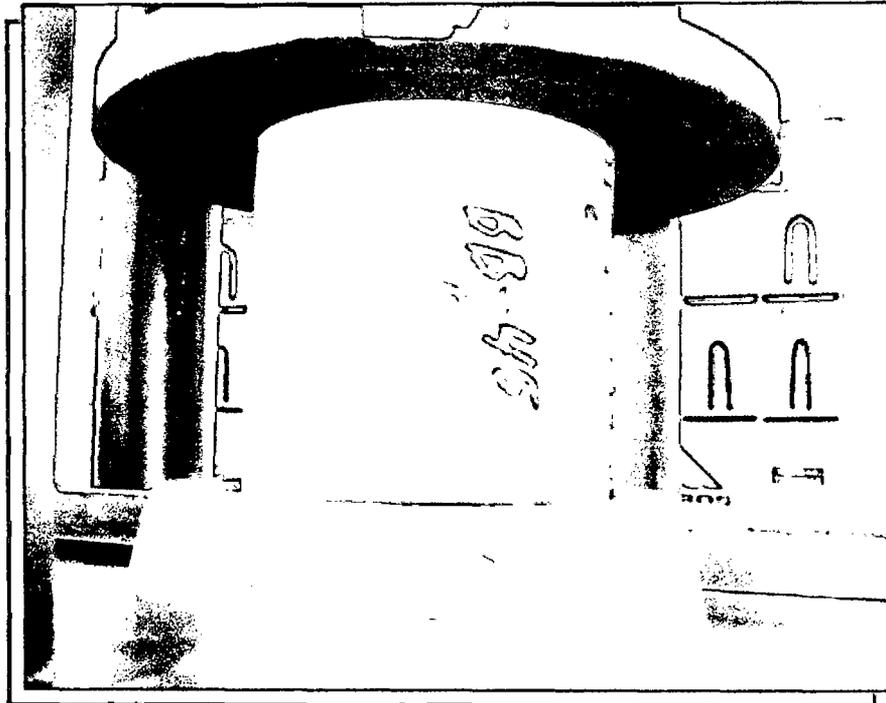
Fotografía N° 8. Probetas a ser ensayadas.



**Fotografía N° 9 Maquina universal para ensayo de compresión.**



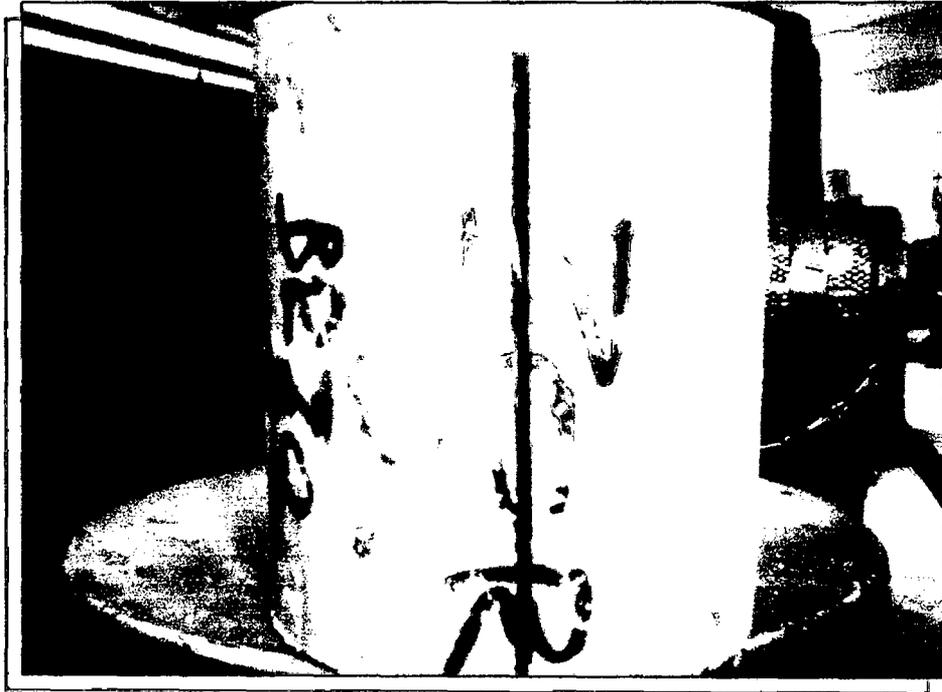
**Fotografía N° 10 Deformimetro.**



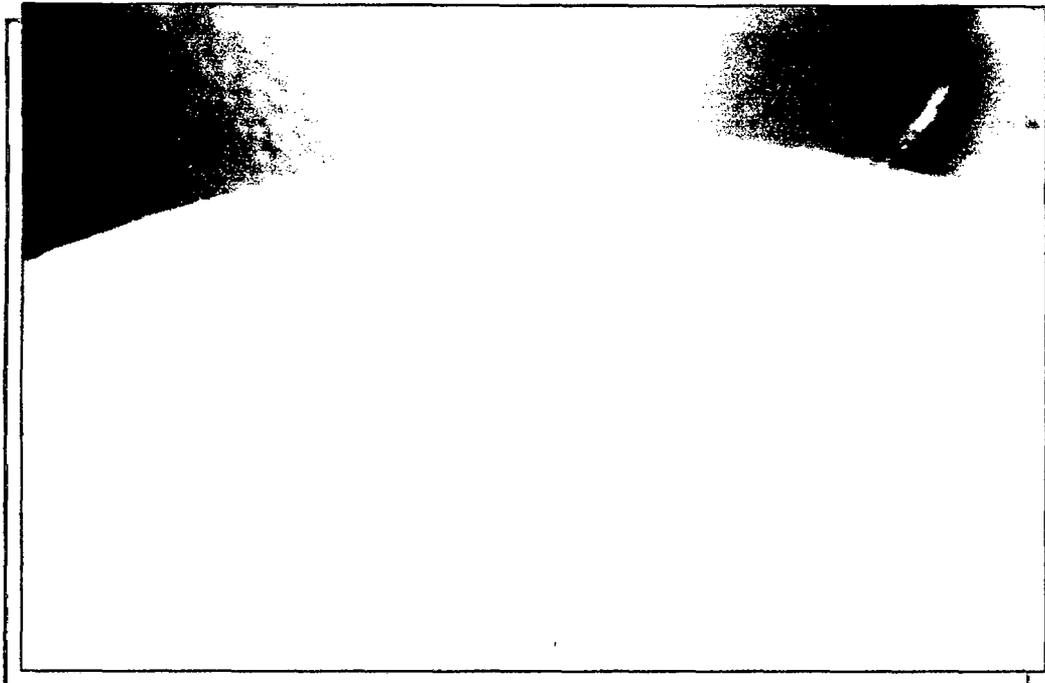
**Fotografía N° 11. Probeta en pleno ensayo.**



**Fotografía N° 12. Probeta después de ensayar.**

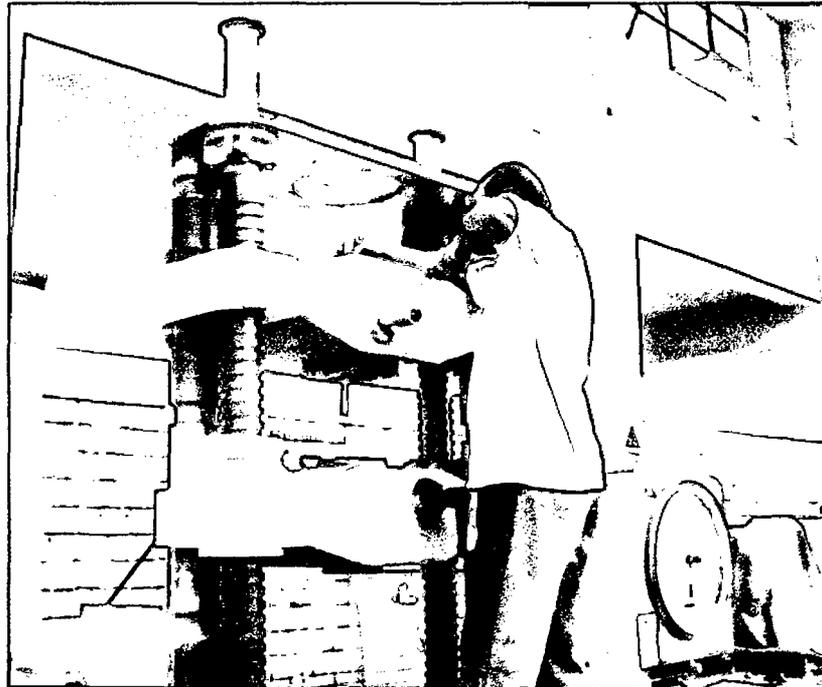


**Fotografía N° 13. Probeta que fallo por corte.**

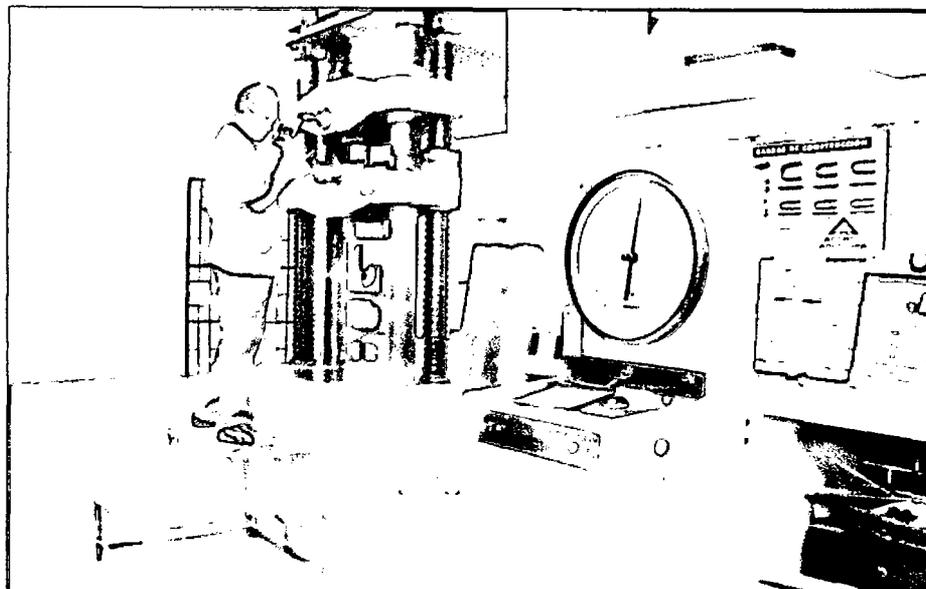


**Fotografía N° 14. Probeta que fallo por aplastamiento.**

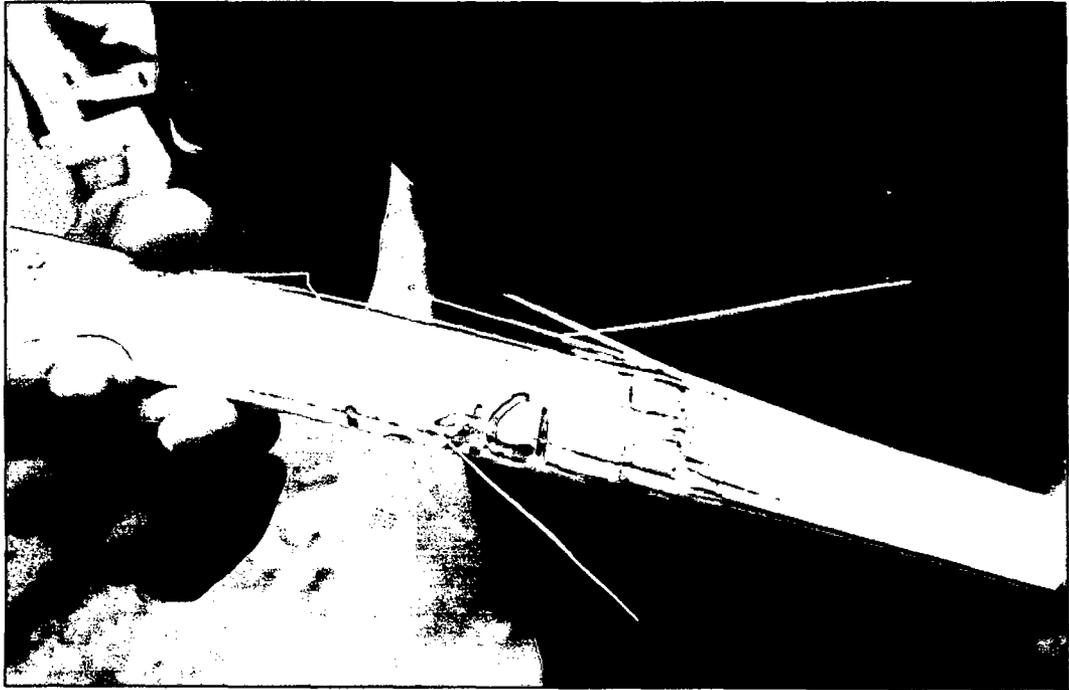
### 3.4 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA DE GUADUA



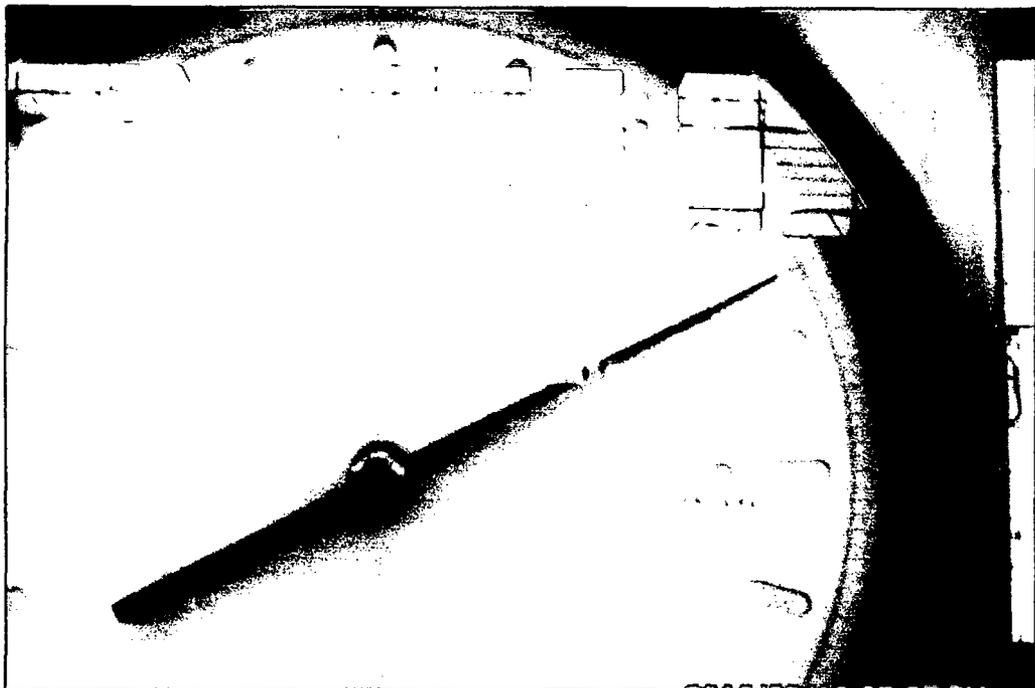
Fotografía N° 15. Colocación de la muestra en la maquina de ensayo.



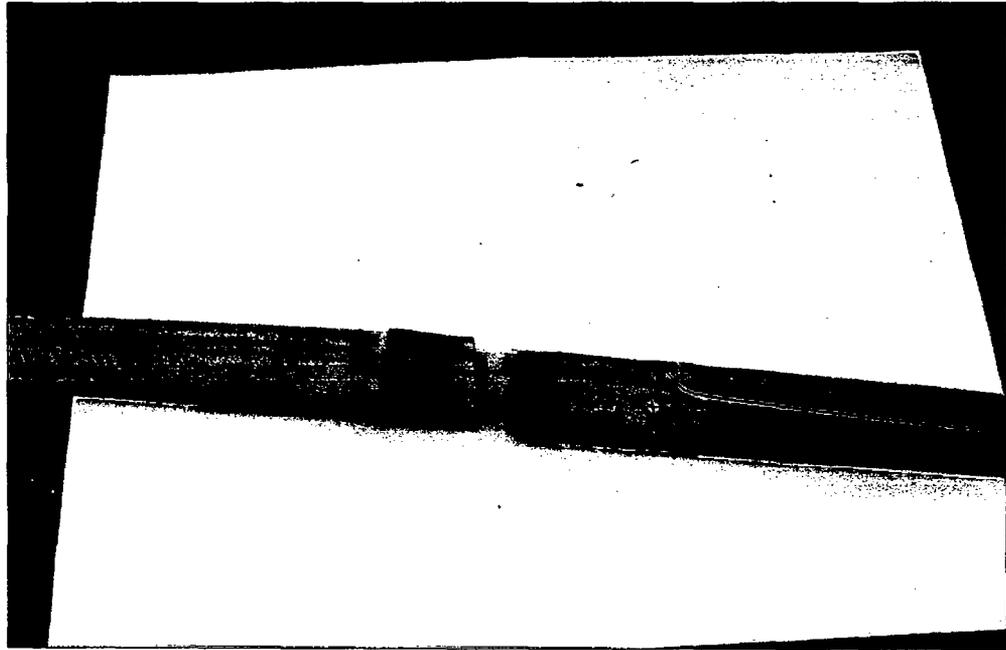
Fotografía N° 16. Muestra antes de ser ensayada.



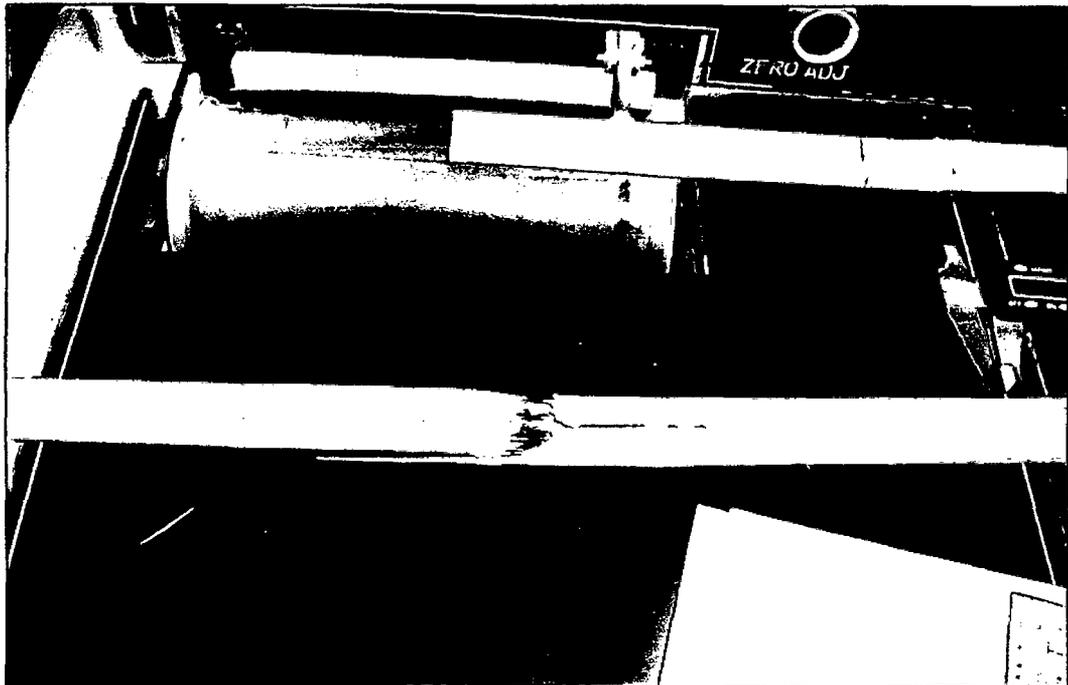
**Fotografía N° 17. Muestra después de ensayo.**



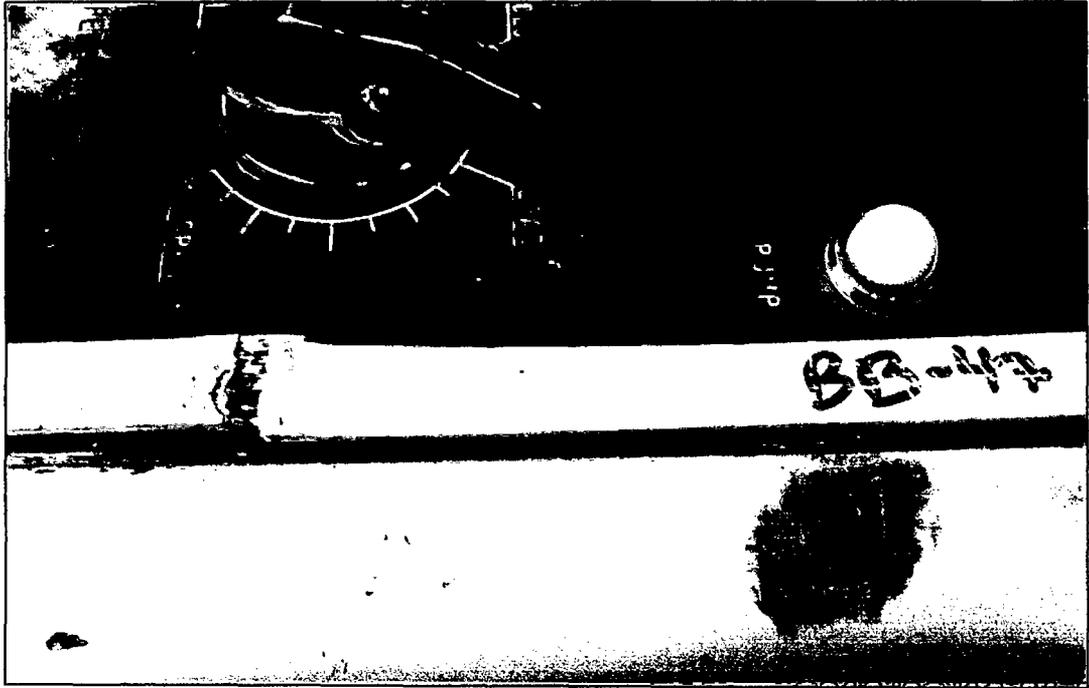
**Fotografía N° 18. Maquina de ensayo indicando el valor de la fuerza.**



**Fotografía N° 29. Falla en el nudo.**



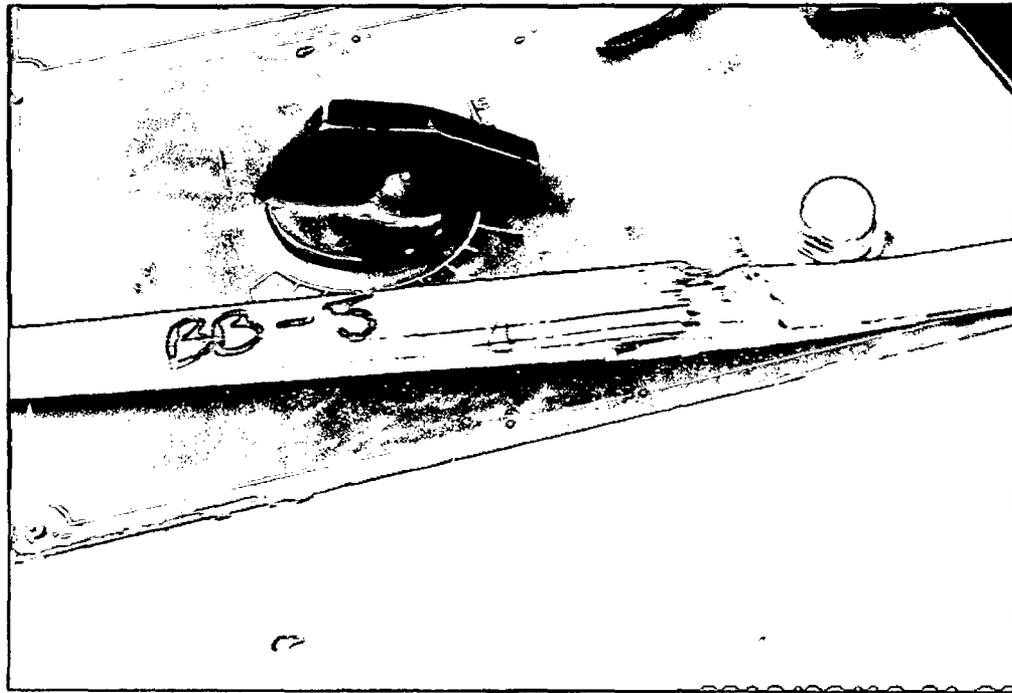
**Fotografía N° 20. Falla en el nudo.**



Fotografía N° 21. Falla en el nudo.



Fotografía N° 22. Falla en el nudo.



**Fotografía N° 23. Falla en el nudo (se hizo constante en todas las muestras).**

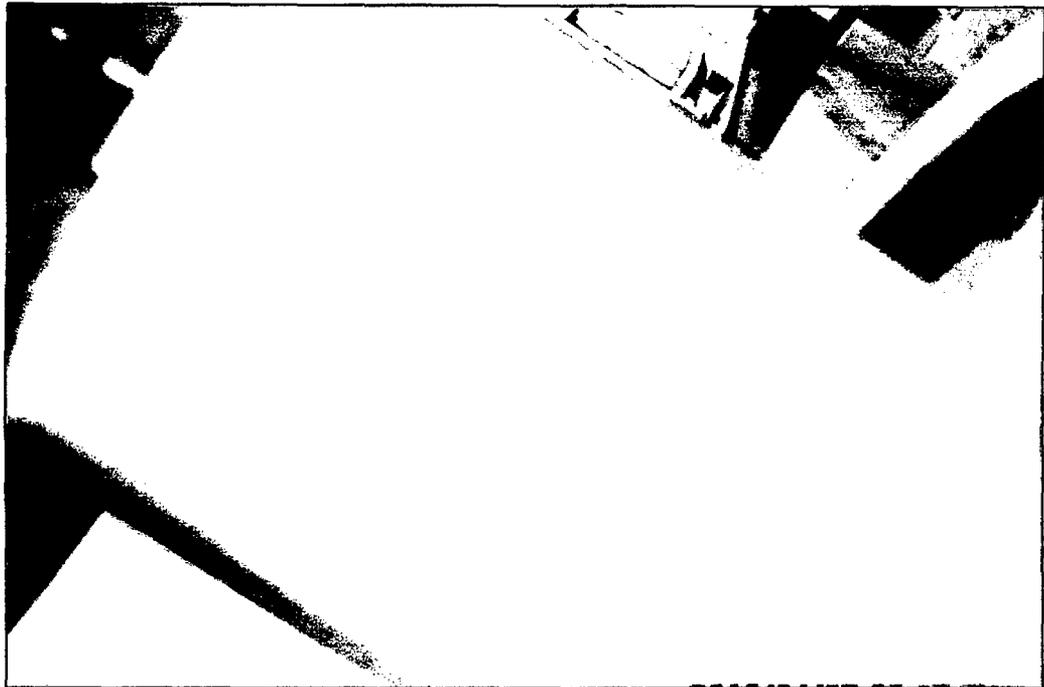
### **3.5 RESISTENCIA AL CORTE PARALELO A LA FIBRA DE CILINDROS DE GUADUA**



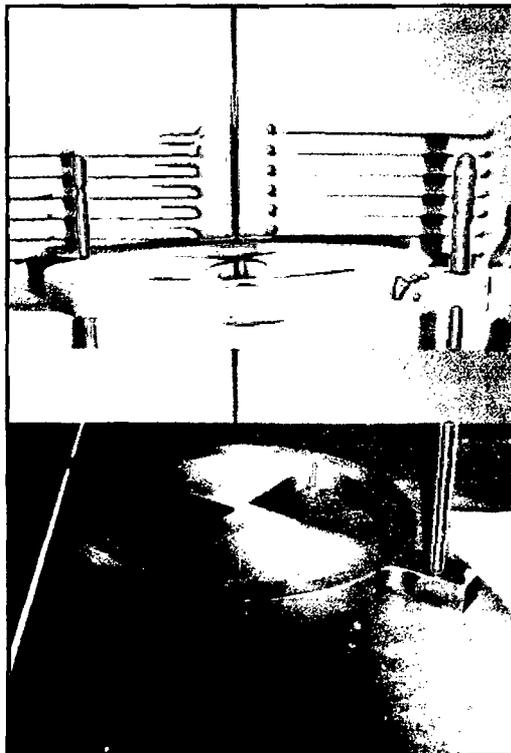
**Fotografía N° 24. Probeta en la maquina de ensayo.**



**Fotografía N° 25. Falla de corte de una cara.**



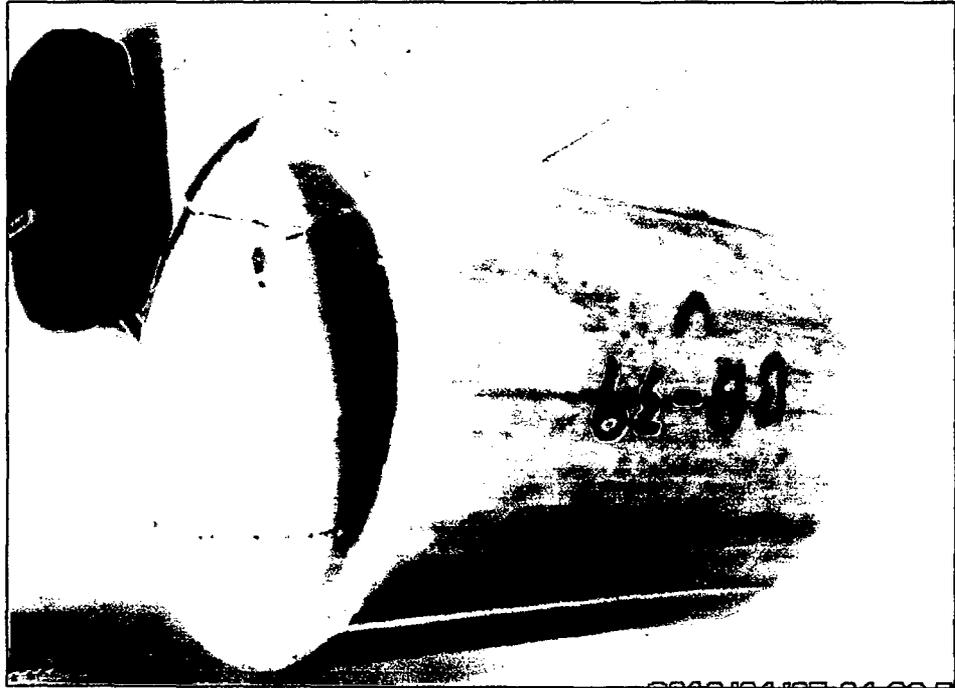
**Fotografía N° 26. Falla en la muestra**



**Fotografía N° 27. Accesorio para el ensayo de corte.**



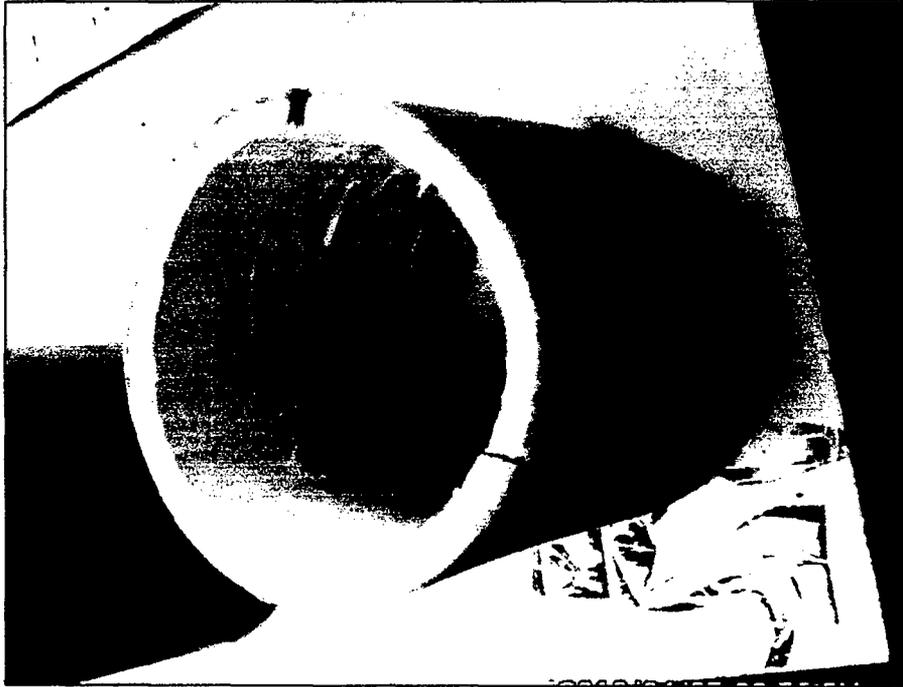
**Fotografía N° 28. Falla de corte de dos caras.**



**Fotografía N° 29. Falla de corte de dos caras.**

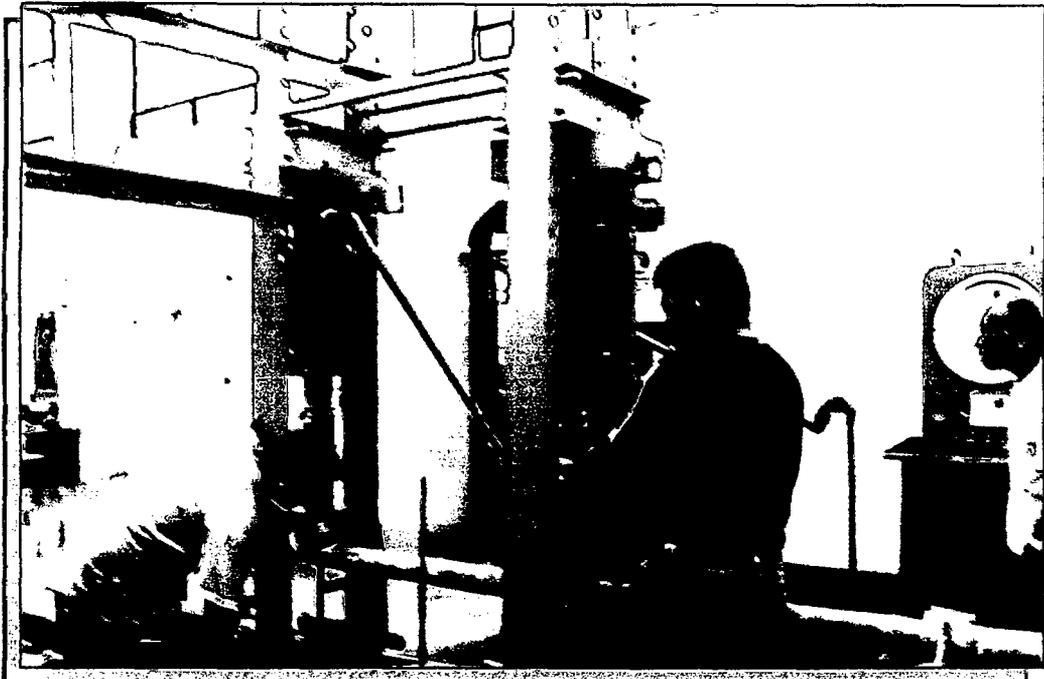


**Fotografía N° 30. Falla de corte de una cara.**

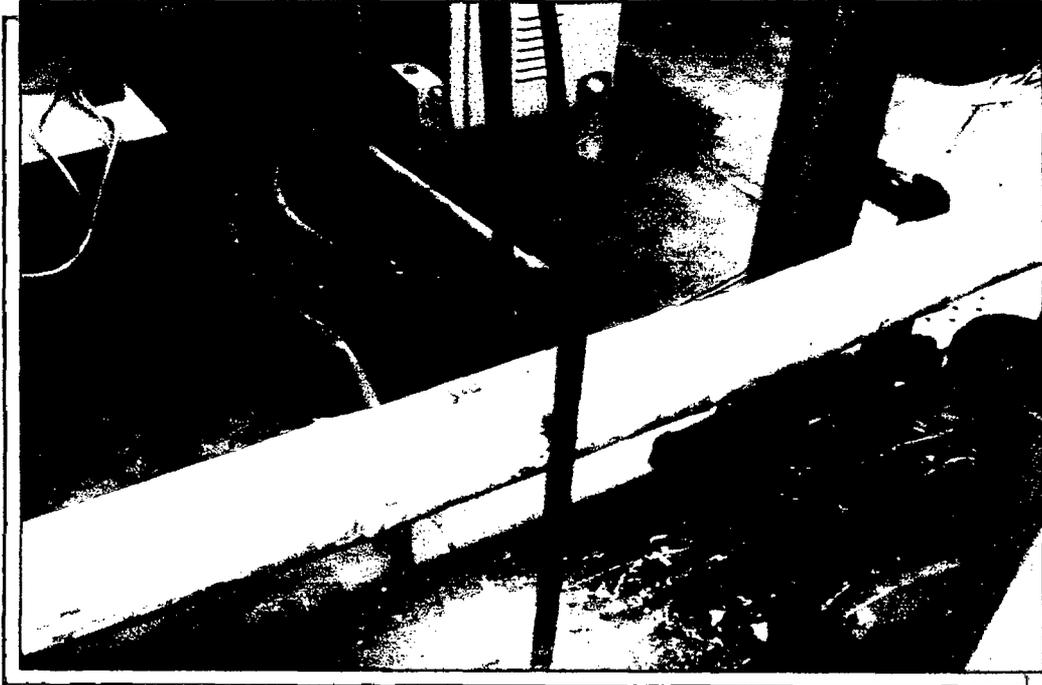


Fotografía N° 31. Falla de corte de dos caras.

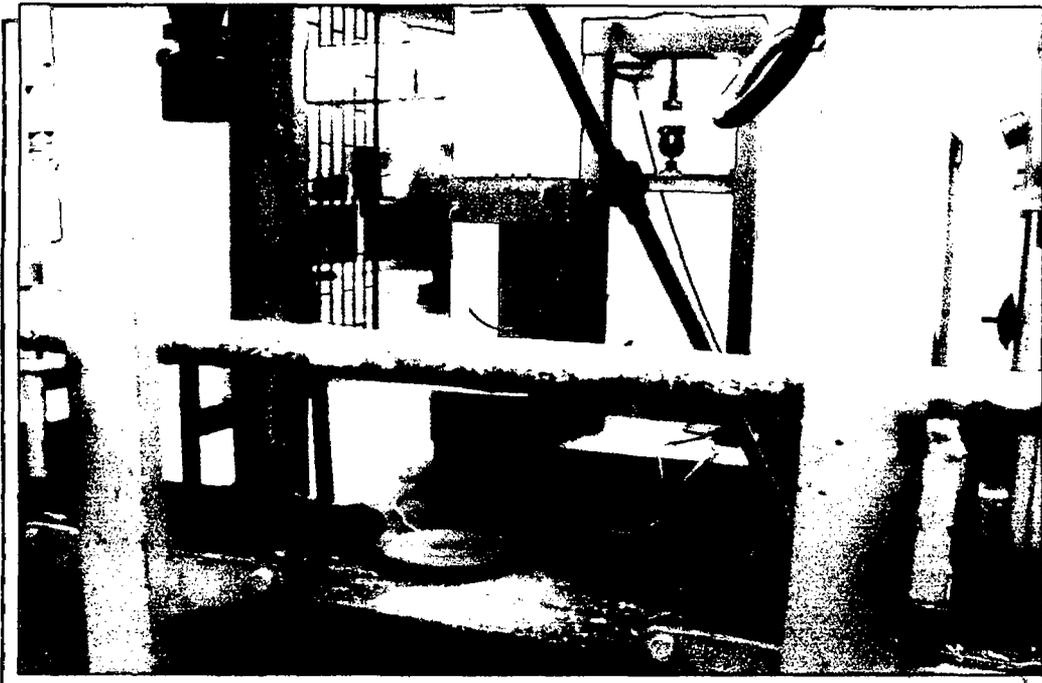
### 3.6 ENSAYO DE FLEXION EN ESCALA NATURAL



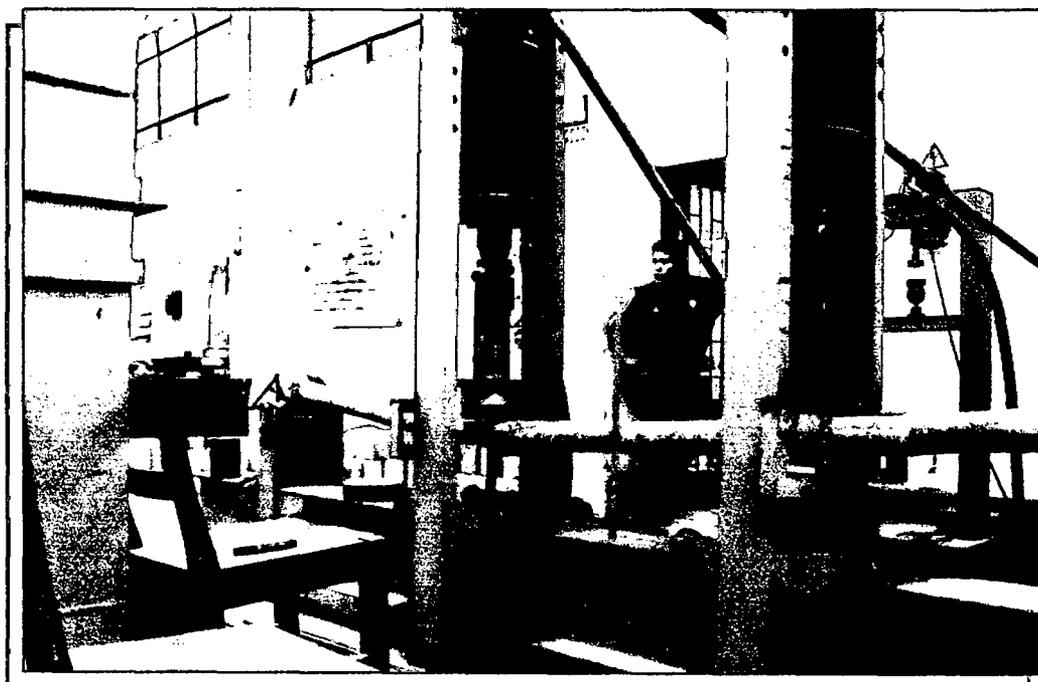
Fotografía N° 32. Ensayo de flexión en escala real.



**Fotografía N° 33. Medición de deformaciones al centro de la caña.**

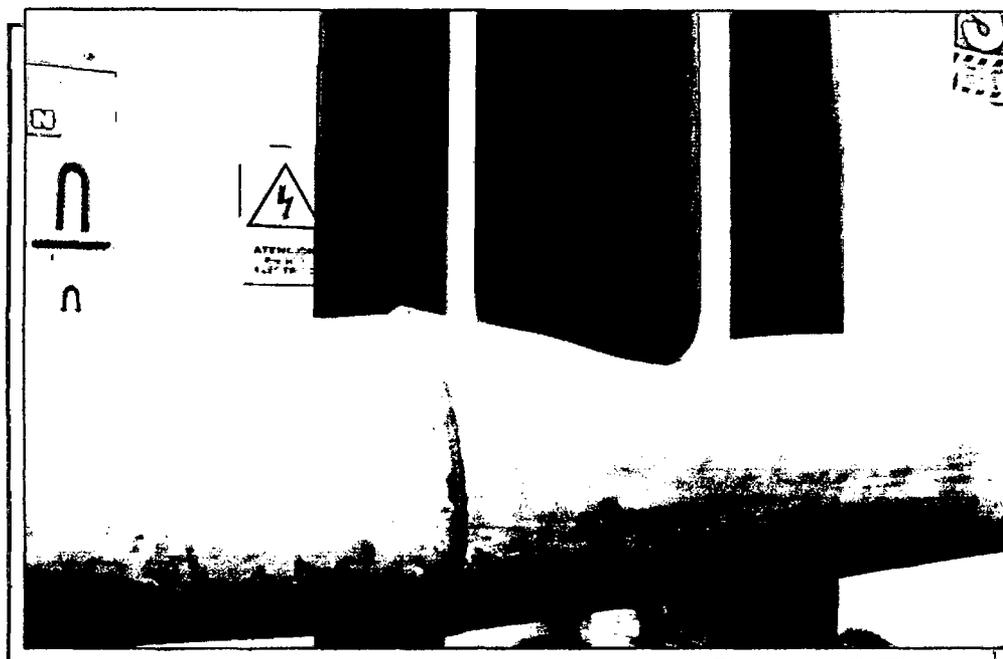


**Fotografía N° 34. Caña se acomoda ella misma antes de realizar el ensayo.**



Fotografía N° 35. Flexión de la caña ante la acción de las cargas.

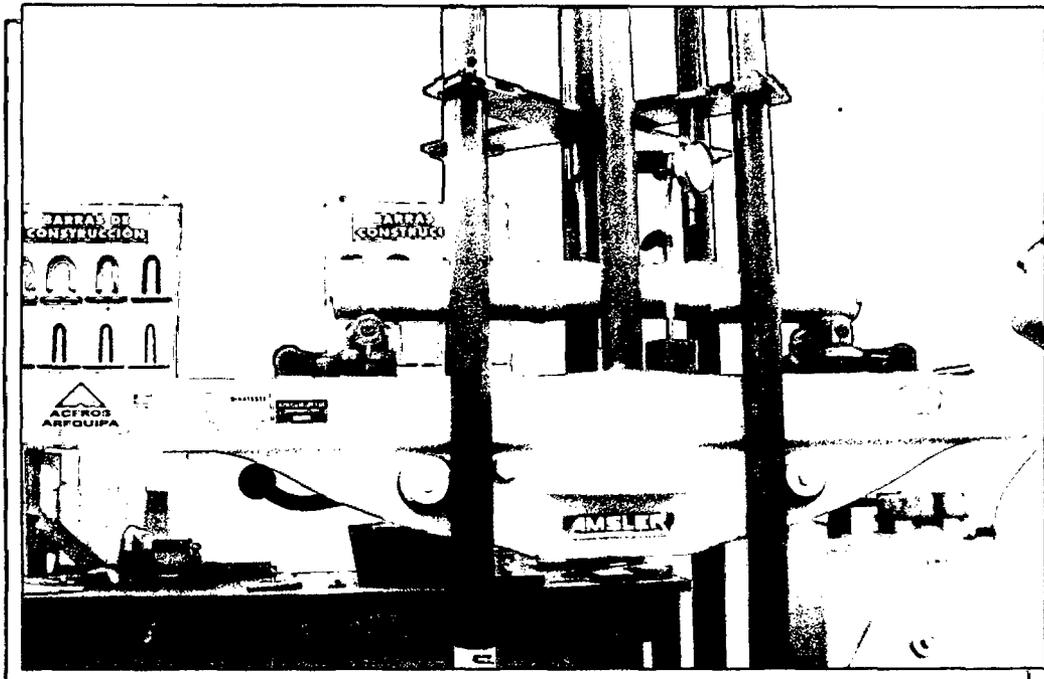
### 3.7 ENSAYO DE FLEXION ESTATICA



Fotografía N° 36. Punto donde actúa la carga en la caña.



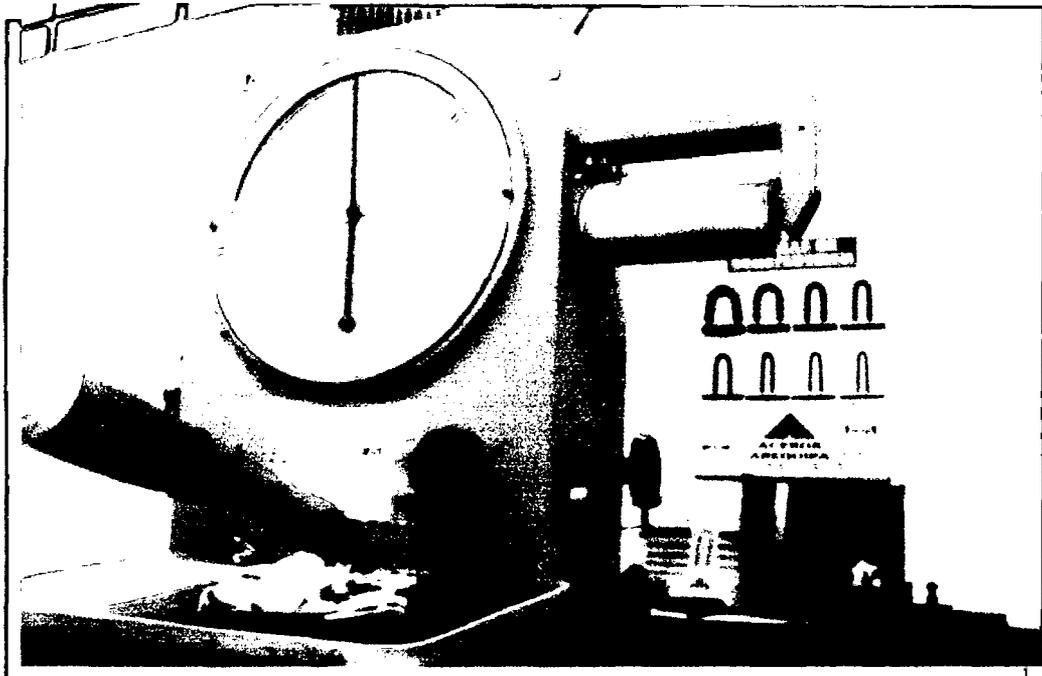
**Fotografía N° 37 Ensayo de flexión en escala pequeña (vista lateral).**



**Fotografía N° 38 Ensayo de flexión en escala pequeña (vista frontal).**



**Fotografía N° 39. Probetas.**



**Fotografía N° 40. Maquina Universal para ensayo de flexión.**

## ANEXO 4

### RESISTENCIA A LA TRACCION DE LOS PERNOS

DIMENSIONES	AREA	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
mm	mm <sup>2</sup>	kg	kg/mm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
3/8"	71.26	3400	47.72	4771.53
1/2"	126.68	5600	44.21	4420.69

Estos valores son el resultado de las pruebas hechas a muestras de las varillas roscadas que se compraron y que se utilizaron como pernos, en todas las uniones.

## ANEXO 5

### PROPUESTA DE VALORES ADMISIBLES

Los valores admisibles que se proponen serán referidos al material proveniente de los bosques estudiados. (Recordar que en forma similar en la Norma de madera se utilizan los valores para las especies estudiadas y existe un procedimiento para incorporar nuevas especies)

#### Valor de diseño por esfuerzos admisibles a compresión.

Para el bosque 1 (Blanco) Se obtiene el valor del esfuerzo último para 5to percentil correspondiente a una resistencia de  $\sigma_{u_{c1}} = 24.08$  MPa. y  $\sigma_{u_{c2}} = 29.32$  MPa

Para determinar el esfuerzo admisible se debe reducir el esfuerzo último con varios factores de seguridad; en el caso de la compresión se utilizan dos:

FS = 1.6 (Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad). Norma Colombiana 1.5

FDC = 1.25 (Factor de duración de carga). Norma Colombiana 1.2

$$\Phi = 1/(FS * FDC) = 0.50$$

$$\text{Esfuerzo Admisible C1} = \Phi * \sigma_{u_{c1}} = 0.50 * 24.08 = \mathbf{12.04 \text{ MPa}}$$

$$\text{Esfuerzo Admisible C2} = \Phi * \sigma_{u_{c2}} = 0.50 * 29.32 = \mathbf{14.66 \text{ MPa}}$$

#### Según la Norma Colombiana serían 13.38 y 16.28 MPa

Para el bosque 2 (Rojo) Se obtiene el valor del esfuerzo último para 5%, percentil correspondiente a una resistencia de  $\sigma_{u_{c1}} = 37.54$  MPa. y  $\sigma_{u_{c2}} = 43.27$  MPa

$$\text{Esfuerzo Admisible C1} = \Phi * \sigma_{u_{c1}} = 0.50 * 29.75 = \mathbf{14.88 \text{ MPa}}$$

$$\text{Esfuerzo Admisible C2} = \Phi * \sigma_{u_{c2}} = 0.50 * 30.75 = \mathbf{15.38 \text{ MPa}}$$

**Según la Norma Colombiana serían 16.53 y 17.08**

**LA PROPUESTA PARA ESTOS BOSQUES SERIA DE 12MPa y 14MPa**

**Valor de diseño por esfuerzos admisibles a tracción.**

Utilizando un criterio según el cual, el esfuerzo resistente en condiciones últimas es el que corresponde al límite de exclusión del 5% (es decir, se espera que de toda la población de dicha especie, solo el 5% tenga una resistencia menor), ordenando los resultados de los ensayos en forma creciente, el valor que define el límite de exclusión del 5% es el ensayo número  $0.05 \cdot N$ , siendo N por lo general un número pequeño de muestras, en este caso 30.

$$\text{Límite de exclusión} = 0.05 \cdot 30 = 1.5 = \square 2$$

El esfuerzo último corresponde al quinto percentil

$$\sigma_{uT} = 58.73 \text{ MPa (Bosque 1)}$$

$$\sigma_{uT} = 83.20 \text{ MPa. (Bosque 2)}$$

**Según la norma NSR-10 – Capítulo G.12 – Estructuras de guadua**

Los valores de esfuerzos admisibles se determinan a partir del valor característico, el cual se obtiene con la siguiente ecuación:

$$f_{ki} = f_{0.05i} \left[ 1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right]$$

Donde:

**f<sub>ki</sub>** = valor característico en la sollicitación i

**f<sub>0.05i</sub>** = valor correspondiente al percentil 5 de los datos de las pruebas de laboratorio en la sollicitación i

**m** = valor promedio de los datos de las pruebas de laboratorio

**s** = desviación estándar de los datos de las pruebas de laboratorio

$n$  = número de ensayos (por lo menos 20)

$i$  = subíndice que depende del tipo de sollicitación (  $b$  para flexión,  $t$  para tracción paralela a las fibras,  $c$  para compresión paralela a las fibras,  $p$  para compresión perpendicular a las fibras,  $v$  para cortante paralelo a las fibras)

De donde:

$$s = 36.49 \quad m = 110.88 \quad n = 30$$

Por lo tanto:  $f_{k_i} = 49.20 \text{Mpa.}$

Una vez determinado el valor característico para cada sollicitación, se procede con el cálculo de los esfuerzos admisibles con la siguiente formula:

$$F_i = \frac{FC}{F_s \times FDC} \times f_{k_i}$$

Donde:

$F_i$  = esfuerzo admisible en la sollicitación  $i$

$f_{k_i}$  = valor característico del esfuerzo en la sollicitación  $i$

$F_s$  = factor de Seguridad

$FDC$  = factor de duración de carga  $i$  = subíndice que depende del tipo de sollicitación ( $b$  para flexión,  $t$  para tracción paralela a las fibras,  $c$  para compresión paralela a las fibras,  $p$  para compresión perpendicular a las fibras,  $v$  para cortante paralelo a las fibras).

Este valor de esfuerzo admisible a tracción paralela, es aplicable solo a latas de guadua, para el caso en el que se tengan elementos de guadua rolliza sometidos a tracción el análisis se debe concentrar en la unión.

$$F_s = 2.00 \quad FDC = 1.50$$

$$F_i = 16.40 \text{ MPa. (Bosque 1)}$$

$$F_i = 24.56 \text{ MPa (Bosque 2)}$$

**Norma Colombiana 18 MPa**

## LA PROPUESTA PARA LA NORMA SERÍA 16 MPa

### Valor de diseño por esfuerzos admisibles a esfuerzo cortante.

Utilizando el mismo criterio que para el valor de diseño a tracción, en el cual, el esfuerzo resistente en condiciones últimas es el que corresponde al límite de exclusión del 5%.

$$\text{Límite de exclusión} = 0.05 \cdot 30 = 1.5 = 2$$

Es decir, el esfuerzo último corresponde al valor más bajo registrado en los ensayos.

$$\sigma_{u_v} = 5.20 \text{ MPa} \quad \text{Bosque 1 (Blanco)}$$

$$\sigma_{u_v} = 4.21 \text{ MPa} \quad \text{Bosque 2 (Rojo)}$$

Para determinar el esfuerzo admisible se debe reducir el esfuerzo último con varios factores de seguridad. En el caso del esfuerzo cortante se utiliza:

FS = 4 \* (Factor de servicio y seguridad, mediante el cual se busca exigir el material por debajo del límite de proporcionalidad). Norma Colombiana 1.19

\* incluye factor por concentración de esfuerzos = 2

$$\Phi = 1/FS = 0.25$$

$$\text{Esfuerzo Admisible} = \Phi * \sigma_{u_v} = 0.25 * 5.20 = 1.30 \text{ MPa.}$$

$$\text{Esfuerzo Admisible} = \Phi * \sigma_{u_v} = 0.25 * 4.20 = 1.05 \text{ MPa.}$$

### Norma Colombiana 1.2

## LA PROPUESTA PARA LA NORMA SERIA DE 1.0 MPa

### FLEXION ESCALA NATURAL MODULO DE ELASTICIDAD

#### Bosque 1 (Blanco)

Promedio **5870.40 MPa.** Desviación estándar 1473.85 MPa

El 5º percentil **3756.63 MPa.**

### **Bosque 2 (Rojo)**

Promedio **5282.73 MPa** Desviación estándar 1712.99 MPa

5to percentil **3228.77 MPa**

Norma Colombiana MOE promedio = 9500

5º percentil = 7500

**LA PROPUESTA SERIA DE 5500 MPa promedio y de 3500 MPa para el mínimo**

### **ESFUERZO AL LÍMITE PROPORCIONAL**

#### **Para el Bosque 1 (Blanco)**

Esfuerzo promedio =  $ELP_{promedio} = 160.73 \text{ kg/cm}^2 = 15.77 \text{ MPa}$

Esfuerzo básico =  $ELP_{5^\circ \text{ percentil}} = 101.45 \text{ kg/cm}^2 = 9.95 \text{ MPa}$

#### **Para el Bosque 2 (Rojo)**

Esfuerzo promedio =  $ELP_{promedio} = 143.83 \text{ kg/cm}^2 = 14.11 \text{ MPa}$

Esfuerzo básico =  $ELP_{5^\circ \text{ percentil}} = 88.25 \text{ kg/cm}^2 = 8.66 \text{ MPa}$

### **MODULO DE ROTURA**

Para el Bosque 1 se ensayaron 4 vigas a escala natural hasta la rotura, encontrándose una relación de 1.58 entre el módulo de rotura y el esfuerzo al límite proporcional.

Con lo cual estimamos que el 5º percentil del MOR correspondiente a los 30 ensayos realizados, sería igual a  $1.58 \cdot 9.95 = 15.82 \text{ MPa}$

Para el Bosque 2 se ensayaron 4 vigas a escala natural hasta la rotura, encontrándose una relación de 1.68 entre el módulo de rotura y el esfuerzo al límite proporcional.

Con lo cual estimamos que el 5º percentil del MOR correspondiente a los 30 ensayos realizados, sería igual a  $1.68 \cdot 8.66 = 14.55 \text{ MPa}$

## SEGÚN NORMA DE MADERA

Para el cálculo del esfuerzo admisible se usara los coeficientes calculados en base a los ensayos de flexión y en base a los coeficientes indicados En la tabla 5.4 de la Norma técnica de edificación y son los siguientes:

$$F.s. = 2.0 \quad F.D.C = 1.15$$

Reemplazando los valores de los coeficientes en la ecuación del esfuerzo admisible del item anterior tenemos:

$$\text{Esfuerzo admisible} = \frac{1}{2 \times 1.15} \times 160.29 \text{ kg/cm}^2 = 6.84 \text{ MPa. (Bosque 1)}$$

$$\text{Esfuerzo admisible} = \frac{1}{2 \times 1.15} \times 139.44 \text{ kg/cm}^2 = 5.95 \text{ MPa. (Bosque 2)}$$

## SEGÚN LA NORMA COLOMBIANA

Utilizando un factor de proporción para hallar el MOR en las vigas que se ensayaron a escala real con el cuadro que antecede se produce con:

Calculo del valor característico:

$$f_{ki} = f_{0.05i} \left[ 1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right]$$

$$f_{0.05b} = 15.72 \text{ MPa. (Bosque 1)}$$

$$f_{0.05b} = 14.55 \text{ MPa. Bosque 2)}$$

$$S = 7.65 \text{ MPa.} \quad m = 24.91 \text{ MPa.} \quad n = 25 \quad F_{kb} = 13.12 \text{ MPa}$$

Cálculo de los esfuerzos admisibles con la siguiente formula:

$$F_i = \frac{FC}{F_s \times FDC} \times f_{ki}$$

$$f_{ki} = 13.12 \text{ Mpa.} \quad F_s = 2.00 \quad FDC = 1.50$$

Reemplazando los valores de los coeficientes en la ecuación del esfuerzo admisible del ítem anterior tenemos:

$$F_b = 4.37 \text{ Mpa.} \quad (\text{Bosque 1})$$

$$F_b = 4.80 \text{ Mpa.} \quad (\text{Bosque 2})$$

### FLEXION EN PROBETAS

Para el cálculo del esfuerzo admisible se usara los coeficientes calculados en base a los ensayos de flexión y en base a los coeficientes indicados en la tabla 5.4 de la norma técnica de edificación y son los siguientes:

$$F:c. = 1.32 \quad F.s. = 2.0 \quad F.D.C = 1.15$$

Reemplazando los valores de los coeficientes en la ecuación del esfuerzo admisible del ítem anterior tenemos:

$$\text{Esfuerzo admisible} = \frac{1.32}{2 \times 1.15} \times 139.32 \text{ kg/cm}^2 = 7.84 \text{ MPa.} \quad (\text{Bosque 1})$$

$$\text{Esfuerzo admisible} = \frac{0.77}{2 \times 1.15} \times 212.61 \text{ kg/cm}^2 = 6.98 \text{ MPa.} \quad (\text{Bosque 2})$$

### Coefficientes considerados para la determinación de los esfuerzos admisibles NORMA COLOMBIANA

factor	Flexión	Tracción	Compresión 	Compresión ⊥	Corte
F.C	-	0.5	-	-	0.6
Fs	2	2	1.5	1.8	1.8
FDC	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1

**Tabla 1.0** coeficientes para la determinación de los esfuerzos admisibles\*

Calculo del valor característico:

\* Fuente: *NSR-10 – Capítulo G.12 – Estructuras de guadua*

$$f_{ki} = f_{0.05i} \left[ 1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right]$$

$$f_{0.05b} = 13.67 \text{ MPa.}$$

$$S = 6.34 \text{ MPa.} \quad m = 21.77 \text{ MPa.} \quad n = 30 \quad F_{kb} = 11.71 \text{ MPa}$$

Cálculo de los esfuerzos admisibles con la siguiente formula:

$$F_i = \frac{FC}{F_s \times FDC} \times f_{ki}$$

$$f_{ki} = 11.71 \text{ Mpa. (Bosque 1)}$$

$$f_{ki} = 18.41 \text{ Mpa. (Bosque 2)}$$

$$F_s = 2.00 \quad FDC = 1.50 \quad F.C = 1.32$$

Reemplazando los valores de los coeficientes en la ecuación del esfuerzo admisible del ítem anterior tenemos:

$$F_b = 5.15 \text{ Mpa. (Bosque 1)}$$

$$F_b = 4.72 \text{ Mpa. (Bosque 2)}$$

### LA PROPUESTA PARA LA NORMA SERÍA DE 5.0 MPa

ESFUERZOS ADMISIBLES	ENSAYOS						
	TRACCION	CORTE	COMPRESION	FLEXION			
	σ Mpa	σ Mpa	σ MPa	FLEXION ESCALA REAL		FLEXION ESTATICA	
				N. MADERA	N. COLOMBIA	N. MADERA	N. COLOMBIA
				σ MPa	σ MPa	σ MPa	σ MPa
BOSQUE ROJO	24.56	1.05	14.66	5.95	3.70	6.98	4.72
BOSQUE BLANCO	16.40	1.30	12.04	6.84	4.37	7.84	5.15
LOPEZ Y TRUJILLO	26.40	1.10	14.00		15.00		10.70
NORMA COLOMBIA	18.00	1.20	14.00		15.00		

Tabla resumen de la propuesta de valores admisibles.

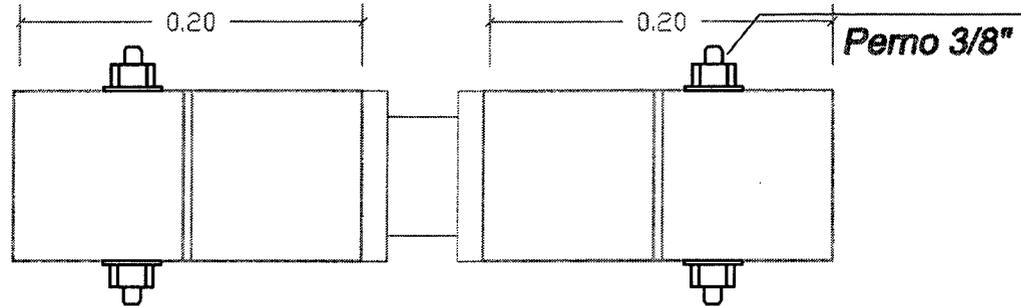
## ANEXO 6

## PLANOS

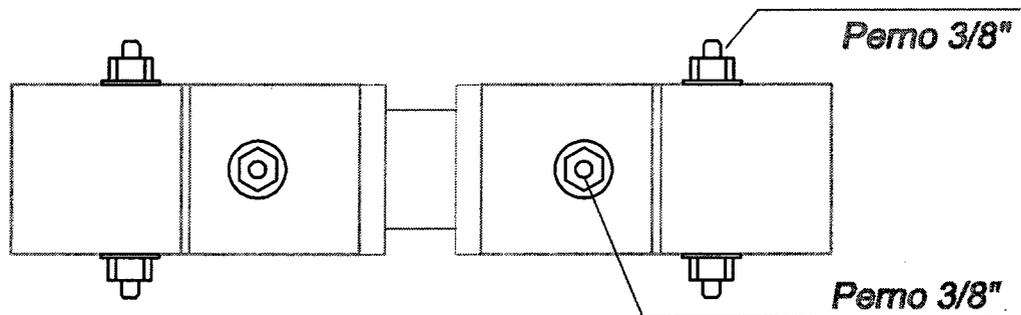
# UNION COLINEAL

S/E

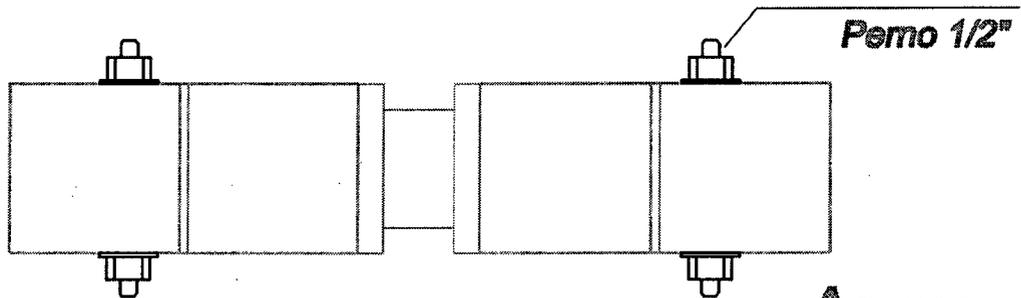
1era propuesta  
2da propuesta



3era propuesta  
4ta propuesta



5ta propuesta  
6ta propuesta

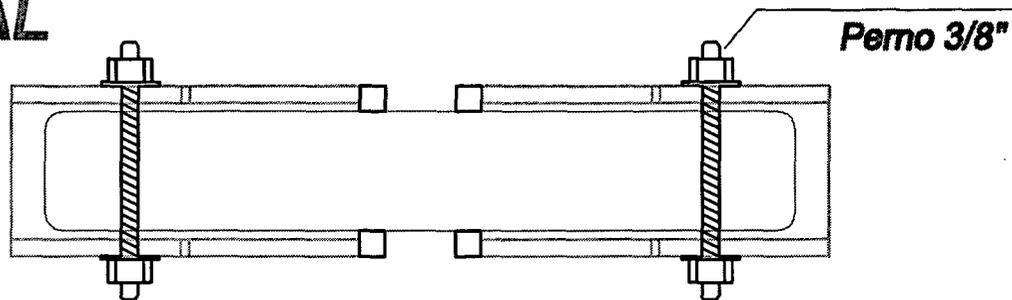


Anexo 6 - 1

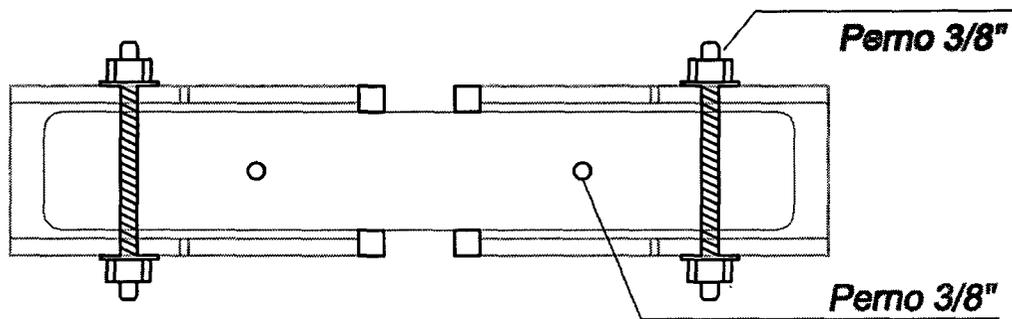
# UNION COLINEAL

CORTE TRANSVERSAL  
S/E

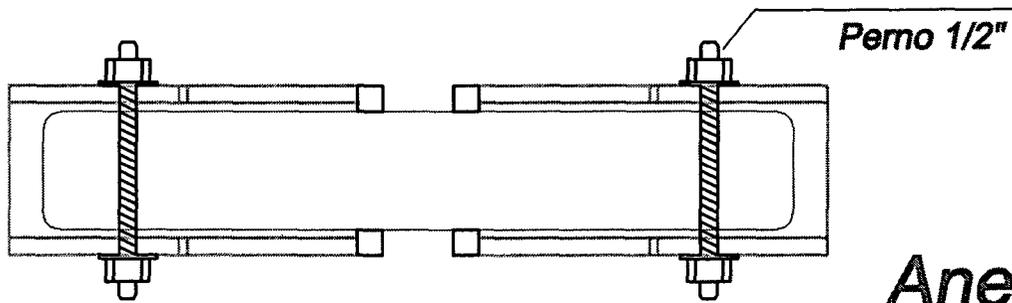
1era propuesta  
2da propuesta



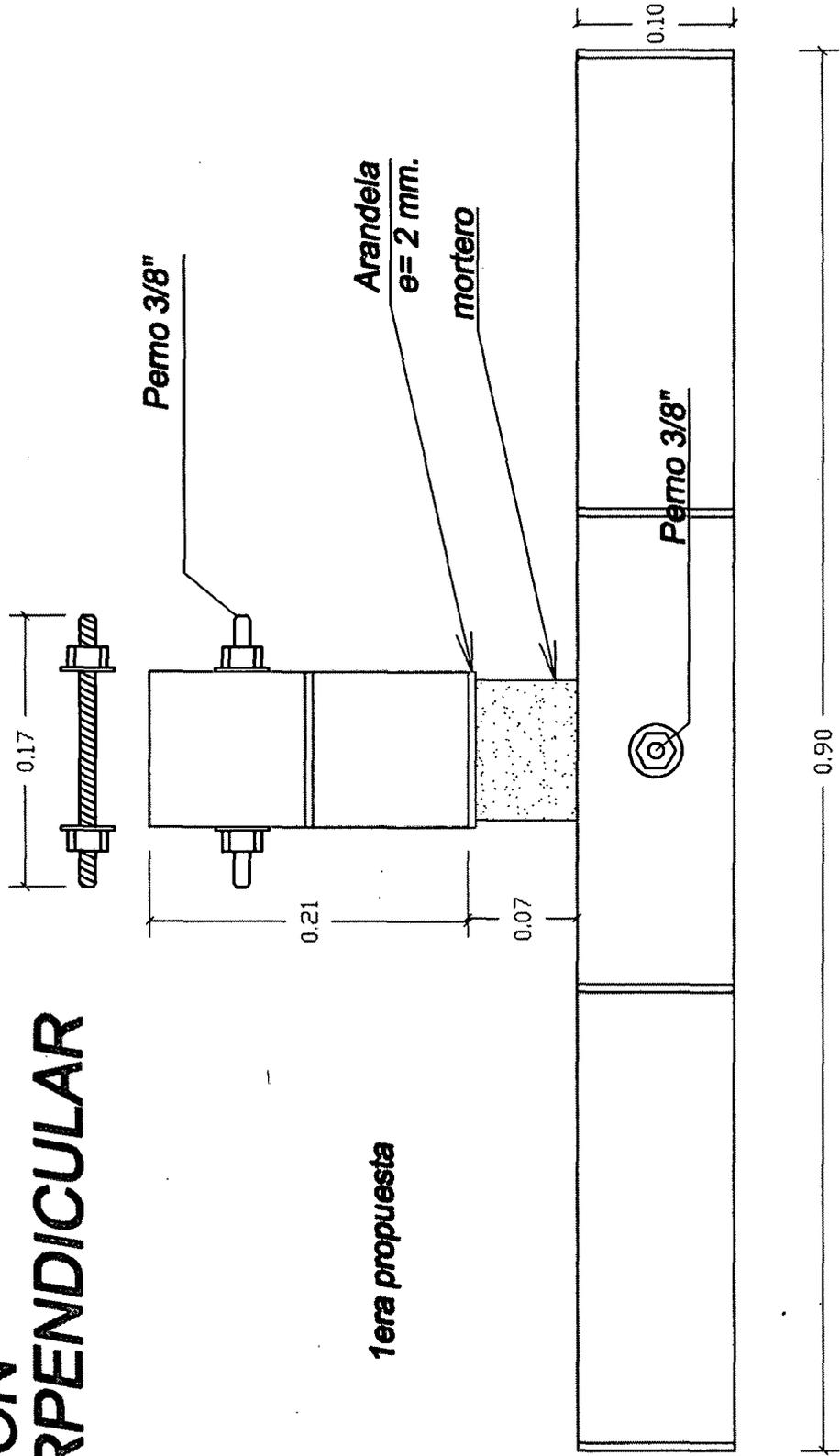
3era propuesta  
4ta propuesta



5ta propuesta  
6ta propuesta



# UNION PERPENDICULAR S/E



Anexo 6 - 3

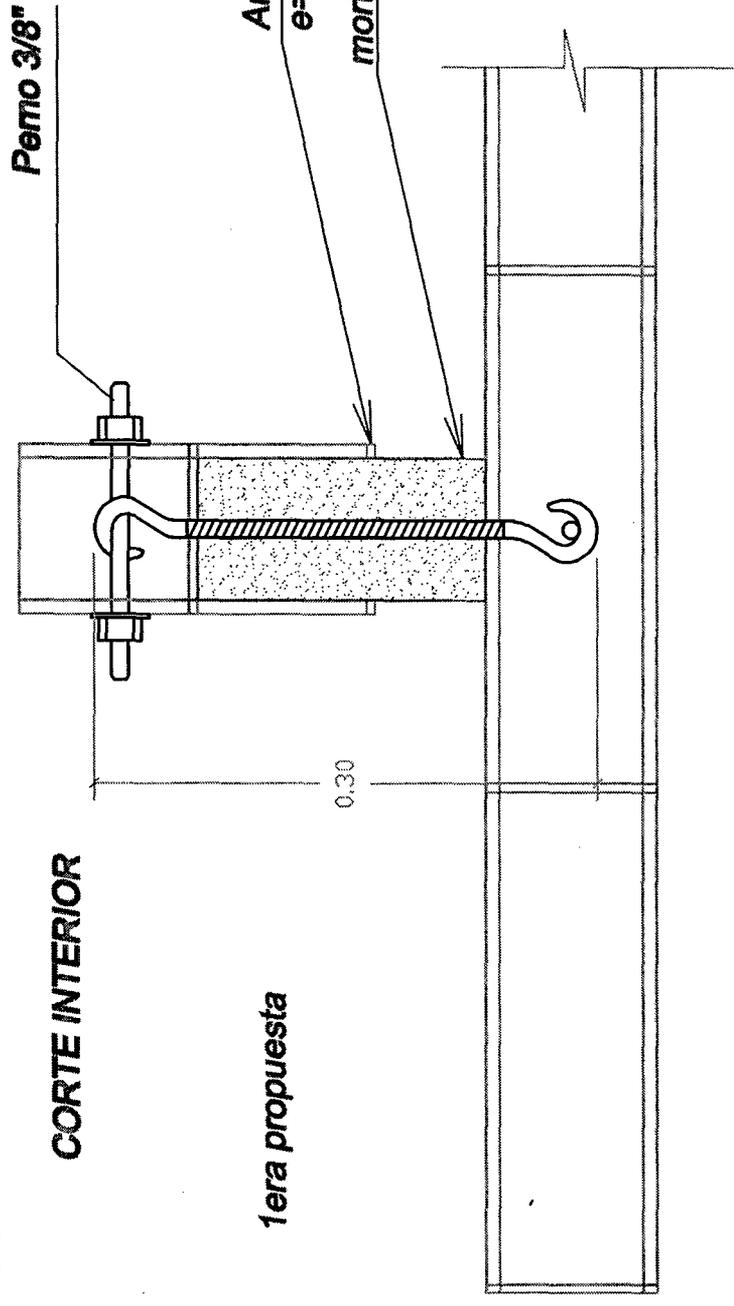
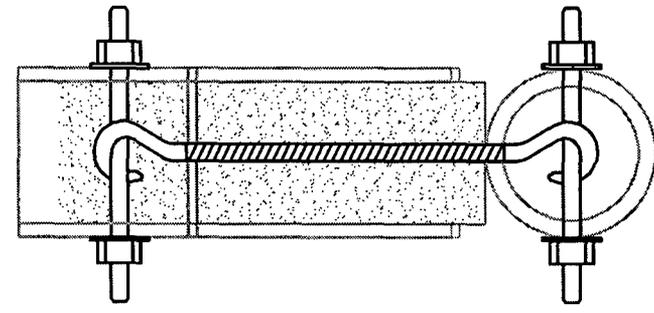
# UNION PERPENDICULAR

S/E

Perno 3/8"

Arandela  
e = 2 mm.

mortero



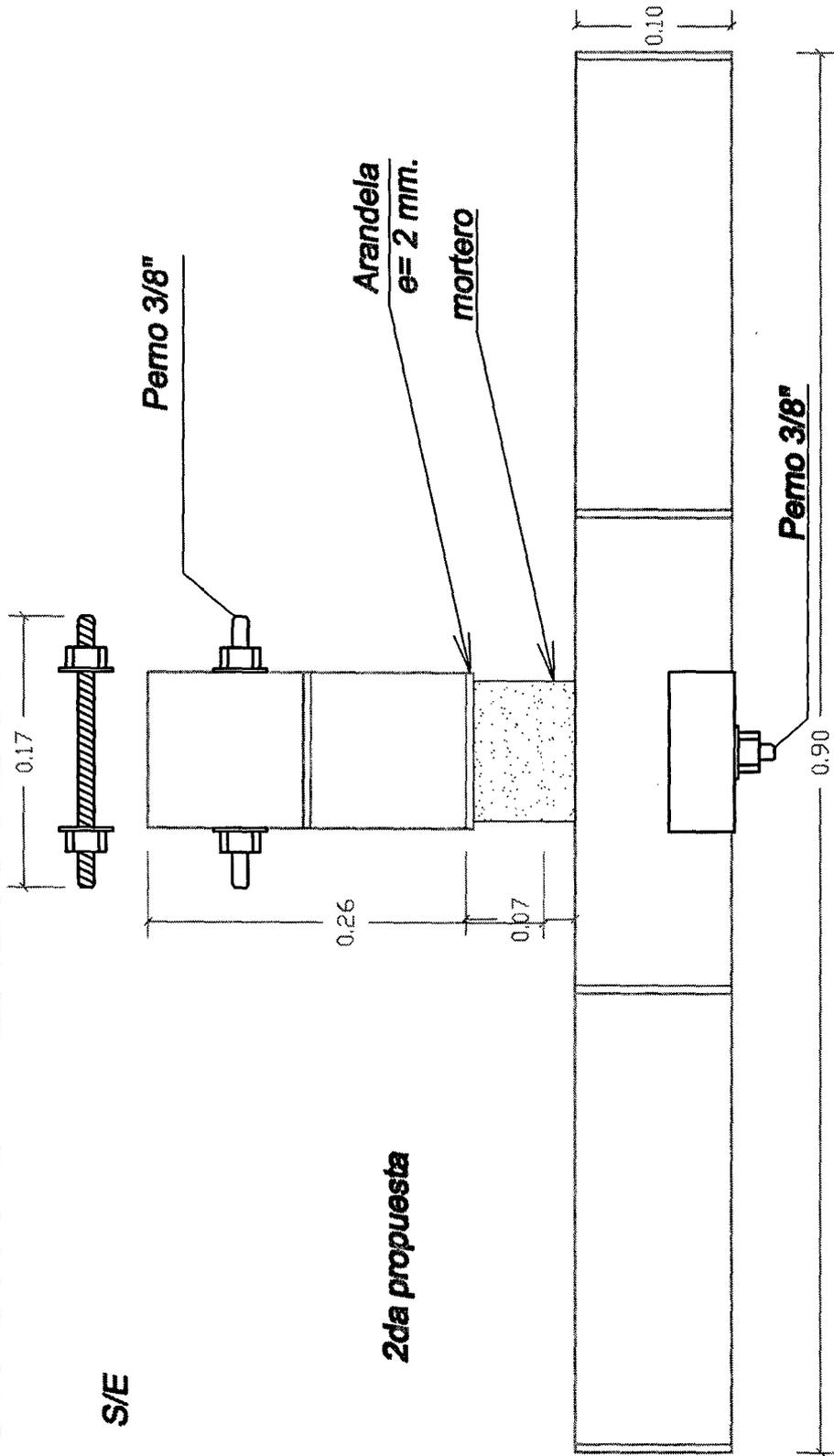
CORTE INTERIOR

1era propuesta

0.30

# UNION PERPENDICULAR

S/E

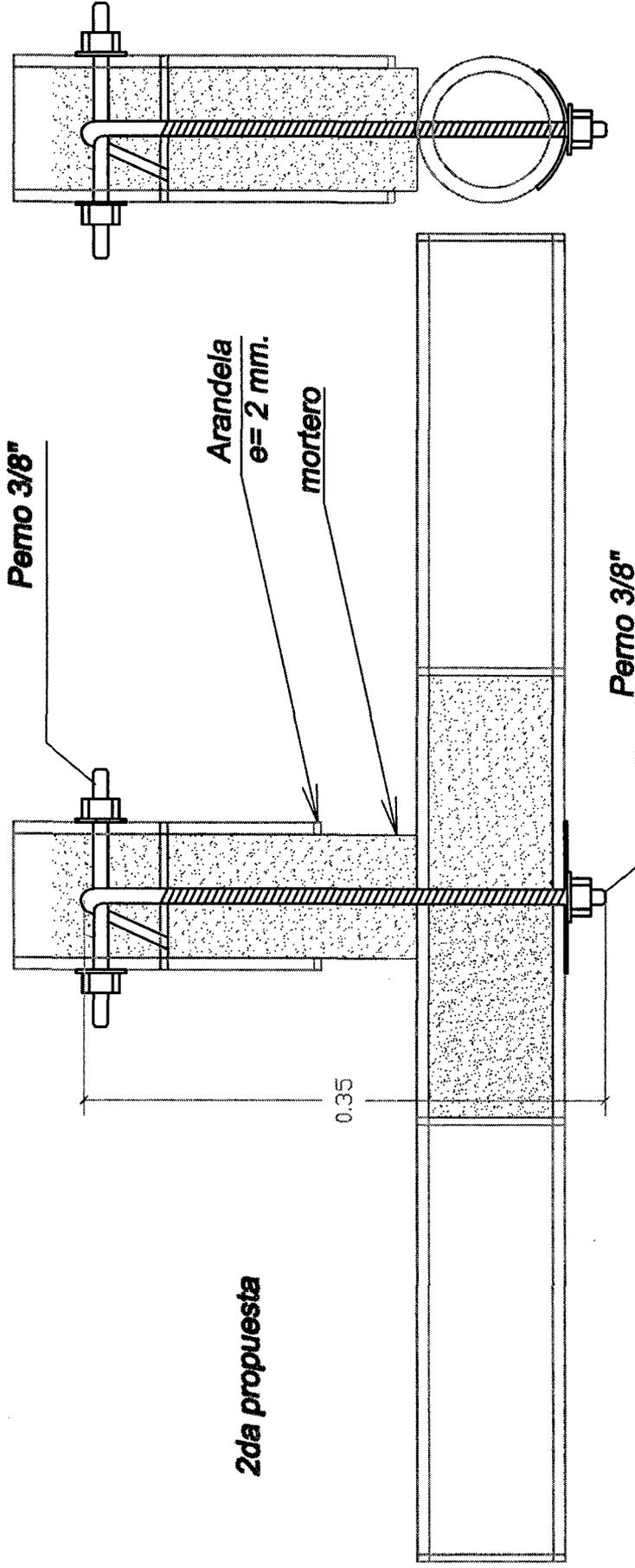


2da propuesta

# UNION PERPENDICULAR

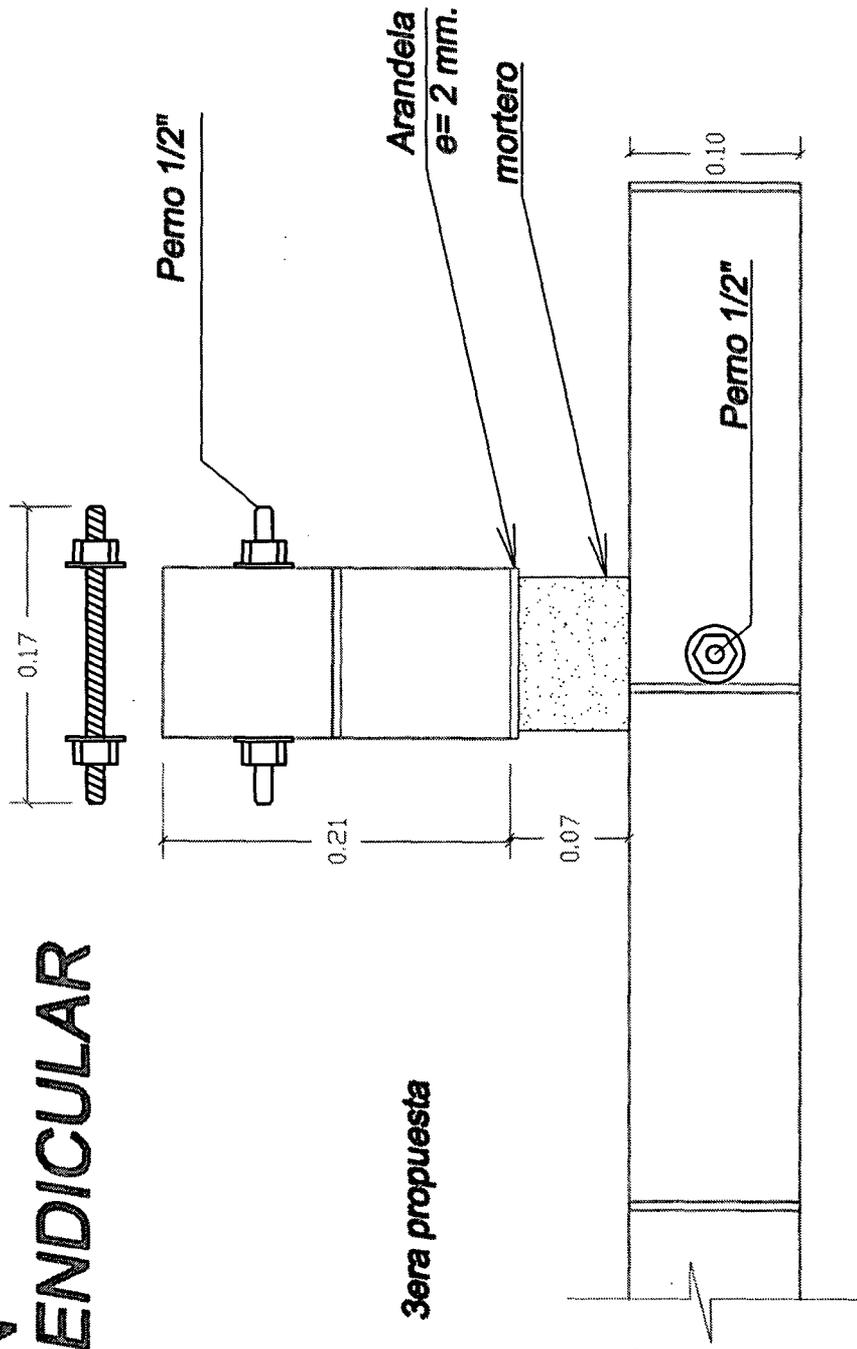
CORTE INTERIOR

S/E



2da propuesta

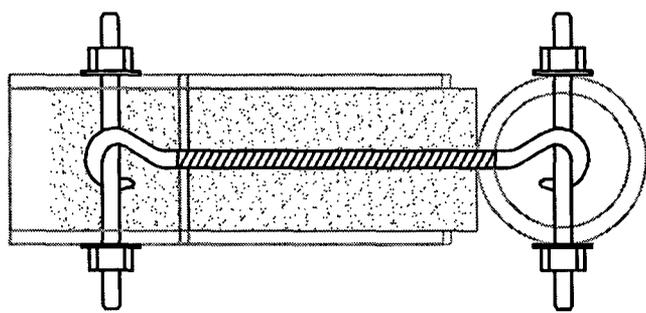
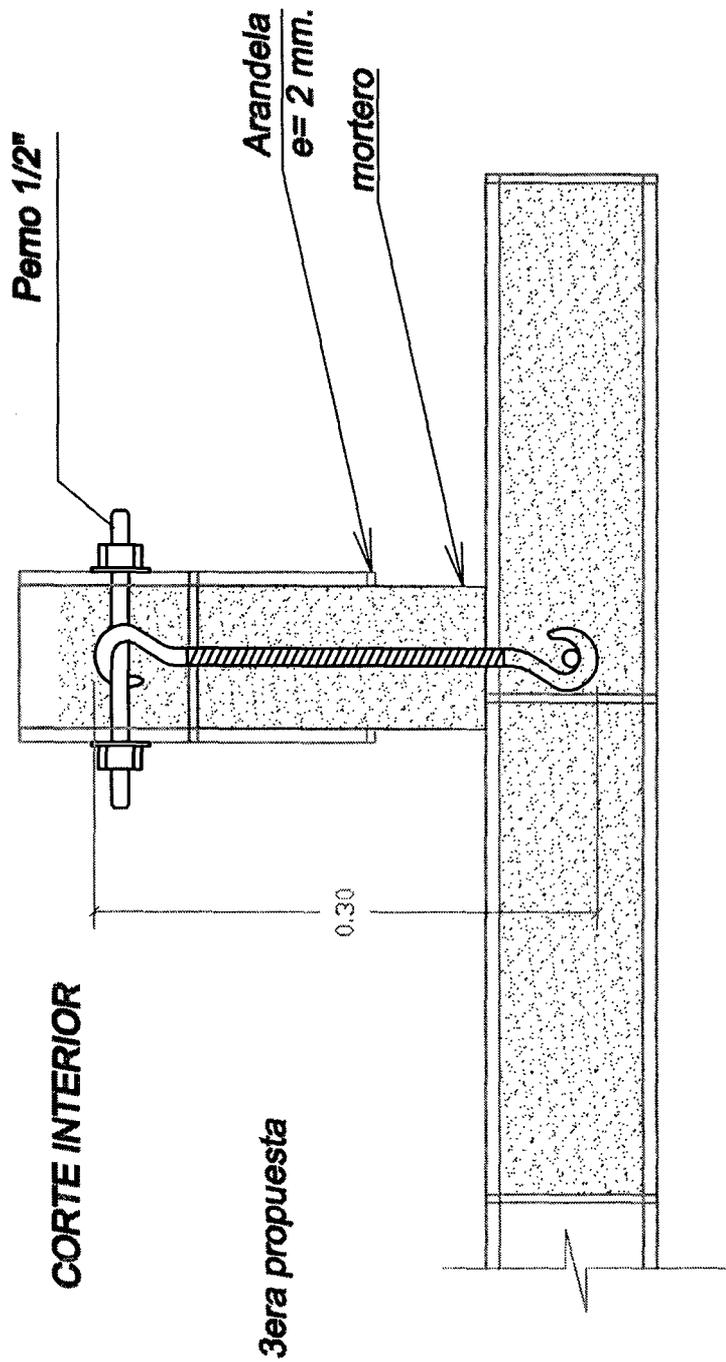
# UNION PERPENDICULAR S/E



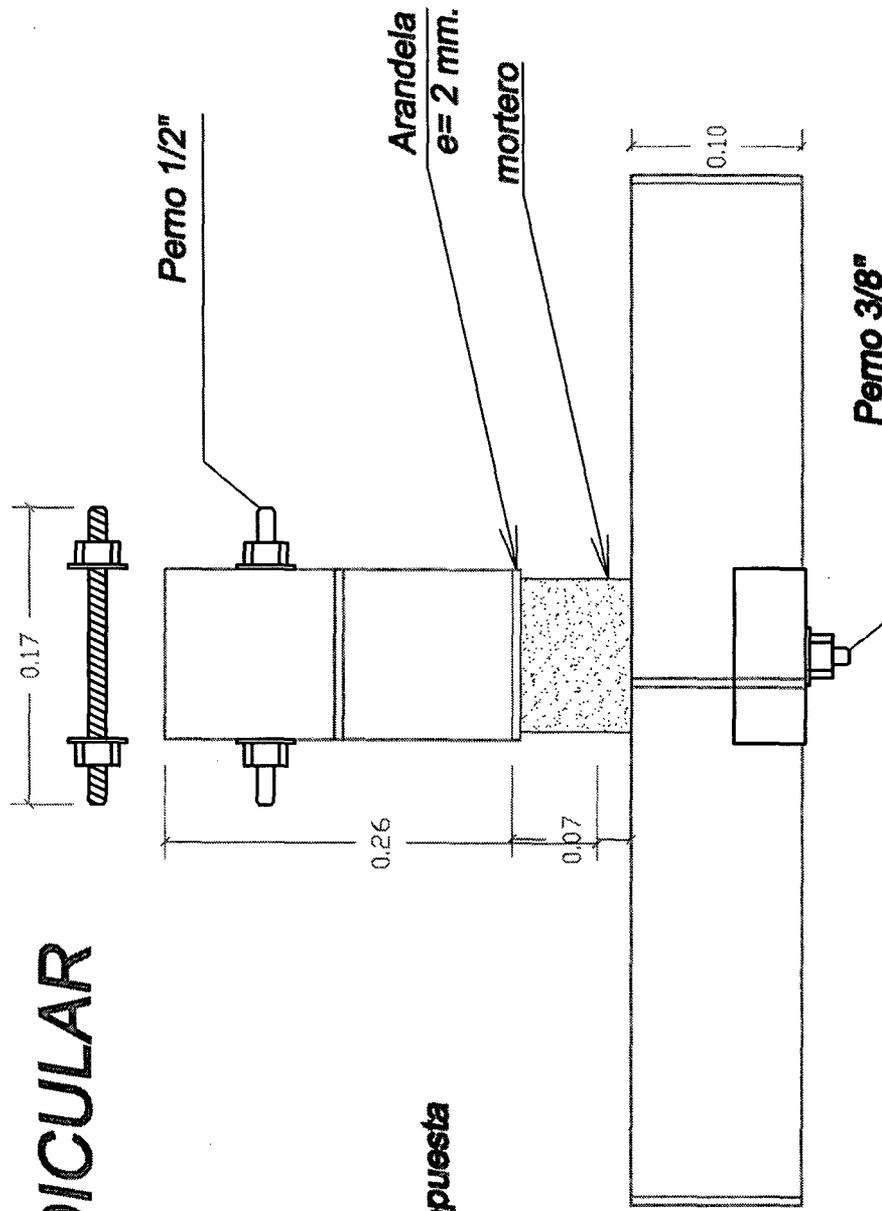
3era propuesta

# UNION PERPENDICULAR

S/E



**UNION  
PERPENDICULAR  
S/E**



**4ta propuesta**

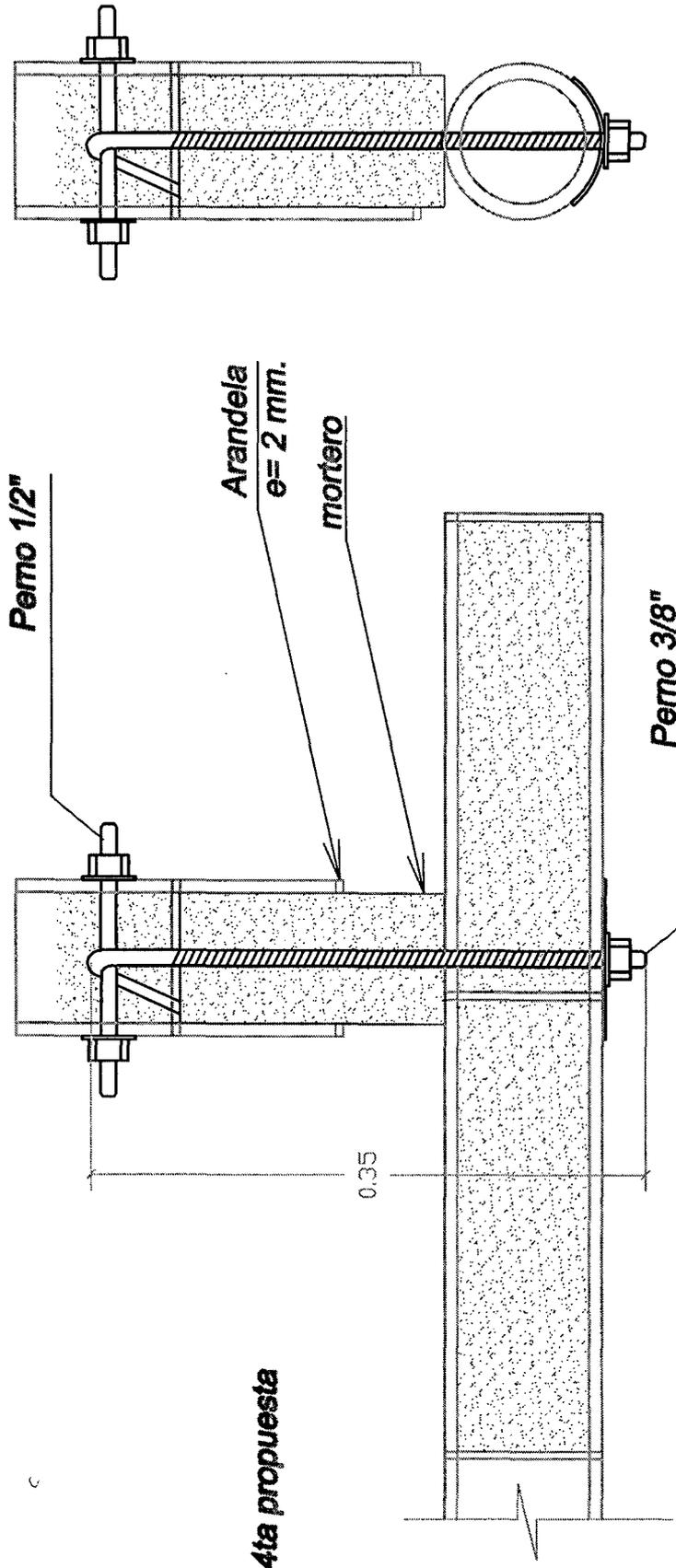
# UNION PERPENDICULAR

CORTE INTERIOR

S/E

c

4ta propuesta

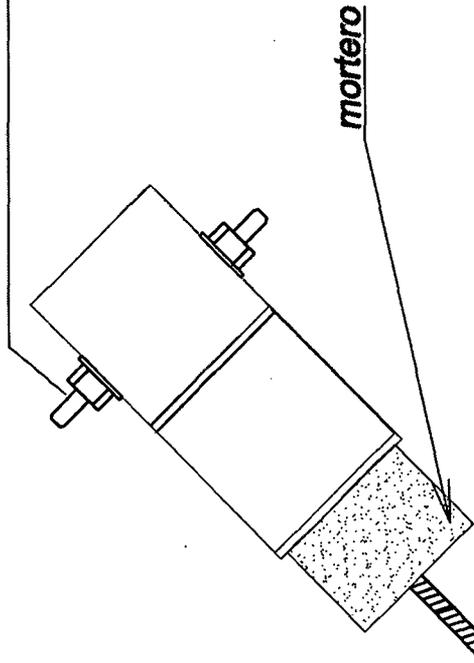


Anexo 6 - 10

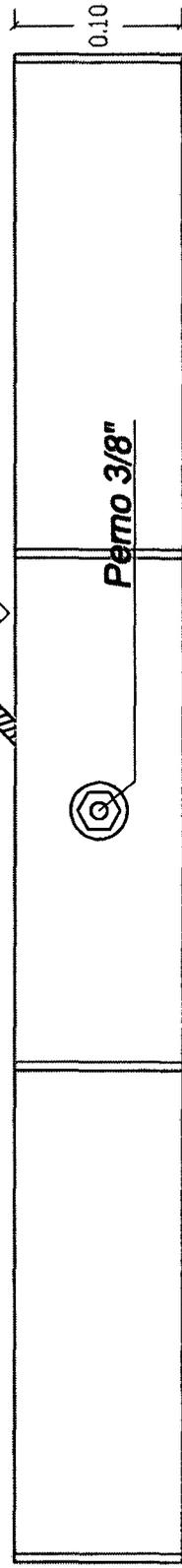
# UNION DIAGONAL S/E

1ra propuesta

Perno 3/8"



mortero



0.90

Anexo 6 - 11

# UNION DIAGONAL

CORTE INTERIOR

S/E

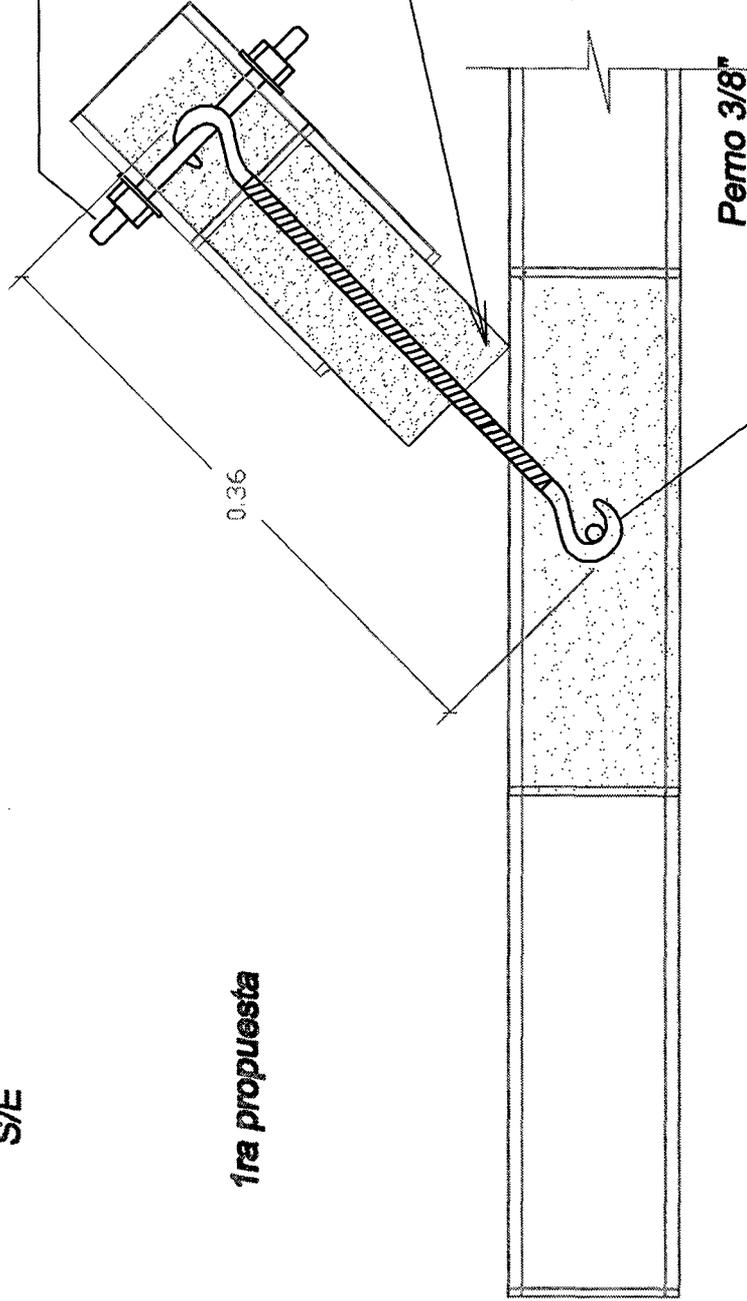
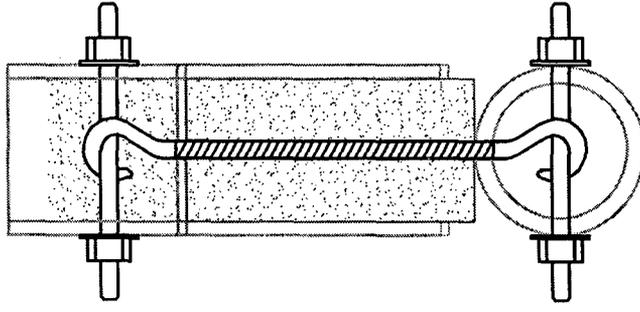
1ra propuesta

Perno 3/8"

mortero

0.36

Perno 3/8"



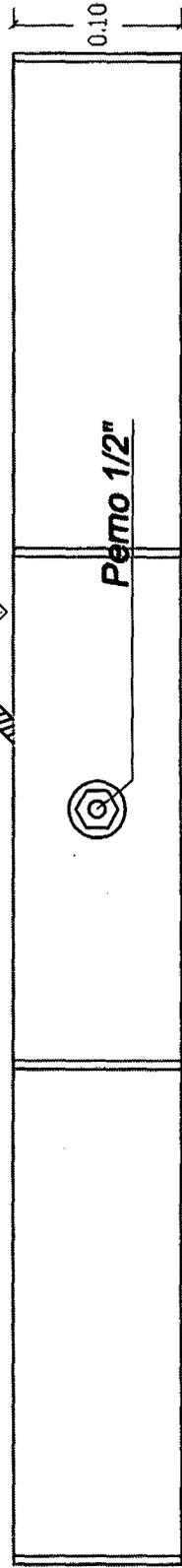
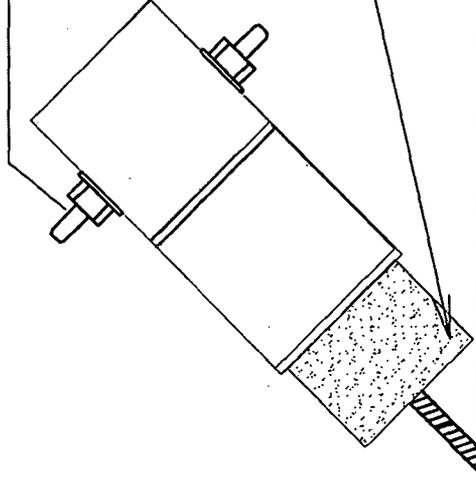
Anexo 6 - 12

**UNION  
DIAGONAL  
S/E**

**2da propuesta**

**Perno 1/2"**

**mortero**



0.90

**Anexo 6 - 13**

# UNION DIAGONAL

CORTE INTERIOR

S/E

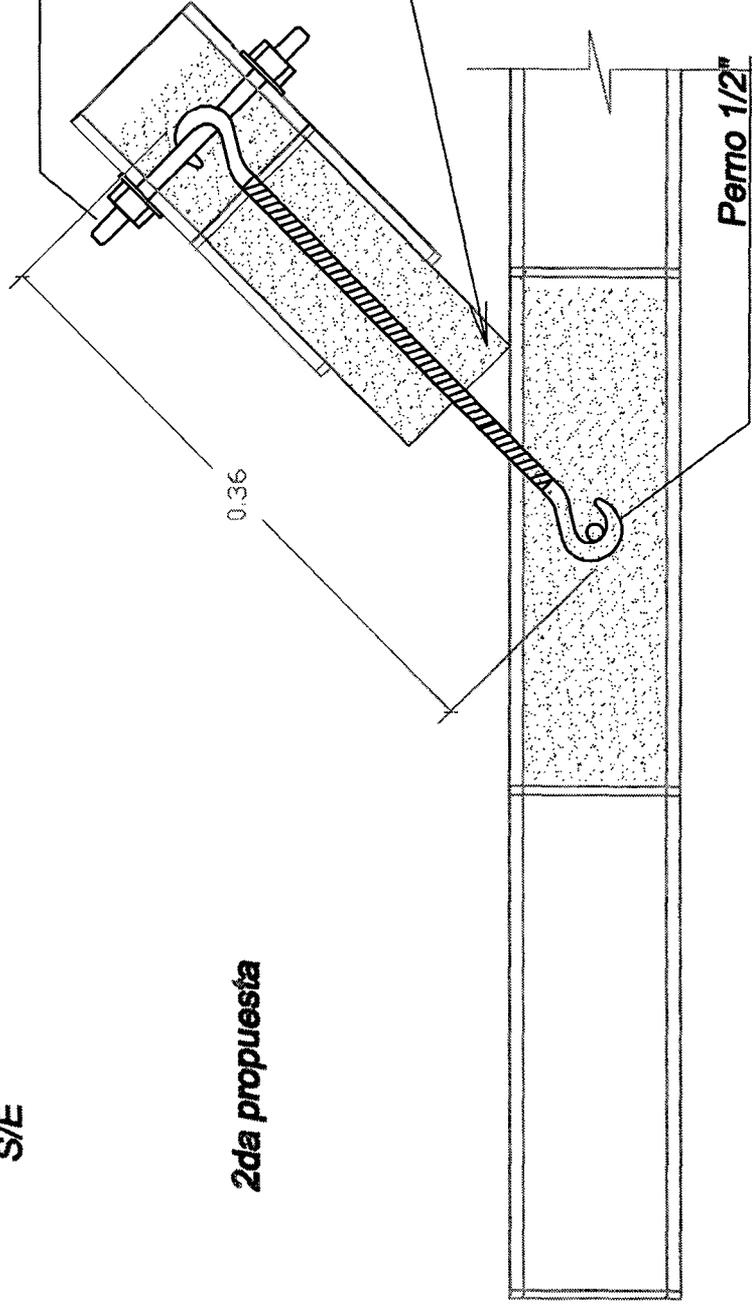
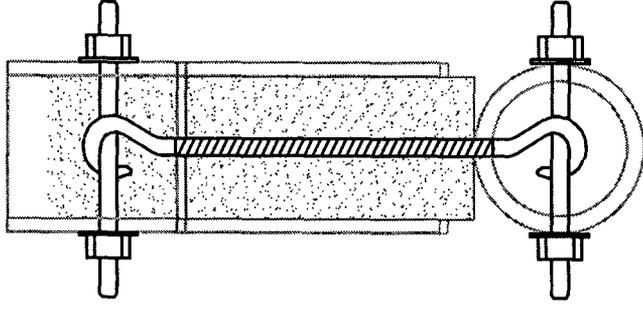
2da propuesta

Perno 1/2"

mortero

0.36

Perno 1/2"



**UNION  
DIAGONAL  
S/E**

**3ra propuesta**

**Perno 1/2"**

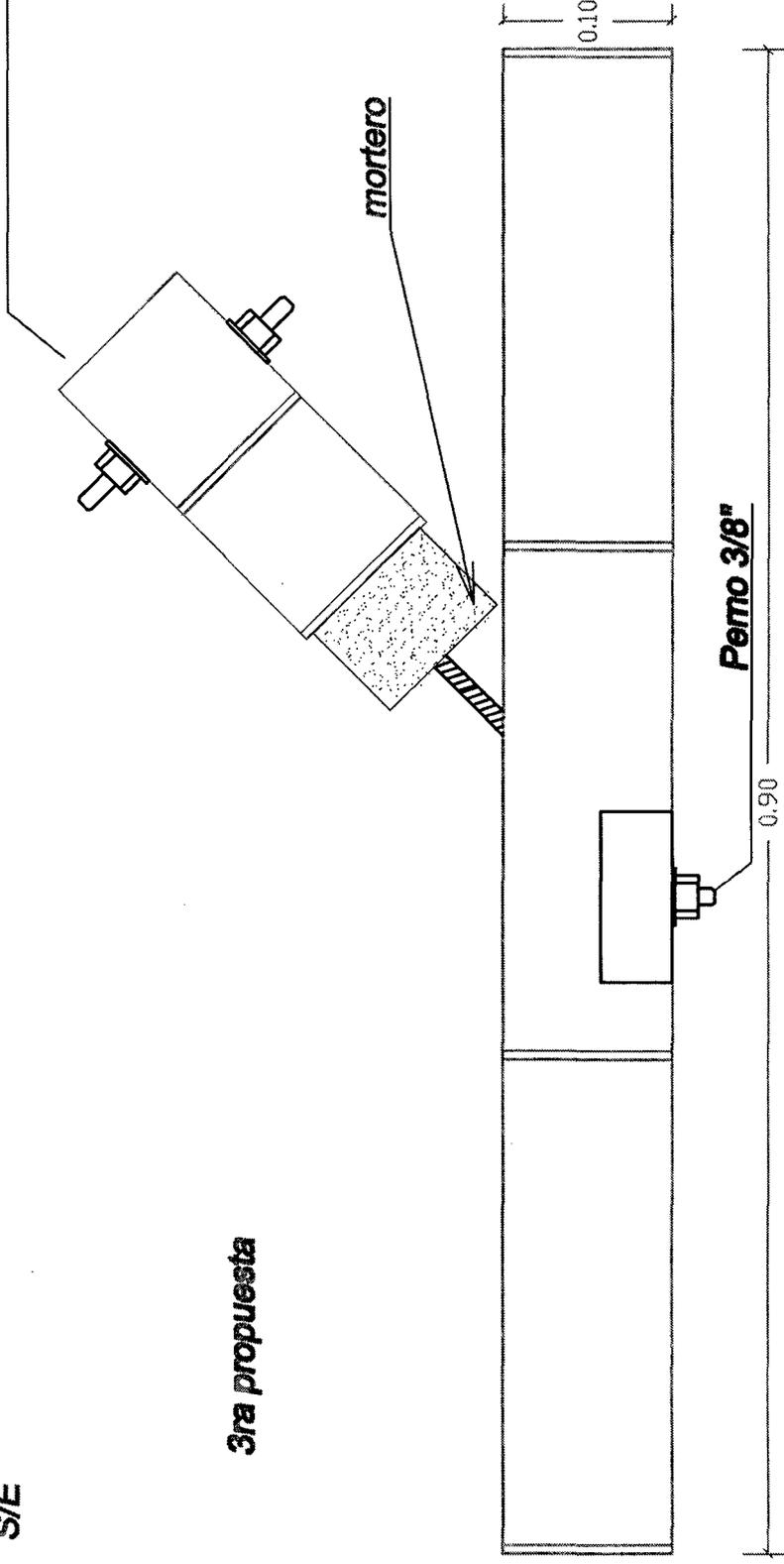
**mortero**

0.10

**Perno 3/8"**

0.50

**Anexo 6 - 15**



# UNION DIAGONAL

CORTE INTERIOR

S/E

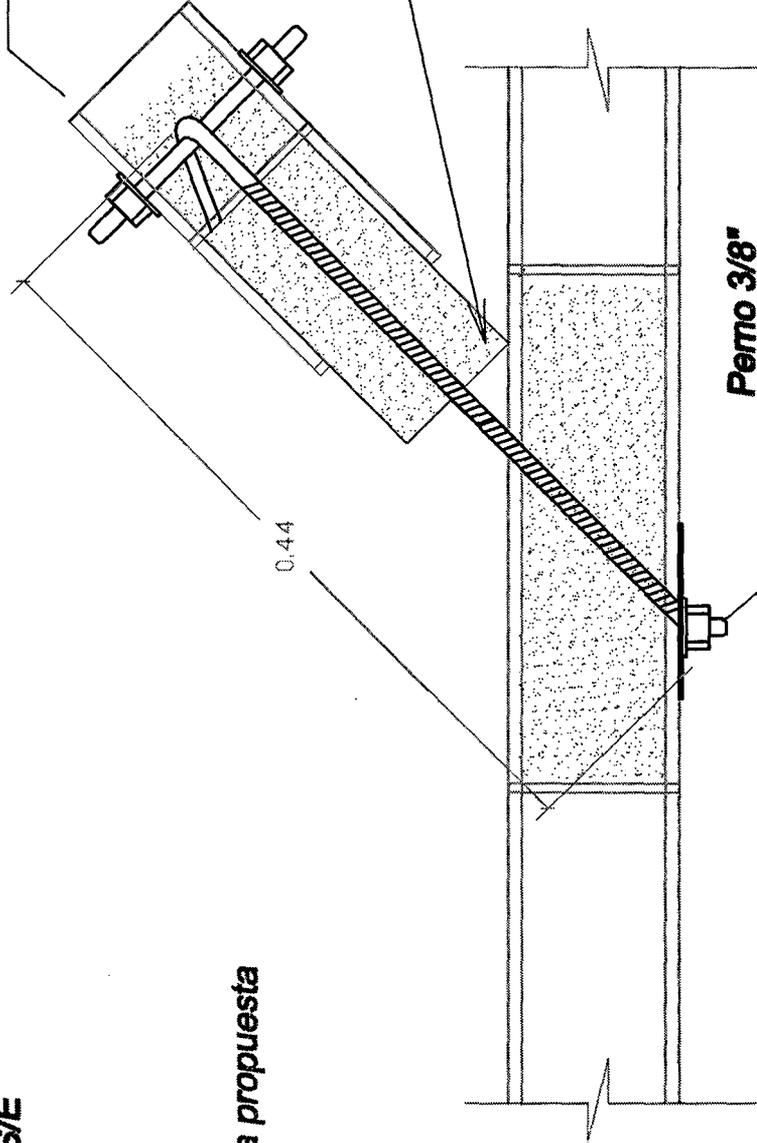
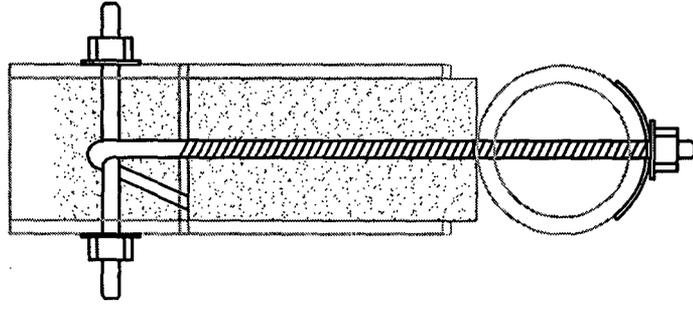
3ra propuesta

Perno 1/2"

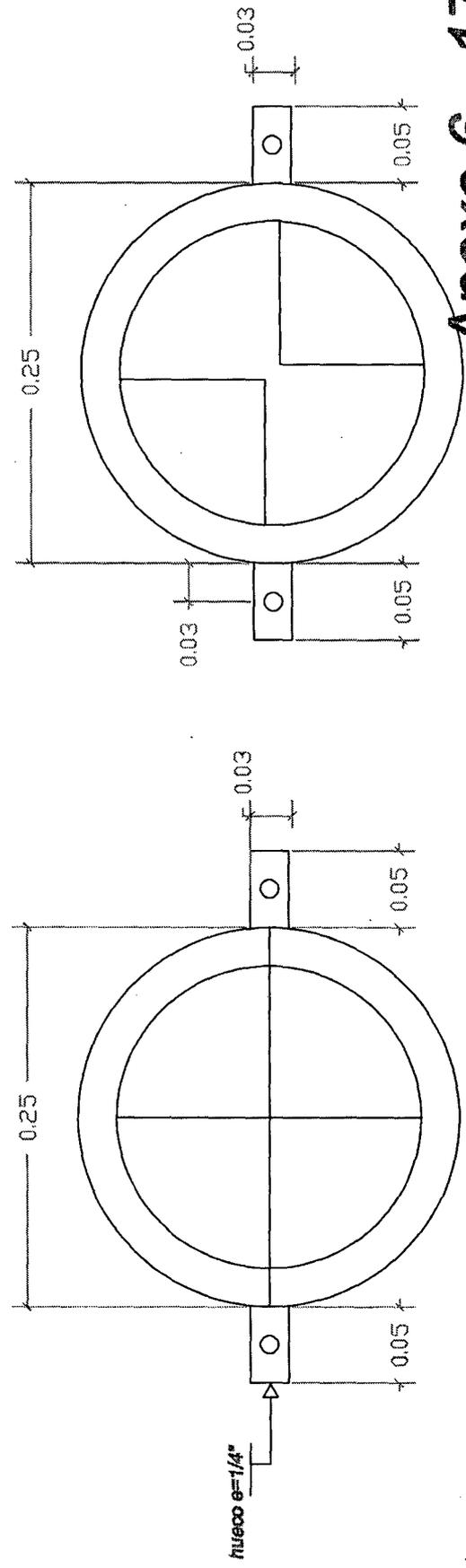
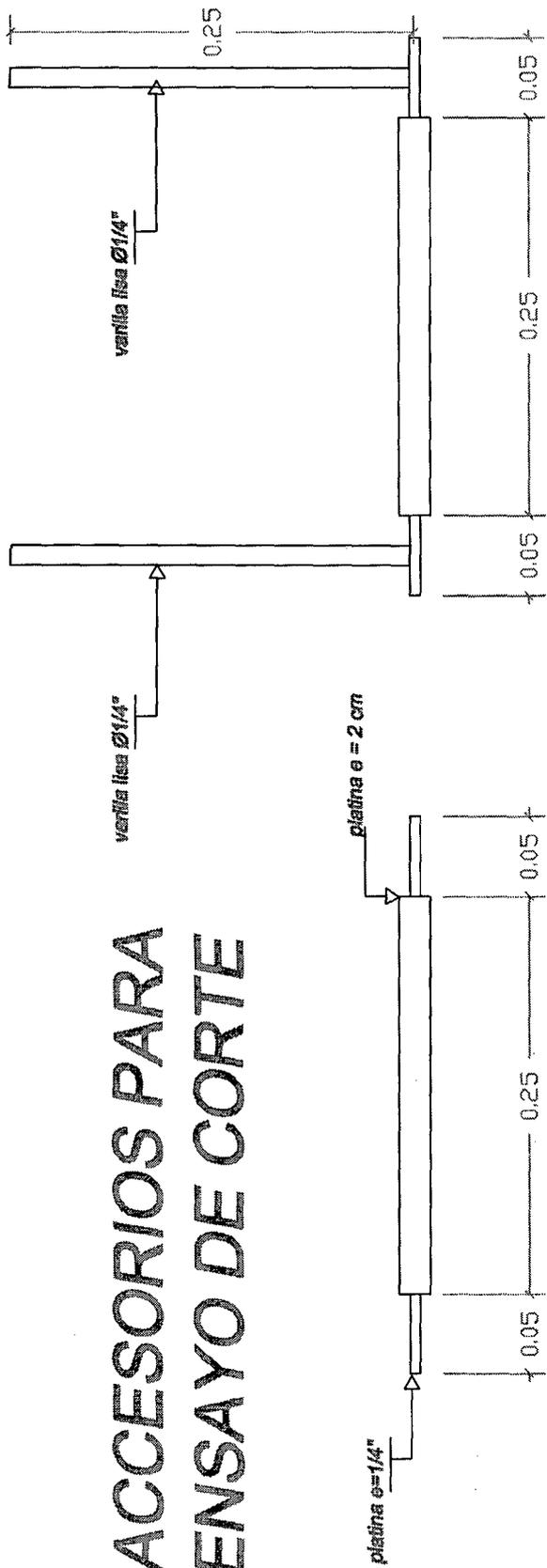
mortero

0.44

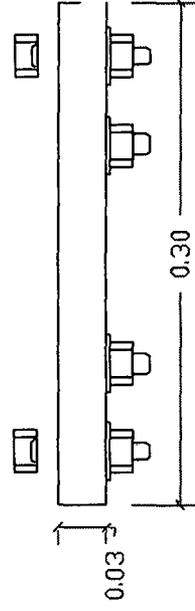
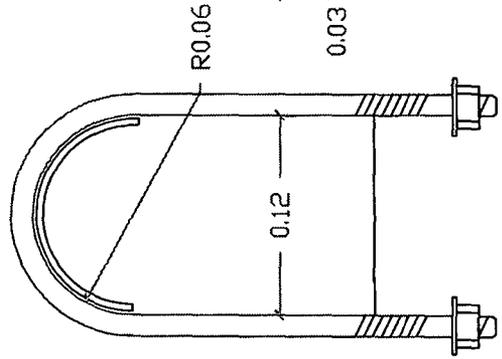
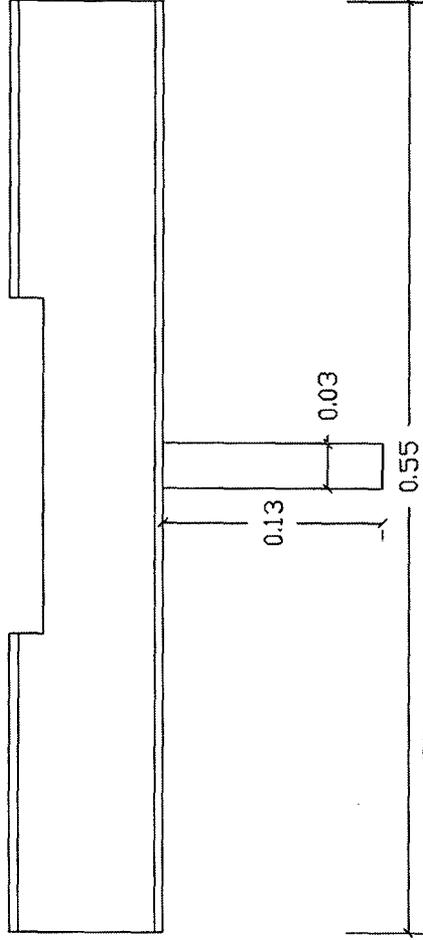
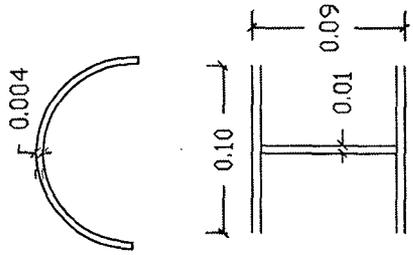
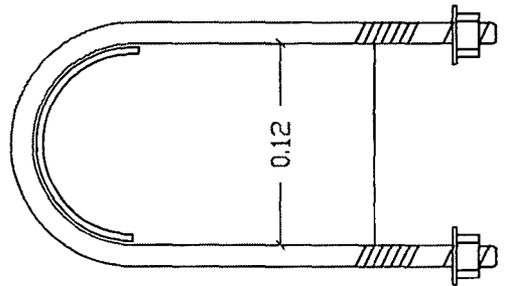
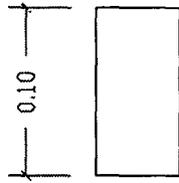
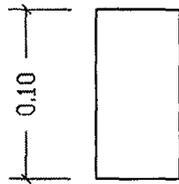
Perno 3/8"



# ACCESORIOS PARA ENSAYO DE CORTE



# ACCESORIOS PARA UNIONES



# ESQUEMA DE CORTE DE UNA CAÑA ENTERA DE BAMBU

Todas las medidas en metros  
S/E

6

