

ESTUDIO DE UNIONES EN GUADUA CON ANGULO DE INCLINACIÓN ENTRE
ELEMENTOS

DIEGO LEON JARAMILLO SUAREZ
ANA GISELLA SANCLEMENTE MANRIQUE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C.
2003

ESTUDIO DE UNIONES EN GUADUA CON ANGULO DE INCLINACIÓN ENTRE
ELEMENTOS

DIEGO LEON JARAMILLO SUAREZ
ANA GISELLA SANCLEMENTE

Tesis para optar al titulo de
Ingeniero Civil

Director
CAORI PATRICIA TAKEUCHI TAN
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C.
2003

Nota de Aceptación

Director

Jurado:

Jurado:

Bogota D.C.

Día_____Mes_____Año_____.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

1	MARCO TEORICO	1
1.1	MORFOLOGÍA	1
1.1.1	GENERALIDADES	1
1.1.2	PARTES DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA	3
1.1.2.1	EL RIZOMA	3
1.1.2.2	LAS RAÍCES	3
1.1.2.3	EL TALLO Ó CULMO	3
1.1.2.4	LAS RAMAS	4
1.1.2.5	LAS HOJAS	4
1.1.2.6	LA SEMILLA	4
1.1.2.7	LAS FLORES	4
1.2	CULTIVO	5
1.3	PRESERVACIÓN	7
1.4	PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS	9
1.4.1	CONTENIDO DE HUMEDAD	9
1.4.2	DENSIDAD SECA AL AIRE (DSA)	10
1.4.3	DENSIDAD BÁSICA	10
1.4.4	PESO ESPECIFICO (PE)	10
2	ANTECEDENTES	13
3	METODOLOGIA	18
3.1	INVENTARIO DE MATERIAL UTILIZADO	19
3.1.1	GUADUA	19
3.1.2	ACERO	20
3.1.3	PUNTILLAS	21
3.1.4	RELLENO DE CANUTOS	21
3.1.4.1	CEMENTO	22
3.1.4.2	AGREGADO	22
3.1.4.3	ADITIVOS	23
3.1.5	HERRAMIENTAS	23
3.2	DESCRIPCIÓN DE UNIONES A ENSAYAR	23
3.2.1	SVM UNIÓN TIPO SIMÓN VÉLEZ MODIFICADA U.N.	23
3.2.2	UNIÓN TIPO SANDRA CLAVIJO SC	25
3.2.3	UNIÓN TIPO DIEGO JARAMILLO Y GISELLA SANCLEMENTE (DG)	27
3.3	PROCESO DE ARMADO DE LAS UNIONES	29
3.3.1	PREPARACION DE LA GUADUA:	29

3.3.2	FABRICACIÓN DE UNIONES	30
3.3.2.1	SVM	30
3.3.2.2	SC	31
3.3.2.3	DG	32
3.3.3	RELLENO DE CANUTOS	33
3.3.3.1	ELEMENTOS UTILIZADOS PARA FUNDIR EL MORTERO FLUIDO	33
3.3.3.2	EQUIPO	33
3.3.3.3	PROCEDIMIENTO	33
3.3.4	COLOCACIÓN DE DISPOSITIVOS PARA ENSAYAR.	34
3.3.4.1	ANILLO DE ACERO	34
3.4	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	35
3.4.1	MONTAJE DEL ENSAYO	35
3.4.1.1	MONTAJE 90° COMPRESIÓN	35
3.4.1.2	MONTAJE 90° TENSIÓN	37
3.4.1.3	MONTAJE 45°	39
3.4.1.4	MONTAJE 60°	40
3.4.1.5	EQUIPOS UTILIZADOS PARA LOS ENSAYOS	41
4	DESCRIPCIÓN DE FALLAS	42
4.1	ENSAYO A COMPRESIÓN A 90°	42
4.1.1	UNIÓN TIPO SIMÓN VÉLEZ MODIFICADO. (SVM)	42
4.1.2	UNIÓN TIPO SANDRA CLAVIJO (SC)	43
4.1.3	UNIÓN TIPO DIEGO GISELLA (DG)	43
4.2	ENSAYO A TENSIÓN A 90°	44
4.2.1	UNIÓN TIPO SIMÓN VÉLEZ MODIFICADO. (SVM)	44
4.2.2	UNIÓN TIPO SANDRA CLAVIJO (SC)	45
4.2.3	UNIÓN TIPO DIEGO GISELLA (DG)	46
4.3	UNION TIPO SIMÓN VELEZ MODIFICADO A 45°	47
4.4	UNION TIPO DIEGO GISELLA A 45°	48
4.5	UNION TIPO SIMÓN VELEZ MODIFICADO A 60°	49
4.6	UNION SANDRA CLAVIJO A 60°	50
4.7	UNION TIPO DIEGO GISELLA A 60°	51
4.8	RESULTADOS	51
4.8.1	SVM 90°	51
4.8.2	SC 90°	52
4.8.3	DG 90°	52
4.8.4	SVM 45°	52
4.8.5	DG 45°	53
4.8.6	SVM 60°	54
4.8.7	SC 60°	55

4.8.8	DG 60°	56
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
5.1	RESISTENCIA A CORTE DEL ELEMENTO CONECTADO	58
5.2	UNION SVM CON ANGULO DE INCLINACIÓN DE 45° Y 60°	58
5.3	UNIÓN DG A 45° Y 60°	59
5.4	UNIÓN 90° SOMETIDA A COMPRESIÓN.....	61
5.5	UNIÓN 90° SOMETIDA A TENSIÓN.	64
5.5.1	UNIÓN SVM	64
5.5.2	UNION SC	64
5.4.3	UNION DG.....	65
6	CONCLUSIONES.....	67
7	BIBLIOGRAFÍA.....	70
ANEXO 1		71
ANEXO 2		79
ANEXO 3		84

LISTA DE FOTOGRAFIAS

FOTO 1 PLANTACION DE GUADUA.....	3
FOTO 2 SVM 45°	24
FOTO 3 SVM 60°	24
FOTO 4 SVM 90°	24
FOTO 5 SC 45°	25
FOTO 6 PLATINA DOBLADA	25
FOTO 7 SC 60°	26
FOTO 8 SC 90°	26
FOTO 9 DETALLE UNION	26
FOTO 10 PUNTILLAS HELICOIDALES	27
FOTO 11 DG 45°	27
FOTO 12 DG 60°	28
FOTO 13 DG 90°	28
FOTO 14 DETALLE ANILLO DE ACERO	35
FOTO 15 SOPORTES SVM 90°	35
FOTO 16 MONTAJE 90° COMPRESION	36
FOTO 17 MONTAJE DG 90°	39
FOTO 18 MONTAJE SC 90°	39
FOTO 19 EQUIPOS DE LABORATORIO	41
FOTO 20 FALLA SVM 90° COMPRESION	42
FOTO 21 DETALLE ARANDELA.....	42
FOTO 22 FALLA SVM 90° COMPRESION	42
FOTO 23 FALLA SC 90° COMPRESION.....	43
FOTO 24 FALLA SC 90° COMPRESION (2)	43
FOTO 25 UNION FALLADA EN COMPRESION	43
FOTO 26 FALLA SVM 90° TENSION.....	44
FOTO 27 FALLA SVM 90° POR LONGITUD DE DESARROLLO	45
FOTO 28 FLUENCIA DE LA LAMINA.....	45
FOTO 29 FALLA UNION SC 90° TENSIÓN	45
FOTO 30 FALLA UNION DG 90° TENSION.....	46
FOTO 31 VISTA LATERAL DE FALLA DG 90° TENSION.....	46
FOTO 32 DETALLE ROTURA DEL MORTERO DE RELLENO	47
FOTO 33 FALLA UNION SVM 45°	47
FOTO 34 VISTA SUPERIOR FALLA SVM 45°	48
FOTO 35 FALLA UNION DG 45°	48
FOTO 36 VISTA SUPERIOR FALLA DG 45°	49
FOTO 37 FALLA UNION SVM 60°	49
FOTO 38 VISTA SUPERIOR FALLA SVM 60°	50
FOTO 39 UNION SC 60°	50

FOTO 40 FALLA UNION DG 60°	51
FOTO 41 DETALLE COMPRESION PERPENDICULAR A LAS FIBRAS.....	62
FOTO 42 DETALLE RUPTURA MORTERO DE RELLENO SVM 90°	63
FOTO 43 FALLA UNION DG 90° TENSION.....	65
FOTO 44 COMPARACION BOCA PESCADO TRADICIONAL Y CON EL DISPOSITIVO DRILL BP	81
FOTO 45 REALIZACION DEL BOCA PESCADO.....	82

INTRODUCCIÓN

El uso de la guadua como material de construcción se remonta al periodo colonial aun cuando ya era utilizada por los indígenas con el mismo fin, desde entonces se utiliza acompañada con el bahareque en la construcción de vivienda.

En la actualidad se le da el mismo uso, con algunas restricciones ya que es un material que no esta cobijado por la Norma Sismo-Resistente vigente (NSR-98), esto debido a que no se ha estudiado a fondo sus propiedades físicas, mecánicas y sus ventajas en comparación con otros materiales como el concreto y el acero. Las normas para construcciones modernas se basan en materiales como cemento o ladrillo, los cuales han sido ampliamente estudiados, fenómenos típicos en casi todo país, en vía de desarrollo.

En esta tesis se trata de determinar la resistencia última en uniones de guadua con diferentes ángulos, lo cual hasta la fecha no ha sido estudiado, y por tal motivo se ensayaran uniones con variaciones angulares desde los 45° hasta los 90° , analizando los tipos de fallas producidas tanto en tensión como en compresión. Con el objeto de determinar cuál es la unión optima para construcción de estructuras en guadua.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar diferentes uniones de elementos de guadua con ángulo entre ellos para poder recomendar aquella que tenga mejor comportamiento, para futuras aplicaciones en construcción.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar qué tipo de unión es óptima desde el punto de vista de su comportamiento estructural al ser sometida a fuerzas axiales.

Optimizar el proceso constructivo, previo al ensamble de dichas uniones, para garantizar una adecuada transmisión de esfuerzos entre los elementos.

1 MARCO TEORICO

La guadua es un recurso de múltiples ventajas naturales e industriales reconocidas en el mundo asiático y bien valoradas en Europa, sin embargo en Colombia, donde la especie alcanza las 51.0000 hectáreas su empleo en productos de valor agregado solo llega al 1 por ciento. Las Potencialidades y las perspectivas vs. La Sub -valoración ha marginado esta especie de su industrialización pero las investigaciones sobre ella están despertando gran interés.

Desde hace 3.000 años en Japón y China, la guadua o bambú ha sido fuertemente relacionada con los principios del Feng - shui, aquellos que sugieren armonía total en todas las cosas, un equilibrio de ambiente y el concierto entre el hombre y su medio.

Esa visión amplia e inteligente para valorar la guadua les ha permitido encontrar en la especie un sinnúmero de posibilidades y ventajas aplicadas al campo industrial, con excelentes resultados económicos, enorme rentabilidad, amplio protagonismo de productos en los mercados internacionales y un desarrollo tecnológico efectivo para su procesamiento, tal vez el mejor del mundo.

Para nuestro contexto nacional y aún en el latinoamericano, los buenos resultados logrados por los asiáticos se han quedado allí, lejos de nuestro aprender y no por causas políticas o por disposiciones culturales, sino como resultado de una pobre explotación local representada en usos básicos y escasos, un tratamiento al margen de la transformación industrial y por ende, una connotación equivocada donde la guadua es sinónimo de estancamiento y pasado.

Existen distintas asociaciones, organizaciones y profesionales independientes, relacionados con el tema, que trabajan para encontrar nuevas aplicaciones en campos inexplorados, mejorar sus resultados en usos tradicionales, realizar estudios sobre sus propiedades físico-mecánicas, divulgar sus hallazgos y proponer una cultura más amplia en la que se reconozca su potencial y se aproveche como la enorme fuente de riqueza que es.

1.1 MORFOLOGÍA

1.1.1 GENERALIDADES

Es una planta leñosa arborescente que pertenece a la familia del bambú, es una gramínea, un pasto gigante, y por ser gramínea es familia de la caña de azúcar, del trigo, del arroz que forman nuestro diario vivir.

En el mundo existen alrededor de 1300 especies de Bambú leños y herbáceos distribuidos en Asia 63%, 32% en América y 5% en África y Oceanía, ejemplo:

En América existen 440 especies de Bambú, las más importantes del género Guadua son aproximadamente 16 especies.

En el Brasil existe la más grande extensión de Latinoamérica, donde se albergan el mayor número de especies.

En Colombia se encuentran de 6 especies gigantes, todas las denominamos Guadua:

GUADUA MACANA
GUADUA CEBOLLA
GUADUA CASTILLA
GUADUA COTUDA
GUADUA AMARILLA

Todas, especies típicas de Bambusa Guadua Angustifolia. En cada país se identifican de formas diferentes, ejemplo:

EN ECUADOR SE LE LLAMA CAÑA
EN PERÚ MARONA O TACA
EN BOLIVIA TACUAREMBO
EN ARGENTINA TACUARA
EN BRASIL TABOCA
EN PARAGUAY TACUARACU
EN VENEZUELA GUAFA
Y ULTIMAMENTE EN COLOMBIA "GUADURA"

El nombre científico de todas las especies de guadua que se encuentran en Colombia es, **Guadua Angustifolia Kunth**, guadua que ocupa diferentes hábitats, sin embargo es frecuente observarla en la orilla de los ríos, quebradas y valles interandinos en donde se formaron grandes sociedades naturales llamados Guadales.

La Guadua, como planta está dotada de su respectiva estructura y sistemas de ejes vegetativos segmentados y formados por nudos y entre nudos, contiene rizoma, tallo o culmo, ramas y hojas.



FOTO 1 PLANTACION DE GUADUA

1.1.2 PARTES DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA

1.1.2.1 El Rizoma

Aparte de ser el órgano almacenador de nutrientes es el elemento apto para la propagación asexual.

El rizoma, es comúnmente conocido como el caimán de la Guadua.

1.1.2.2 Las Raíces.

Dependiendo del suelo en que se encuentre, su grosor es de 5 milímetros alcanza profundidades hasta de 1.50 metros, parte de ellas se profundizan, las demás se extienden de forma horizontal.

1.1.2.3 El Tallo ó Culmo

Se caracteriza por tener forma cilíndrica y entrenudos huecos, separados transversalmente por tabiques o nudos que le imparten mayor rigidez, flexibilidad y resistencia.

Los tallos difieren, según la especie, en altura, diámetro y forma de crecimiento. Van desde unos pocos centímetros hasta 40 m de altura y diámetro de 10 y 15 cms en promedio.

El culmo, tallo o Guadua esta formado por fibras longitudinales que de acuerdo a su edad (juvenil, hecha, madura) se lignifican, entregándonos una extraordinaria resistencia en la parte maderable y en la cara exterior.

1.1.2.4 Las Ramas

A diferencia del tallo son macizas, en algunos casos se atrofian y son reemplazadas por unas espinas de 10 o 15 centímetros, sus ramas son muy especiales, crecen casi solitarias sin hojas.

Las ramas seleccionadas a partir de la tercera en altura y de la mitad de la rama se pueden utilizar también en la reproducción de la especie.

1.1.2.5 Las Hojas

Son de color verde especial, inconfundible en la distancia y en medio de otras plantaciones, sobresale el color de sus hojas para mostrarnos su existencia.

Generalmente las hojas tienen la punta muy similar a una lanza, por lo tanto son hojas Lanceoladas y lisas.

Las hojas al caer aportan a su vez la denominada biomasa de la hoja (en un año 4 kilos por 1 metros cuadrado) transfiriendo nutrientes al suelo y demás plántulas que las rodean.

Las guaduas tienen adicionalmente otro tipo de hojas denominadas Caulinares que son las que cubren el tallo desde su nacimiento hasta su madurez, son de color café, provistas de Pelusillas como sistemas de defensa.

1.1.2.6 La Semilla

Se asemeja a un grano de arroz (es una gramínea) de coloración blancuzca muy clara en su interior y con un café muy claro en su exterior, es de aproximadamente 5 y 8 milímetros de larga y 3 milímetros de espesor.

1.1.2.7 Las Flores

La flor es muy pequeña y se asemeja a una orquídea, de color violáceo o rosáceo, se dice que su color depende de la calidad del suelo donde está plantada, es una

flor de vida muy corta, dura aproximadamente 48 horas y está ubicada en las partes terminales de las ramas superiores y en el primer tercio de la espiga.

La flor de la Guadua se ha considerado imperfecta por tener las 2 estructuras reproductoras en el mismo culmo.

La floración del Bambú-Guadua es gregaria es decir florecen todas las especies del planeta en una época determinada, hoy estudios dicen que su floración se da aproximadamente cada 120 años y en bambú ornamental cada 15 años.

1.2 CULTIVO

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'* (1978), en Ecuador se han encontrado rastros 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 flautas, quenas y marimbas, fueron realizadas por los Incas con este recurso durante la época de preconquista, y después de ella durante la colonia, la especie fue la encargada de proteger indios y hasta pequeños pueblos del asedio de los españoles escondiéndolos tras sus espesuras.

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 y sólo como ejemplo, en el siglo pasado en la zona cafetera colombiana se construyeron cerca de 100 poblaciones completas con bareque, según lo reseñan Lucy Amparo Bastidas y Edgar Flores, miembros de la Sociedad Colombiana de Bambú.

Ese uso tradicional de siglos en la construcción, o su empleo en la elaboración de artesanías o papel en Brasil, u otros menos comunes como la fabricación de pisos y molduras - realizado únicamente por los orientales -, tiene su razón de ser en las enormes propiedades y ventajas que ofrece la especie.

CONDICIONES DE SIEMBRA	
Donde Sembrar	
Altitud	400 a 2.000 m.s.n.m
Temperatura	18°C a 22°C
Precipitación	Superior a 1.300 milímetros por año
Humedad Relativa	80%
Suelos	Areno/-limosos, arcillosos, sueltos Profundos, bien drenados y fértiles.
Como sembrar	
Distancia de Siembra	5 x 5 metros
Ploteo	1.5 metros
Hoyo	40 x 40 centímetros

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle CVC. Luis Fernando Cortes
Documento: El cultivo de la guadua alternativa económica para el desarrollo sostenible

Hallada en estado natural en Colombia, Ecuador y Venezuela e introducida con éxito en algunos países de Centroamérica, el Caribe y Asia, esta especie es el tercer bambú más grande del mundo superado únicamente por dos especies asiáticas. Alcanza los 30 metros de altura y los 22 centímetros de diámetro y en nuestro país se han identificado dos variedades que también son únicas: *La Guadua angustifolia bicolor* y *Guadua angustifolia Nigra*.

Tiene además alta velocidad de crecimiento, casi 11 cm de altura por día en la región cafetera y se dice que en sólo 6 meses puede lograr su altura total, hechos positivos si se tiene en cuenta que uno de los problemas acusados para la siembra de especies maderables y reforestación, es el tiempo extremadamente largo para la obtención de resultados.

CICLO BIOLÓGICO	
Crecimiento	Como recurso forestal la guadua crece rápidamente (promedio de crecimiento durante los primeros 120 días es de 10 cm por día. Obtiene su altura definitiva en 120 días.)
Aprovechamiento	Las condiciones anteriores permiten gran nivel de aprovechamiento en tiempo reducido (madura entre 4 y 5 años) lo que significa una inversión rentable y un ingreso económico sostenible.
Maduración y Dureza	La madera se va endureciendo a medida que la especie se desarrolla y llega a convertirse en una estructura ya madura o hecha, soporta alturas de más de doscientas veces su diámetro.

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle CVC. Luis Fernando Cortes
Documento: El cultivo de la guadua alternativa económica para el desarrollo sostenible

Sumado a esto, las condiciones de cosecha de la guadua son mucho más sencillas que las requeridas por otras especie. Se corta con machete, herramienta elemental de fácil uso y mínima inversión, tiene peso liviano y a pesar de su altura, también tiene diámetros que facilitan su transporte y almacenamiento.

Adicionalmente, la *Guadua* es un recurso abundante frente a otros recursos explotados forestalmente en el país. Son aproximadamente 51.000 hectáreas de las cuales 46.000 son guaduales naturales y 5.000 son hectáreas establecidas, aunque se estima que el número de éstas debe incrementarse para que su cultivo ofrezca mejores resultados económicos e industriales.

Esta condición también representa una enorme riqueza ambiental, ya que la guadua es un importante fijador de dióxido de carbono (CO₂), hasta el punto que su madera no libera a la atmósfera el gas retenido después de ser transformada en elemento o ser usada en construcción, sino que éste queda fijo en las obras realizadas con ella. La particularidad llama la atención de los países industrializados que, según el Protocolo de Kyoto, deben disminuir la emisión de gases de efecto invernadero entre el 2008 y el 2012. Estos países ven en la especie una alternativa que podría ayudar a resolver un inquietante problema global y que lo haría, tal vez, a costos más bajos que con otros procesos tecnológicos más complejos.

BENEFICIOS DE LA SIEMBRA DE LA GUADUA	
a)	La conversión de tierras en uso o en proceso de deterioro al uso económico de la reforestación con esta especie.
b)	La conservación del medio ambiente mediante el control de la erosión.
c)	Impacto en el régimen hídrico y condiciones climáticas y la regulación de la cantidad de agua para consumo humano.
d)	Mejoramiento de la situación socioeconómica y la calidad de vida de las comunidades en el área de influencia del proyecto.
e)	Rescate y fortalecimiento de la cultura de la guadua.

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle CVC. Luis Fernando Cortes
Documento: El cultivo de la guadua alternativa económica para el desarrollo sostenible

Siguiendo la misma línea ambiental, el bambú también evita la movilización de tierra y conserva efectivamente los suelos, de allí que su siembra resulte ideal en áreas propensas a deslizamientos, derrumbes, erosión y remociones, sin contar su gran capacidad para el almacenamiento de agua.

1.3 PRESERVACIÓN

Para garantizar la durabilidad de la guadua es necesario protegerla del ataque de agentes nocivos tales como insectos u hongos. Para este fin se trata con insecticidas y fungicidas que por lo general vienen ya mezclados en la mayoría de

los productos comerciales que se emplean para tratar maderas, algunos de los cuales son más efectivos que otros según su composición química.

Los productos que se emplean en el tratamiento de bambúes deben tener las siguientes cualidades:

- Que sean lo suficientemente activos para impedir la vida y desarrollo de microorganismos interiores y exteriores.
- Que su composición no afecte los tejidos del bambú en tal forma que puedan sufrir modificaciones y disminuyan sus cualidades físicas y mecánicas.
- Que sean solubles en agua de tal manera que puedan utilizarse a diversos grados de concentración, sin embargo su solubilidad no debe ser tal que una vez inyectados sean lavados por la lluvia o la humedad.
- Que en el momento de su empleo se encuentren en estado líquido, a fin de que impregnen fácilmente todas las partes del bambú.
- Que no tengan olor fuerte y desagradable lo cual impedirá el empleo del bambú en el interior de las habitaciones.
- Que no modifique el color del bambú, en particular el que va a ser empleado como elemento decorativo.

Debido a la dureza e impermeabilidad de la parte externa del bambú, los insectos por lo general penetran por sus extremos y en algunos casos por los nudos, por tal razón es mucho más efectivo hacer penetrar el preservativo por sus extremos que aplicarlo externamente con brocha o con aspersores. Con este propósito se emplean varios métodos como son: Aprovechamiento de la transpiración de las hojas, por inmersión, por el método Boucherie, simple o por el método Boucherie modificado.

Adicionalmente existen otros métodos como el de inmersión, inyección y el de secado con humo. Para utilizar la transpiración de las hojas en el tratamiento de bambúes verdes, se colocan los extremos cortados de la guadua en un recipiente que contiene el preservativo. Para tratar el bambú por inmersión, los tallos deben ser perforados con una varilla de diámetro mayor de $\frac{1}{2}$ " para que atravesase todos los nudos. El hueco de los canutos no disminuye la estabilidad. También existe la posibilidad de perforar los canutos individualmente con huecos menores de $\frac{1}{4}$ ", en forma alternada o de zig - zag para vaciar 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.

Para el método de inyección se prepara una solución de las mismas características, y se perfora cada canuto para aplicar una dosis de 5 a 20 cm³ por canuto. Este orificio debe ser en forma de zig - zag y la inyección se puede hacer con una jeringa, con compresor o con fumigadora agrícola.

En el método de secado con humo la preservación se realiza a partir de ácido piroleñoso, el cual se produce por la condensación del humo, saturado de alquitrán. Este secado se hace introduciendo las guaduas, bien sea en un horno o en vivero, cerrados herméticamente, los cuales deben tener una chimenea pequeña, la guadua se debe mantener en el horno por un periodo de 3 semanas.

El método Boucherie simple (por gravedad), puede aplicarse en 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 en tucos metálicos 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.

El método Boucherie modificado (por presión), es similar al anterior sólo que el tanque que se emplea debe ser hermético y llevar en su parte superior una válvula, un medidor o indicador de presión y una tapa con rosca por donde se llena el tanque con el preservativo hasta las $\frac{3}{4}$ partes. Posteriormente se le aplican de 10 a 15 libras de aire utilizando un compresor.

Dentro de los métodos mencionados, el que ha demostrado una mayor efectividad en el control de insectos y hongos es el método de secado con humo, pero el método más usado es el Boucherie Modificado ya que en el país solo existe un horno para el proceso de secado con humo lo cual eleva los costos del mismo.

1.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS

Aunque las propiedades mecánicas de la guadua dependen de la especie botánica a la que pertenecen, la resistencia a compresión tracción o flexión también dependen de la edad de corte de la guadua, la sección del culmo que se utilice, las propiedades físicas como son la humedad, la densidad básica, el peso específico y la densidad seca al aire.

1.4.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

Corresponde a un porcentaje del peso seco al horno. El contenido óptimo para su uso estructural es menor del 25%, y máxima permisible del 30%

$$CH = \frac{(P1 - P2) * 100}{P2}$$

Donde:

P1: Peso de la muestra en estado natural

P2: Peso de la muestra seca al horno durante 24 horas a 110 °C aproximadamente.

1.4.2 DENSIDAD SECA AL AIRE (DSA)

Es la relación entre el peso seco al aire y el volumen seco al aire. Sirve para determinar el peso propio de los elementos de guadua.

$$DSA = \frac{Psa}{Vsa}$$

Donde:

Psa: Peso seco al aire

Vsa: Volumen seco al aire

1.4.3 DENSIDAD BÁSICA

Es la relación entre el peso seco al horno y el volumen de la muestra antes de secarse al horno o volumen verde

$$DB = \frac{Psh}{Vv}$$

Donde:

Psh: Peso seco al horno

Vv : Volumen verde

1.4.4 PESO ESPECIFICO (PE)

Es la relación entre el peso total de la muestra sobre el volumen total de la muestra. Debido a la porosidad y fisuramientos que tiene la guadua, se deben proteger las muestras con parafina y sumergirlas en mercurio, determinando el volumen desplazado.

$$Pe = \frac{Pt}{Vt}$$

Donde:

Pt: Peso total

Vt: Volumen total

Algunas propiedades mecánicas de la guadua como son los esfuerzos últimos y admisible a flexión (fm), compresión paralela a la fibra (fc) y compresión perpendicular a la fibra (fp) para las variedades de guadua macana y cebolla se muestran a continuación¹:

Tipo de Guadua	ESFUERZOS ULTIMOS (kg/cm ²)		
	Fm	fp	fc
Cebolla	170	35	290
Macana	175	23	343

Tipo de Guadua	ESFUERZOS ADMISIBLES (kg/cm ²)		
	Fm	fp	fc
Cebolla	60	17	115
Macana	60	11	135

La tabla que se muestra a continuación Presenta los valores obtenidos para modulo de elasticidad, Contenido de Humedad y Densidad Básica, tomadas de varias muestras pertenecientes a una guadua², obtenidos según las normas INBAR. Vale anotar que dichos resultados se pueden aplicar a nuestro trabajo, ya que el material utilizado por nosotros proviene de la misma fuente y es del mismo corte.

¹ MARINEZ CACERES, Dixon Emmanuel. Puentes en do Mayor(Tesis de grado). En: Congreso mundial de Bambú / Guadua. (1º : 1992). Memorias I Congreso mundial de Bambú /Guadua. Pereira : 1992; p 173

² DURAN Alejandro, URIBE Maritza. (Tesis de Grado Universidad Nacional 2002) Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas.

Probeta	L (cm)	d _e (cm)	e (cm)	e/d	E (Kgf/cm ²)	P _{max} (Kgf)	A (cm ²)	σ (Kgf/cm ²)	CH (%)	DB (gr/cm ³)
E-05	8.52	8.42	1.62	0.19	68444	19200	34.64	554.33	23.62	0.791
E-06	9.67	9.59	1.21	0.13	80196	14500	31.84	455.37	17.10	0.671
E-08	8.68	8.72	1.04	0.12	79422	11500	25.02	459.58	15.68	0.731
E-11	9.56	9.43	1.87	0.20	59485	18100	44.40	407.63	21.46	0.632
E-13	8.39	8.33	1.27	0.15	66552	10600	28.15	376.49	20.17	0.617
E-14	8.87	8.78	1.61	0.18	67560	17700	36.31	487.51	19.82	0.669
E-18	9.84	9.87	1.14	0.12	88507	15600	31.28	498.76	15.65	0.773
E-19	9.23	9.03	1.02	0.11	97706	13900	25.69	541.11	14.39	0.643
E-21	7.08	7.15	0.83	0.12	83616	8050	16.54	486.79	16.38	0.670
E-22	7.75	7.73	0.71	0.09	69663	7400	15.63	473.37	16.58	0.673
E-25	9.46	9.45	1.12	0.12	45819	15900	29.26	543.40	20.21	0.694
E-29	9.25	9.29	0.96	0.10	49076	12300	25.17	488.65	18.20	0.859
E-31	10.59	10.49	1.08	0.10	63155	19400	31.79	610.35	14.75	0.798
E-34	9.63	9.64	1.71	0.18	43494	18400	42.68	431.08	25.64	0.769
E-39	9.06	8.91	1.32	0.15	82368	18600	31.53	589.85	13.62	0.781
E-41	8.85	8.86	1.26	0.14	46142	14500	30.12	481.35	18.07	0.793
E-42	8.97	8.85	1.20	0.14	69320	16000	28.81	555.44	14.41	0.677
E-43	8.38	8.36	1.02	0.12	61621	14500	23.43	618.96	20.14	0.809
E-44	8.30	8.34	1.00	0.12	67532	10500	23.11	454.35	19.02	0.857
E-45	8.34	8.31	0.95	0.11	49535	12600	21.98	573.13	19.68	0.813
Maximo	10.59	10.49	1.87	0.20	97706	19400	44.40	618.96	25.64	0.86
Minimo	7.08	7.15	0.71	0.09	43494	7400	15.63	376.49	13.62	0.62
Promedio	8.92	8.88	1.20	0.13	66961	14463	28.87	504.37	18.23	0.74

2 ANTECEDENTES

La utilización de recursos maderables nobles, de la tierra y la guadua (nombre indígena del bambú colombiano), han sido parte de la historia de la construcción y la arquitectura de la América Latina.

Por un lado teníamos un precedente en su utilización, desde el sur del Perú, hasta el sur de México, donde se realizaban construcciones de viviendas y de espacios sagrados con estos materiales vernáculos. En Colombia, los pueblos nativos realizaron igualmente una propuesta constructiva con estos elementos, acompañados por un valiosísimo contenido simbólico - cultural. "La Maloca" indígena (un espacio de habitación comunal) hace parte de este desarrollo social que utiliza estos materiales. La roca, la tierra, las maderas y la guadua, alcanza su máxima expresión en Ciudad Perdida; en La Sierra Nevada de Santa Marta, importante centro cultural de la antigua nación TAIRONA.

Por otro lado tenemos también, la tradición constructiva y arquitectónica española. Que marcó definitivamente la forma de concebir la construcción, los espacios urbanos y arquitectónicos en toda América.

Este inmenso bagaje constructivo y arquitectónico sumado, ha ido desapareciendo paulatinamente. "La idea de progreso del hombre latinoamericano de mediados del siglo veinte, se apoyó aún más en la destrucción del "pasado" para darle paso a lo moderno, al tan anhelado progreso. Hoy, conscientes de esto, lamentamos semejante error.³

A partir del terremoto de la zona cafetera de enero de 1999, se ha comenzado a estudiar la guadua mas a fondo, considerando sus posibilidades tanto estructurales como económicas. Un ejemplo es el trabajo desarrollado por la Organización GTZ(Alemania), en coordinación con la UPTC (Universidad Pedagógica Y Tecnológica de Colombia-Pereira) y la CRQ (Corporación Regional del Quindío), quienes desarrollaron el plan de vivienda para el municipio de Córdoba (Quindío) epicentro del sismo.

Este plan comprendía la asignación de subsidios por parte del FOREC⁴, capacitación de la mano de obra y asistencia durante el proceso constructivo, para este fin se emitió la Cartilla Para construcción de Vivienda en Guadua, en la cual se indican uno a uno los pasos para la construcción de las mismas.

³ http://www.todoarquitectura.com/v2/Gal_proy002-5.asp

⁴ FOREC: Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo social del eje Cafetero

Adicionalmente se ha ampliado considerablemente el número de proyectos de investigación desde el punto de vista estructural, tanto en las facultades de Arquitectura como Ingeniería de la Universidad Nacional. Con el fin de conocer el comportamiento de la guadua ante diferentes solicitaciones de carga.

Dentro de las investigaciones que se están desarrollando en el tema de la guadua, a nivel mundial, debemos destacar el trabajo realizado por el arquitecto Oscar Hidalgo que comenzó en 1963, cuando se dio cuenta de las múltiples aplicaciones y beneficios de la guadua como material alternativo y desde entonces ha estudiado ampliamente. Hoy por hoy es considerado como una de las máximas autoridades en el ámbito global en el tema y que en este instante se encuentra trabajando con el INBAR(Instituto del Bambú y el Ratan) en la publicación de una enciclopedia que extracta todo sus conocimientos acerca de la guadua. El INBAR. Fue fundado por el Centro Internacional de Investigaciones para el desarrollo (CII), con el apoyo del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) en el año de 1993, con el propósito de consolidar y reforzar las actividades de investigación existentes en Asia y ampliar sus posibilidades.

Las investigaciones desarrolladas por Oscar Hidalgo, se enfocan principalmente en el estudio de este material desde la selvicultura, la botánica, su inmunización, sus aplicaciones en la industria y la artesanía, y en la construcción. En 1976 fundó el CIBAM (Centro de investigación del Bambú y la madera), que hasta el momento sigue funcionando en Universidad Nacional de Colombia y en 1986 es invitado por la ONU para ser parte del Proyecto Nacional de Bambú (PNB) en Puerto Rico.

El Proyecto Nacional de Bambú (PNB), es un plan para prevenir la deforestación e impulsar la construcción de vivienda popular con materiales alternativos y económicos. Durante el sismo del 22 de abril de 1991, de magnitud de 7.5 en la escala de Richter, y que ocasionó numerosos daños a puentes, carreteras y edificaciones, el proyecto del PNB se comportó de manera satisfactoria, convirtiéndose así en todo un éxito. En la zona de Río Banano al sur de Puerto Limón, donde en 1990 el PNB terminó un conjunto de 30 viviendas, la intensidad Mércalli fue de IX. En esta zona se produjeron vibraciones tan fuertes que ocasionaron licuefacción de los suelos, destruyendo completamente la zona cafetera, tumbando palmeras y haciendo colapsar viviendas de madera e incluso de mampostería estructural; sin embargo ninguna de las 30 viviendas sufrió mayor daño, incluso en aquellos lugares en que había fisuras en el suelo.⁵

Dentro del proceso de investigación sobre este tema es importante destacar al arquitecto manizalita Simón Vélez, quien se ha esforzado, con sus diseños y

⁵ GUTIERREZ G., Jorge A. Comportamiento Estructural y resistencia sísmica de las viviendas de bambú. En CONGRESO MUNDIAL DE BAMBÚ / GUADUA. (1ª . 1992: Pereira). Memorias I Congreso Mundial de Bambú/ Guadua. Pereira:1992; p.161

construcciones en guadua, en cambiarle el carácter de material para los pobres que tiene en este momento la guadua por el nombre de acero vegetal. En su empeño ha querido demostrar que la guadua es un material más de construcción como el acero, el concreto o la madera, que se han trabajado por mucho tiempo.

Esencialmente, el diseño de las uniones del arquitecto consiste en hacer trabajar la guadua a tensión atravesando una varilla de $\frac{1}{2}$ " por un canuto, que posteriormente se rellena con mortero, y ante la sollicitación el cilindro de mortero, que posee poca adherencia con las paredes de la misma guadua, se produce un esfuerzo sobre el nudo hasta la falla sin aprovechar la resistencia de las fibras. Mientras que el pasador origina un esfuerzo de corte, y rasgando así la guadua por el orificio.

A partir de las estructuras impresionantes, diseñadas y construidos por el arquitecto manizalita, después de descubrir la inyección con mortero en la guadua, finalmente se encontró la manera de diseñar con este material; y además abrió las puertas para posteriores investigaciones relacionadas con el tema de las uniones, que es un punto neurálgico en el diseño de estructuras.

En el proyecto presentado por Jenny Garzón⁶, titulado " Optimización de estructuras en Guadua", de la facultad de arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia, se analiza la resistencia de la unión propuesta por Simón Vélez, y se demuestra que dicha unión resiste en la falla alrededor de 3000 Kg por cada entrenudo que se rellena y es inducida por el tabique y no porque se sobrepase la resistencia a tracción del material.

En otro trabajo presentado por los estudiantes Cesar Peña y Hugo Rodríguez⁷, de la facultad de arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia, se estudió una unión constituida por conectores conformados por una lámina circular perforada a la que se le introduce un pasador de $\frac{1}{2}$ " y ocho puntillas de 1" de longitud y $\frac{1}{8}$ " de diámetro. Para introducir el pasador y las puntillas se pretaladra para evitar que la guadua se raje. Esta unión arroja un valor de 1000 Kg por cada par de conectores instalados sobre la guadua.

En el trabajo de grado de Sandra Clavijo y Jorge Trujillo⁸ se proponen lograr uniones con valores de resistencia superiores a las uniones existentes, que utilicen

⁶ GARZON CAICEDO, Jenny Varina. Optimización de estructuras en guadua. Santafé de Bogotá, 1996. Trabajo de grado (Arquitecta). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes. Departamento de construcción; p.106

⁷ PEÑA MUÑOZ, Cesar A. Y RODRÍGUEZ H., Hugo A.. Propuesta de uniones mecánicas para estructuras de guadúa. Santafé de Bogotá, 1997. Trabajo de grado (Arquitecto). Universidad Nacional de Colombia. Departamento de construcción; p.108.

⁸ ORTIZ CLAVIJO, Sandra C. Y TRUJILLO, Jorge D. Evaluación de uniones a tracción en guadua. Santafé de Bogotá, 2000. Trabajo de grado(Ingeniero). Universidad Nacional de Colombia.

tecnologías simples y económicas. Dentro de su trabajo se analizan y exponen dos tipos de uniones.

Dentro de las diferentes clases de uniones encontramos la conexión tipo abrazadera, que consiste en un anillo de acero u otro metal, que se envuelve y adhiere con clavos o tornillos a la guadua, teniendo cuidado de no ubicarlos colinealmente en sentido longitudinal; el segundo tipo de unión es con mortero, la cual se inspira de la propuesta de Simón Vélez, cuya diferencia radica en la reducción del peso y cuya resistencia no depende del tabique, sino de las paredes de la guadua.

Dentro de los tipos de uniones ensayadas se destacó la unión tipo abrazadera puesto que obtuvo una mayor resistencia (10500 Kg) que la unión propuesta por Simón Vélez. Este sistema, consiste en una lámina cold-Rolled calibre 22 de 0.04m de ancho, dándole cinco vueltas sobre la vara de guadua y colocándole tres tornillos de ¼" lamina-guadua y nueve tornillos del mismo calibre, sólo en la guadua.

En el trabajo de grado titulado "Comportamiento de la guadua angustifolia sometida a flexión" por Edwin Prieto Y Jorge Sánchez Pineda⁹, se determina la longitud de falla para que un elemento de guadua sometido a cargas transversales agote su resistencia por cortante, por flexión o se produzca una deflexión superior a la permisible. De los ensayos se llegó a determinar que no se encuentra influencia de los nudos en la resistencia a flexión de la guadua Angustifolia, y que sólo un 1.7% de fallas se presenta en la zona adyacente al nudo por lo cual la discontinuidad de las fibras por la presencia de nudo y no influye en la resistencia a flexión del material.

En la investigación " Determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la guadua de Castilla" por Martín y Mateus¹⁰, se evalúa el comportamiento a compresión de columnas cortas y largas de guadua. De las gráficas esfuerzo-deformación obtuvieron un comportamiento elástico de la guadua. También de los resultados se logró encontrar el punto de saturación de la fibra (PSF) para la guadua y una fórmula de cuarto grado, que relaciona el Esfuerzo máximo a compresión con la relación de esbeltez para columnas cortas, como también una fórmula de Euler para columnas largas.

⁹ PRIETO, Edwin S. Y SANCHEZ PINEDA, Jorge H. Comportamiento de la guadua angustifolia sometida a flexion. Santafé de Bogotá, 2001. Trabajo de grado (Ingeniero) Universidad Nacional de Colombia.

¹⁰ MARTÍN, José Virgilio Y MATEUS, Lelio Rafael . Determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra de la guadua de Castilla. Bogotá 1981. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Agrícola; p.145.

Martín y Mateus, determinaron los siguientes datos para una humedad del 12%, que a continuación se presentan en la siguiente tabla:

Grupo de edad	Esfuerzo máximo (kg/cm²)	Esfuerzo en el Límite Proporcional (kg/cm²)	Módulo de Elasticidad (kg/cm²)
1 – 3 años	505.00	399.21	105.840
3 – 5 años	661.85	524.04	121.528
5 o más años	561.28	456.74	101.427

Por último, recomiendan usar guaduas de más de tres años, secar a la sombra y no usar elementos con cortes transversales.

3 METODOLOGIA

Dentro del marco del programa de desarrollo de los recursos naturales que vienen adelantando las Corporaciones Autónomas Regionales, a través del manejo de las cuencas hidrográficas, se considera fundamental desarrollar planes de investigación, para el aprovechamiento y fomento de la guadua debido a los aspectos ecológicos, sociales, económicos y técnicos que trae el manejo adecuado de la guadua, y así satisfacer los requerimientos de la población en general, especialmente en la construcción de viviendas, muebles, y en el área de la ganadería y la agricultura.

La guadua es un tallo leñoso extraordinariamente resistente, por la consistencia de sus fibras vegetales y por su forma cilíndrica; su fibrosidad es extrema y finísima, que le da una flexibilidad que no se encuentra en otro material de la naturaleza con una resistencia semejante. Todas las ventajas anteriormente mencionadas le proporciona a la guadua un estatus muy importante en nuestra economía y cultura, ya que fue el motor de la colonización de nuestro país.

A pesar de las bondades de la guadua ha sido sinónimo de tugurio y miseria, y por eso sólo se utiliza en los barrios de invasión de manera torpe y provisional mientras consiguen ladrillo y cemento con que reemplazarlo. De allí surge la necesidad de adelantar los estudios necesarios para fomentar la utilización adecuada de este material, ya que se desconocen muchas de sus propiedades físicas y mecánicas. Uno de los problemas fundamentales en las estructuras de guadua son las uniones que transmiten los esfuerzos a tracción, puesto que hay que tener en cuenta la resistencia del tipo de unión que se esté estudiando y no de las fibras de la guadua, que son extraordinariamente resistentes a la tracción.

A partir de los resultados que arrojen las investigaciones en este campo se podría encontrar la solución más adecuada para construir estructuras en guadua, en el cual el problema de las uniones, tanto a tracción como a compresión este resuelto; y por lo tanto se podría entrar a competir con los materiales tradicionales del sector de la construcción, y de esta manera encontraríamos otra alternativa para satisfacer las necesidades de vivienda en general.

3.1 INVENTARIO DE MATERIAL UTILIZADO

3.1.1 GUADUA

Para el desarrollo del proyecto se estimó la construcción de 90 probetas de uniones para ser ensayados, 60 de estas están constituidos por 3 elementos con una longitud de 0.60 m, y las 30 restantes con 2 elementos uno de 0.60m y otro de 0.50 m, con estos datos se calculó cuantos metros de guadua eran necesarios.

Unión Tipo	No. Uniones	No. Elementos	Longitud	Long total
SVM T1 ¹¹	10	3	0,6	18
SVM T2	10	3	0,6	18
SC T1 ¹²	10	3	0,6	18
SC T2	10	3	0,6	18
DG T1 ¹³	10	3	0,6	18
DG T2	10	3	0,6	18
SVM T3	10	1	0,6	6
SC T3	10	1	0,6	6
DG T3	10	1	0,6	6

Unión Tipo	No. Uniones	No. Elementos	Longitud	Long total
SVM T3	10	1	0,5	5
SC T3	10	1	0,5	5
DG T3	10	1	0,5	5

SUB TOTAL				141
DESPERDICIO			15%	
TOTAL GUADUA A ADQUIRIR		162,15		

Con estos datos se estimó un total de 41 varas de 4 metros de longitud, con un diámetro variable entre 10 y 12 cm. La guadua fue limpiada e inmunizada por el método de inyección.

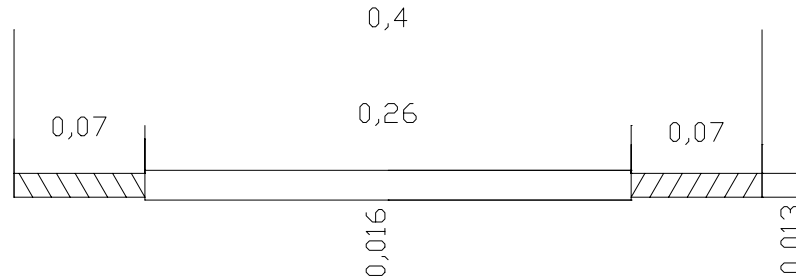
¹¹ SVM T1 –T2 –T3 Unión tipo Simón Vélez modificada U.N según Angulo de inclinación (45, 60, 90°)

¹² SC T1 – T2 – T3 Unión Tipo Abrazadera Modificada según Angulo de inclinación (45, 60, 90°)

¹³ DG T1 – T2 – T3 Unión Propuesta por Diego Jaramillo y Gisella Sanclemente según Angulo de inclinación (45, 60, 90°)

3.1.2 ACERO

Para la unión SVM se utilizó varilla corrugada de 5/8" con rosca en los extremos reducidos a 1/2" con sus respectivas arandela y tuercas. En total se emplearon 4 varillas las cuales se cortaron en secciones de 0.40 m



Para la unión SC, se utilizó lámina CR calibre 22, de 0.05 m de ancho y 1 m de largo, y otra de 0.08 m de ancho cuya longitud es variable dependiendo la distancia entre canutos.

Unión Tipo	No. Uniones	No. Elementos	Ancho	Largo	Area
SC T1	10	2	0,05	1	1,00
SC T2	10	2	0,05	1	1,00
SC T3	10	1	0,05	1	0,50
SC T1	10	2	0,08	1,22	1,95
SC T2	10	2	0,08	1,22	1,95
SC T3	10	1	0,08	1,22	0,98
Sub total m ²					7,38
Desperdicio					10%
Área Total requerida					8,12
Área por lamina (1,22 x 2,44)					2,98
Total laminas					3

Adicionalmente en las láminas de 0.05m, se colocaron tornillos de cabeza hexagonal de 1/4" de diámetro y 1" de largo, para un total de 50 docenas de tornillos.

Para la unión DG se utilizó varilla corrugada de 1/2" con una longitud de 0.50 m, colocando una en cada elemento en ángulo para un total de 50, en total se

utilizaron 25 m de varilla, además de pasadores de 5/8" de longitud 0.20m para un total de 16 m de varilla.

3.1.3 PUNTILLAS

Para los canutos rellenos se colocaron entre 8 y 10 puntillas de 2" de largo y calibre 14.

3.1.4 RELLENO DE CANUTOS

El Relleno Fluido posee ventajas principalmente en estado fresco cuando debe fluir a través de aberturas o espacios reducidos y al mismo tiempo fraguar y endurecer sin ningún tipo de ayuda externa, siendo necesarios algunos retoques para que su terminación sea óptima. Por lo tanto el Relleno Fluido se diseñó para obtener las siguientes características:

- Fluidez
- Ausencia de Segregación
- Mínima exudación

Cuando se desea diseñar un Relleno Fluido se deben considerar dos aspectos principales: resistencia a los 28 días y propiedades en estado fresco tales como fluidez, consistencia, manejabilidad. Se deben destacar otros como permeabilidad, erodabilidad, etc., en cierto tipo de obras que así lo requieran.

Para rellenar los canutos se utilizó no un relleno fluido ya que este tiene una baja resistencia sino que se utilizó un mortero fluido diseñado para una resistencia a compresión a 28 días de 21 Mpa. Las características de este mortero se describen a continuación¹⁴:

	Kg/m ³	lt/m ³	%	ρ	DOSIS (220lt)
CEMENTO	570	192.6	19.26	2.96	125.42
ARENA	879.04	377.27	37.73	2.33	193.40
AGUA	370.5	370.5	37.05	1.0	81.51
AIRE	-	50	5	-	-
AIA (Incorporador de aire)	0.50	.5	0.05	1.02	0.112
AAF (Acelerante de fraguado)	5.7	438	0.44	1.3	1.258
ASP (Súper plastificante)	5.7	475	0.48	1.2	1.267
A/C	0.65				
AR/C	2.5	14.5 kg de Arena / m ³ mortero			

Asentamiento 24.5 cm, en los ensayos de resistencia pasados 7 días se obtuvieron los siguientes resultados:

¹⁴ NARANJO CORREDOR Alba Lucia, PEREZ PULIDO Rolando Yesid, Características Mecánicas de los Relleno Fluidos

Probeta	Carga (lb.)	Carga (Kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
1	21500	9752.24	220.75	21.66
2	22500	10205.83	231.01	22.66
3	22500	10205.83	231.01	22.66

Para una resistencia promedio de 22.34 Mpa.

3.1.4.1 Cemento

Los estudios se elaboraron con Cemento Pórtland adicionado Tipo I, marca Andino 1A adicionado con Escoria de alto horno, cuyas características se presentan a continuación:

Características del Cemento Andino 1A

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	NTC 121	Cemento 1 ^a
Densidad (gr/ml)		2.96
Finura Blaine, cm ² /gr	Mínimo 2800	4189
Tiempo de fraguado inicial, horas	Mínimo 0:45	3:19
Tiempo de fraguado final, horas	Máximo 8:00	4:00
RESISTENCIA A COMPRESIÓN		
1 día, kgf/cm ²	No especifica	66
3 días, kgf/cm ²	Mínimo 80	186
7 días, kgf/cm ²	Mínimo 150	261
28 días, kgf/cm ²	Mínimo 240	390
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS		
Óxido de Magnesio, %	Máximo 7,00	0,89
Trióxido de Azufre, %	Máximo 3,50	2,08

3.1.4.2 Agregado

La arena utilizada en esta investigación proviene de una cantera ubicada al Nororiente de Bogotá en la zona conocida como "Cerezuela". Es material de peña producto de la trituración de la roca madre en el sitio. Las principales características de dicho agregado se presentan a continuación:

Características de la arena utilizada

OTRAS CARACTERÍSTICAS	NTC 4859		
Humedad, %	1.41		
Tamaño máximo, mm	9.51		
Tamaño máximo nominal, mm	1.18		NTC77
Módulo de Finura	2.19	2.7	
Pasa Tamiz 200, %	0.86	10	
Materia orgánica, # Escala de Gardner	3	3	NTC127
Densidad Aparente	2.331		NTC237
Densidad Aparente (sss)	2.409		
Densidad Nominal	2.529		
Absorción, %	3.346	<2.5	

3.1.4.3 Aditivos

Para obtener la resistencia y manejabilidad adecuadas se utilizaron aditivos incorporadores de aire, acelerantes de fraguado y súper plastificantes, en los porcentajes mencionados. Los aditivos utilizados son de la marca Sika-Andina, como incorporador de aire se utilizó Ligthcrete, como súper-plastificante Sikament-NS y como acelerante de fraguado se usó Sikaset-L.

3.1.5 HERRAMIENTAS

Como herramientas de trabajo, se utilizaron:

- Acolilladora marca Protech 10"
- Dispositivo **DRILL BP**¹⁵
- Torno para madera
- Sierra sin fin
- Taladro percutor 3/8"
- Taladro de árbol 1/2"
- Cizalla Mecánica
- Dobladora de lamina
- Herramientas manuales.

3.2 DESCRIPCIÓN DE UNIONES A ENSAYAR

Dentro del desarrollo de esta tesis, se ensayaron tres tipos de uniones para tres ángulos diferentes

3.2.1 SVM UNIÓN TIPO SIMÓN VÉLEZ MODIFICADA U.N.

Las modificaciones hechas a la unión, propuesta por el arquitecto Simón Vélez, surgen de la necesidad de mejorar dicha conexión. Los cambios hechos a la unión consisten en que utilizamos varilla de 5/8", un mortero fluido y neopreno, a diferencia de la unión original que utiliza varilla de 1/2", no presenta neopreno y rellena los canutos con un mortero estándar.

En esta unión la guadua trabaja a tensión atravesando una varilla de 5/8" en el canuto que va transmitir los esfuerzos, dicho canuto se rellena posteriormente con mortero, al someterla a tensión el cilindro de mortero tiene muy poca adherencia con las paredes de la guadua e induce un esfuerzo sobre las paredes fallando por desgarramiento de estas. Las modificaciones realizadas en el presente proyecto

¹⁵BP Boca de Pescado Ver Anexo No. 1

también tienen por objetivo aprovechar al máximo la resistencia de las fibras longitudinales del material. Para lo cual, se colocaron puntillas preperforadas en forma helicoidal las cuales aportan adherencia entre las paredes de la guadua y el mortero, adicionalmente, se usaron prismas de neopreno para evitar desgarramiento inducido por el ajuste de la arandela y la tuerca. También, el mortero fluido permitió una mejor adherencia con las paredes, ya que el incorporador de aire permite una menor contracción del mortero y por lo tanto permite una mejor adherencia entre ellos.

UNION SIMON VELEZ TIPO 1	
	<p>FOTO 2 SVM 45°</p>
UNION SIMON VELEZ TIPO 2	
	<p>FOTO 3 SVM 60°</p>
UNION SIMON VELEZ TIPO 3	
	<p>FOTO 4 SVM 90°</p>

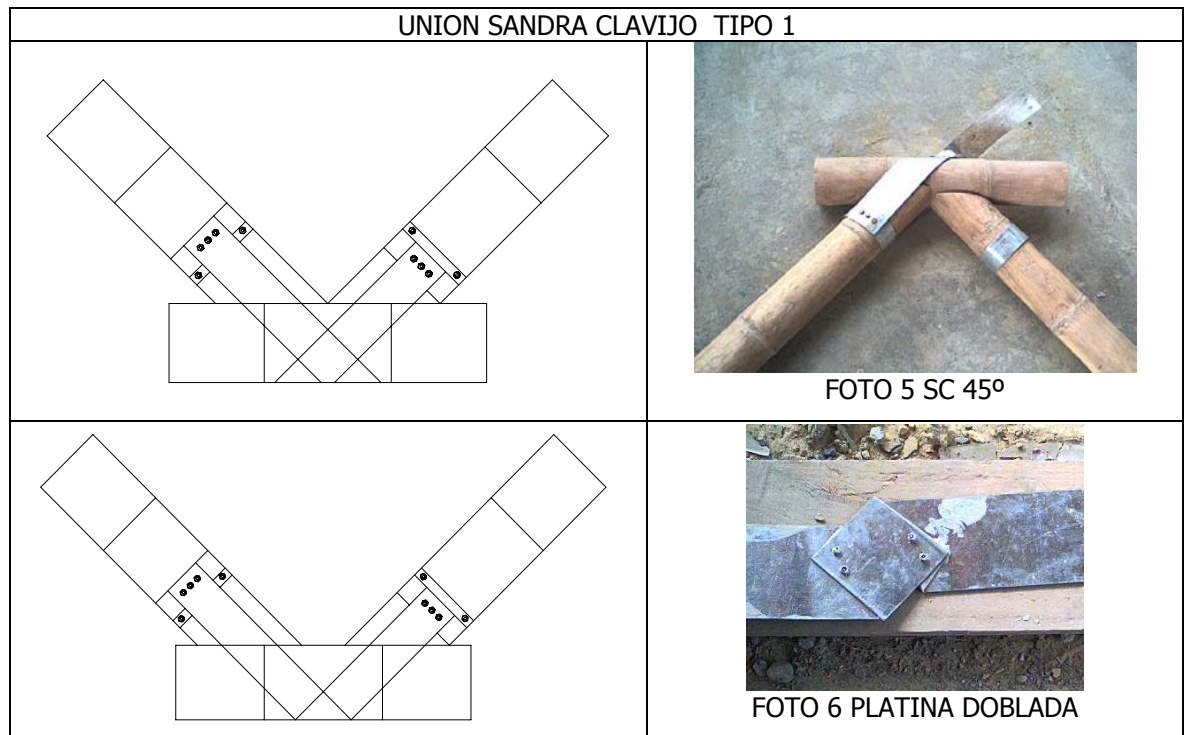
Las figuras anteriores muestran las uniones con ángulo de 45, 60 y 90 grados, donde las áreas azules corresponden a los prismas de neopreno.

3.2.2 UNIÓN TIPO SANDRA CLAVIJO SC

Esta unión se basa en la unión propuesta por los Ing. David Trujillo y Sandra Clavijo en su trabajo evaluación de uniones a tracción en guadua, con lo cual se procede a enrollar una lamina CR cal. 22 en cada elemento en ángulo. La cual se sujeta con tornillos de $\frac{1}{4}$ " de diámetro por encima o debajo del canuto según sea la sollicitud de carga para el elemento, también se coloca una lámina del mismo tipo con un ancho de 0.08m, la cual unirá los elementos inclinados envolviendo el elemento continuo.

El cálculo del ancho de esta platina se hizo de la siguiente forma:

Distancia mínima al borde de la lámina $\frac{1}{2}$ ", separación mínima entre el centro de los tornillos tres veces el diámetro, con lo cual se obtiene un ancho de 0.08m^{16} , para tres tornillos de $\frac{1}{4}$ " con una distancia a los bordes de 0.02m, y una separación entre tornillos de 0.02m.



¹⁶ McCormac Jack, Diseño de Estructuras de Acero Cap 12. 1989 Ed Alfaomega

UNION SANDRA CLAVIJO TIPO 2

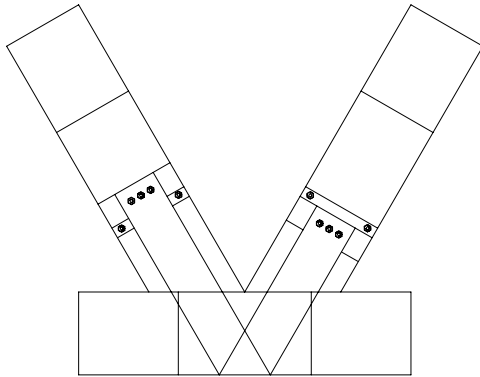


FOTO 7 SC 60°

UNION SANDRA CLAVIJO TIPO 3

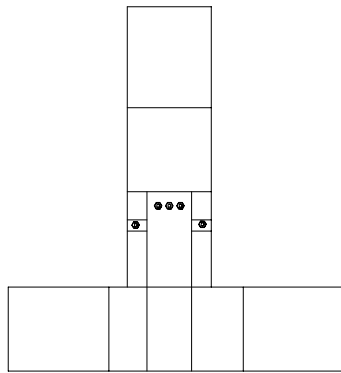


FOTO 8 SC 90°

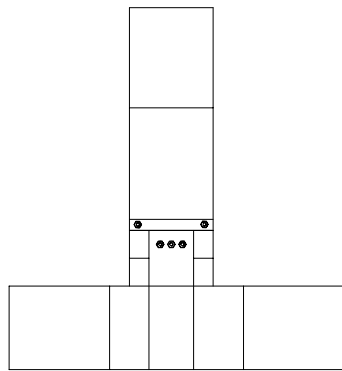
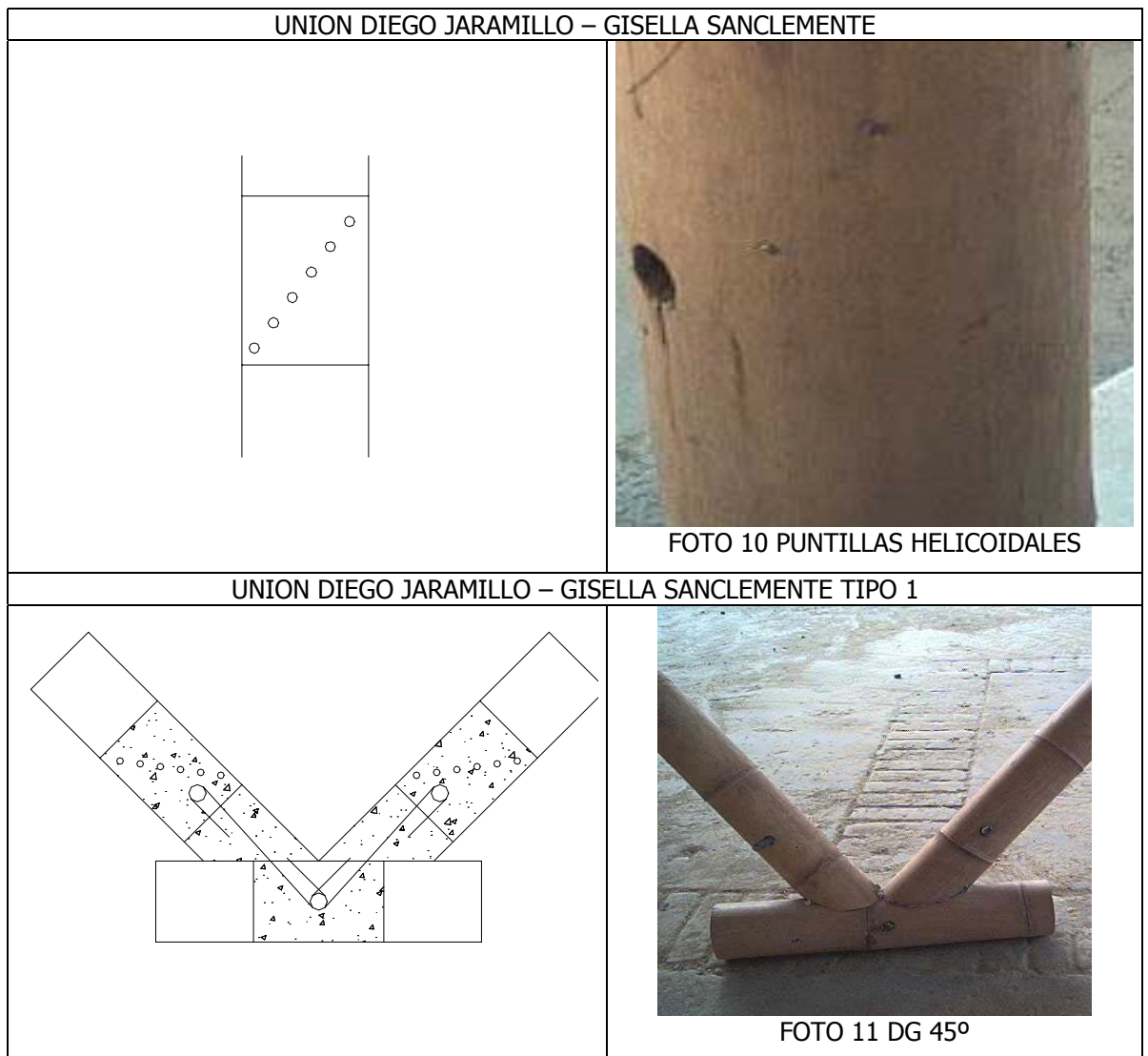


FOTO 9 DETALLE UNION

3.2.3 UNIÓN TIPO DIEGO JARAMILLO Y GISELLA SANCLEMENTE (DG)

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



UNION DIEGO JARAMILLO – GISELLA SANCLEMENTE TIPO 2

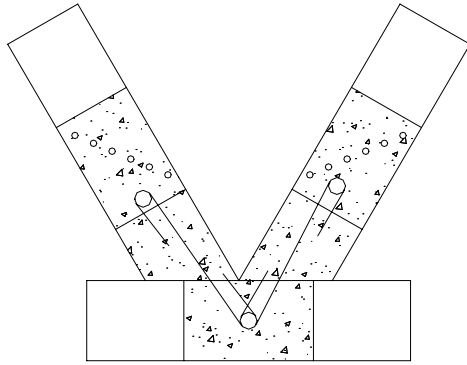


FOTO 12 DG 60°

UNION DIEGO JARAMILLO – GISELLA SANCLEMENTE TIPO 3

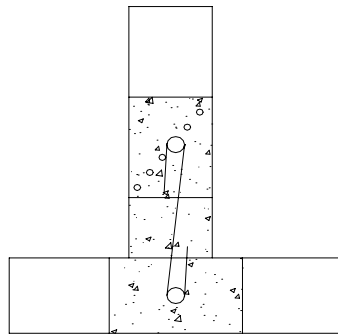
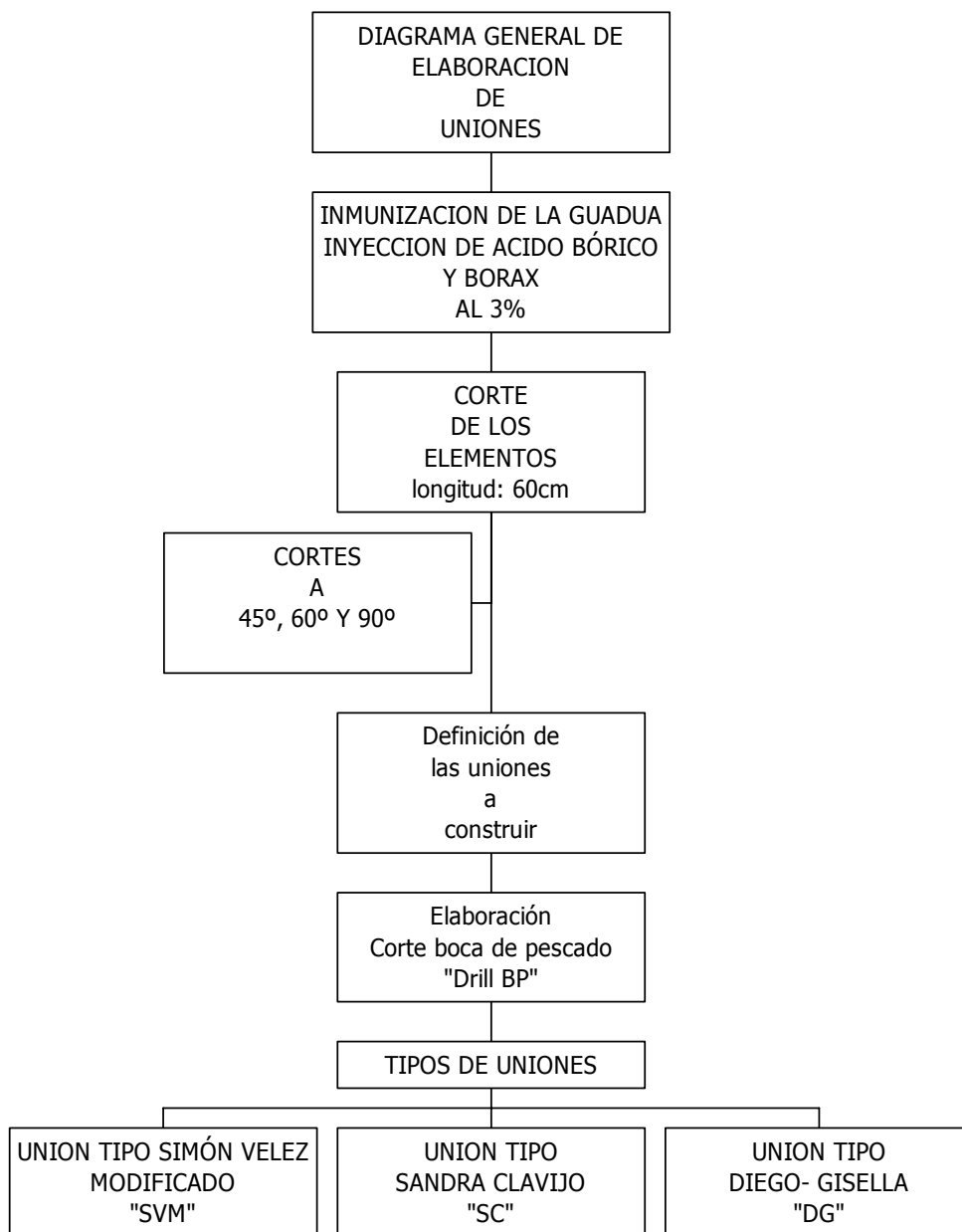


FOTO 13 DG 90°

3.3 PROCESO DE ARMADO DE LAS UNIONES

3.3.1 PREPARACION DE LA GUADUA:

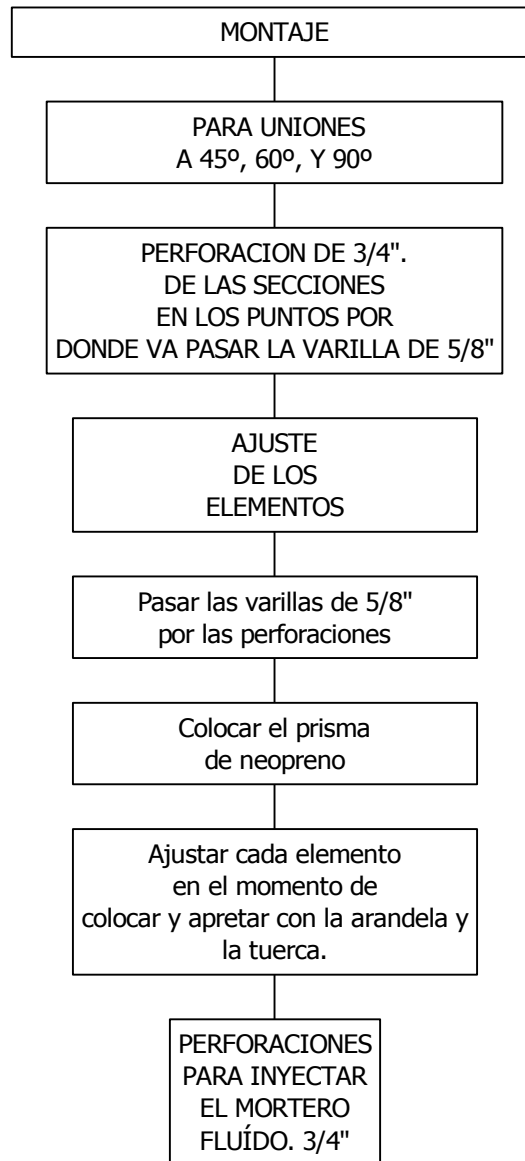
El siguiente diagrama de flujo describe el proceso de preparación de la guadua para la elaboración de las uniones.



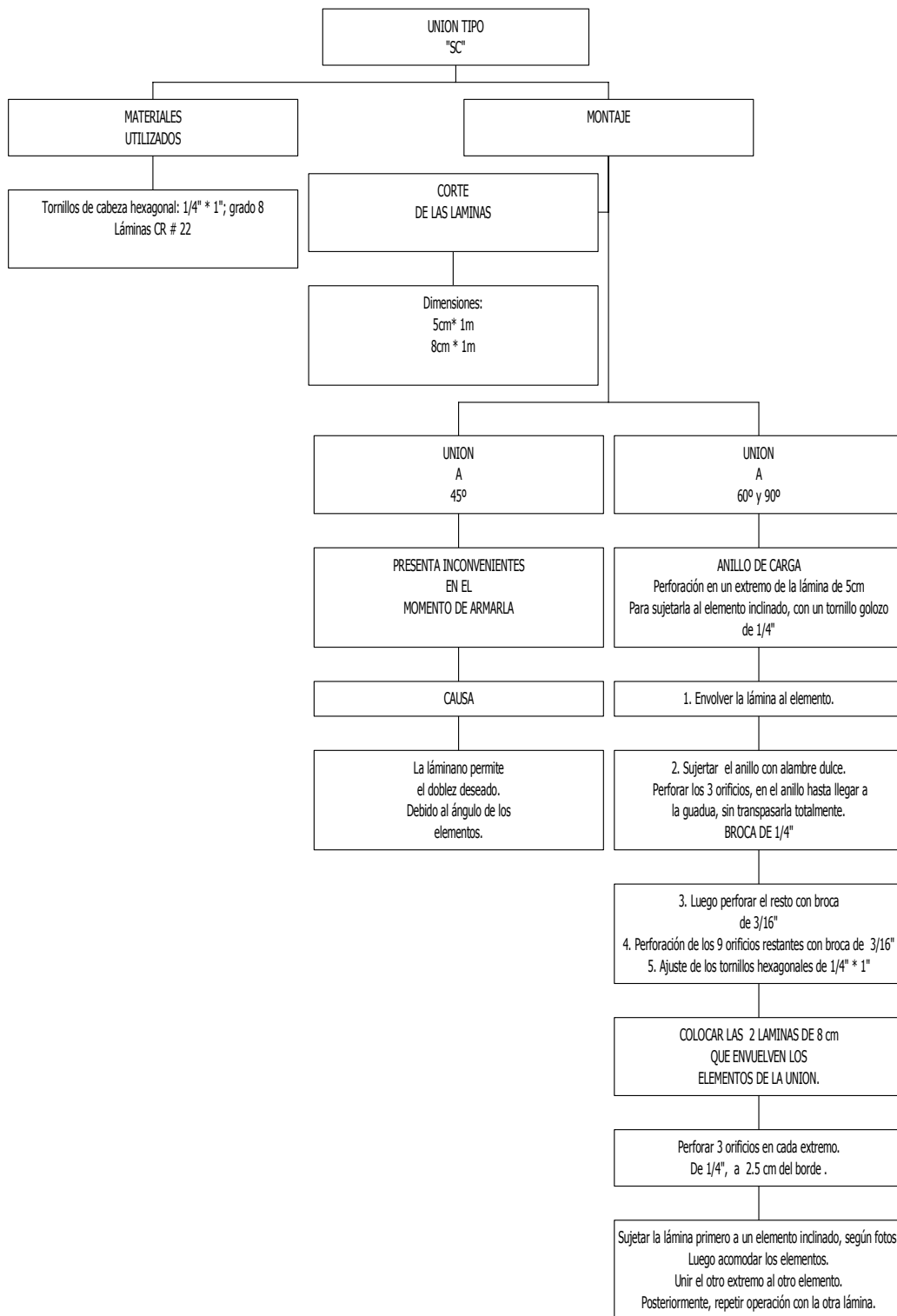
3.3.2 FABRICACIÓN DE UNIONES

3.3.2.1 SVM

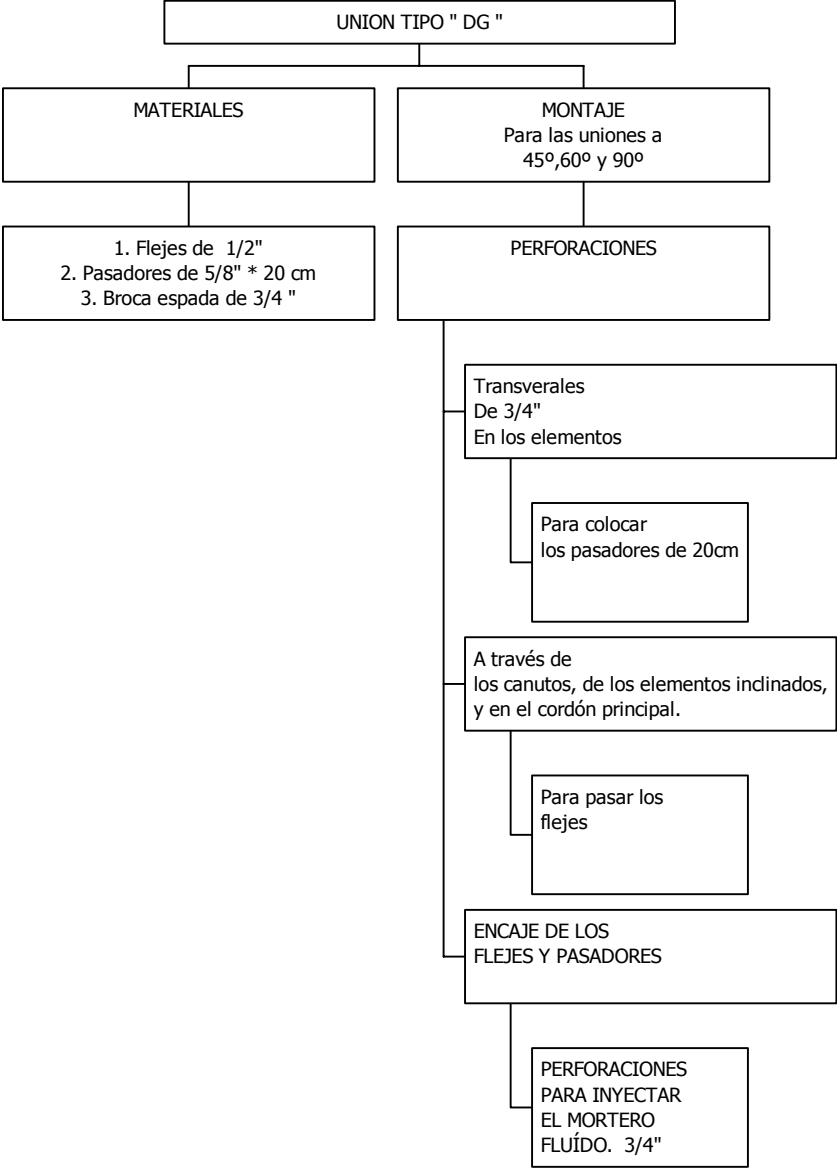
UNION TIPO SIMÓN VELEZ MODIFICADO " SVM "



3.3.2.2 SC



3.3.2.3 DG



3.3.3 RELLENO DE CANUTOS

3.3.3.1 Elementos utilizados para fundir el mortero fluido.

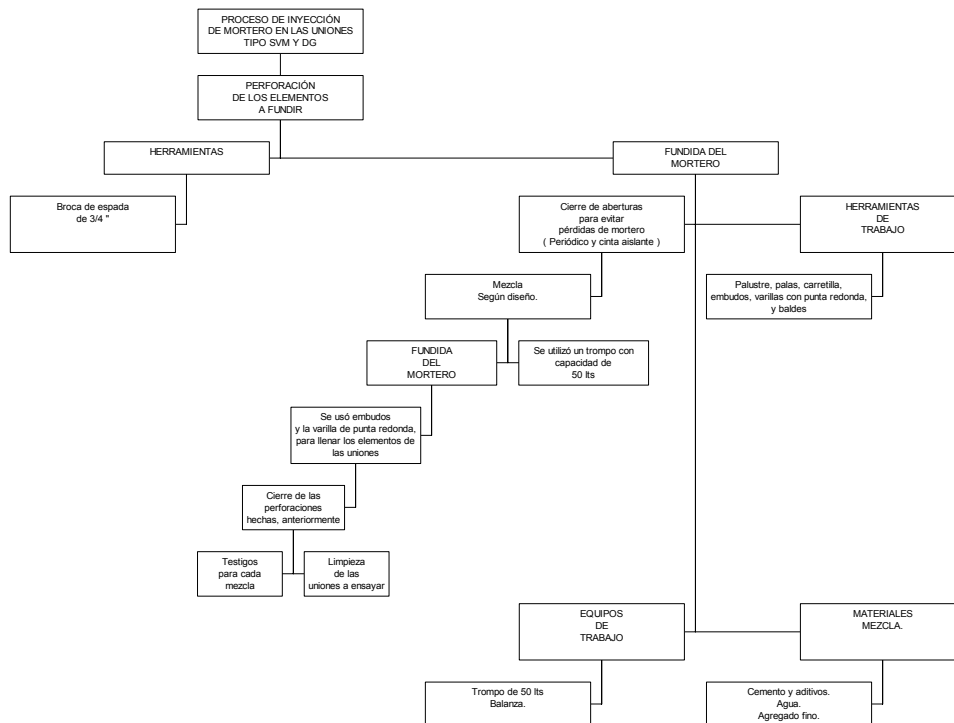
Las herramientas y equipos para fundir el mortero, se enumeran a continuación:

- Embudo de plástico
- Varilla con punta redonda
- Balde
- Palustre.
- Pals

3.3.3.2 Equipo.

- Trompo de 100 lts.
- Bascula.
- Carretillas

3.3.3.3 Procedimiento



3.3.4 COLOCACIÓN DE DISPOSITIVOS PARA ENSAYAR.

3.3.4.1 Anillo De Acero

El anillo de Acero colocado para transmitir la carga aplicada en tensión, es el sugerido por Sandra Clavijo y David Trujillo en su proyecto de grado, el cual soporta una carga máxima experimental de 10 toneladas aproximadamente, garantizando que la unión falle antes que el punto de aplicación de la carga.

COLOCACION DE LA LAMINA PARA APLICACIÓN DE CARGA A TENSIÓN.

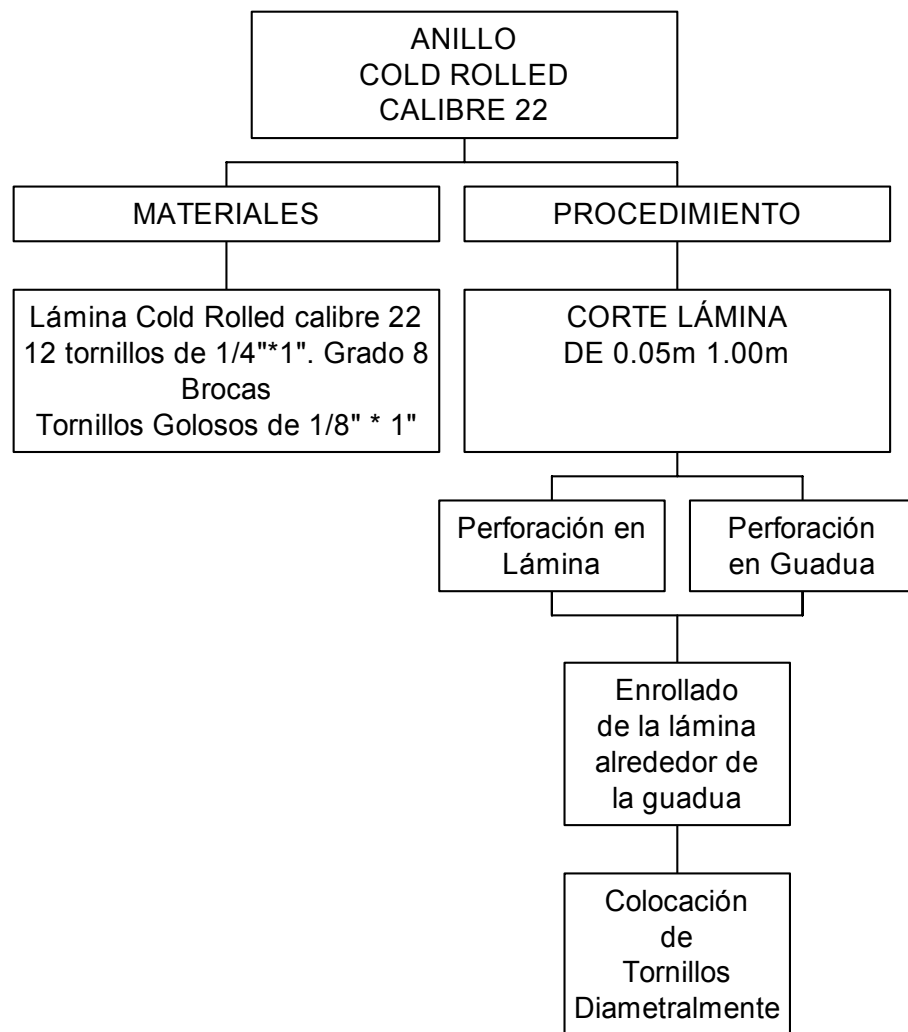




FOTO 14 DETALLE ANILLO DE ACERO

3.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

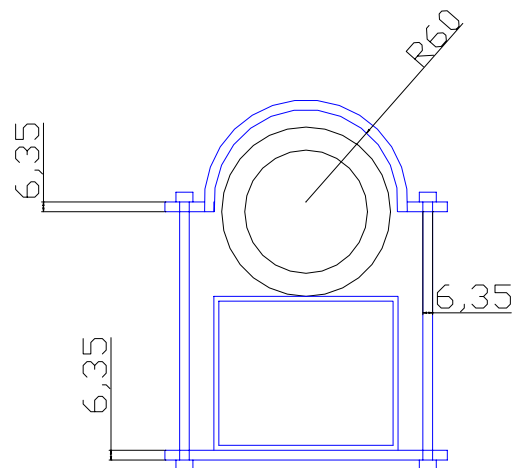
3.4.1 MONTAJE DEL ENSAYO

3.4.1.1 Montaje 90° compresión

Para el ensayo de estas uniones, se utilizó un cilindro hidráulico con capacidad de 25 toneladas y una celda de carga de 10 toneladas. El montaje se realizó sobre el piso en un costado del marco de carga del laboratorio de ensayos de la facultad de ingeniería, en el cual se aseguró la unión utilizando dos soportes semicirculares de 0.12 m de diámetro unidos a una platina de 1" de ancho por 1/4", y tornillos de 1/4" grado 5 que unen dichos soportes a una platina de 1/4"; según se observa en la siguiente figura:



FOTO 15 SOPORTES SVM 90°



Estos soportes a su vez se fijaron a un perfil de 1/8", sobre el cual se sujetó la unión, como se muestra en la figura anterior. Adicionalmente, fue necesario sujetar el sistema para evitar desplazamientos laterales durante la aplicación de la carga, ya que no estaríamos aplicando una carga axial sobre el elemento, por lo tanto, los resultados no serían los óptimos.

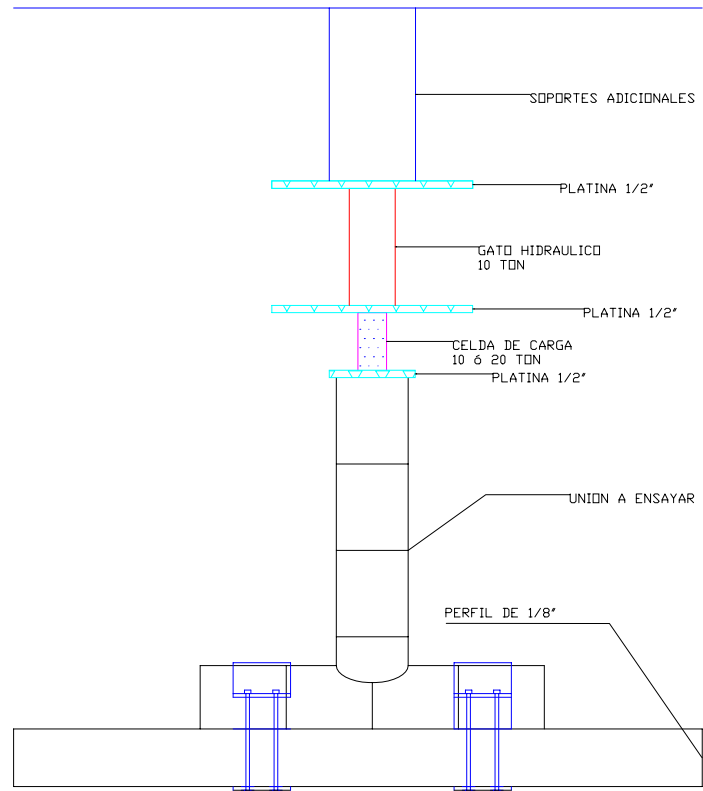
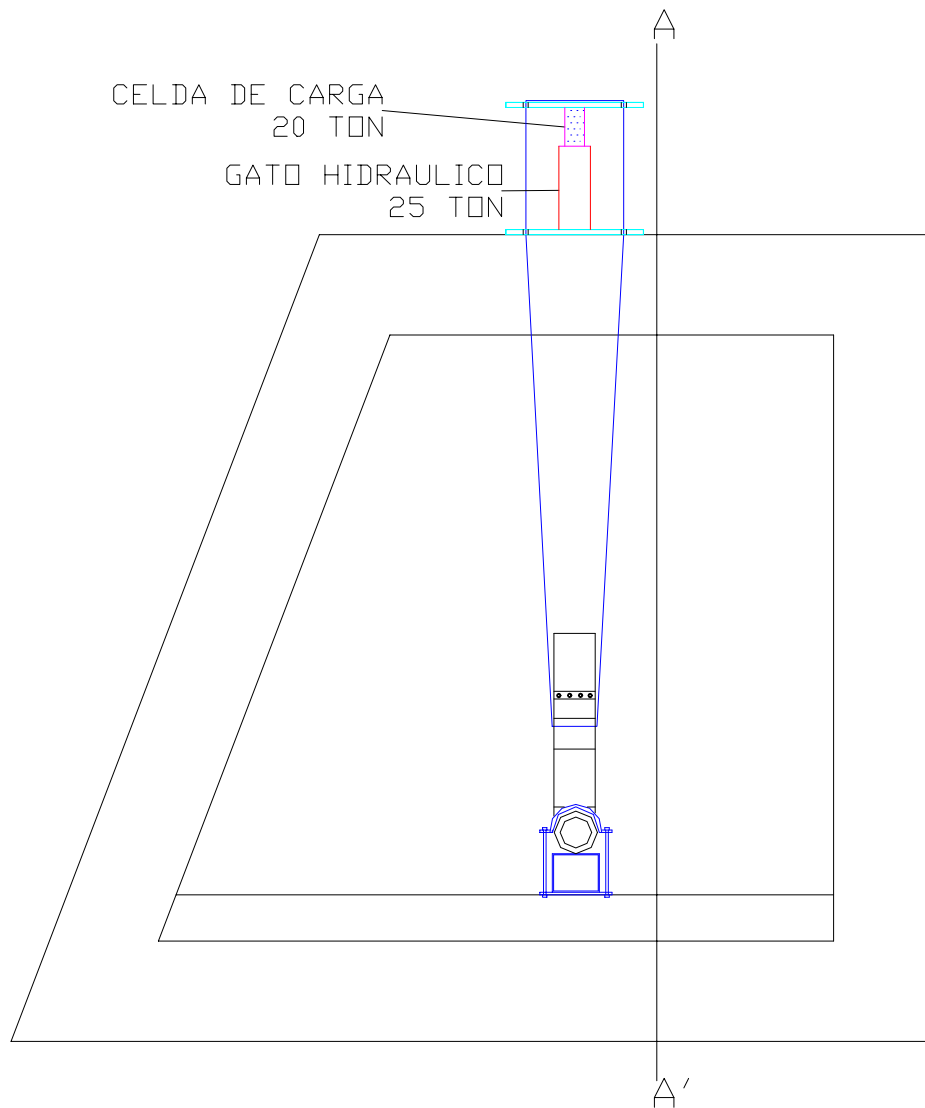


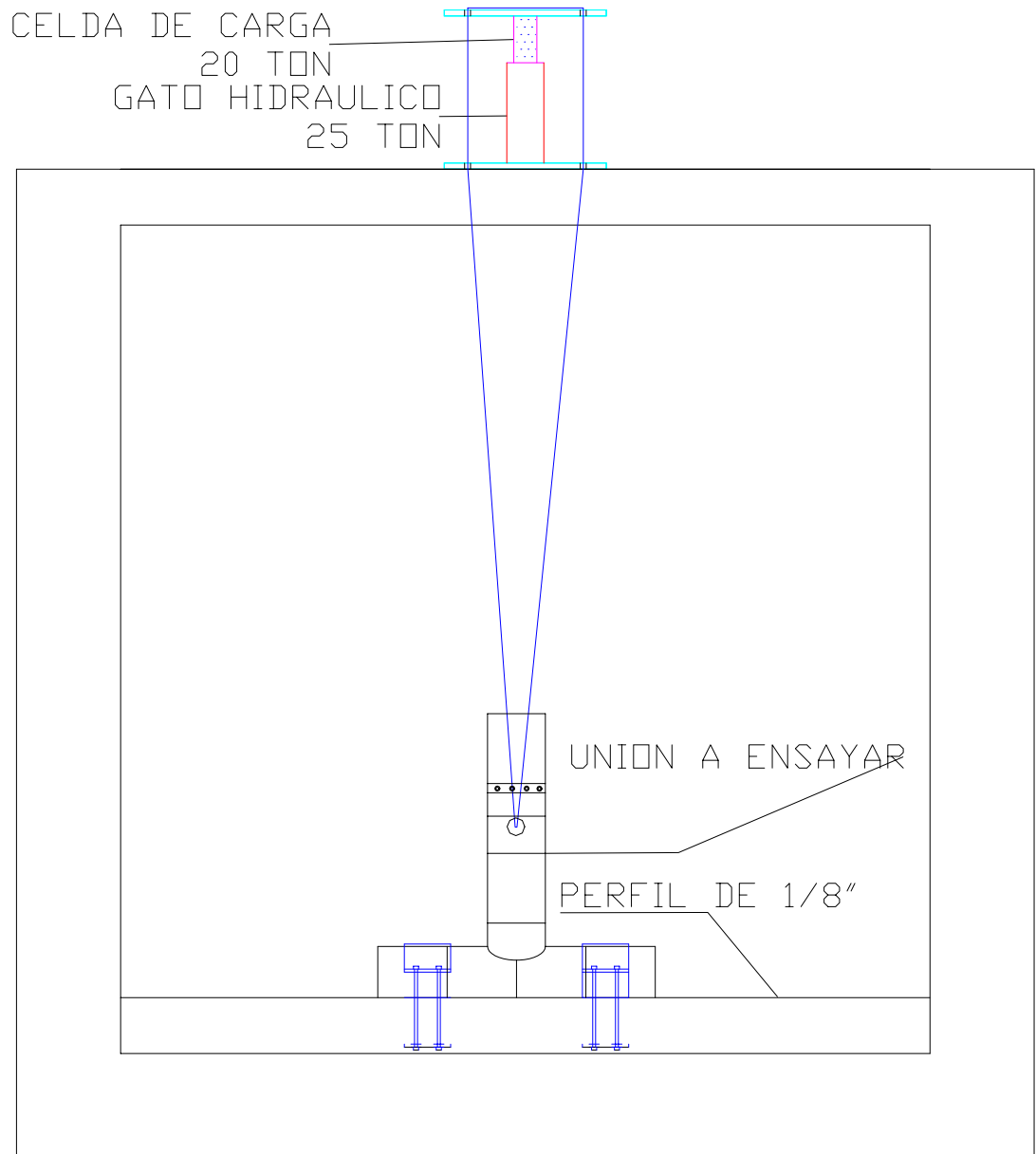
FOTO 16 MONTAJE 90° COMPRESION

3.4.1.2 Montaje 90° tensión

Para realizar los ensayos sometidos a tensión, se utilizaron dos tubos cuadrados los cuales se sujetaron al marco de carga, de modo que en uno se soportó el gato y al otro se aseguró la unión. Para aplicar la carga a tensión, se utilizó un torón de $\frac{1}{4}$ " el cual pasaba a través del elemento de guadua, cuyos orificios eran de $\frac{3}{4}$ ", y a su vez el cable cruzaba por cuatro orificios que tenía la platina, que se utilizó para aplicar dicha carga, como se muestra en la siguiente figura:



CORTE A - A'



Una de las características de la guadua, es que cuando se le aplica una carga que va en el sentido paralelo a las fibras, resulta que siempre se rasga con facilidad el elemento que se somete a dichas cargas axiales; y para evitar que el cable, que se utilizó para aplicar la carga a tensión, desgarré por ese punto del elemento, enrollamos en la parte inmediatamente superior al orificio una lamina CR cal. 22 la cual se sujeta con tornillos de $\frac{1}{4}$ " de diámetro, cuyo dispositivo se basa en la unión propuesta por los Ing. David Trujillo y Sandra Clavijo en su trabajo "evaluación de uniones a tracción en guadua".



FOTO 17 MONTAJE DG 90°

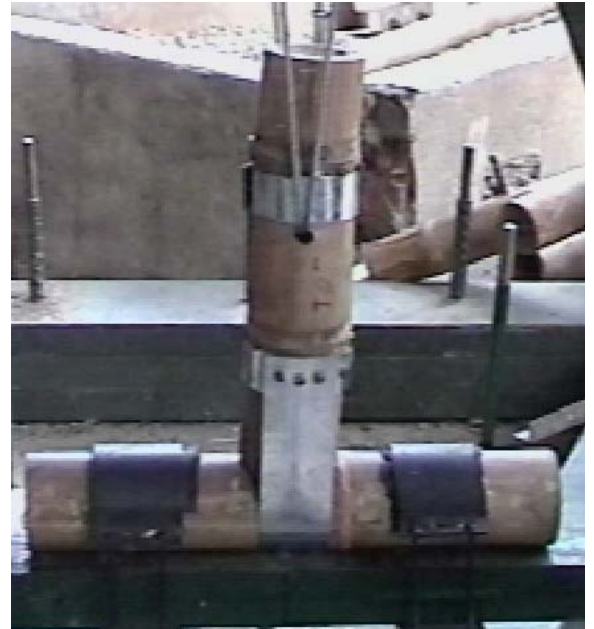
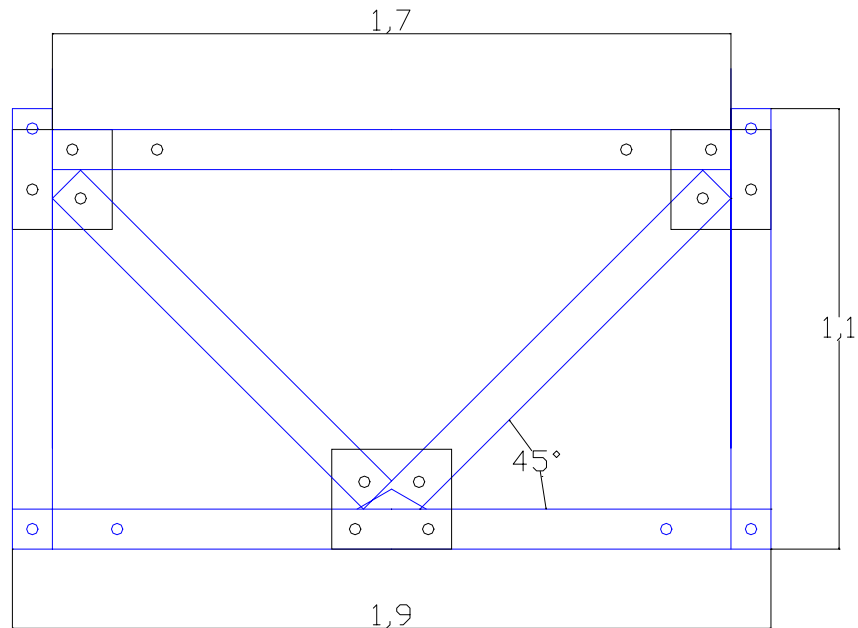


FOTO 18 MONTAJE SC 90°

3.4.1.3 Montaje 45°.

Para el ensayo de las uniones de 3 elementos, cuyos elementos se encuentran a 45° entre sí, se necesitó diseñar y construir un marco de carga que esta conformado por dos cerchas unidas entre sí, que estaba construidas por perfiles de $4'' * \frac{1}{4}''$ unidas éstas por platinas de $\frac{1}{2}''$ y tuercas de $\frac{1}{2}'' * 2.5''$. Las dimensiones de este marco de carga y de las platinas se presentan en la siguiente gráfica.

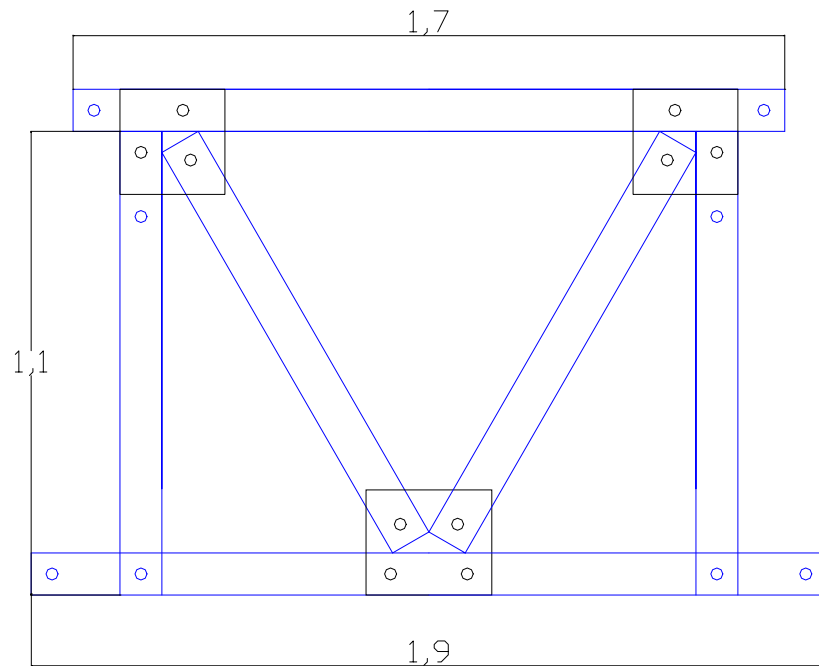


El ensayo principalmente se enfocó en probar los tres elementos de la unión simultáneamente, con el fin de simular en laboratorio el comportamiento real de una unión, que hace parte de una cercha donde las cargas se aplican en forma simultanea.

Para ensayar el elemento a tensión se emplearon los mismos elementos y equipos utilizados para el montaje de los ensayos de las uniones a 90° probadas a tensión, que consistía en una platina de $\frac{1}{2}$ " y un torón de $\frac{1}{4}$ " para aplicar la carga correspondiente, y para este caso el cilindro se montó sobre un soporte, de tal manera que tuviese el mismo ángulo del elemento que ensayamos a tensión. En cuanto a la sección ensayada a compresión, el cilindro hidráulico está dirigido hacia él, con el ángulo de 45° con el fin de que la carga fuese axial. En tanto el cordón principal está sometido por la acción de las componentes horizontales de las fuerzas axiales, de las secciones inclinadas.

3.4.1.4 Montaje 60° .

Para ensayar las uniones, cuyos elementos están a 60° entre sí, se hizo un montaje de las mismas características del modelo desarrollado para las uniones a 45° , sólo que cambiando algunas dimensiones del marco de carga para cumplir con el ángulo, y así aplicar las cargas a tensión y compresión. Las dimensiones del marco se presentan en el siguiente esquema.



3.4.1.5 Equipos utilizados para los ensayos

Dentro del equipo utilizado para el ensayo de las uniones, se encuentran:

- Celdas de 10 y 20 Toneladas
- Cilindros hidráulicos de 10 y 25 Toneladas
- Puente de Carga P-3500
- Interruptor de carga, el cual permite conectados celdas simultáneamente para el ensayo.
- Bombas hidráulicas para la aplicación de la carga



FOTO 19 EQUIPOS DE LABORATORIO

4 DESCRIPCIÓN DE FALLAS.

Debido a la naturaleza de los ensayos, se hará una descripción de la falla que se presentó de forma predominante para cada tipo de unión.

4.1 ENSAYO A COMPRESIÓN A 90°.

En los ensayos realizados en el laboratorio de ingeniería, para este tipo de unión, se presentó las siguientes fallas:

4.1.1 Unión Tipo Simón Vélez Modificado. (SVM).

En el elemento longitudinal se presenta una falla por aplastamiento del mismo; simultáneamente en el elemento perpendicular a éste, ocurre la falla rasgadura de las fibras de la guadua.



FOTO 20 FALLA SVM 90° COMPRESION



FOTO 21 DETALLE ARANDELA



FOTO 22 FALLA SVM 90° COMPRESION

La fotografía No. 22 (Arriba Derecha) muestra la deformación sufrida por la arandela debido al intento de la varilla por atravesar el elemento longitudinal desprendiéndose del mortero.

4.1.2 Unión Tipo Sandra Clavijo (SC)

Dentro de los ensayos se observó que las uniones a 90° a compresión presentaron el mismo tipo de falla, solo que a diferentes niveles de carga, como se mostrará más adelante.



FOTO 23 FALLA SC 90° COMPRESION



FOTO 24 FALLA SC 90° COMPRESION (2)

4.1.3 Unión Tipo Diego Gisella (DG)

Dentro de los ensayos se observó que las uniones a 90° a compresión presentaron el mismo tipo de falla, solo que a diferentes niveles de carga, como se mostrará más adelante.



FOTO 25 UNION FALLADA EN COMPRESION

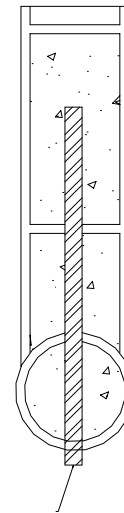
4.2 ENSAYO A TENSIÓN A 90°.

4.2.1 Unión Tipo Simón Vélez Modificado. (SVM).

En la unión SVM la falla se presentó debido a la adherencia existente entre el mortero y la varilla, la cual supera la adherencia entre el mortero y la guadua, lo cual produce el rompimiento del tabique por aplastamiento del mismo produciendo que la guadua se rasgue longitudinalmente, en el elemento perpendicular. En tanto que el mortero permanece adherido a la varilla y sin romperse.



FOTO 26 FALLA SVM 90° TENSION



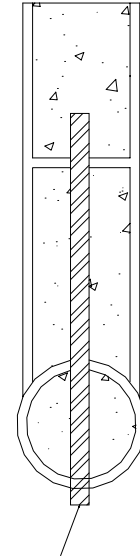
VARILLA ROSCADA 5/8"

Como se observa en el esquema de la derecha, la longitud de desarrollo es suficiente para que no se presente falla por desprendimiento de la varilla y el mortero de relleno.

En un ensayo, se presentó un desprendimiento total del mortero debido a que el canuto se encontraba muy lejos de el extremo del elemento, lo cual se observa en la siguiente fotografía y en el esquema mostrado.



FOTO 27 FALLA SVM 90° POR LONGITUD DE DESARROLLO



VARILLA ROSCADA 5/8"

4.2.2 Unión Tipo Sandra Clavijo (SC).

En estas uniones la falla se presentó debido al desgarramiento de la lámina ancha que envuelve el elemento principal, en el punto de conexión, cuando la carga se acercaba al esfuerzo último de la misma. Es importante anotar que en el momento de la falla la lámina ya se había deformado por lo menos una pulgada y los elementos no sufren deformaciones de ningún tipo.



FOTO 28 FLUENCIA DE LA LAMINA

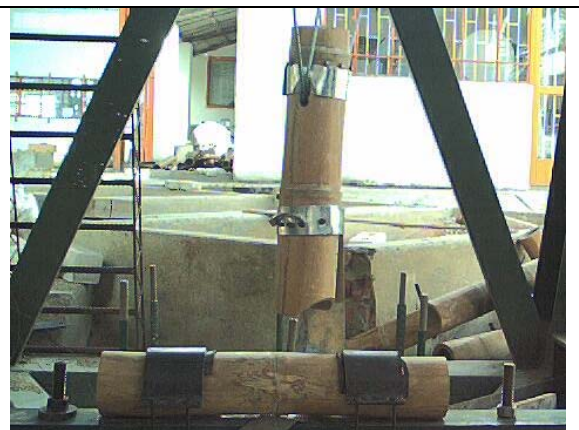


FOTO 29 FALLA UNION SC 90° TENSION

En las anteriores fotografías, se muestra la fluencia que se presentó anterior a la falla y una unión ya fallada.

4.2.3 Unión Tipo Diego Gisella (DG)

De igual forma que en compresión, la falla se presenta debido al esfuerzo de tensión perpendicular a las fibras en el elemento longitudinal, debido a la transmisión de esfuerzos del fleje y pasador. Dicha falla se presenta a través del plano por el cual se encuentra el pasador.



FOTO 30 FALLA UNION DG 90° TENSION



FOTO 31 VISTA LATERAL DE FALLA DG 90° TENSION



FOTO 32 DETALLE ROTURA DEL MORTERO DE RELLENO

Como se observa en la fotografía anterior, se ha presentado una falla local en el mortero en la dirección de aplicación de la carga.

4.3 UNION TIPO SIMÓN VELEZ MODIFICADO A 45°

Durante los ensayos se observó que en el elemento sometido a tensión se presenta una falla local, tanto en la guadua como en el mortero, ya que la varilla roscada rompe el extremo de la guadua, sacando una cuña y rompiendo el mortero al interior del canuto. Durante el ensayo se observó que la falla se presentó primero en el elemento sometido a tensión mientras que en el elemento sometido a compresión soportaba un nivel mayor de carga. Las siguientes fotografías muestran dichas fallas:



FOTO 33 FALLA UNION SVM 45°



FOTO 34 VISTA SUPERIOR FALLA SVM 45°

4.4 UNION TIPO DIEGO GISELLA A 45°.

Debido al sistema de aplicación de carga tenemos una fuerza resultante horizontal, que actúa en el elemento longitudinal produciéndose una falla en este por compresión paralela a las fibras sin que se presente falla en los elementos inclinados.



FOTO 35 FALLA UNION DG 45°



FOTO 36 VISTA SUPERIOR FALLA DG 45°

4.5 UNION TIPO SIMÓN VELEZ MODIFICADO A 60°

Para este tipo de uniones la falla se presentó de la misma forma a la falla del modelo a 45°.



FOTO 37 FALLA UNION SVM 60°



FOTO 38 VISTA SUPERIOR FALLA SVM 60°

4.6 UNION SANDRA CLAVIJO A 60°

Durante el ensayo de estas uniones, se observó que no llegaban al colapso ya que la fuerza horizontal resultante producía un desplazamiento lateral de los elementos inclinados. En tanto que el elemento a compresión se desplazaba por debajo del elemento en tensión, que tendía a levantarse por la fluencia de la lámina.



FOTO 39 UNION SC 60°

4.7 UNION TIPO DIEGO GISELLA A 60°

Para este tipo de uniones la falla se presentó de la misma forma a la falla del modelo a 45°.



FOTO 40 FALLA UNION DG 60°

4.8 RESULTADOS

4.8.1 SVM 90°

COMPRESIÓN					
PROB	Q (Kg.)	ϕ (prom)	e* Prom.	An (cm ²)	σ (kg/cm ²)
1	5451,65	10,79	1,74	56,78	96,02
2	4595,58	10,41	1,39	45,42	101,17
3	4169,74	11,38	1,71	59,78	69,76
4	3919,50	11,60	1,38	51,02	76,82

TENSION					
PROB	Q (Kg.)	Ai (cm ²)	Av (cm ²)	An (cm ²)	σ (kg/cm ²)
1	1597,13	60,45	2,85	57,60	27,73
2	1878,10	58,84	2,85	55,99	33,54
3	1869,32	51,43	2,85	48,58	38,48
4	1684,93	46,67	2,85	43,82	38,45

* e: espesor de la pared del elemento

4.8.2 SC 90°

COMPRESION					
PROB	Q (Kg.)	ϕ (prom)	e prom	An (cm ²)	σ (kg/cm ²)
1	2549,79	10,35	1,25	41,10	62,04
2	2545,39	10,44	1,44	46,91	54,26
3	2071,26	12,89	1,68	68,02	30,45
4	2172,24	12,42	1,72	66,38	32,72

TENSION		
PROB	Du	Q (Kg.)
1	620,00	2729,78
2	650,00	2861,48
3	635,00	2795,63
4	671,00	2953,68

4.8.3 DG 90°

COMPRESION					
PROB	Q (Kg.)	ϕ (prom)	e prom	An (cm ²)	σ (kg/cm ²)
1	6408,69	12,02	2,00	72,30	88,63
2	6904,78	12,08	1,54	58,55	117,93
3	7602,81	12,14	1,68	63,40	119,91
4	7185,74	11,79	1,94	68,97	104,19

TENSION				
PRB	e prom	Ag (mm ²)	Q (kgf)	σ (MPa)
1	1,94	737,87	24582,72	55,53
2	1,30	495,30	24841,12	83,59
3	2,20	838,20	29104,76	57,87
4	1,77	675,64	24195,12	59,68
5	1,41	537,21	21438,83	66,51

4.8.4 SVM 45°

TENSION (Elemento 1)				
PROB	Du	Q (Kg.)	ϕ (prom)	e prom
1	126	936,41	10,59	1,94
2	103	899,20	10,75	1,52
3	115	1011,93	9,94	1,15
4	90	777,07	9,97	1,65
5	142	1265,57	10,56	1,64

6	131	1162,23	9,90	1,46
7	88	758,28	10,24	1,20
8	114	1002,53	11,45	1,65
9	85	730,10	10,04	1,06

COMPRESIÓN (elemento 2)				
PROB	Du	Q (Kg.)	ϕ (prom)	e prom
1	230	1017,64	10,74	1,81
2	237	1048,37	10,17	1,05
3	236	1043,98	10,38	1,01
4	210	929,83	10,26	1,97
5	228	1008,86	11,46	1,81
6	256	1131,78	9,93	1,36
7	425	1873,71	10,53	1,43
8	248	1096,66	11,52	1,82
9	430	1895,66	10,32	1,20

COMPRESIÓN (cordón Principal)			
PROB	Q (Kg)	ϕ (prom)	e prom
1	1381,72	10,39	1,69
2	1377,13	11,34	1,78
3	1453,74	9,85	1,31
4	1206,97	10,68	1,40
5	1608,26	10,65	1,50
6	1622,11	10,48	1,75
7	1861,10	10,96	1,50
8	1484,35	11,13	2,39
9	1856,69	9,64	1,18

4.8.5 DG 45°

TENSIÓN (Elemento 1)				
PROB	Du	Q (Kg)	ϕ (prom)	e prom
1	217	1970,12	11,42	1,49
2	287	2627,71	11,17	1,53
3	205	1857,39	9,96	1,49
4	197	1782,24	10,47	1,08
6	217	1970,12	10,92	1,55
7	210	1904,37	10,94	1,38
8	168	1509,81	10,44	1,11
9	213	1932,55	10,81	1,24

COMPRESIÓN (Elemento 2)				
PROB	Du	Q (Kg)	ϕ (prom)	E prom
1	810	3563,90	11,18	1,39
2	714	3142,45	11,12	1,49
3	770	3388,30	10,17	1,21
4	690	3037,09	10,68	1,24
6	760	3344,40	10,71	1,25
7	750	3300,49	10,28	1,24
8	506	2229,31	10,34	1,05
9	710	3124,89	10,95	1,37

COMPRESIÓN (cordón principal)			
PROB	Q (kg)	ϕ (prom)	e prom
1	3913,15	11,42	1,49
2	4080,12	10,78	1,11
3	3709,26	10,41	1,32
4	3407,78	10,61	1,12
6	3757,93	11,51	1,49
7	3680,39	11,21	1,40
8	2643,96	10,35	1,38
9	3576,15	10,68	1,04

4.8.6 SVM 60°

TENSIÓN (Elemento 1)				
PROB	Du	Q (Kg)	ϕ (prom)	e prom
1	64	532,83	9,69	0,95
2	98	852,23	10,91	1,52
3	64	532,83	9,85	1,02
4	68	570,40	9,66	1,10
5	73	617,37	10,19	1,24
6	66	551,61	10,94	1,56
7	75	636,16	10,64	1,21
8	68	570,40	9,51	1,24
9	90	777,07	11,03	1,42
10	75	636,16	10,87	1,02

COMPRESIÓN (Elemento 2)				
PROB	Du	Q (Kg)	ϕ (prom)	e prom
1	540	2378,57	9,91	1,12
2	570	2510,27	10,75	1,35
3	526	2317,11	9,39	1,36
4	726	3195,13	9,80	1,08
5	966	4248,76	9,42	1,32
6	590	2598,08	11,05	2,02
7	602	2650,76	10,32	1,10
8	559	2461,98	9,63	1,42
9	576	2536,61	11,04	1,37
10	611	2690,27	11,03	1,03

COMPRESIÓN (Cordón Principal)			
PROB	Q (kg)	ϕ (prom)	e prom
1	1455,70	10,63	1,40
2	1681,25	10,96	1,46
3	1424,97	9,80	1,27
4	1882,77	9,77	1,82
5	2433,07	9,95	1,61
6	1574,85	10,67	1,31
7	2433,07	11,08	1,24
8	1506,80	9,77	1,45
9	1553,51	11,31	1,74
10	1733,67	10,86	1,02

4.8.7 SC 60°

TENSIÓN(Elemento 1)				
PROB	Du	Q (Kg)	ϕ (prom)	e prom
1	120	1058,90	11,27	1,91
2	115	1011,93	9,78	1,65
3	99	861,62	9,88	1,11
4	100	871,01	9,62	1,11
5	113	993,14	11,46	1,72
7	115	1011,93	10,96	1,76
8	90	777,07	10,36	2,03
9	95	824,04	9,75	1,08
10	111	974,35	10,19	1,48

COMPRESIÓN (Elemento 2)				
PROB	Du	Q (Kg)	ϕ (prom)	e prom
1	400	1763,95	11,46	1,79
2	396	1746,39	9,63	1,61
3	280	1237,14	9,46	0,93
4	375	1654,20	9,93	1,12
5	428	1886,88	10,96	1,37
7	425	1873,71	10,89	1,35
8	613	2699,05	10,04	1,65
9	500	2202,97	10,22	1,23
10	611	2690,27	10,34	1,80

COMPRESIÓN (Cordón Principal)				
PROB	Q (kg)	ϕ (prom)	e prom	desp (cm)
1	1411,43	11,61	1,40	2,28
2	1379,16	10,57	1,30	1,91
3	1049,38	10,06	1,11	3,12
4	1262,61	9,94	1,35	1,96
5	1440,01	11,34	1,58	1,94
7	1440,01	11,23	1,70	1,99
8	1855,49	10,22	1,22	2,17
9	1490,02	11,14	1,63	1,58
10	1757,16	9,90	1,86	1,16

4.8.8 DG 60°

TENSIÓN (Elemento 1)				
PROB	Du	Q (Kg)	ϕ (prom)	e prom
1	171	1538,00	12,35	1,46
3	175	1575,57	12,27	1,73
4	178	1603,75	11,84	1,25
5	203	1838,61	11,95	1,89
6	213	1932,55	10,92	1,83
7	186	1678,91	11,18	1,49
8	196	1772,85	11,61	1,48
9	180	1622,54	11,52	1,78

COMPRESIÓN (Elemento 2)				
PROB	Du	Q (Kg)	ϕ (prom)	e prom
1	1015	4463,87	11,66	1,17
3	1300	5715,06	12,06	1,39
4	1535	6746,73	11,86	1,93
5	1495	6571,13	12,21	1,33
6	1320	5802,86	11,57	1,45
7	1390	6110,17	11,38	1,30
8	1400	6154,07	10,77	1,25
9	1370	6022,36	12,25	2,02

COMPRESIÓN (Cordón principal)			
PROB	Q (kg)	ϕ (prom)	e prom
1	3000,93	11,74	1,52
3	3645,31	12,38	1,44
4	4175,24	11,95	2,18
5	4204,87	12,20	1,32
6	3867,70	11,50	1,37
7	3894,54	11,26	1,41
8	3963,46	11,39	1,58
9	3822,45	10,79	1,95

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 RESISTENCIA A CORTE DEL ELEMENTO CONECTADO

Durante el proceso de ensayo se observó que las fallas en las conexiones SVM y DG, se presentaron similitudes con las fallas típicas de uniones en metal, debido a que los conectores transmitían una carga paralela a las fibras de la guadua, el esfuerzo que se va a evaluar corresponde al corte paralelo a las mismas.

La resistencia a la rotura por cortante está dada por el numeral F.2.10.4.1 (NSR-98) y cuya ecuación es:

$$P_n = 0.75 * [0.60 * A_{sf} * F_u]$$

La cual se reduce a debido a que se trabajó con valores experimentales y esta fórmula está diseñada para tensión y este es de 0.6 veces el esfuerzo de corte.

$$P_n = A_{sf} * f_u^{17}$$

Donde:

P_n = Carga última experimental de falla (tensión y compresión) (Kg)

f_u = Esfuerzo último experimental a corte paralelo a las fibras (Mpa)

A_{sf} = Área neta sometida a corte (mm^2).

$A_{sf} = 2 * t * (a + d/2)$

Donde:

t : espesor de la pared de la guadua.

a : distancia medida a lo largo del eje del elemento desde el borde del hueco hasta el extremo del elemento.

d : diámetro del pasador en milímetros.

5.2 UNIÓN SVM CON ANGULO DE INCLINACIÓN DE 45° Y 60°

Para la unión SVM, a 45° y 60°, utilizando el criterio de exclusión del 5%

$$0.05 * 10 = 0.5 \text{ se toma } 1 \text{ por aproximación}$$

Se calcula el f_u para el mínimo valor de carga en el elemento a tensión, para 45° tenemos

¹⁷ Takeuchi Tan, Caori. "Conexiones en estructuras metálicas". Publicaciones Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional, Bogotá 2002. P. 76

$$P_n = A_{sf} * f_u$$

$$A_{sf} = 2 * 10.6 * 120 = 2544 \text{ mm}^2$$

$$P_n = 730.10 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7162.31 \text{ kgf}$$

$$f_u = \frac{P_n}{A_{sf}} = \frac{7162.31 \text{ kgf}}{2544 \text{ mm}^2} = 2.82 \text{ MPa}$$

y para 60°

$$P_n = A_{sf} * f_u$$

$$A_{sf} = 2 * 10.2 * 100 = 2040 \text{ mm}^2$$

$$P_n = 532.83 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5227.03 \text{ kgf}$$

$$f_u = \frac{P_n}{A_{sf}} = \frac{5227.03 \text{ kgf}}{2040 \text{ mm}^2} = 2.56 \text{ MPa}$$

El criterio del 5% se utilizó para los valores de carga medidos durante los ensayos. Los valores obtenidos para f_u distan del valor obtenido por los investigadores Luis Felipe López Muñoz y David Trujillo¹⁸, en el cual el valor mínimo de esfuerzo cortante es de 4.31 Mpa,

5.3 UNIÓN DG A 45° Y 60°

En estas uniones la falla se presentó también por corte paralelo a las fibras, solo que el área neta de corte es mucho mayor, ya que la distancia a los bordes del elemento es mucho mayor, por lo tanto se obtuvo un valor de carga mucho mayor, para 45° tenemos:

$$P_n = A_{sf} * f_u$$

$$A_{sf} = 2 * 13.8 * 300 = 8280 \text{ mm}^2$$

$$P_n = 2643.96 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 25937.22 \text{ kgf}$$

$$f_u = \frac{P_n}{A_{sf}} = \frac{25937.22 \text{ kgf}}{8280 \text{ mm}^2} = 3.13 \text{ MPa}$$

¹⁸ Diseño de uniones y elementos en estructuras de guadua, Seminario-Taller avances en la investigación sobre guadua, Pereira Mayo 16, 17 y 18 de 2002.

y para 60°

$$P_n = A_{sf} * f_u$$

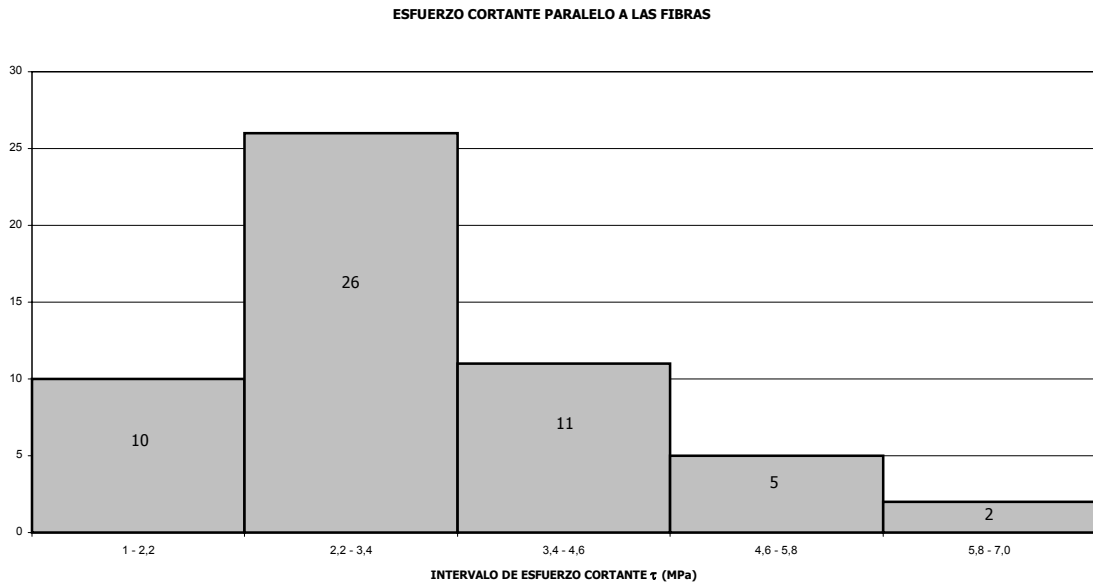
$$A_{sf} = 2 * 15.2 * 300 = 9120 \text{ mm}^2$$

$$P_n = 3000.93 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 29439.17 \text{ kgf}$$

$$f_u = \frac{P_n}{A_{sf}} = \frac{29439.17 \text{ kgf}}{9120 \text{ mm}^2} = 3.23 \text{ MPa}$$

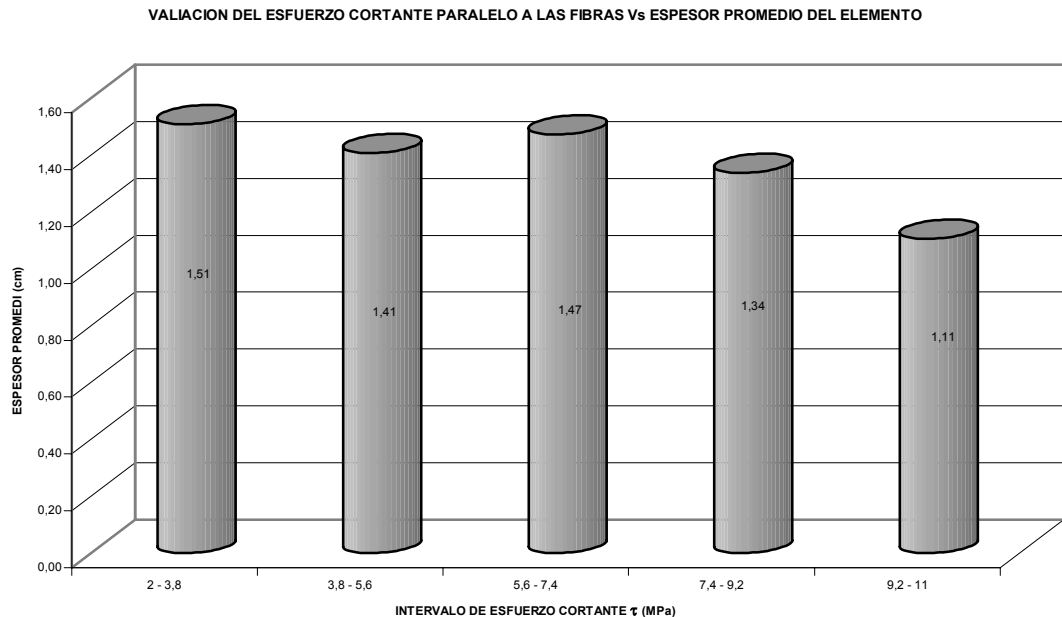
Como se observa para las uniones DG a 45 y 60°, los valores obtenidos de esfuerzo cortante paralelo a las fibras mínimos son muy parecidos entre si.

Después de calcular el esfuerzo para todos los elementos que presentaron falla por corte paralelo a las fibras se estableció que para cargas mayores a la mínima se pueden obtener esfuerzos menores puesto que el esfuerzo también esta en función del espesor. El siguiente grafico muestra la variación de los esfuerzos para un total de 54 ensayos, en los cuales se presentó falla por corte paralelo a las fibras.



Con un valor mínimo de 1.26 Mpa y un valor promedio de 3.20 Mpa., y una desviación estándar de 1.20 Mpa., un Coeficiente de variación del 37.38%, y cuya distribución es normal con una asimetría positiva.

Con base en los mismos datos y considerando la influencia del espesor del elemento en el calculo del esfuerzo, se observa una variación inversamente proporcional entre el espesor del elemento y el esfuerzo cortante soportado.



5.4 UNIÓN 90° SOMETIDA A COMPRESIÓN.

Esfuerzo de trabajo a compresión perpendicular a la fibra.

El esfuerzo de compresión promedio en la dirección perpendicular a las fibras, se calcula como:

$$\sigma_c = \frac{R}{A}$$

donde:

R = Fuerza o reacción aplicada

A = es el área de contacto o apoyo

El área de contacto se calcula como el área de una circunferencia, la cual se incrementa en un 15% por la curvatura del Boca pescado. En todos los ensayos realizados, la conexión se realizó en el centro de un canuto del elemento longitudinal.

La siguiente fotografía muestra el área de contacto entre los dos elementos, y el efecto de la compresión en el elemento longitudinal.

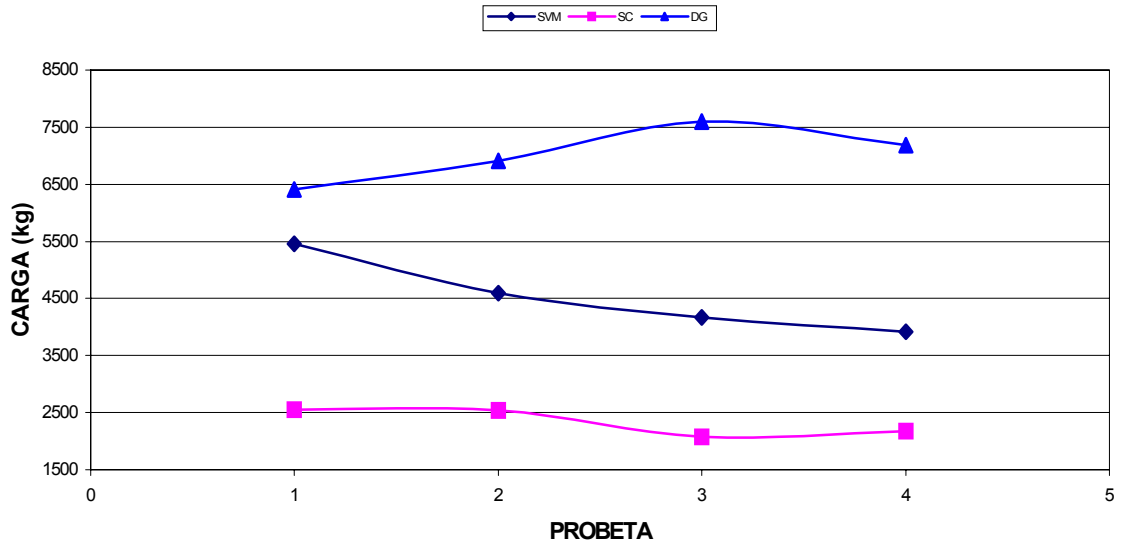


FOTO 41 DETALLE COMPRESION PERPENDICULAR A LAS FIBRAS

La siguiente tabla muestra las cargas obtenidas en los ensayos, las áreas de contacto y los esfuerzos calculados.

TIPO	Q (Kg)	e (cm)	An (cm ²)	σ (kg/cm ²)	Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)	Rango (kg/cm ²)
SVM	5452	1,74	56,78	96,02	85,94	31.41
	4596	1,39	45,42	101,17		
	4170	1,71	59,78	69,76		
	3920	1,38	51,02	76,82		
SC	2550	1,25	41,10	62,04	44,87	31.59
	2545	1,44	46,91	54,26		
	2071	1,68	68,02	30,45		
	2172	1,72	66,38	32,72		
DG	6409	2,00	72,30	88,63	107,67	31.28
	6905	1,54	58,55	117,93		
	7603	1,68	63,40	119,91		
	7186	1,94	68,97	104,19		

CARGA EN COMPRESION A 90°



Como se observa, en las uniones SC la falla se presenta a un nivel de carga más bajo en comparación con los demás ensayos, y esto se debe a que los canutos no están rellenos, con lo cual se puede sugerir que el mortero incrementa casi en un 100% la resistencia a la compresión perpendicular del elemento.

La unión DG soportó mayores niveles de carga, esto puede deberse a la forma en la que los pasadores transmitieron la carga simultáneamente, al mortero y a las paredes de la guadua de ambos elementos, ocasionando una ruptura del relleno. En tanto que en la unión SVM, se desprendió la varilla del mortero, e intentaba desplazarse hacia fuera a través del elemento longitudinal. Durante los ensayos, una unión presentó un valor de carga mucho mayor que los demás, con la particularidad que la distancia entre nudos era mucho menor que en las otras uniones.



FOTO 42 DETALLE RUPTURA MORTERO DE RELLENO SVM 90°

Esta fotografía muestra que una vez ensayada la probeta, ya no existe adherencia entre la varilla y el mortero en el elemento longitudinal.

5.5 UNIÓN 90° SOMETIDA A TENSIÓN.

5.5.1 UNIÓN SVM

La falla se presenta debido a la ruptura del diafragma y a continuación se procederá a calcular el esfuerzo al cual falló el mismo, considerando como área de contacto, el área interna del elemento menos el área del orificio de $\frac{3}{4}$ ".

Q (Kg)	Ai (cm ²)	Av (cm ²)	An (cm ²)	σ (kg/cm ²)
1597,13	60,45	2,85	57,60	27,73
1878,10	58,84	2,85	55,99	33,54
1869,32	51,43	2,85	48,58	38,48
1684,93	46,67	2,85	43,82	38,45

Con lo que se obtiene un esfuerzo promedio de 34.55 kg/cm². En la bibliografía consultada no se encontraron parámetros para comparar este valor.

5.5.2 UNION SC

En esta unión la falla se presentó por tensión en la lamina calibre 22 (0.75 mm), con F_y de 253 Mpa y F_u 408 Mpa, de 0.08m de ancho con tres perforaciones de $\frac{1}{4}$ ", el análisis de la falla se muestra a continuación (los valores de F_y y F_u se obtuvieron de catálogos proporcionados por el fabricante):

Falla por Corte sobre el área efectiva

$$\Phi P_n = 0.6 * L_e * e * F_u *$$

$$F_u = 408 \text{ MPa}$$

$$L_e = 25.4 \text{ mm}$$

$$e = 0.75 \text{ mm}$$

$$L_e * e = 19.05 \text{ mm}^2$$

$$P_n = 0.6 * F_u * L_e * e = 408 * 10^6 * 19.05 * 10^{-6} * 0.6$$

$$P_n = \frac{4663.44 \text{ Kgf}}{9.81 \text{ m/s}^2} = 475.37 \text{ kg}$$

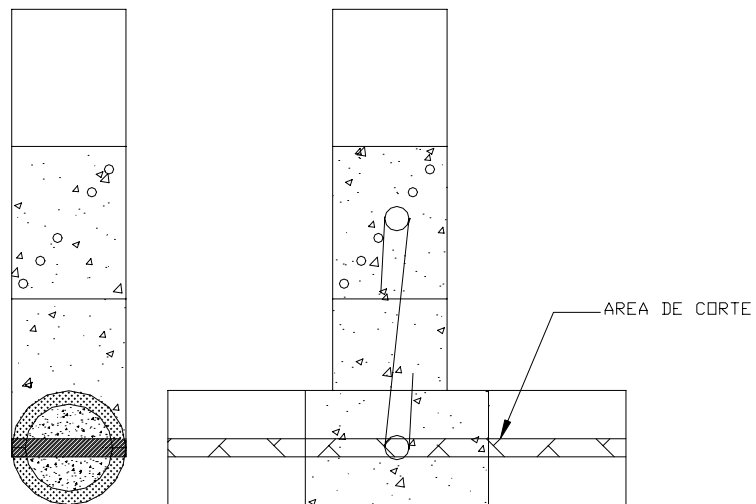
Este valor sería el correspondiente a 1 orificio, para 6 orificios el valor sería de 2852.25 kg. Como se observa en los resultados mostrados, la falla se presentó en promedio a los 2835.14 kg.

5.4.3 UNION DG

En estas uniones la falla se presenta en el elemento longitudinal, por tensión perpendicular a las fibras.



FOTO 43 FALLA UNION DG 90° TENSION



En este caso se hará el análisis de la falla por corte, la cual es inducida por la carga de tensión, para lo cual se considerara el área efectiva utilizando la ecuación mencionada anteriormente y tomando como área de corte la proyección horizontal. Calculamos el esfuerzo último experimental para corte perpendicular a las fibras, utilizando el criterio de exclusión del 5%.

$$P_n = A_e * f_u$$

$$A_e = 2 * 14.1 * 600 = 16920 \text{ mm}^2$$

$$P_n = 2185.41 * 9.81 = 21438.87 \text{ kgf}$$

$$f_u = \frac{P_n}{A_e} = \frac{21438.87 \text{ kgf}}{16920 \text{ mm}^2} = 1.27 \text{ MPa}$$

Con los demás datos obtenidos experimentalmente, se determinó un valor promedio del esfuerzo de tensión perpendicular a las fibras, el cual es de 1.23 MPa, con la salvedad de no poseer datos experimentales de referencia para refutar o afirmar este valor.

6 CONCLUSIONES

- Debido al comportamiento mostrado por las uniones DG y SVM a 45° y 60° se puede determinar que su comportamiento se asemeja al que se presenta en una estructura metálica, por lo mismo estas uniones se pueden diseñar con los mismos criterios.
- Para diseñar con los mismos criterios de una estructura metálica, es necesario conocer las propiedades mecánicas de la guadua, y esto solo se consigue a través de un proceso experimental en el cual se tengan en cuenta todos los factores que pueden influir sobre las mismas (especie, origen, edad, humedad, espesor de las paredes, diámetro).
- Un total de 10 probetas por cada modelo no es suficiente para obtener una muestra representativa que permita establecer parámetros de diseño con mayor confiabilidad.
- Los datos existentes de las propiedades mecánicas de la guadua no son suficientes o no se han estudiado con el detenimiento debido, lo cual genera dudas respecto a algunos parámetros como: Tensión Perpendicular a las fibras, Resistencia del tabique, etc. y las relaciones entre ellos y las características de la guadua.
- Con base en los datos obtenidos por esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras, se puede decir que el rellenar o no los canutos juega un papel importante en el aumento de la resistencia del elemento, reduciendo el fenómeno de aplastamiento.
- Al diseñar el mortero de forma tal que se presentara baja retracción durante el fraguado, fue un factor importante pues aumento la adherencia entre el mismo y la guadua, disminuyendo las posibilidades de falla al actuar como un pistón sobre la guadua. Sin embargo en algunos casos, el mortero tendía a expandirse produciendo una falla previa al elemento antes del ensayo. El hecho de rellenar las uniones con mortero le produjo un incremento del peso del 100%, es decir las uniones rellenas pesan el doble que las uniones sin mortero.
- Las fallas presentadas en las uniones estuvieron mas allá de las expectativas, puesto que se presentaron de distintas maneras para cada tipo de unión, permitiéndonos hacer un análisis más amplio de las mismas.

- La unión tipo SC mostró ser la menos adecuada para las conexiones propuestas, puesto que en el caso de 90° en compresión, la resistencia de la misma no depende de la lámina sino de la resistencia a la compresión paralela a las fibras.
- Igualmente, a 90° en tensión, la resistencia de la conexión SC dependió de las características mecánicas de la lámina y de los tornillos utilizados y no de la guadua en si.
- Para las uniones SC en ángulo, su comportamiento tampoco fue el mejor, puesto que fue imposible ensamblar la unión a 45°, en tanto que la de 60° no funcionó como se esperaba debido a las condiciones del ensayo.
- La unión SVM se comportó del modo esperado, es decir falló por corte paralelo a las fibras, inducido por el conector, presentándose falla del mismo tipo para los ángulos de 45° y 60°.
- En las uniones SVM 90° a tensión, es necesario considerar la longitud de desarrollo del conector, ya que esto afecta el tipo de falla.
- A 90° en compresión la unión SVM presentó un comportamiento superior a la unión SC, aunque inferior a la unión DG, lo primero debido a relleno de los canutos, y lo segundo debido al desprendimiento del conector del mortero de relleno.
- En la unión DG, para los ángulos de 45° y 60° se presentó falla por corte paralelo a las fibras, solo que no fallaron los elementos inclinados, sino que la falla se presentó en el elemento longitudinal, y a un nivel de carga mayor.
- En el caso de DG a 90°, en compresión, la falla se dio igual que en SVM a 90°, solo que a niveles mas altos de carga, esto debido a que los pasadores conectores repartían la carga de una forma mas adecuada.
- Para la unión DG a 90° en tensión, la falla fue totalmente inesperada, por su naturaleza en si y porque no se encontraron estudios previos acerca de este tipo de falla, por tensión perpendicular a las fibras.
- La utilización del dispositivo **DRILL BP**, además de aumentar el rendimiento de la elaboración de las uniones, mejora y aumenta la superficie de contacto entre los elementos a ser unidos.

- Durante el proceso de armado de las uniones es necesario realizar los controles necesarios para que el ángulo de inclinación sea el correcto, de modo que los ejes de transmisión de esfuerzos coincidan entre si.
- Durante el desarrollo de proyectos de grado es importante llevar una continuidad en las investigaciones desarrolladas anteriormente, considerando las limitaciones, falencias y aciertos de cada una de ellas.
- Es necesario aumentar el número de probetas ensayadas para aumentar la certidumbre y evaluar la influencia de cada una de las características de la guadua sobre la resistencia a las diferentes condiciones de carga a las cuales se va a someter, y así poderlas emplear con mayor seguridad en estudios posteriores.
- De acuerdo con los requisitos de carga de cada tipo de unión, se tuvo que diseñar y construir un montaje diferente, para garantizar que la aplicación de la carga fuera axial a los elementos que conforman cada conexión, previniendo momentos flectores y torsiones.
- La unión DG debe ser estudiada variando el diámetro de los conectores y de los pasadores para determinar los cambios en los esfuerzos y si puede o no haber una reducción del costo en el proceso.
- Para la unión DG a 90° en tensión, se recomienda zunchar el elemento principal, con el fin de evitar la falla por tensión perpendicular a las fibras.
- Modelar el comportamiento de las uniones por medio de un programa teniendo en cuenta todos los modelos previamente establecidos
- EL procedimiento de inmunización es importante, puesto que protege la guadua contra cualquier agente nocivo que pueda afectar sus características mecánicas.
- Los esfuerzos aquí encontrados no pueden ser tomados como valores absolutos para el diseño, se recomienda hacer un prediseño y posteriormente una caracterización del material y rediseñar con base en las características halladas.

7 BIBLIOGRAFÍA

MARINEZ CACERES, Dixon Emmanuel. Puentes en do Mayor(Tesis de grado). En: Congreso mundial de Bambú / Guadua. (1º : 1992). Memorias I Congreso mundial de Bambú /Guadua. Pereira : 1992; p 173

DURAN Alejandro, URIBE Maritza. (Tesis de Grado Universidad Nacional 2002) Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas.

GUTIERREZ G., Jorge A. Comportamiento Estructural y resistencia sísmica de las viviendas de bambú. En CONGRESO MUNDIAL DE BAMBÚ / GUADUA. (1ª . 1992: Pereira). Memorias I Congreso Mundial de Bambú/ Guadua. Pereira:1992; p.161

GARZON CAICEDO, Jenny Varina. Optimización de estructuras en guadua. Santa fe de Bogotá, 1996. Trabajo de grado (Arquitecta). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes. Departamento de construcción; p.106

PEÑA MUÑOZ, Cesar A. Y RODRÍGUEZ H., Hugo A.. Propuesta de uniones mecánicas para estructuras de guadua. Santa fe de Bogotá, 1997. Trabajo de grado (Arquitecto). Universidad Nacional de Colombia. Departamento de construcción; p.108.

ORTIZ CLAVIJO, Sandra C. Y TRUJILLO, Jorge D. Evaluación de uniones a tracción en guadua. Santa fe de Bogotá, 2000. Trabajo de grado(Ingeniero). Universidad Nacional de Colombia.

PRIETO, Edwin S. Y SANCHEZ PINEDA, Jorge H. Comportamiento de la guadua angustifolia sometida a flexion. Santafé de Bogotá, 2001. Trabajo de grado (Ingeniero) Universidad Nacional de Colombia.

MARTÍN, José Virgilio Y MATEUS, Lelio Rafael . Determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra de la guadua de Castilla. Bogotá 1981. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Agrícola; p.145.

MCCORMAC Jack, Diseño de Estructuras de Acero Cap 12. 1989 Ed Alfaomega

TAKEUCHI Tan Caori, Conexiones en Estructuras Metálicas, Universidad Nacional Santa fe de Bogota 2001 Pg. 76

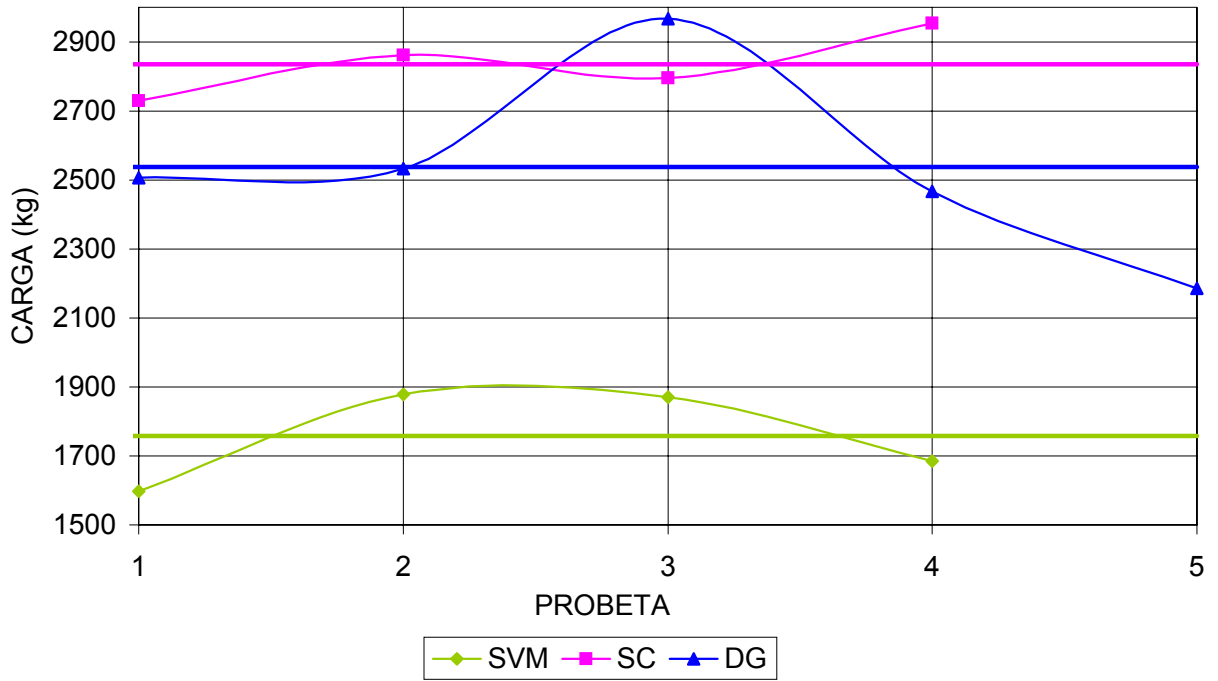
Diseño de uniones y elementos en estructuras de guadua, Seminario-Taller avances en la investigación sobre guadua, Pereira Mayo 16, 17 y 18 de 2002.

ANEXO 1

RESULTADOS

Las siguientes tablas y graficas muestran los resultados obtenidos en los ensayos de las uniones a 90°.

ENSAYO A TENSIÓN 90°



ENSAYO A COMPRESIÓN 90°

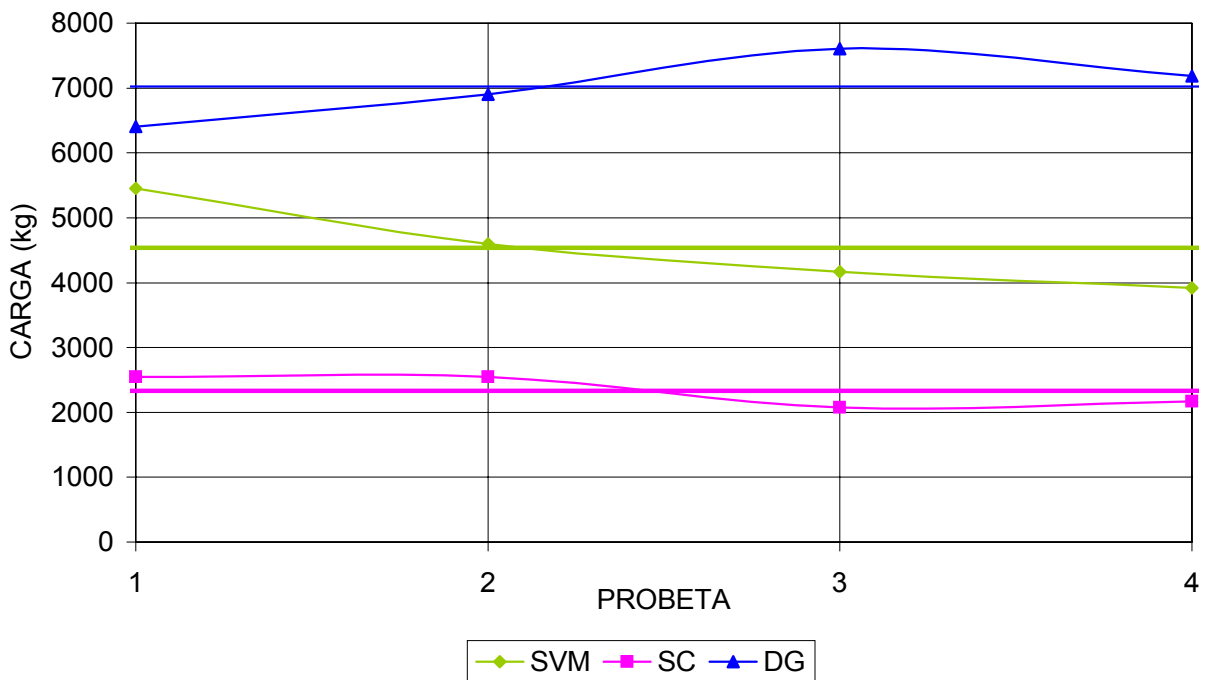


TABLA COMPARATIVA DE CARGAS Y ESFUERZOS EN TENSION

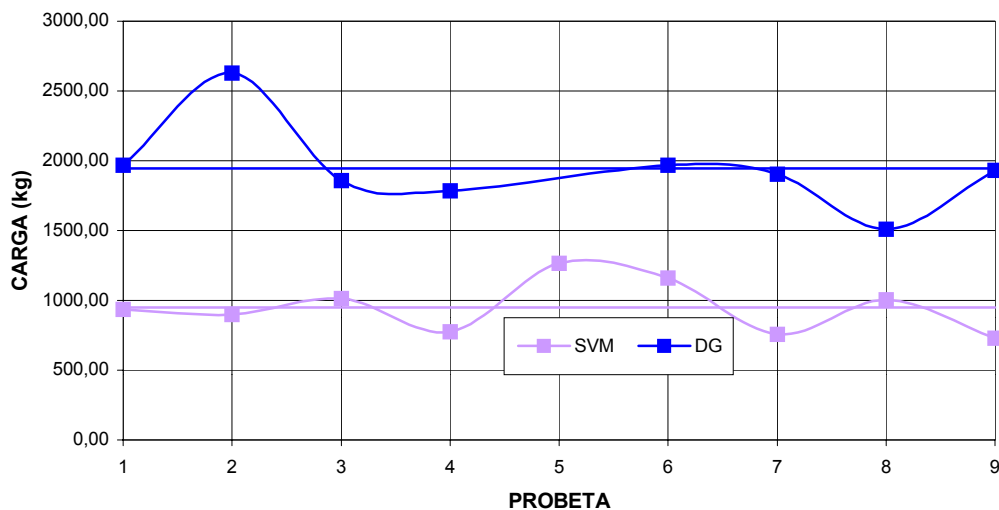
PROB	SVM		SC		DG	
	CARGA	σ TEN	CARGA	σ TEN	CARGA	σ TEN
	kg	kg/cm ²	kg	kg/cm ²	kg	kg/cm ²
1	5451,65	96,02	2549,79	62,04	6408,69	88,63
2	4595,58	101,17	2545,39	54,26	6904,78	117,93
3	4169,74	69,76	2071,26	30,45	7602,81	119,91
4	3919,50	76,82	2172,24	32,72	7185,74	104,19

TABLA COMPARATIVA DE CARGAS Y ESFUERZOS EN TENSION

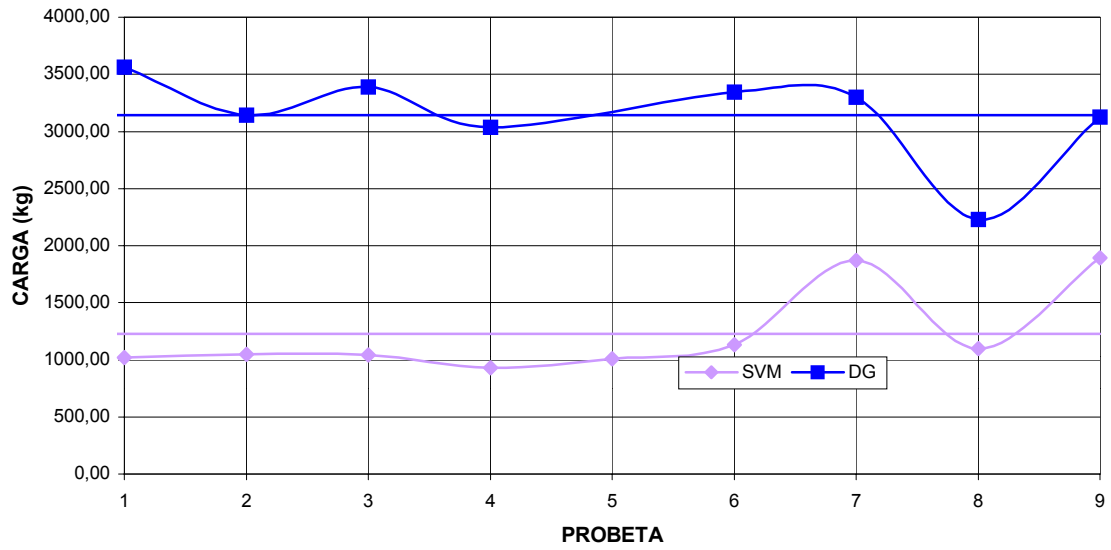
PROB	SVM		SC		DG	
	CARGA	σ COM	CARGA	σ COM	CARGA	σ COM
	kg	kg/cm ²	kg	kg/cm ²	kg	kg/cm ²
1	1597,13	35,08	2729,78	44,65	2505,88	41,77
2	1878,10	39,75	2861,48	51,19	2532,22	59,93
3	1869,32	51,80	2795,63	64,47	2966,85	45,62
4	1684,93	45,98	2953,68	80,46	2466,37	41,43
5	N/A	N/A	N/A	N/A	2185,41	51,97

Las siguientes tablas y graficas muestran los resultados obtenidos en los ensayos de las uniones con ángulo de inclinación de 45°.

ELEMENTO A TENSION 45°



ELEMENTO A COMPRESIÓN 45°



ELEMENTO ELEMENTO LONGITUDINAL A COMPRESIÓN 45°

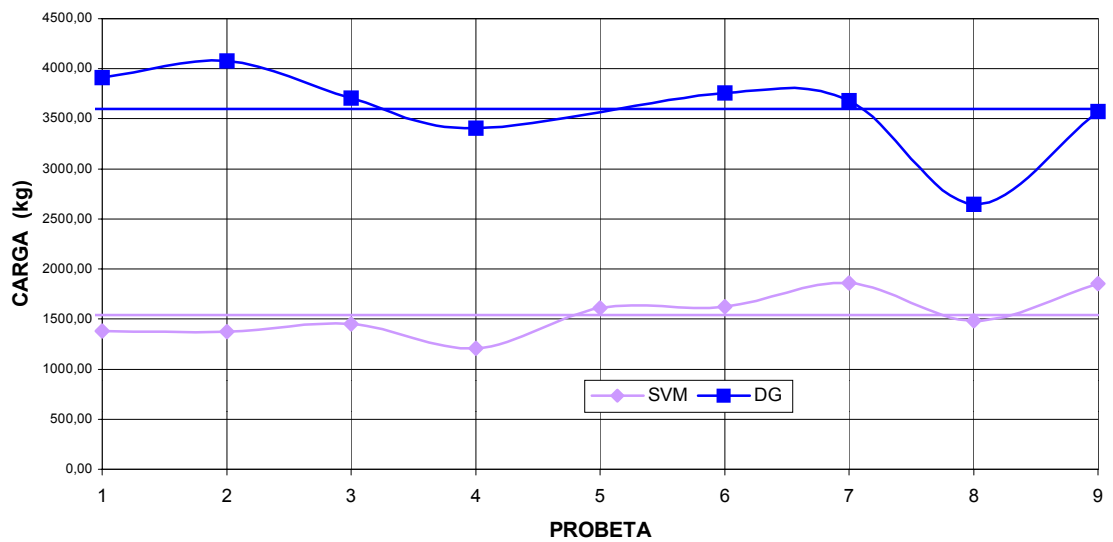


TABLA COMPARATIVA DE CARGAS PARA ELEMENTOS EN TENSION A 45°

PROB	SVM	DG
	Q (Kg)	Q (Kg)
1	936,41	1970,12
2	899,20	2627,71
3	1011,93	1857,39
4	777,07	1782,24
5	1265,57	1970,12
6	1162,23	1904,37
7	758,28	1509,81
8	1002,53	1932,55
9	730,10	N/A

TABLA COMPARATIVA DE CARGAS PARA ELEMENTOS EN COMPRESION A 45°

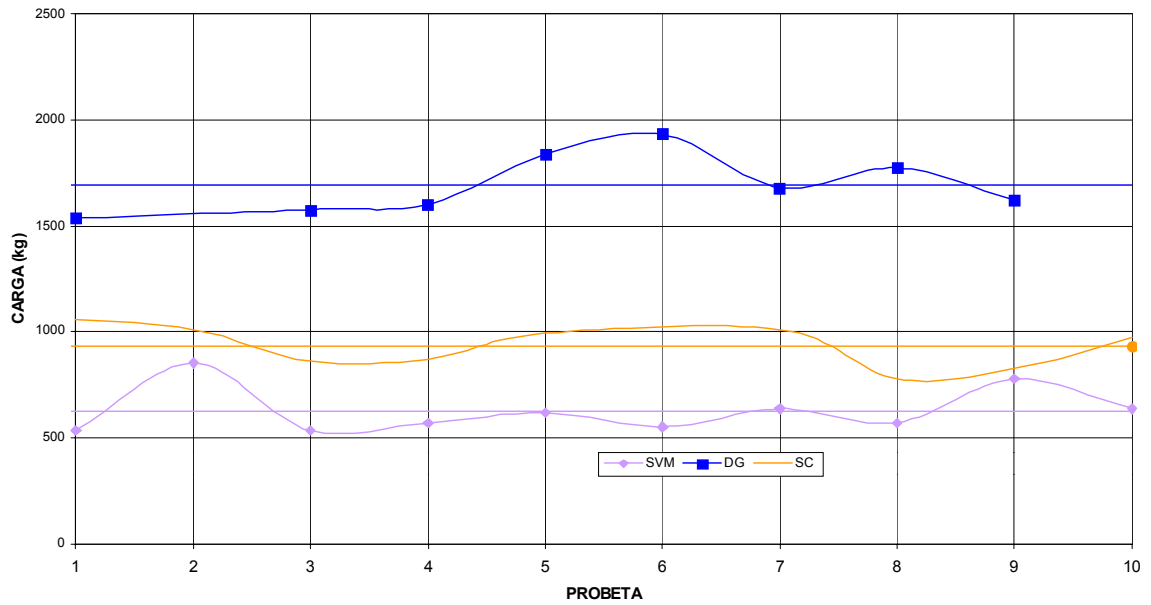
PROB	SVM	DG
	Q (Kg)	Q (Kg)
1	1017,64	3563,90
2	1048,37	3142,45
3	1043,98	3388,30
4	929,83	3037,09
5	1008,86	3344,40
6	1131,78	3300,49
7	1873,71	2229,31
8	1096,66	3124,89
9	1895,66	N/A

TABLA COMPARATIVA DE CARGAS PARA ELEMENTOS LONGITUDINALES EN COMPRESION A 45°

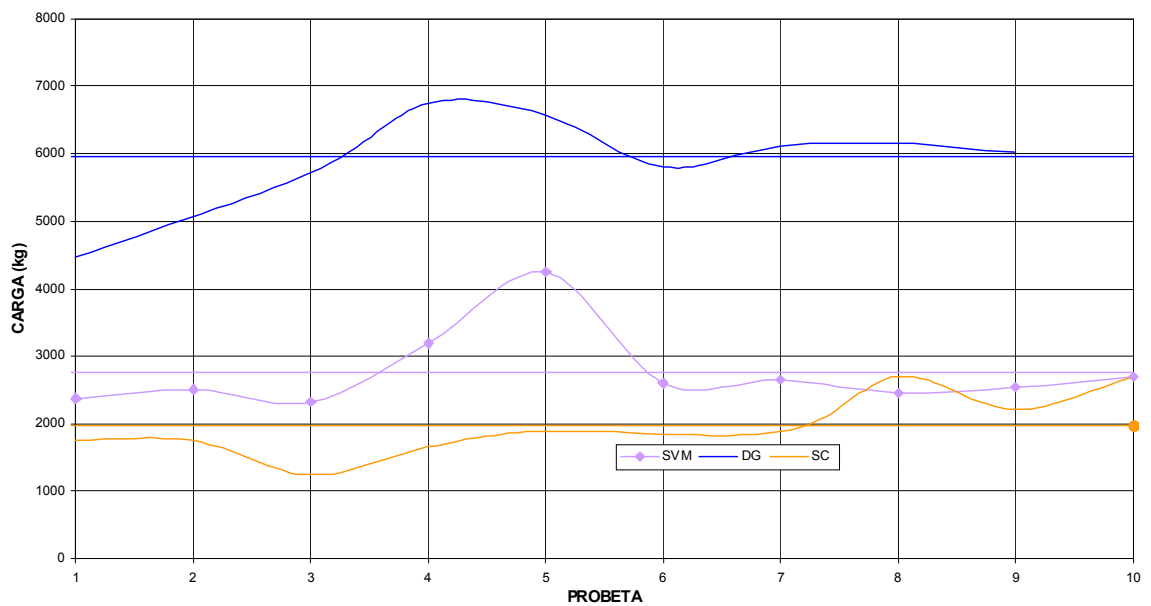
PROB	SVM	DG
	Q (Kg)	Q (Kg)
1	1381,72	3563,90
2	1377,13	3142,45
3	1453,74	3388,30
4	1206,97	3037,09
5	1608,26	3344,40
6	1622,11	3300,49
7	1861,10	2229,31
8	1484,35	3124,89
9	1856,69	N/A

Las siguientes tablas y graficas muestran los resultados obtenidos en los ensayos de las uniones con ángulo de inclinación de 60°.

ELEMENTO A TENSIÓN 60°



ELEMENTO A COMPRESIÓN 60°



ELEMENTO ELEMENTO LONGITUDINAL A COMPRESIÓN 60°

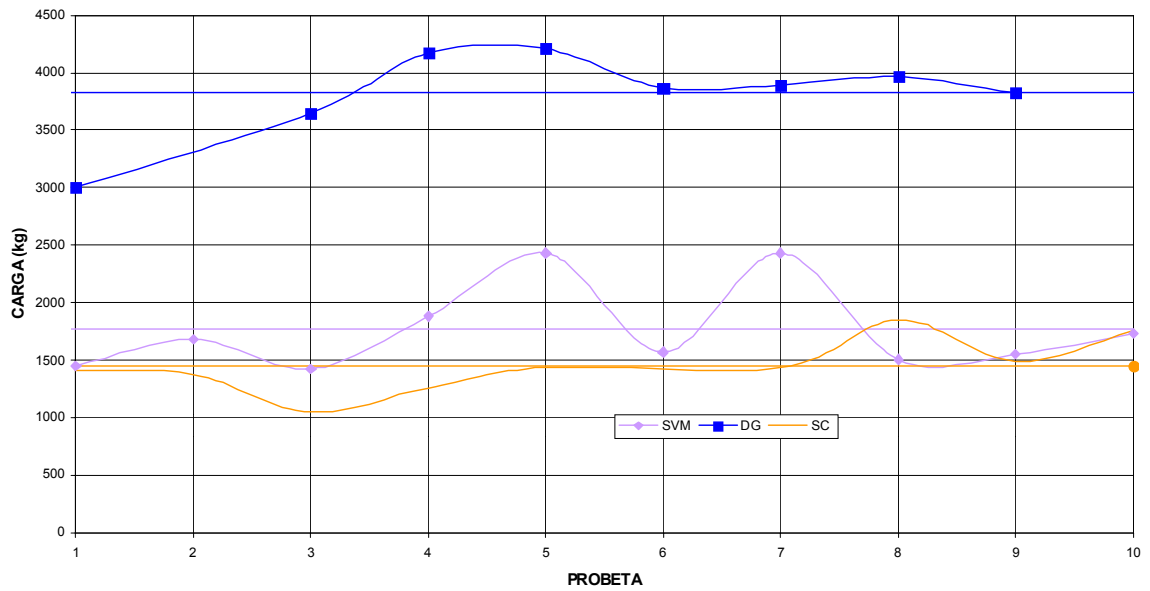


TABLA COMPARATIVA DE CARGAS PARA ELEMENTOS EN TENSION A 60°

PROB	SVM	SC	DG
	Q (Kg)	Q (Kg)	Q (Kg)
1	532,83	1058,90	1538,00
2	852,23	1011,93	1575,57
3	532,83	861,62	1603,75
4	570,40	871,01	1838,61
5	617,37	993,14	1932,55
6	551,61	1011,93	1678,91
7	636,16	777,07	1772,85
8	570,40	824,04	1622,54
9	777,07	974,35	N/A
10	636,16	N/A	N/A

TABLA COMPARATIVA DE CARGAS PARA ELEMENTOS EN COMPRESION A 60°

PROB	SVM	SC	DG
	Q (Kg)	Q (Kg)	Q (Kg)
1	2378,57	1763,95	4463,87
2	2510,27	1746,39	5715,06
3	2317,11	1237,14	6746,73
4	3195,13	1654,20	6571,13
5	4248,76	1886,88	5802,86
6	2598,08	1873,71	6110,17
7	2650,76	2699,05	6154,07
8	2461,98	2202,97	6022,36
9	2536,61	2690,27	N/A
10	2690,27	N/A	N/A

TABLA COMPARATIVA DE CARGAS PARA ELEMENTOS LONGITUDINALES EN COMPRESION A 60°

PROB	SVM	SC	DG
	Q (Kg)	Q (Kg)	Q (Kg)
1	1455,70	1411,43	4463,87
2	1681,25	1379,16	5715,06
3	1424,97	1049,38	6746,73
4	1882,77	1262,61	6571,13
5	2433,07	1440,01	5802,86
6	1574,85	1440,01	6110,17
7	2433,07	1855,49	6154,07
8	1506,80	1490,02	6022,36
9	1553,51	1757,16	N/A
10	1733,67	N/A	N/A

ANEXO 2

DISPOSITIVO DRILL BP

PROCESO DE ARMADO.

El proceso de construcción de las uniones consistió primordialmente en los siguientes pasos:

CORTE DE LOS ELEMENTOS.

Para el corte de las secciones de 60 cm, para construir las uniones se utilizó una Acolilladora marca Protech 10", que consta de una sierra que se puede rotar en dos direcciones, y una plataforma sobre la cual se puede apoyar y ajustar el elemento a cortar.

ELABORACIÓN DE LOS BOCA DE PESCADO.

DISPOSITIVO DRILL BP.

FUNCIÓN:

El dispositivo **DRILL BP**, surgió como una solución práctica, precisa y rápida para la elaboración del "boca de pescado", que es uno de los tipos de entalladuras utilizadas en la unión de piezas de bambú. Por medio del mecanismo creado durante el desarrollo del proyecto, encontramos que dichas Boca pescado garantizaban una mayor área de contacto entre los elementos que constituían la unión, y cuyo acabado era mucho mejor que por el método tradicional para elaborar dichas incisiones.



FOTO 44 COMPARACION BOCA PESCADO TRADICIONAL Y CON EL DISPOSITIVO **DRILL BP**

En la fotografía anterior, se observa la diferencia entre un boca pescado elaborado con el dispositivo (izquierda) y uno elaborado tradicionalmente con formón (derecha).

ELEMENTOS .

Los materiales que se utilizaron para la elaboración de este dispositivo fueron los siguientes:

1. Lija de banda # 60 de 6".
2. Un cilindro de madera de $\text{Ø}12$ cm.35cm de largo
3. Tornillos golosos.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.

Básicamente, el equipo que se utilizó fue un torno de carpintería para instalar el cilindro, en el cual se colocaba dos lijas de banda, para poder elaborar las entalladuras. Dicho dispositivo se muestra en la siguiente imagen:



FOTO 45 REALIZACION DEL BOCA PESCADO

Las herramientas que se utilizaron para la construcción de dicho dispositivo fueron los siguientes:

1. Una sierra sinfín.
2. Un torno de mesa para madera
3. Una sierra de mesa
4. Un taladro de árbol
5. Una acolilladora
6. Destornilladores

OPERACIÓN.

Para la manipulación del dispositivo es necesario utilizar ciertos elementos de seguridad puesto que estamos trabajando con un material que arroja muchas partículas que son nocivas para la salud. Estos elementos son los siguientes:

1. Una mascarilla, para evitar inhalar las partículas muy finas que se producen, en el momento de lijar la sección.

2. Una careta para la protección de los ojos, ya que las partículas afectan a los ojos y es posible que se desprendan astillas de la guadua.
3. Unos guantes para proteger las manos.

TÉCNICA PARA LA ELABORACIÓN DE LAS ENTALLADURAS O BOCA PESCADO

Dentro del proceso de elaboración de las entalladuras fue necesario la intervención de dos operarios, ya que se necesitaba uno para sostener la sección a lijar mientras que el otro controlaba el proceso. La persona que controlaba el proceso, básicamente debía verificar el ángulo por medio de una plantilla de madera cuya inclinación correspondía a la que se quería conseguir con el elemento.

RENDIMIENTO.

El tiempo que tomaba la hechura de cada una de las incisiones oscilaba entre 5 y 10 minutos, según el espesor de la sección y el estado en que se encontraba las lijas en ese momento.

Dentro de todo trabajo, ya sea de laboratorio o de campo, es normal que los equipos y herramientas presentan un cierto desgaste por su uso continuo. Y en este caso específico donde se utilizó la lija para obtener las entalladuras no fue la excepción, puesto que teníamos que reemplazarlas cada 10 o 20 usos de acuerdo a los espesores de la guadua.

ANEXO 3

PLANOS MONTAJE

