

ANÁLISIS DEL EFECTO DE DOS DIFERENTES TIPOS DE RELLENO EN LA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN FIBRAS DE LA
Guadua angustifolia kunth

PAULA ROCIO ZAMORA RUEDA
CARLOS LEONARDO SANABRIA SANDOVAL

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016

ANÁLISIS DEL EFECTO DE DOS DIFERENTES TIPOS DE RELLENO EN LA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN FIBRAS DE LA
Guadua angustifolia kunth

PAULA ROCIO ZAMORA RUEDA
CARLOS LEONARDO SANABRIA SANDOVAL

TRABAJO DE GRADO COMO OPCIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

ASESOR DISCIPLINAR
ING. MATEO GUTIERREZ GONZALEZ

ASESOR METODOLOGICO
LIC. LAURA CALA CRISTANCHO

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Bogotá, 14 diciembre 2016

DEDICATORIAS

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor, para tan grande logro.

A mi madre Lucy Sandoval.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por el esfuerzo económico para ayudarme a tener este gran logro, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Juan Carlos Sanabria.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y continuar luchando por lo que se quiere y por su gran amor.

A mi esposa María Maldonado.

Por darme el apoyo diario, la motivación para la culminación de tan grande logro, pero más que nada por su gran amor que me brindo y me motivo para la culminación de la carrera, te amo mucho.

A mis hermanas Monica Sanabria S. y Astrid Sanabria S.

Por estar conmigo y apoyarme siempre, las quiero mucho.

A mi sobrino Ian Díaz Sanabria

Porque es como si fuera mi hijo y quien me ha motivado para crecer como persona y lo que más quiero es que me vea como un ejemplo, para que siga adelante y que en un futuro sea una gran persona profesional.

A mis maestros.

Por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales, por las enseñanzas diarias que nos brindaron para ser mejores profesionales.

CARLOS LEONARDO SANABRIA SANDOVAL

A Dios.

Por darme la oportunidad de vivir este momento y por la sabiduría, fuerza e inteligencia necesaria para llegar a esta meta.

A mi madre Sandra Rueda.

Por ser ese gran ejemplo de mujer, esa mujer que no se rinde, que llega a donde quiera llegar, que sobrepasa cada uno de los obstáculos que le presenta la vida y tiene amor y bondad en su mirar.

A mi hijo Geronimo Zamora.

Por ser mi motor de vida, por darme la valentía y enseñarme que nada es más fuerte que yo, por tanto tiempo de espera para terminar de cumplir un sueño, por estar a conmigo incondicionalmente y por llegar en el momento más indicado.

A mi hermano Juan Esteban Zamora.

Por acompañarme en cada paso y por demostrar que la disciplina es el mayor aliado para cumplir los sueños.

A mi tía Constanza Zamora.

Por ser mi madre, tía, hermana, amiga, cómplice, compañera y ejemplo; por levantarme cuando he caído y por estar a mi lado en cada paso de mi vida.

A mis amigos Fabian Pinzón.

Por acompañarme en este proceso de aprendizaje y crecimiento, y por el apoyo, motivación y cariño que me brinda y hace de mí una mejor persona.

A mis maestros.

Por compartir conmigo sus conocimientos y darme los fundamentos para ser una excelente profesional.

PAULA ROCIO ZAMORA RUEDA

AGRADECIMIENTOS

Damos las gracias primeramente a Dios por darnos la oportunidad de llegar a este punto de nuestras vidas, por darnos a nuestras familias y amigos quienes han sido un apoyo incondicional para nuestras vidas y confiar en nuestras capacidades. También queremos agradecer a los docentes que estuvieron al frente de nosotros dirigiendo nuestros pasos ingeniero Mateo Gutierrez y licenciada Laura Cala, adicionalmente a los laboratoristas de la universidad La Gran Colombia por su ayuda y colaboración. Por ultimo pero no menos importante a las ingenieras Sofia Andrade y Caori Takeuchi, que con sus conocimientos y experiencias relacionadas con este trabajo nos dieron las bases para que este fuera realidad.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
RESUMEN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. OBJETIVOS.....	16
4. ANTECEDENTES.....	17
5. MARCOS REFERENCIALES	20
5.1. MARCO CONCEPTUAL.....	20
5.1.1. <i>Guadua angustifolia kunth</i>	20
5.1.2. <i>Materiales de relleno</i>	22
5.2. MARCO JURÍDICO.....	23
5.3. MARCO TEÓRICO.....	24
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
6.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	29
6.1.1. <i>Línea primaria</i>	29
6.1.2. <i>Línea secundaria</i>	29
6.1.3. <i>Sublínea</i>	29
6.4. DISEÑO MUESTRAL.....	31
6.4.1. <i>Operacionalización de variables</i>	31
6.4.2. <i>Muestra</i>	33
6.5. FASES DE INVESTIGACIÓN.....	34
6.6.1. <i>Materiales predeterminados</i>	35
6.6.2. <i>Equipos</i>	37
7. RESULTADOS.....	38
7.1. DEFINICIÓN DE LOS MATERIALES DE RELLENO	38
7.1.1. <i>Mezcla 1: mortero + aditivo expansivo</i>	38
7.1.2. <i>Mezcla 2: poliuretano + guadua</i>	39
7.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS COMO RELLENO.....	40
7.3. DEFINICIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN LOS CANUTOS DE LA GUADUA CON LOS DIFERENTES TIPOS DE RELLENO 41	
7.3.1. <i>Resultados mortero y sus tipos de mezcla</i>	42
7.3.2. <i>Resultados poliuretano y sus tipos de mezcla</i>	44
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
8.1. MORTERO	47
8.1.1. <i>Guadua</i>	47
8.1.2. <i>Guadua y perno</i>	48

8.1.3.	<i>Guadua y zuncho</i>	49
8.1.4.	<i>Guadua, perno y zuncho</i>	49
8.2.	POLIURETANO	50
8.2.1.	<i>Guadua</i>	50
8.2.2.	<i>Guadua y perno</i>	51
8.2.3.	<i>Guadua y zuncho</i>	51
8.2.4.	<i>Guadua, perno y zuncho</i>	52
9.	CONCLUSIONES	56
	BIBLIOGRAFÍA	57

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Partes de la Guadua.	21
Ilustración 2 Esfuerzo máximo Probeta vacía.	25
Ilustración 3 Sección transversal.....	26
Ilustración 4 Diagrama de Resistencia a Tracción Indirecta	27
Ilustración 5 Distribución de probetas	28
Ilustración 6 Guadua con Zuncho metálico	36
Ilustración 7 Guadua con Perno.....	36
Ilustración 8 Guadua con Perno y Zuncho	36
Ilustración 9 Versa-Tester	37
Ilustración 10 Trozos de Guadua	40
Ilustración 11 Montaje para Ensayos de Laboratorio.....	41
Ilustración 12 Mortero	47
Ilustración 13 Guadua rellena con Mortero.....	48
Ilustración 14 Guadua rellena con Mortero y reforzada con Perno	48
Ilustración 15 Guadua + Mortero + Zuncho	49
Ilustración 16 Guadua + Mortero + Perno + Zuncho.....	50
Ilustración 17 Caracterización Poliuretano	50
Ilustración 18 Guadua + Poliuretano	51
Ilustración 19 Guadua + Poliuretano + Perno.....	51
Ilustración 20 Guadua + Poliuretano + Zuncho	52
Ilustración 21 Guadua + Poliuretano + Perno + Zuncho.....	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades mecánicas de la guadua.	17
Tabla 2 Resistencia a la compresión perpendicular Probetas sin mortero.....	18
Tabla 3 Resistencia a la compresión perpendicular Probetas rellenas de mortero (método 1)	18
Tabla 4 Resistencia a la compresión perpendicular Probetas rellenas de mortero (método 2)	18
Tabla 5 Resultados promedios del ensayo a compresión paralela y perpendicular a la fibra, en canutos de Guadua angustifolia kunth.	19
Tabla 6 Esfuerzos admisibles de la Guadua angustifolia (MPa)	24
Tabla 7 Operacionalización de variables.	31
Tabla 8 Matriz de Ensayos.	33
Tabla 9 Fases de investigación.	34
Tabla 14 Máxima carga, esfuerzo máximo a compresión y módulo de elasticidad ...	39
Tabla 15 Resistencia promedio a tracción Indirecta de los materiales de relleno.	40
Tabla 16 Esfuerzo de Guadua rellena con Mortero	42
Tabla 17 Esfuerzo de Guadua rellena con Mortero y reforzado con Perno.....	42
Tabla 18 Esfuerzo de Guadua rellena con Mortero y reforzado con Zuncho	43
Tabla 19 Esfuerzo de Guadua rellena con Mortero y reforzado con Perno y Zuncho	43
Tabla 20 Esfuerzo de Guadua rellena con Poliuretano.....	44
Tabla 21 Esfuerzo de Guadua rellena con Poliuretano y reforzado con Perno	45
Tabla 22 Esfuerzo de Guadua rellena con Poliuretano y reforzado con Zuncho.....	45
Tabla 23 Esfuerzo de Guadua rellena con Poliuretano y reforzado con Perno y Zuncho	46
Tabla 24 Resistencia a la compresión perpendicular, probetas con relleno (promedio)	53
Tabla 25 Resistencia a la compresión perpendicular, probetas con relleno y Perno (promedio)	54
Tabla 26 Resistencia a la compresión perpendicular, probetas con relleno y Zuncho (promedio)	54
Tabla 27 Resistencia a la compresión perpendicular, probetas con relleno, y perno y zuncho (promedio).....	54

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1 Resistencia Atracción Indirecta (T)	40
Grafica 2 Resistencia (KPa) de Mortero y tipos de mezcla.....	43
Grafica 3 Resistencia (KPa) de Poliuretano y tipos de mezcla	46
Grafica 4 Comparativo entre Mortero y Poliuretano con los tipos de mezcla.....	55

INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica la *Guadua angustifolia* kunth ha sido utilizada en el ámbito de la construcción; sin embargo, ha sido limitado en su uso perpendicular a las fibras. Aunque este material no es nuevo, la documentación con respecto a su comportamiento estructural es mínima. Diferentes autores han realizado investigaciones relacionadas con sus propiedades físico-mecánicas, buscando mejorarlas.

Teniendo en cuenta que la información registrada para el uso de materiales de relleno en los canutos de la guadua es aún más escasa, se encuentran algunas investigaciones acerca del tema. Estas son normalmente encontradas para mejorar la resistencia a compresión paralela a las fibras de la guadua, aún con estas investigaciones se siguen presentando inconsistencias entre los materiales utilizados y las paredes de la guadua.

Para esta investigación se evaluó la resistencia a compresión perpendicular a las fibras de la guadua, buscando dos materiales de relleno para aumentar su capacidad a la resistencia, con el fin de que pueda ser empleada en la construcción de pórticos. En una primera fase de experimentación se ensayaron 18 probetas para la caracterización de los materiales de relleno y la guadua vacía. En una segunda fase se ensayaron 24 probetas rellenas con el primer material seleccionado adicionando cada 6 probetas un reforzamiento con pernos, zuncho y en conjunto (perno – zuncho). En la tercera fase se realizan la misma cantidad de ensayos realizados en la primera fase, con el segundo material de relleno seleccionado, a estos también se les adicionaron los refuerzos ya mencionados. Finalmente se realiza un comparativo entre las probetas ensayadas en esta investigación.

RESUMEN

En este trabajo se estudió el comportamiento a la resistencia perpendicular a las fibras de la *Guadua angustifolia* kunth. Se usaron varillas roscadas de 3/16" las cuales se denominaron como pernos, en forma transversal y zuncho metálico como reforzamiento adicional, y dos diferentes tipos de material como relleno, estos fueron una mezcla entre mortero y un aditivo expansivo y poliuretano con trozos de guadua. Se ensayaron dieciocho probetas para la caracterización de cada uno de los materiales, mortero, poliuretano y guadua vacía; luego se sometieron a compresión veinticuatro probetas rellenas con mortero y cada seis se adiciona el refuerzo (perno, zuncho y en conjunto); por último se ensayaron veinticuatro probetas rellenas con poliuretano, y se adiciona la misma cantidad de refuerzos como en la fase anterior. Estos ensayos se realizaron con el fin de hacer una comparación entre los materiales de relleno seleccionados y de esta forma determinar cuál es el más óptimo para mejorar la resistencia de la guadua de forma perpendicular a las fibras.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La *Guadua angustifolia* kunth es un material de construcción que ha sido utilizado desde tiempos inmemorables. En los últimos años, sus condiciones de conservación y su óptima resistencia lo transformaron en un sustituto ideal de la madera. Con el beneficio adicional de que es ecológico y sostenible.

La guadua presenta en su estructura fibras a lo largo de todo su tallo. Dichas fibras al ser sometidas a compresión transportan la fuerza recibida en el sentido que esta se encuentre; es decir, que si la guadua se encuentra en sentido vertical y es sometida a compresión paralela, sus fibras transportarán las fuerzas en este mismo sentido contrayendo de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba; por otro lado, si se está utilizando en sentido horizontal y se somete a compresión perpendicular las fuerzas serán transportadas en este sentido, de adentro hacia afuera, lo cual hace que la guadua presente fracturas y quiebres en el punto expuesto a la fuerza; este acontecimiento es causado por el vacío de la guadua.

En la actualidad se han realizado investigaciones sobre diferentes materiales de relleno en la guadua con el fin de mejorar su capacidad a compresión perpendicular, lo que ha llevado a utilizar materiales tales como el mortero y el acero como refuerzo adicional. Aunque estos materiales han presentado aportes significativos a las mejorías que se desean tener, no son lo suficiente para que su uso sea el más adecuado, dado que al momento de introducir el mortero en los canutos y realice su proceso de fraguado, este se contrae generando un espacio entre las paredes de la guadua y el relleno, disminuyendo la adherencia entre ellos; para disminuir los espacios generados se ha optado por utilizar acero al interior de la guadua, según los resultados que se obtuvieron de esta mezcla de mortero y acero, se pudo determinar que el acero hace que el peso del conjunto de todo estos materiales incluyendo la guadua aumente y esta pierda su flexibilidad¹.

El material más adecuado para realizar el relleno de la *guadua* debe ser un material moldeable y fácil de manejar para que de esta forma su implantación dentro de los canutos de la *guadua* sea menos complejo, que tenga una excelente adherencia con las paredes de la misma, mejore la resistencia mecánica.

Por lo tanto se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿CUÁL MATERIAL DE RELLENO ES EL MÁS ÓPTIMO PARA MEJORAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR DE LA *Guadua angustifolia* kunth?

¹ ANDRADE PARDO, Sofía. Calificación ante cargas dinámicas de una conexión entre una columna de *guadua angustifolia* y su cimentación. Trabajo de grado Ingeniera. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería julio Garavito. Facultad de Posgrado en Ingeniería Civil, 2013. 179 h.

2. JUSTIFICACIÓN

Con esta investigación se desea encontrar un material de relleno para los canutos de la *Guadua angustifolia* Kunth que brinde mayor resistencia a la compresión perpendicular a las fibras de esta, teniendo en cuenta que este material pierde resistencia debido a que es vacía en su interior y cuando se ejercen fuerzas en sus conexiones la guadua tiende a fracturarse y a no contrarrestar las fuerzas perpendiculares como se desearía en una estructura. El material que se pretende encontrar debe tener ciertas características específicas como: rigidez, durabilidad, adherencia entre el material de relleno y las paredes de la *guadua*; la resistencia a compresión paralela y perpendicular, y debe ser un material ligero.

Esta investigación tiene gran importancia ya que se busca aumentar la resistencia a compresión perpendicular a las fibras de la *Guadua angustifolia* kunth, para no tener ningún tipo de restricción al utilizarla de cualquier forma o posición, evtando su aplastamiento. Adicionalmente cabe recalcar que es reducida la información sobre este tema y que es necesario que la ingeniería realice avances significativos en este campo de investigación, para poder aprovechar de mejor manera este material de construcción.

Con el fin de obtener los resultados deseados, se tendrá en cuenta las especificaciones de la norma NTC-5525 la cual hace referencia a los tipos de ensayos que se le pueden realizar a la guadua para calcular su resistencia mecánica. También se utilizaran algunos de los parámetros expuestos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente de 2010 (NRS 10) Titulo G, donde se da enfoque a la *guadua* y a las propiedades que tiene para su uso como material de construcción, dando gran importancia debido a que en el país se encuentra en varias zonas y con ella se pueden realizar innumerables y obras de infraestructura.

3. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el efecto de dos diferentes tipos de materiales para rellenar los canutos de la *Guadua angustifolia* kunth que permita mejorar la resistencia mecánica a la compresión perpendicular en sus fibras.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Definir un material de relleno para los canutos de guadua que de acuerdo a sus antecedentes sea adecuado para resistir esfuerzos de compresión.

Determinar la resistencia mecánica a la compresión inconfiada en cada uno de los materiales utilizados individualmente.

Definir la resistencia a la compresión perpendicular en los canutos de guadua con los diferentes tipos de rellenos seleccionados.

Establecer comparaciones entre la resistencia y el proceso constructivo para los canutos de guadua rellenos con diferentes tipos de material.

4. ANTECEDENTES

- **Patricia Luna, Jorge Lozano y Caori Takeuchi**, en su investigación “DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE RESISTENCIA PARA GUADUA AUNGUSTIFOLIA”², hacen referencia a los métodos utilizados para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* kunth, al ser sometida a corte, compresión, tensión, torsión y flexión paralela y perpendicular a las fibras, basando sus resultados en la relación de Poisson y los módulos de elasticidad longitudinal, circunferencial y el módulo de rigidez.
- **Fabián Augusto Lamus Báez y Caori Patricia Takeuchi Tan** realizan un artículo para la revista Épsilon titulado “DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ DE UN TIPO DE CONEXIÓN VIGA-COLUMNA EN GUADUA ANGUSTIFOLIA”³, en el cual presentan las propiedades mecánicas correspondientes a la guadua.

Tabla 1 Propiedades mecánicas de la guadua.

Parámetro	Vr. Promedio	Vr. Característico
Resistencia a la compresión paralela a la fibra	54.80 Mpa	36.60 Mpa
Resistencia a la tracción paralela a la fibra	146.19 Mpa	107.90 Mpa
Resistencia al corte paralelo a la fibra	7.47 Mpa	4.39 Mpa
Resistencia a la tracción perpendicular a la fibra	1.05 Mpa	0.46 Mpa
Módulo de elasticidad longitudinal (compresión)	14164.10 Mpa	-
Módulo de elasticidad longitudinal (flexión)	15450.20 Mpa	-
Módulo de elasticidad circunferencial	668.51 Mpa	-
Módulo de elasticidad a cortante	774.72 Mpa	-

Fuente: Lamus [2008]

- **Sofía Andrade Pardo**, ha señalado las características de la *Guadua angustifolia* kunth al ser sometida a compresión paralela y perpendicular a las fibras en su tesis “CALIFICACIÓN ANTE CARGAS DINÁMICAS DE UNA CONEXIÓN ENTRE UNA COLUMNA DE GUADUA ANGUSTIFOLIA Y SU CIMENTACIÓN”⁴, básicamente este trabajo especifica las conexiones entre guaduas, pero para llegar a los resultados obtenidos la ingeniera realizó diferentes ensayos a la guadua, entre ellos tracción, compresión y corte tanto paralelo y perpendicular a las fibras de la misma. Adicionalmente menciona el

² *Determinación experimental de valores característicos de resistencia para Guadua Angustifolia [en línea]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2014 - [Citado 5 Abril. 2016]. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2014000100007*

³ *LAMUS BAEZ, Fabián. TAKEUCHI TAN, Caori. Determinación de la rigidez de un tipo de conexión viga-columna en guadua angustifolia. diciembre de 2009. N° 13, p. 193204*

⁴ *ANDRADE PARDO, Sofía. Calificación ante cargas dinámicas de una conexión entre una columna de guadua angustifolia y su cimentación. Trabajo de grado Ingeniera. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería julio Garavito. Facultad de Posgrado en Ingeniería Civil, 2013. 179 h.*

mortero como material de relleno para los canutos, cinta metálica y varilla roscada como herramienta de apoyo.

Luego de realizar los diferentes ensayos que se tratan en esta tesis se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2 Resistencia a la compresión perpendicular Probetas sin mortero

	PROMEDIO	DESV. EST.	C.V
PROPIEDAD	[MPa]	[MPa]	%
Resistencia a la compresión perpendicular Probetas sin mortero	10,68	3,66	34,27%

Fuente: Andrade [2013]

Por otra parte se realizó el mismo ensayo pero con los canutos rellenos de mortero sus resultados fueron:

Tabla 3 Resistencia a la compresión perpendicular Probetas rellenas de mortero (método 1)

	PROMEDIO	DESV. EST.	C.V
PROPIEDAD	[MPa]	[MPa]	%
Resistencia a la compresión perpendicular Probetas rellenas de mortero (método 1)			
Probetas sin zuncho	674,40	261,60	38,79%
Probetas con zuncho	765,10	220,40	28,81%

Fuente: Andrade [2013]

Luego se adicionó un zuncho metálico en forma de abrazadera, y los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Tabla 4 Resistencia a la compresión perpendicular Probetas rellenas de mortero (método 2)

	PROMEDIO	DESV. EST.	C.V
PROPIEDAD	[MPa]	[MPa]	%
Resistencia a la compresión perpendicular Probetas rellenas de mortero (método 2)			
Probetas sin zuncho	13,55	4,77	35,20%
Probetas con zuncho	15,24	6,04	39,63%

Fuente: Andrade [2013]

- **Luis Octavio González Salcedo, Camilo Ernesto Giraldo Escandón y Janeth torres Agredo** realizan un artículo para la revista colombiana de materiales Medellín-Colombia, titulado “EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CANUTOS DE GUADUA RELLENOS CON MORTERO”⁵, donde señalan una comparación entre diferentes tipos de mezcla de mortero utilizado como material de relleno para los canutos de la guadua, al ser sometida a compresión paralela y perpendicular a las fibras.

Tabla 5 Resultados promedios del ensayo a compresión paralela y perpendicular a la fibra, en canutos de *Guadua angustifolia* kunth.

Tipo de Mortero	Compresión paralela [Mpa]	Compresión perpendicular [Mpa]
Sin mortero	54.38	0.27
Mezcla 1	75.39	26.52
Mezcla 2	84.91	42.18
Mezcla 3	43.97	26.85

GONZALEZ SALCEEDO, Luis. GIRALDO ESCANDON, Camilo. TORRES AGREDO, Janeth. Evaluación de la resistencia a la compresión en canutos de guadua rellenos con morteros. En: Congreso internacional de materiales Medellín – Colombia. 2014. N° 5, p. 30-34

Dónde:

- Mezcla 1= cemento – arena.
- Mezcla 2= cemento – ceniza de bagazo de Caña – arena.
- Mezcla 3= cemento – polvo de ladrillo de arcilla cocida.

⁵ GONZALEZ SALCEEDO, Luis. GIRALDO ESCANDON, Camilo. TORRES AGREDO, Janeth. Evaluación de la resistencia a la compresión en canutos de guadua rellenos con morteros. En: Congreso internacional de materiales Medellín – Colombia. 2014. N° 5, p. 30-34

5. MARCOS REFERENCIALES

5.1. MARCO CONCEPTUAL

Esta investigación busca un material de relleno para los canutos de la *Guadua angustifolia* kunth la cual ha sido utilizada como material de construcción, debido a que presenta variedad de beneficios como lo son: sus condiciones de conservación, es un material ecológico, 100% sustentable por su alta velocidad de renovación en la naturaleza, está clasificado como una madera de semi-dura a dura lo cual le permita tener una buena resistencia en sus fibras.

El arquitecto colombiano Simón Vélez, uno de los máximos referentes a nivel mundial en el uso de materiales naturales en la construcción, definió a la *Guadua* como un material sismo-indiferente porque se adecua tan bien a un sismo que casi se podría decir que le son indiferentes⁶.

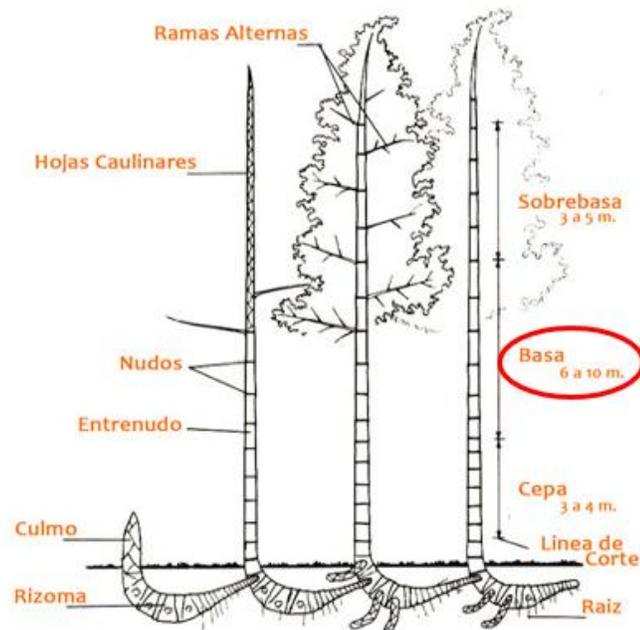
5.1.1. *Guadua angustifolia* kunth

Es el bambú endémico de América y se considera como nativo de Colombia, Venezuela y Ecuador, también ha sido introducida a México y varios países centroamericanos. Es un bambú gigante, espinoso, con culmos erectos y huecos que alcanzan alturas hasta de 25 metros y diámetros entre 10 y 25 centímetros. Sus entrenudos tienen paredes hasta de 2 centímetros de espesor⁷.

⁶ TENECHE, Gustavo. Acero vegetal guadua bambú Colombia. [Citado 9 mar., 2016]. Disponible en: http://bambuogadua.com/index.php?option=com_content&view=article&id=133:construccion-con-bambu&catid=1:latest-news

⁷ TAKEUCHI, Caori. Comportamiento estructural de la guadua. En: Universidad Tecnológica de Pereira. Memorias Simposio Internacional Guadua, Septiembre 27-Octubre 2, 2004. pág. 214-227 Pereira, Colombia

Ilustración 1 Partes de la Guadua.



BAMBUSA.es. (2016). *Guadua angustifolia kunth: Cañas de Guadua [Figura]*. Disponible en: <http://bambusa.es/bambu-caracteristicas/bambu-guadua/>

Una de las principales virtudes de la guadua en la construcción es el bajo costo resultante, por ello ha sido un elemento constructivo; es un material autóctono y de fácil manejo en autoconstrucción, cuyo cultivo tecnificado trae como consecuencia una larga lista de beneficios medioambientales⁸.

Aunque la *Guadua angustifolia kunth* ha sido considerada como un buen material en la construcción debido a que posee fibras longitudinales fuertes, es de gran tamaño, con altura hasta de 30 metros y diámetros hasta de 22 cm, presenta una alta relación resistencia/peso, con valores promedios de resistencia a la compresión que fluctúan entre 350 kg cm² y 500 kg cm² y de gran flexibilidad, aun presenta déficit en su resistencia en la conexiones y en sus resistencia a compresión perpendicular y aun se sigue considerando un material “silvestre”.

Para esta investigación fue utilizada la basa como se presenta señalado en la ilustración 1, realizando probetas con, diámetro exterior de 10 a 13 centímetros y con una longitud correspondiente al doble del diámetro exterior, es decir entre 20 y 26 centímetros sin incluir sus nudos⁹. Se debe tener en cuenta que la humedad de la

⁸ CANO, M., LOPEZ, C., STAMM, J. *Expansión holocénica de la Guadua en el Cauca Medio: cambios climáticos, eventos volcánicos e impactos culturales. Simposio Internacional de la Guadua. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 2004*

⁹ LAMUS BAEZ, Fabián, ANDRADE PARDO, Sofía y TORRES CASTELLANOS, Nancy. *Rigidez de una conexión de columna – cimentación para estructuras de Guadua angustifolia kunth [en línea]*. Bogotá, 2014. [citado 6 de abril de 2016]. Disponible en: <http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/view/2513>. ISSN: 1692-1259

guadua fue lo más mínima posible, sabiendo que este material tiende a contraerse a medida que va perdiendo humedad.

5.1.2. Materiales de relleno

A continuación se presentan los diferentes materiales utilizados como relleno en los culmos de la *Guadua angustifolia* kunth.

- **Mortero:** mezcla natural o artificial cuyas características constructivas esenciales son su plasticidad inicial, que permite trabajarla y moldearla según la necesidad, y su posterior endurecimiento y aumento de la resistencia mecánica¹⁰; este material se ha utilizado en varias investigaciones relacionadas con el tema, aplicado en una relación de 1:4 entre cemento Portland y Arena de Río.
- **Aditivo expansivo (Intraplast Z):** aditivo en polvo para lechadas y morteros, que produce una expansión en el volumen húmedo¹¹. Su funcionalidad es de expandir las partículas del mortero para que este en el momento de fraguado no se comprima en una proporción considerable.

La distribución de este aditivo es exclusiva en el país de México, por lo cual no se podrá utilizar en esta investigación.

- **Aditivo expansivo (ViscoBond):** aditivo líquido concentrado, diseñado para mejorar la adherencia de productos cementosos tanto en aplicaciones interiores como exteriores. Mejora la impermeabilidad, la trabajabilidad, la resistencia a tracción, a flexión y la adherencia tanto de morteros como de concretos¹².

Su distribución se encuentra disponible en el país.

- **Poliuretano:** es un material plástico que se presenta en diversas formas, como aislante, adhesivo o espuma. Puede fabricarse para que sea rígido o flexible¹³.

Cuando se dice que el poliuretano es un material plástico se refiere a que este pertenece al grupo de los polímeros (compuesto orgánico, de origen

¹⁰ UNIVERSIDAD DE GRANA .TEMA 4: Morteros de Construcción y Ornamentación. [Citado 31 ago., 2016]. Disponible en: <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA04.htm>

¹¹ ZIKA S.A. Intraplast Z. [Citado 31 ago., 2016]. Disponible en: gtm.sika.com/.../aditivo-expansor-plasticante-lechadas-morteros-intraplast-z.pdf

¹² ZIKA S.A. ViscoBond. [Citado 31 ago., 2016]. Disponible en: https://col.sika.com/dms/getdocument.get/...594b.../co-ht_Sika%20ViscoBond.pdf

¹³ Polyurethanes. ¿Qué es el Poliuretano?. [Citado 31 ago., 2016]. Disponible en: <http://www.polyurethanes.org/es/que-es>

natural o sintético, con alto peso molecular, formado por monómeros¹⁴), fabricados a partir de la reacción de diisocianatos de tolueno, que se conoce como la materia prima para la producción de espumas de poliuretanos¹⁵.

La densidad del producto se determinada debido a la cantidad del agente expansivo utilizado y la flexibilidad o rigidez que se presenta por el tipo de polioles y diisocianatos empleados.

- **Aserrín:** residuo que se desprende de cualquier tipo de madera al ser cortada o se asierrada. Este es uno de los residuos forestales de mayor impacto ambiental, como agente contaminante del suelo y del agua. Ya que contribuye a la propagación de hongos (*Schizophyllum* y *Polyporus*) que provocan la descomposición de árboles moribundos o muertos con un contenido de humedad relativamente alto¹⁶.
- **Resina:** la resina compuesta, proporciona durabilidad y resistencia a la fractura de rellenos los cuales soportan una presión moderada de tensión constante.

Las resinas compuestas cuestan más que la amalgama. Algunos estudios han mostrado que los rellenos compuestos pueden ser menos duraderos y tienen que ser reemplazados con mayor frecuencia¹⁷.

5.2. MARCO JURÍDICO

Colombia hace parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, una de las zonas con alta actividad sísmica. Es a partir de esta premisa, Colombia cuenta con un reglamento de Diseño y Construcción Sismoresistente (NSR-10), el cual se enfoca principalmente en las edificaciones hechas en concreto, acero, ladrillo, madera y guadua. Aunque estos dos últimos materiales se adicionaron luego de realizarles diferentes análisis a la resistencia mediante métodos de esfuerzos admisibles (tabla 3), lo cual aportó la iniciativa de modificar el reglamento, autorizando el uso de la guadua y la madera en la fabricación del esqueletos encontrado en el título G “ESTRUCTURAS DE MADERA Y ESTRUCTURAS EN GUADUA”, capítulo G12 “ESTRUCTURAS DE GUADUA”

¹⁴ QUÍMICA GENERAL. Polímeros. [Citado 11 sept., 2016]. Disponible en: <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/82-polimeros.html>

¹⁵ DIISOCIANATO DE TOLUENO (TDI). ¿Qué es el TDI?. [Citado 11 sept., 2016]. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/quimica/tdi>

¹⁶ Nuevo proyecto para utilizar el aserrín de forma ecológica [en línea]. Cuba: Diario de la Juventud Cubana, 2007 – [Citada 11 sept., 2016]. Disponible en: <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2007-07-31/nuevo-proyecto-para-utilizar-el-aserrin-de-forma-ecologica/>. ISSN 1563-8340

¹⁷ MOUTH HEALTHY. Las resinas compuestas. [Citado 11 sept., 2016]. Disponible en: <http://www.mouthhealthy.org/es-MX/az-topics/f/fillings-tooth-colored>

Tabla 6 Esfuerzos admisibles de la *Guadua angustifolia* (MPa)

Flexión	15,0
Tracción	18,0
Compresión Paralela a la Fibra	14,0
Compresión Perpendicular a la	1,4
Corte	1,2

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2010).

Ante la motivación existente, se plantea en el año 2002, la necesidad de iniciar la normalización de la *Guadua angustifolia* en todos los campos, con el fin de mejorar la calidad de sus productos y de sus procesos. Se constituyó el 6 de julio de 2005 en la ciudad de Armenia la Mesa Sectorial de la *Guadua* conformado por gremios, empresarios, organizaciones de trabajadores, entidades de formación y del Gobierno, y funciona como una instancia de concertación para elaborar Normas de Competencia Laboral en las áreas y sub-áreas de desempeño.

A partir de este nuevo movimiento creado para los diseños y construcciones en *Guadua* se iniciaron las normas:

NTC 5301¹⁸ Secado e inmunizado de los culmos de *Guadua angustifolia* kunth.

NTC 5525¹⁹ Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* kunth; dando las especificaciones que se deben tener en cuenta para la preparación de los materiales necesarios y el debido procedimiento para la ejecución en el laboratorio, garantizando y controlando la calidad de los resultados obtenidos.

5.3. MARCO TEÓRICO

En la tesis de la ingeniera Sofía Andrade²⁰ se menciona el ensayo de *tracción perpendicular a la fibra*, el cual se realizó tomando como base la metodología presentada en la Tesis de la Universidad Nacional de Colombia “Resistencia a la Tracción Perpendicular a la Fibra de la *Guadua angustifolia*” realizada por la Ingeniera Cari A. Pacheco. Adicionalmente trata la compresión perpendicular para

¹⁸ ICONTEC INTERNATIONAL. Norma técnica colombiana NTC 5301: preservación y secado del culmo de *Guadua Angustifolia* Kunth [en línea]. Colombia: ICONTEC, 2003. 7 p. [citado 5 abril, 2016]: disponible en: <http://tienda.icontec.org/brief/NTC5301.pdf>

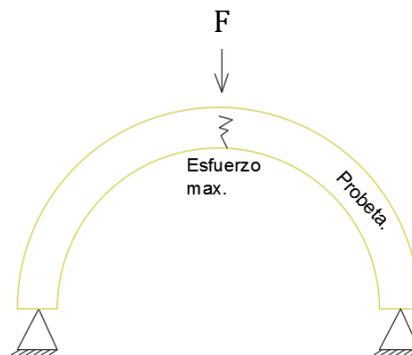
¹⁹ ICONTEC INTERNATIONAL. Norma colombiana NTC 5525: Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua Angustifolia* Kunth. Colombia: ICONTEC, 2007. 22 p.

²⁰ ANDRADE PARDO. *Op. cit.*, p 8.

los canutos sin relleno, basándose en las Guías de diseño de Guadua de la Universidad Nacional de Colombia.

Según la ingeniera Sofía los canutos de la guadua sin relleno pueden ser tomados como una viga curva simplemente apoyada en cada extremo, como lo muestra la ilustración 2. Partiendo de esta premisa se puede decir que al momento de ser sometida a una carga P en su centro esta presentará su esfuerzo máximo en este mismo punto.

Ilustración 2 Esfuerzo máximo Probeta vacía.



Para hallar la resistencia a la compresión perpendicular a la fibra se plantea la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

Ecuación 1

Dónde:

σ = Esfuerzo

M = momento

C = distancia desde el centro hasta la fibra más alejada

I = inercia de la sección respecto al eje x

Teniendo en cuenta que:

- $C = \frac{t}{2}$

Ecuación 2

Donde t hace referencia al espesor de la pared de la guadua.

- $M = \frac{De}{2} \cdot \frac{P}{2}$

Ecuación 3

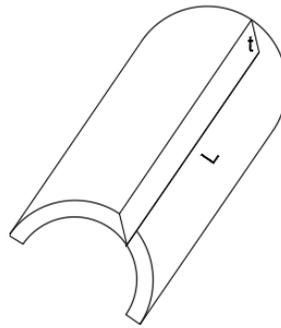
Donde el diámetro externo de la guadua es nombrado con De y P es igual a la fuerza a la cual es sometida.

- $I = \frac{1}{12} \cdot L t^3$

Ecuación 4

Donde L es la base de la sección trasversal y t es la altura de la misma.

Ilustración 3 Sección transversal.



Según la NSR-10, la ecuación de esfuerzo está planteada de la siguiente manera:

$$\sigma_{\varphi} = \frac{M \cdot c}{I}$$

$$\sigma = \frac{\left(\frac{F De}{2} \cdot \frac{t}{2}\right) \left(\frac{t}{2}\right)}{\frac{1}{12} L t^3}$$

Ecuación 5

$$\sigma = \frac{F De t 12}{8 L t^3}$$

Ecuación 6

$$\sigma = \frac{F De 3}{2 L t^2}$$

Ecuación 7

$$\sigma = \frac{3 F_g D_e}{2 L t^2}$$

Ecuación 8

Dónde:

Fg = Fuerza de la guadua.
De = diámetro externo.
L = longitud de la probeta.
t = espesor de la pared de la guadua.

Luego de rellenar los canutos la ingeniera Sofía Andrade²¹, hace referencia a que la guadua presenta un estado de flexión, puesto que entre el material de relleno y las paredes de la guadua sigue existiendo espacios vacíos.

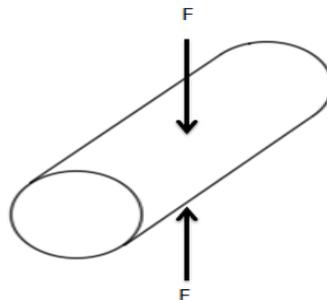
Es por tal razón que la guadua seguiría presentando falla en el punto de esfuerzo máximo.

Es importante encontrar la resistencia a la tracción indirecta de cada uno de los materiales de relleno seleccionados para esta investigación, esta se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2F}{\pi * L * D}$$

Ecuación 9

Ilustración 4 Diagrama de Resistencia a Tracción Indirecta



Donde:

- P = carga máxima aplicada sobre el material
- D = corresponde al diámetro de las muestras
- L = longitud de cada muestra

²¹ ANDRADE PARDO. *Op. cit.*, p 8.

Para determinar la carga máxima aplicada de cada uno de los materiales que se utilizará como relleno, se tuvo en cuenta la siguiente ecuación:

$$P = \frac{T * \pi * L * D_{int}}{2}$$

Ecuación 10

Donde:

- P = carga máxima aplicada
- T = resistencia a la tracción indirecta
- D_{int} = corresponde al diámetro interior de las probetas
- L = longitud de cada probeta

Luego de ser calculada la carga que resiste en los materiales seleccionados como relleno y teniendo la que resiste el conjunto es decir, la guadua más el relleno, se determinó la carga máxima para la guadua

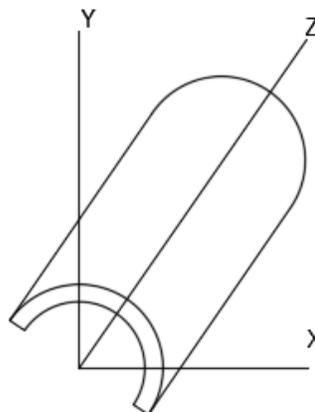
$$F_{GUADUA} = F_{ult\ conjunto} - P$$

Ecuación 11

De esta manera se obtuvo cada una de la variables presentadas en la ecuación 8, y para encontrar el esfuerzo que estaba buscando esta investigación.

Para reconocer cada parte de las probetas de la guadua se tuvo en cuenta el siguiente plano:

Ilustración 5 Distribución de probetas



6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

6.1.1. Línea primaria

“Ingeniería civil con tecnología apropiada para la infraestructura física regional sostenible y el mejoramiento de la calidad de vida”.

6.1.2. Línea secundaria

“Edificaciones y obras civiles con tecnología apropiada para el desarrollo físico regional sostenible, reducción de la vulnerabilidad de las estructuras y mejoramiento de la calidad de vida: EDOC UGC”.

Al momento de ser rellenada la guadua con un material, sin importar cuál sea, hace que se presente mejores condiciones para ser utilizada en las diferentes áreas de la construcción, como por ejemplo en viviendas.

6.1.3. Sublínea

“Materiales para edificaciones y obras civiles.”

La guadua y los diferentes tipos de rellenos que se han utilizado para aumentar su capacidad a la compresión perpendicular, permite mejorar su uso como óptimo material de construcción.

6.2. ENFOQUE METODOLÓGICO

La guadua como ya se mencionó anteriormente ha sido utilizada como material de construcción, pero al ser sometida a compresión perpendicular, presenta fracturas en sus fibras, debido a que su interior es vacío. Para menguar dicha fractura se ha optado por rellenar los canutos de la guadua con diferentes materiales, entre los más usados se puede mencionar el acero y el mortero, con los cuales se busca aumentar su capacidad a este tipo de fuerza. En esta investigación se utilizarán dos tipos de materiales de relleno, los cuales son: 1. mortero con aditivo expansivo y 2. Poliuretano; de lo cual se desprende la hipótesis de que el mortero mezclado con este tipo de aditivo puede aumentar o disminuir la capacidad a la compresión de las fibras, de igual manera podría pasar lo mismo con el poliuretano. Para ello se debe tener en cuenta los ensayos ya realizados y resultados obtenidos en anteriores trabajos de investigación. Por lo mencionado anteriormente, este estudio tiene un enfoque cuantitativo.

6.3. Tipos de investigación

Para llegar a obtener los resultados esperados en esta investigación se realizaron ensayos de laboratorio, en los cuales la guadua y los diferentes materiales de relleno seleccionados fueron sometidos a compresión. Adicionalmente se tuvieron en cuenta los resultados y apreciaciones de investigaciones ya realizadas con fines similares a esta, los cuales fueron comparados para de esta forma llegar al material más adecuado para los rellenos de la Guadua. Por lo tanto, se puede decir que esta investigación es de carácter experimental y comparativo.

6.4. DISEÑO MUESTRAL

6.4.1. Operacionalización de variables

Tabla 7 Operacionalización de variables.

	VARIABLE	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Relleno 1	Relación cemento -arena, para fabricación de mortero.	Relación 1:4 (siendo 1 la cantidad en porcentaje de cemento y 4 la de arena).	m ³
	Relleno 2	Poliuretano.	Espuma expansiva.	m ³
	Temperatura	Cantidad de calor y humedad que tiene los canutos de la guadua.	Bajo esta condición se tendrá en cuenta la humedad de las probetas de ensayo.	°C
	Velocidad	Relación entre distancia que recorre los pesos de la máquina de ensayo y el tiempo que tarda en ello.	Se manipula la velocidad con la que se efectúa la presión perpendicular a cada una de las probetas.	m/s
	Fuerza aplicada en los materiales de relleno.	Carga a la cual serán sometidos los materiales de relleno.	Aplicada por medio de la máquina Versatester que permite someter a compresión los diferentes tipos de materiales.	MPa
DEPENDIENTE	Resistencia a compresión.	Esfuerzo.	Se sometieron los canutos de la guadua a compresión perpendicular a sus fibras para comprobar el esfuerzo.	MPa

Humedad		Medida en el mismo momento que se realiza el ensayo, teniendo en cuenta que la humedad de la guadua depende de la temperatura y el ambiente en donde se vaya a ser utilizada.	%
Inercia	Dimensiones de la probeta.	Para hallar la inercia de tuvo en cuenta la longitud total de la probeta y el espesor de sus paredes.	m ³
Fuerza aplicada en la Guadua.	Carga que soporta la guadua al ser sometida a compresión sin relleno.	Esta fuerza depende de la carga total aplicada en los canutos de la guadua con los diferentes tipos de relleno.	MPa

6.4.2. Muestra

En la siguiente tabla se ilustra el tipo de ensayos realizados para obtener los resultados de esta investigación:

Tabla 8 Matriz de Ensayos.

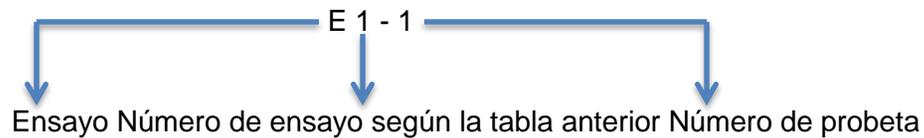
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 6	ENSAYO 7	ENSAYO 8	ENSAYO 9	ENSAYO 10	ENSAYO 11
GUADUA	X			X	X	X	X	X	X	X	X
RELLENO 1		X		X	X	X	X				
RELLENO 2			X					X	X	X	X
ZUNCHO					X		X		X		X
PERNO						X	X			X	X
TOTAL PROBETAS	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
TOTAL PROBETAS ENSAYADAS =											66

Dónde:

Relleno 1= mortero (1:4) y aditivo expansivo.

Relleno 2= poliuretano.

Cada una de las probetas se nombra de la siguiente manera:



De los ensayos ya expuestos se puede decir que esta investigación presenta unas Pruebas no probabilísticas o dirigidas; ya que la elección de cada una de las probetas no depende de una probabilidad sino del proceso de la toma de decisiones siguiendo los diferentes criterios de los investigadores.

6.5. FASES DE INVESTIGACIÓN

Tabla 9 Fases de investigación.

FASES	ACTIVIDADES
<p>1. Definición de los materiales de relleno para los canutos de guadua.</p>	<p>Actividad 1.1. Se realiza la investigación de materiales ya utilizados para este tipo de ensayos.</p> <hr/> <p>Actividad 1.2. Se buscan diferentes fichas técnicas de materiales que aporten a esta investigación.</p>
<p>2. Determinación de la resistencia mecánica a la compresión inconfiada de los materiales utilizados como relleno.</p>	<p>Actividad 2.1. Se realizan probetas con cada uno de los materiales seleccionados, para realizar estas probetas se utilizaran tubos de PVC, para que tomen forma cilíndrica.</p> <hr/> <p>Actividad 2.2. Retiro del tubo de PVC, para obtener las probetas de los materiales.</p> <hr/> <p>Actividad 2.3. Toma de datos del ensayo a la resistencia a compresión inconfiada de cada uno de los materiales (Ensayo 2 y Ensayo 3) ver matriz de ensayos.</p> <hr/> <p>Actividad 2.4. Repetición de la "Actividad 2.3."; seis veces mínimo, por cada ensayo.</p>
<p>3. Definir la resistencia a la compresión perpendicular en los canutos de guadua con los diferentes tipos de rellenos seleccionados.</p>	<p>Actividad 3.1. Realización de probetas de " <i>Guadua angustifolia</i> kunth ".</p> <hr/> <p>Actividad 3.2. Toma de datos del "Ensayo 1", resistencia a compresión perpendicular a las fibras de la Guadua.</p> <hr/> <p>Actividad 3.3. Repetición de la actividad "Actividad 3.2." seis veces mínimo.</p> <hr/> <p>Actividad 3.4. Toma de datos del ensayo a compresión perpendicular a las fibras de la guadua, rellena con cada uno de los materiales seleccionados (Ensayo 4 y Ensayo 8) ver matriz de ensayos.</p>

	<p>Actividad 3.5. Repetición de la actividad "Actividad 3.4." seis veces mínimo, con cada uno de los Ensayos.</p>
	<p>Actividad 3.6. Toma de datos del ensayo a compresión perpendicular a las fibras de la guadua, con cada uno de los materiales de relleno seleccionados y los materiales adicionales (Ensayo 5, Ensayo 6, Ensayo 7, Ensayo 9, Ensayo 10 y Ensayo 11) ver matriz de ensayos.</p>
	<p>Actividad 3.5. Repetición de la actividad "Actividad 3.6." seis veces mínimo, con cada uno de los Ensayos.</p>
<p>4. Comparaciones entre la resistencia y el proceso constructivo para los canutos de guadua rellenos.</p>	<p>Actividad 4.1. Cuadro comparativo de los resultados obtenidos en esta investigación.</p>
	<p>Actividad 4.2. Comparación de los resultados obtenidos en los ensayos realizados en esta investigación versus las investigaciones anteriores a esta.</p>
	<p>Actividad 4.3. Identificación del material más óptimo para rellenar los canutos de la guadua.</p>

6.6. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para esta investigación se tuvo en cuenta datos suministrados por otras investigaciones ya realizadas con el mismo fin, como por ejemplo los datos de la resistencia de la guadua a compresión perpendicular, vacía, rellena con mortero, con materiales adicionales como zuncho y pernos; y se realizan ensayos de laboratorio con los materiales seleccionados por los investigadores.

6.6.1. Materiales predeterminados

La Guadua es el material principal de esta investigación, la cual tendrá aproximadamente unas dimensiones de longitud 20cm, diámetro externo 10cm, en cada uno de los canutos de prueba.

Adicionalmente se utilizarán los siguientes materiales en el contorno de la guadua.

- **Zuncho metálico:** son usados para fijaciones permanentes de objetos al exterior²².

Ilustración 6 Guadua con Zuncho metálico



- **Perno:** en esta investigación se llamar “perno” a un tornillo roscado de 3/16”

Ilustración 7 Guadua con Perno



Ilustración 8 Guadua con Perno y Zuncho



²² Flejes, Hebillas y Máquina Tensor Marca ISO Americana, Acero Inoxidable. ¿Qué es y cómo se usan los zunchos de acero inoxidable? [Citado 31 ago., 2016] Disponible en: <http://www.zunchoschile.cl/1/index.php/articulos/31-que-es-y-como-se-usan-los-zunchos-de-acero-inoxidable>

6.6.2. Equipos

- La máquina que se utiliza para hacer este tipo de ensayos es la “Versa tester”, ubicada en el laboratorio de ensayos en materiales de la universidad La Gran Colombia, en Bogotá.

Ilustración 9 Versa-Tester



7. RESULTADOS

7.1. DEFINICIÓN DE LOS MATERIALES DE RELLENO

7.1.1. Mezcla 1: mortero + aditivo expansivo

7.1.1.1. Mortero

Los culmos fueron rellenos con un mortero de cemento con una relación 1:4 en peso²³.
Compuesto por:

Cemento portland

El cemento es un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua²⁴.

El endurecimiento hidráulico del cemento se debe principalmente a la hidratación de los silicatos de calcio, aunque también pueden participar en el proceso de endurecimiento otros compuestos químicos.

Los cementos están compuestos de diferentes materiales (componentes) que adecuadamente dosificadas mediante un proceso de producción controlado, le dan al cemento las cualidades físicas, químicas y resistencias adecuadas al uso deseado.

Arena de río

Es una arena limpia porque no permite mezclarse con cualquier material extraño, lo cual afectaría la resistencia del concreto. Este material es el que compone y constituye la mayor parte del mortero²⁵, en este caso será aproximadamente el sesenta por ciento (60%).

²³ ANDRADE PARDO. *Op. cit.*

²⁴ IECA Instituto Español del Cemento y sus aplicaciones. *Componentes y propiedades del cemento.* [Abril 6 de 2016]. Disponible en: https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179

²⁵ LA HACIENDA: *Soluciones para la construcción.* [Citado 6 abril, 2016]. Disponible en: <http://www.lahacienda.com.co/productos/arenas-y-gravas/arena-de-rio.html>

7.1.1.2. Aditivo expansivo

Es un aditivo expansivo líquido concentrado, diseñado para mejorar la adherencia de productos cementosos tanto en aplicaciones interiores como exteriores. Mejora la impermeabilidad, la trabajabilidad, la resistencia a tracción, a flexión y la adherencia tanto de morteros como de concretos.²⁶

7.1.2. Mezcla 2: poliuretano + guadua

7.1.2.1. Poliuretano

El poliuretano es un material usado frecuentemente en la industria en múltiples aplicaciones, principalmente como aislante, adhesivo y material de relleno. La espuma de poliuretano se obtiene básicamente a partir de: polioliol y diisocianato, Las espumas rígidas de poliuretano tienen una función importante en la construcción moderna gracias a su estabilidad dimensional y a su excelente relación entre resistencia y densidad²⁷.

La mezcla se realiza en estado líquido, lo que facilita su vertimiento en espacios reducidos. Posteriormente, cuando comienza la polimerización, el material inicia su proceso de expansión y solidificación, presentando una estructura de celdas cerradas que permite que la espuma de poliuretano alcance densidades inferiores a los 30 kg/m³.

Tabla 10 Máxima carga, esfuerzo máximo a compresión y módulo de elasticidad

DOSIFICACIÓN	CARGA ESFUERZO MÓDULO DE ELASTICIDAD		
	N	Mpa	Mpa
P5	7843.5	3.63	881.7
P10	2844.3	1.34	267.5
P15	1907.6	0.91	177.2
P20	1178.6	0.57	90.1
P25	994.3	0.46	56.7

Fuente: LAMUS BAEZ, Fabián. Comportamiento a compresión de materiales compuestos a partir de una matriz de poliuretano rígido.

7.1.2.2. Guadua

Al poliuretano se adicionan trozos de guadua con dimensiones no específicas, ya que son el sobrante de los cortes que se realizan a los troncos de la Guadua.

²⁶ SIKA. Ficha técnica, VISCOBOND [citado abril 14 de 2016]. Disponible en:

https://col.sika.com/dms/getdocument.get/...594b.../co-ht_Sika%20ViscoBond.pdf

²⁷ ASOCIACIÓN TÉCNICA DEL POLIURETANO APLICADO. Guía de ventajas y soluciones de espuma rígida de poliuretano proyectado para aislamiento térmico, acústico e impermeabilización, conforme al CTE. Madrid 2006

Ilustración 10 Trozos de Guadua



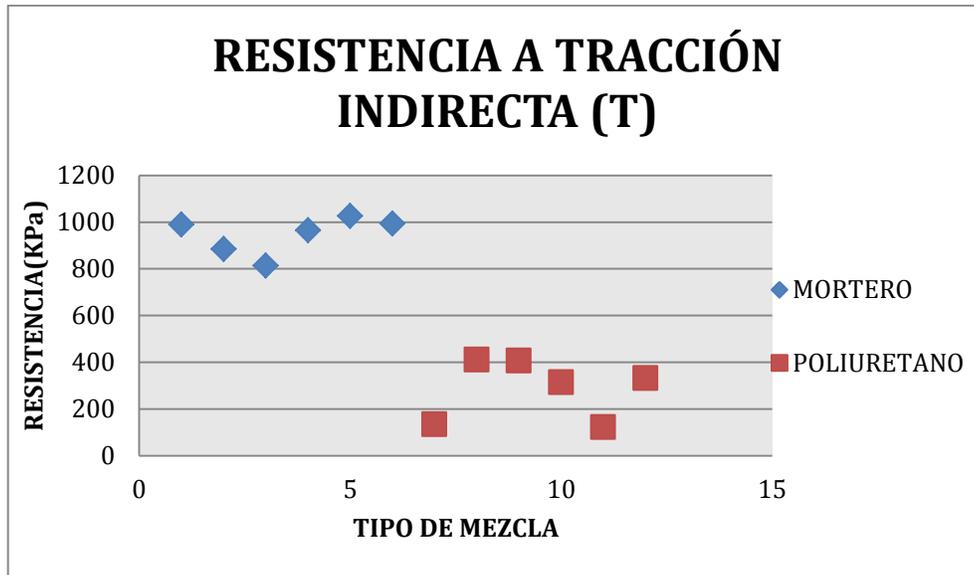
7.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS COMO RELLENO

Luego de realizar el ensayo a tracción indirecta a los materiales seleccionados con relleno para los canutos se obtienen la resistencia promedio de ellos, mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 11 Resistencia promedio a tracción Indirecta de los materiales de relleno.

MATERIALES	RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA (KPa)
Mortero	945.00
Poliuretano	285.86

Grafica 1 Resistencia Atracción Indirecta (T)



7.3. DEFINICIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN LOS CANUTOS DE LA GUADUA CON LOS DIFERENTES TIPOS DE RELLENO

Para cada uno de los ensayos que se realizaron, se hizo un montaje con dos platinas metálicas, para que estas distribuyan la carga a lo largo de las fibras que contiene la guadua. Los ensayos se realizaron a una velocidad de 3 mm/min. Al analizar los resultados, se descartaron algunos resultados que fueron considerados como atípicos, debido a incongruencias en las dimensiones de los materiales, así como a resistencias extremadamente altas, las cuales no coinciden con la bibliografía reportada a la fecha.

Ilustración 11 Montaje para Ensayos de Laboratorio



7.3.1. Resultados mortero y sus tipos de mezcla

Tabla 12 Esfuerzo de Guadua rellena con Mortero

PROBETA	ESFUERZO (σ) (KN/m ²)	ESFUERZO (σ) (MPa)
GUADUA+MORTERO		
E4-1	115187.860	115.2
E4-2	75655.773	75.7
E4-3	49733.294	49.7
E4-4	60048.617	60.1
E4-5	59890.136	59.9
E4-6	109897.158	109.9
	78402.140	78.4

Tabla 13 Esfuerzo de Guadua rellena con Mortero y reforzado con Perno

PROBETA	ESFUERZO (σ) (KN/m ²)	ESFUERZO (σ) (MPa)
GUADUA+MORTERO+PERNO		
E5-1	42079.889	42.1
E5-2	122401.039	122.4
E5-3	106359.681	106.4
E5-4	53752.259	53.8
E5-5	85338.223	85.4
E5-6	66087.956	66.1
	79336.508	79.4

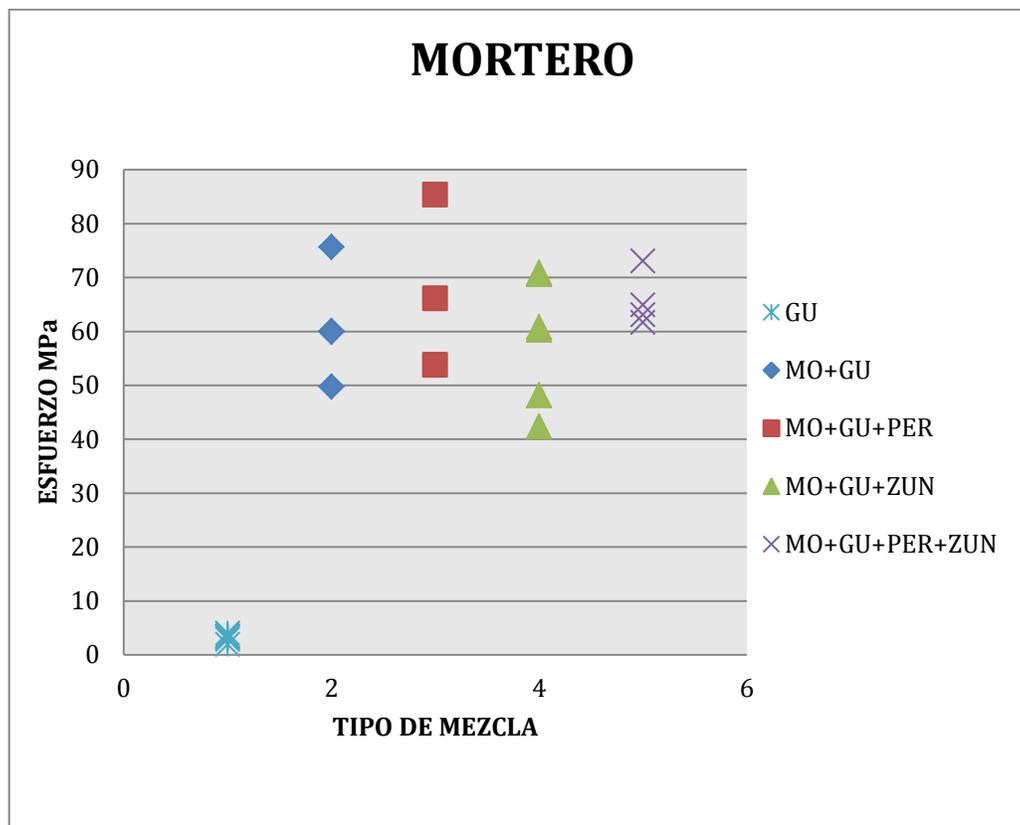
Tabla 14 Esfuerzo de Guadua rellena con Mortero y reforzado con Zuncho

PROBETA	ESFUERZO (σ) (KN/m ²)	ESFUERZO (σ) (MPa)
GUDUA+MORTERO+ZUNCHO		
E6-1	60321.067	60.3
E6-2	60742.988	60.7
E6-3	70859.011	70.9
E6-4	48119.762	48.1
E6-5	42368.965	42.4
E6-6	70613.866	70.6
	58837.610	58.8

Tabla 15 Esfuerzo de Guadua rellena con Mortero y reforzado con Perno y Zuncho

PROBETA	ESFUERZO (σ) (KN/m ²)	ESFUERZO (σ) (MPa)
GUADUA+MORTERO+PERNO+ZUNCHO		
E7-1	104005.876	104.1
E7-2	61667.339	61.7
E7-3	64924.539	64.9
E7-4	63097.673	63.1
E7-5	73022.702	73.0
E7-6	78879.770	78.9
	74266.316	74.3

Grafica 2 Resistencia (MPa) de Mortero y tipos de mezcla



7.3.2. Resultados poliuretano y sus tipos de mezcla

Tabla 16 Esfuerzo de Guadua rellena con Poliuretano

PROBETA	ESFUERZO (σ) (KN/m ²)	ESFUERZO (σ) (MPa)
GUADUA+POLIURETANO		
E8-1	2247.696	2.3
E8-2	2579.231	2.6
E8-3	7970.377	7.9
E8-4	2151.342	2.2
E8-5	3449.544	3.5
E8-6	2892.518	2.9
	3548.451	3.6

Tabla 17 Esfuerzo de Guadua rellena con Poliuretano y reforzado con Perno

PROBETA	ESFUERZO (σ) (KN/m ²)	ESFUERZO (σ) (MPa)
GUADUA+POLIURETANO+PERNO		
E9-1	13319.344	13.3
E9-2	9487.247	9.5
E9-3	9114.873	9.2
E9-4	8720.013	8.7
E9-5	8836.876	8.8
E9-6	9368.737	9.4
	9807.848	9.8

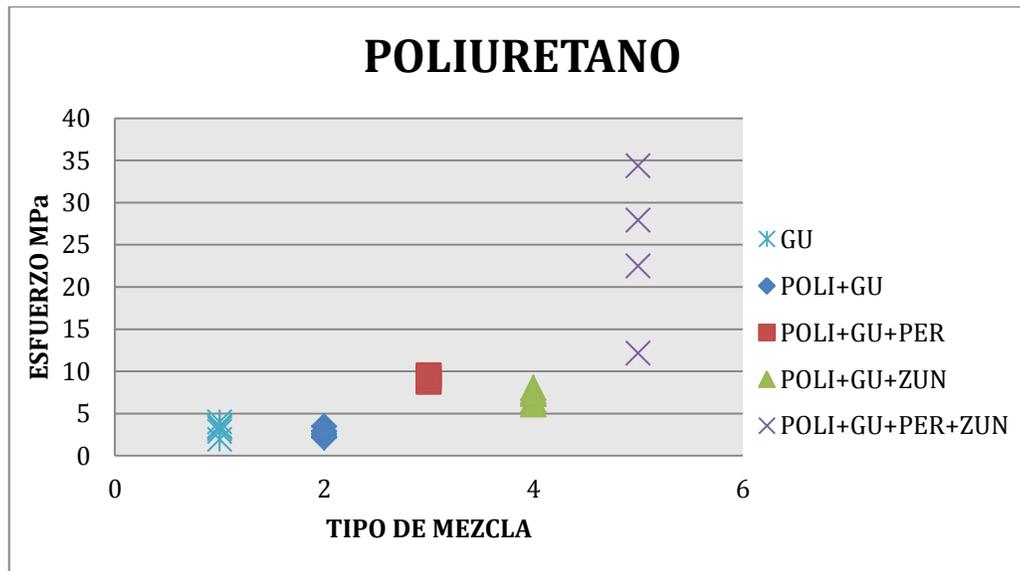
Tabla 18 Esfuerzo de Guadua rellena con Poliuretano y reforzado con Zuncho

PROBETA	ESFUERZO (σ) (KN/m ²)	ESFUERZO (σ) (MPa)
GUADUA+POLIURETANO+ZUNCHO		
E10-1	6564.313	6.6
E10-2	7624.053	7.6
E10-3	7350.268	7.4
E10-4	6079.054	6.1
E10-5	8015.491	8.1
E10-6	7316.104	7.3
	7158.214	7.2

Tabla 19 Esfuerzo de Guadua rellena con Poliuretano y reforzado con Perno y Zuncho

PROBETA	ESFUERZO (σ) (KN/m ²)	ESFUERZO (σ) (MPa)
GUADUA+POLIURETANO+PERNO+ZUNCHO		
E11-1	34360.582	34.4
E11-2	22471.011	22.5
E11-3	27894.334	27.9
E11-4	12130.932	12.1
E11-5	7259.567	7.3
E11-6	19840.772	19.8
	20659.533	20.7

Grafica 3 Resistencia (KPa) de Poliuretano y tipos de mezcla



8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1. MORTERO

Para caracterizar el mortero fue necesario realizar cilindros de muestra con un diámetro de 10 cm y longitud de 20 cm, este se mezcla con el aditivo expansivo y se deja fraguar durante 28 días.

Teniendo en cuenta que el mortero es un material rígido después del proceso de fraguado, al ser sometido a compresión presenta fracturas en dirección vertical a lo largo de su eje en las zonas de contacto entre el material y el equipo, lo cual hace que se presente un desprendimiento del mismo como se muestra en la ilustración 10.

Se pudo evidenciar que la mezcla del mortero elaborado para la caracterización de la resistencia del material de relleno fue de menor resistencia al usado en los rellenos de la guadua, este fenómeno se originó debido que ambos morteros fueron elaborados en diferentes días, por diferentes operarios y diferentes materiales. A pesar de seguir la misma relación de mezcla, al no controlar todas estas variables, las resistencias presentadas aparentemente fueron muy diferentes, lo cual tuvo una afectación directa sobre los resultados del material compuesto.

Ilustración 12 Mortero



8.1.1. Guadua

Al ser sometidos a compresión perpendicular, se observa que que las probetas rellenas con mortero presentan la falla en la misma dirección que de la aplicación de la carga, presentando fallas muy similares a las que presentaron los materiales al ensayarse de manera independiente.

En este ensayo se pudo observar que primero se fractura el mortero y luego la guadua.

Ilustración 13 Guadua rellena con Mortero



8.1.2. Guadua y perno

Cuando se someten las probetas rellenas con mortero y reforzadas con perno aproximadamente en la mitad de la misma, se observa que las fracturas que se hacen en la guadua no sobrepasan ni cortan en la ubicación del perno, sin embargo si se fracturan en las zonas de impacto de la máquina sobre la probeta, adicionalmente en el mortero se generan fracturas en las mismas zonas en las que se ubican las de la probeta.

Ilustración 14 Guadua rellena con Mortero y reforzada con Perno



8.1.3. Guadua y zuncho

Luego de realizar el ensayo a compresión perpendicular de las probetas rellenas con mortero y con un reforzamiento en zuncho metálico se puede decir que el mortero presenta falla de la misma forma que muestra en la compresión perpendicular realizada para la caracterización del mortero. Por el otro lado, la guadua presenta una fractura por el eje Z hasta aproximadamente un centímetro antes de llegar al zuncho, por lo que se puede ver que el zuncho aporta significativamente en evitar la falla por tracción perpendicular que se genera en la guadua debido a la compresión radial.

Ilustración 15 Guadua + Mortero + Zuncho



8.1.4. Guadua, perno y zuncho

Al realizar el ensayo de compresión perpendicular sobre las probetas rellenas con mortero y reforzadas con perno y zuncho, se puede observar que en la mayoría de las probetas no se presentan fracturas en las paredes de la guadua, más la fractura del mortero es de la misma forma que se presenta en su caracterización, sin embargo esta no es muy pronunciada.

Ilustración 16 Guadua + Mortero + Perno + Zuncho



8.2. POLIURETANO

Para caracterizar el Poliuretano fue necesario el uso de tubos de PVC como molde para el material y con unas dimensiones de diámetro de 4" y longitud de 15cm. Mientras se somete a compresión perpendicular las probetas se puede observar que estas se van presentando un aplastamiento hasta llegar a un punto en donde la probeta queda en forma ovalada, en donde las zonas de contacto ente probeta y material es mínima, adicionalmente el poliuretano presenta una falla en dirección al eje Y, es decir entre las zonas de contacto como lo muestra la ilustración.

Ilustración 17 Caracterización Poliuretano



Después de sacar las probetas de la máquina, estas tratan de volver a su forma anterior.

8.2.1. Guadua

Cuando se someten las probetas rellenas con poliuretano se puede observar que las paredes de la guadua se fracturan en un corto tiempo, luego de fracturarse este pueden seguir resistiendo carga hasta que presentan un aplastamiento sobre el material de relleno, lo que hace parecer que la guadua se convierte en un elemento flexible.

Ilustración 18 Guadua + Poliuretano



8.2.2. Guadua y perno

Al realizar la compresión perpendicular en las probetas rellenas con poliuretano y reforzadas con perno, presentan fracturas en las paredes de la guadua en los ejes X y Y, aproximadamente estas fracturas se observa a una distancia de un centímetro con respecto a la ubicación de los extremos del perno.

El comportamiento del poliuretano es similar al presenciado en su caracterización como material de relleno.

Ilustración 19 Guadua + Poliuretano + Perno



8.2.3. Guadua y zuncho

Luego de que los canutos rellenos con mortero y reforzados con zuncho metálico fueron sometidos a compresión perpendicular, estos presentan una fractura pronunciada desde la parte superior hasta la inferior de las paredes de la guadua, es decir atravesando el zuncho sin que

este genere mayor impedimento. Mientras que el poliuretano presenta una fractura mínima en dirección de las zonas de contacto.

Ilustración 20 Guadua + Poliuretano + Zuncho



8.2.4. Guadua, perno y zuncho

En los ensayos de compresión perpendicular para los canutos rellenos con poliuretano y reforzados con zuncho y perno, se puede observar que el poliuretano no presenta ningún tipo de fractura pero si un desprendimiento entre este y las paredes de la guadua, adicionalmente la guadua presenta una fractura no muy pronunciada en la parte inferior y/o superior dirigida hacia el zuncho, teniendo una longitud no mayor a 5 centímetros.

Ilustración 21 Guadua + Poliuretano + Perno + Zuncho



El uso de refuerzos adicionales como lo son los pernos y el zuncho metálico se realiza con el fin de simular una conexión entre viga y columna, teniendo en cuenta que es allí donde se presenta la mayor carga en sentido perpendicular a las fibras de la guadua, debido al cortante proveniente de las vigas y que terminana convirtiéndose en un esfuerzo de aplastamiento en los apoyos.

En cuanto a la incidencia de la localización de estos elementos, de acuerdo con las observaciones que se realizaron al momento de realizar los ensayos en cada una de las probetas reforzadas con perno se puede decir que la colocación de este en el medio de las probetas hace que la guadua presente dos fallas a cada costado del canuto, aproximadamente a un centímetro del perno; por otra parte las probetas que fueron reforzadas con zuncho metálico presentan fracturas más cortas en la guadua y menos pronunciadas en el mortero, estas fallas que se producen no sobrepasan el zuncho, es decir que la fractura se produce desde las partes superiores e inferiores hasta uno o dos centímetros antes de llegar al zuncho; mientras que al combinar estos refuerzos adicionales en las probetas se obtiene una disminución de fracturas en las paredes de la guadua.

En los tres casos el comportamiento es similar independientemente del material de relleno que se esté utilizando, es decir que el uso de los refuerzos si incide en la capacidad de la resistencia en cada uno de los ensayos realizados.

Por otra parte, teniendo en cuenta las propiedades químicas y físicas que comprenden al poliuretano, se sabe de ante mano que es un material expansivo más no resistente, por lo tanto no incrementa el peso de la guadua, siendo esta característica una ventaja, pero este no hace que tenga gran resistencia como material de relleno en comparación con el mortero, aun sabiendo que este es un material rígido. Por esto se puede decir que el mortero es el material más óptimo como relleno para aumentar la capacidad a la resistencia de compresión perpendicular a las fibras de la guadua.

Por esta razón se puede decir que el poliuretano no es competencia para el mortero en términos de resistencia, tal como se expresa en la gráfica.

Tabla 20 Resistencia a la compresión perpendicular, probetas con relleno (promedio)

PROPIEDADES	ESFUERZO PROMEDIO (KPa)
<i>Resistencia a la Compresión Perpendicular</i>	
<i>Probetas con Mortero</i>	78.4
<i>Probetas con Poliuretano</i>	3.6

Tabla 21 Resistencia a la compresión perpendicular, probetas con relleno y Perno (promedio)

PROPIEDADES	ESFUERZO PROMEDIO (KPa)
<i>Resistencia a la Compresión Perpendicular con Pernos</i>	
<i>Probetas con Mortero</i>	79.4
<i>Probetas con Poliuretano</i>	9.8

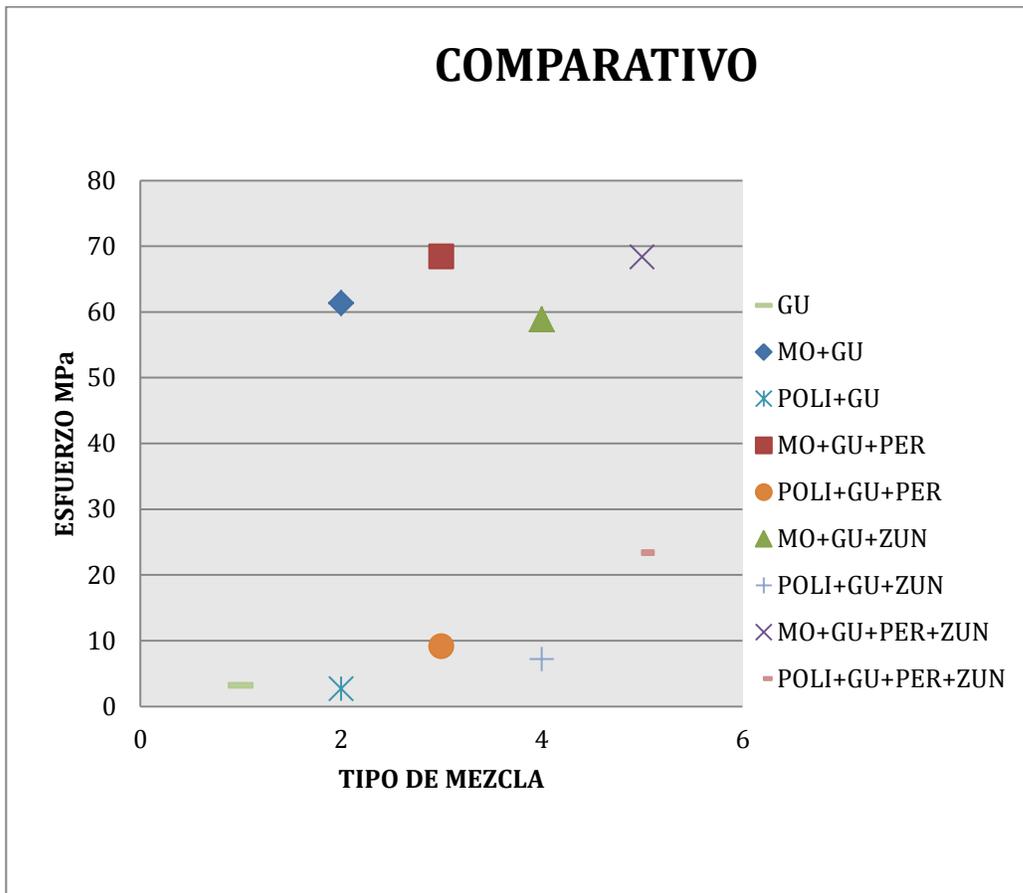
Tabla 22 Resistencia a la compresión perpendicular, probetas con relleno y Zuncho (promedio)

PROPIEDADES	ESFUERZO PROMEDIO (KPa)
<i>Resistencia a la Compresión Perpendicular con Zuncho</i>	
<i>Probetas con Mortero</i>	58.8
<i>Probetas con Poliuretano</i>	7.2

Tabla 23 Resistencia a la compresión perpendicular, probetas con relleno, y perno y zuncho (promedio)

PROPIEDADES	ESFUERZO PROMEDIO (KPa)
<i>Resistencia a la Compresión Perpendicular con Perno y Zuncho</i>	
<i>Probetas con Mortero</i>	74.3
<i>Probetas con Poliuretano</i>	20.7

Grafica 4 Comparativo entre Mortero y Poliuretano con los tipos de mezcla



9. CONCLUSIONES

Se analizaron los efectos de los dos diferentes tipos de materiales escogidos para rellenar los canutos de la *Guadua angustifolia* kunth, correspondientes a la mezcla de Mortero con un Aditivo Expansivo ViscoBond y Poliuretano con trozos de guadua, las cuales según los datos obtenidos en los ensayos del laboratorio muestran la mejoría en la resistencia mecánica a la compresión perpendicular en sus fibras con ambos tipos de materiales.

Según las características encontradas en antecedentes, se determinó el mortero como primer material de relleno, para esta investigación se mezcla con un aditivo expansivo llamado ViscoBond de Sika, teniendo en cuenta que se desea minimizar los vacíos que se presentan entre las paredes la guadua y el material de relleno. Adicionalmente se decide utilizar poliuretano con trozos de guadua como segundo material de relleno, aprovechando sus características de elasticidad y adherencia que éste presenta.

Se determina la resistencia mecánica a la tracción indirecta de los materiales utilizados individualmente como rellenos en los canutos de la guadua, se muestra que la mezcla del mortero utilizado para su caracterización tiene menor resistencia a la que se presenta en el mortero utilizado como relleno, este fenómeno se presenta por diferencias de fabricación de las mezclas; por otro lado se presenta el comportamiento del poliuretano como un material expansivo y flexible, que aunque tiene una menor resistencia, permite mayores deformaciones del material compuesto.

Para cada uno de los ensayos realizados con los materiales de relleno se llega a la conclusión de que independientemente del material utilizado como relleno, (para este caso el mortero con el aditivo expansivo o el poliuretano con los trozos de guadua), presenta un aporte para el aumento a la resistencia a compresión perpendicular a las fibras de la guadua.

Se establecen las comparaciones necesarias entre la resistencia y el proceso constructivo de cada uno de las probetas teniendo como resultado, mejor comportamiento con cualquiera de los materiales utilizando perno y zuncho como refuerzos adicionales. También se puede decir que la mayor resistencia se presenta en los canutos rellenos de mortero, por lo tanto se puede concluir que el mortero con zuncho y con perno es el conjunto más óptimo para aumentar la resistencia de la guadua.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE PARDO, Sofía. Calificación ante cargas dinámicas de una conexión entre una columna de guadua angustifolia y su cimentación. Trabajo de grado Ingeniera. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería julio Garavito. Facultad de Posgrado en Ingeniería Civil, 2013. 179 h.

ASOCIACIÓN TÉCNICA DEL POLIURETANO APLICADO. Guía de ventajas y soluciones de espuma rígida de poliuretano proyectado para aislamiento térmico, acústico e impermeabilización, conforme al CTE. Madrid 2006

CANO, M., LOPEZ, C., STAMM, J. Expansión holocénica de la Guadua en el Cauca Medio: cambios climáticos, eventos volcánicos e impactos culturales. Simposio Internacional de la Guadua. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 2004

Definiciona, definición y etimología. Aserrín, definición. [Citado 31 ago., 2016]. Disponible en: <https://definiciona.com/aserrin/>

FEROCA soluciones para el moldeo. Resinas Epoxi. [Citado 31 ago., 2016]. Disponible en: <http://www.feroca.com/es/8-resinas-epoxi>

FLEJES, HEBILLAS Y MÁQUINA Tensor Marca ISO Americana, Acero Inoxidable. ¿Qué es y como se usan los zunchos de acero inoxidable?. [Citado 31 ago., 2016] Disponible en: <http://www.zunchoschile.cl/1/index.php/articulos/31-que-es-y-como-se-usan-los-zunchos-de-acero-inoxidable>

FLÓREZ FORERO Edwin. Uniones a tensión en guadua con mortero y varilla comportamiento de uniones con uso de expansivos en el mortero, Universidad Nacional de Colombia. 2003.

GONZALES Luis O. Evaluación de la resistencia a la compresión en canutos de guadua, rellenos con mortero, Universidad Nacional de Colombia. 2012.

HIDALGO, O. Nuevas técnicas de construcción con bambú. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. 1978.

ICONTEC INTERNATIONAL. Norma técnica colombiana NTC 5301: preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* kunth [en línea]. Colombia: ICONTEC, 2003. 7 p. [citado 5 abril, 2016]: disponible en: <http://tienda.icontec.org/brief/NTC5301.pdf>

ICONTEC INTERNATIONAL. Norma colombiana NTC 5525: Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* kunth. Colombia: ICONTEC, 2007. 22 p.

IECA Instituto Español del Cemento y sus aplicaciones. Componentes y propiedades del cemento. [Abril 6 de 2016]. Disponible en: https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179

LA HACIENDA: Soluciones para la construcción. [Citado 6 abril, 2016]. Disponible en: <http://www.lahacienda.com.co/productos/arenas-y-gravas/arena-de-rio.html>

LAMUS BAEZ, Fabián, ANDRADE PARDO, Sofía y TORRES CASTELLANOS, Nancy. Rigidez de una conexión de columna – cimentación para estructuras de *Guadua angustifolia* kunth [en línea]. Bogotá: 2014. [Citado 6 de abril de 2016]. Disponible en: <http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/view/2513>. ISSN: 1692-1259

NSR-10 Norma de diseño sismo resistente, 2010 (título G).

NTC 5525, Ingeniería civil y arquitectura métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* kunth. 2007.

Polyurethanes. ¿Qué es el Poliuretano? [Citado 31 ago., 2016]. Disponible en: <http://www.polyurethanes.org/es/que-es>

QUÍMICA GENERAL. Polímeros. [Citado 11 sept., 2016]. Disponible en: <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/82-polimeros.html>

SIKA. Ficha técnica, VISCOBOND [citado abril 14 de 2016]. Disponible en: https://col.sika.com/dms/getdocument.get/...594b.../co-ht_Sika%20ViscoBond.pdf

ZIKA S.A. *Intraplast Z*. [Citado 31 ago., 2016]. Disponible en: gtm.sika.com/.../aditivo-expansor-plastificante-lechadas-morteros-intraplast-z.pdf

TAKEUCHI, Caori. Comportamiento estructural de la guadua. En: Universidad Tecnológica de Pereira. Memorias Simposio Internacional Guadua, Septiembre 27-Octubre 2, 2004. pág. 214-227 Pereira, Colombia

TENECHÉ, Gustavo. Acero vegetal guadua bambú Colombia. [Citado 9 mar., 2016]. Disponible en: http://bambuogadua.com/index.php?option=com_content&view=article&id=133:construccion-con-bambu&catid=1:latest-news

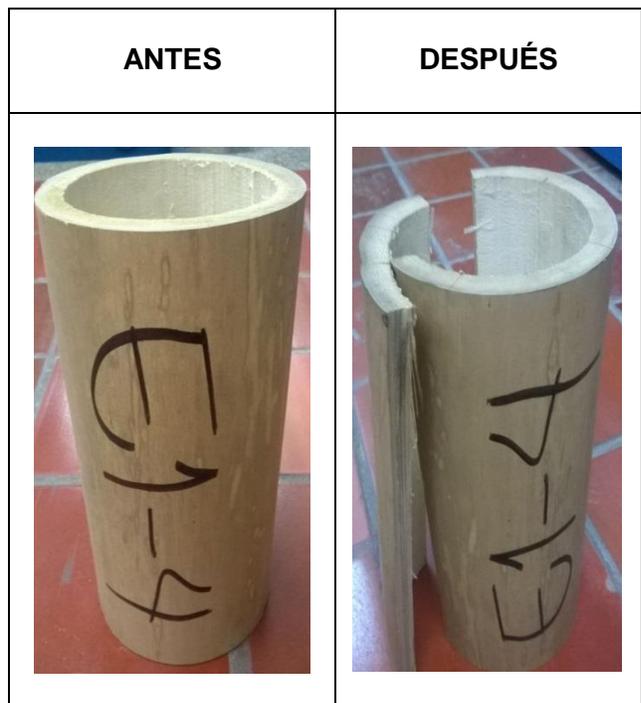
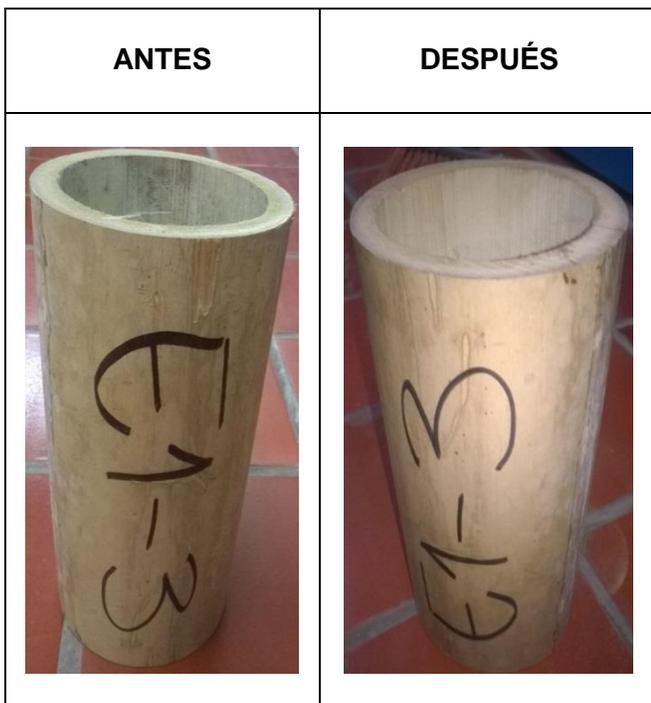
Universidad de Granada. *TEMA 4: Morteros de Construcción y Ornamentación*. [Citado 31 ago., 2016]. Disponible en: <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA04.htm>

VEO VERDE. *Fibra de Fique*. [Citado 31 ago., 2016]. Disponible en: <https://www.veoverde.com/2009/07/fibra-de-fique/>

ZAMBRANO ORDOÑEZ J. Estudio de elementos en guadua, solicitados a compresión, con perforaciones para el relleno de mortero, En Universidad Nacional de Colombia. 2003.

ANEXOS

ANEXO 1. ENSAYO 1
GUADUA



ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
			

**ANEXO 2. ENSAYO 2
MORTERO**

ANTES	DESPUES
	

DESPUES



DESPUES



DESPUES



DESPUES



DESPUES



DESPUES



**ANEXO 3. ENSAYO 3
POLIURETANO**

ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
 A yellow plastic cup labeled 'E3-1' is shown from a top-down perspective, containing a thick, yellow, viscous liquid.	 The yellow cup labeled 'E3-1' is shown from a side perspective, now filled with a white, foamy material that has expanded to the top.	 A yellow plastic cup labeled 'E3-6' is shown from a top-down perspective, containing a thick, yellow, viscous liquid.	 The yellow cup labeled 'E3-6' is shown from a side perspective, now filled with a white, foamy material that has expanded to the top.

DESPUES
 A yellow plastic cup labeled 'E3-2' is shown from a side perspective, filled with a white, foamy material that has expanded to the top.

DESPUES
 A yellow plastic cup labeled 'E3-3' is shown from a side perspective, filled with a white, foamy material that has expanded to the top.

DESPUES
 A yellow plastic cup labeled 'E3-4' is shown from a side perspective, filled with a white, foamy material that has expanded to the top.

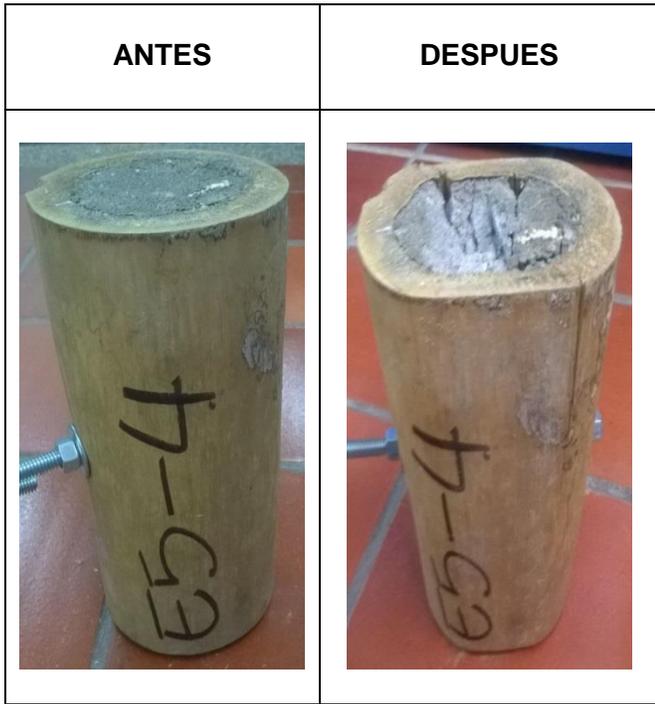
**ANEXO 4. ENSAYO 4
GUADUA + MORTERO**



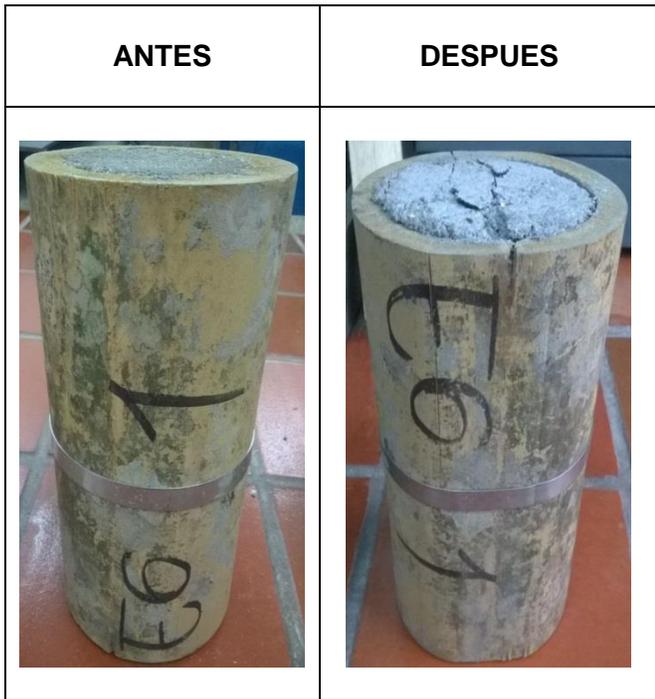


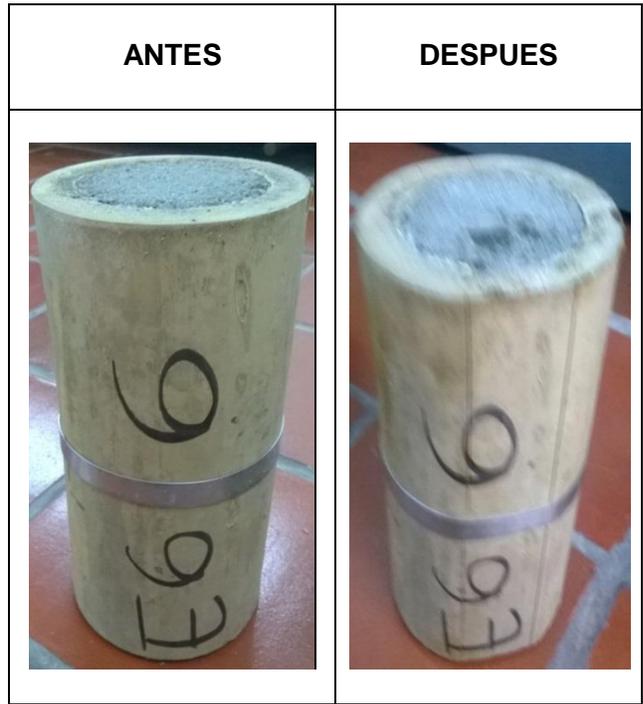
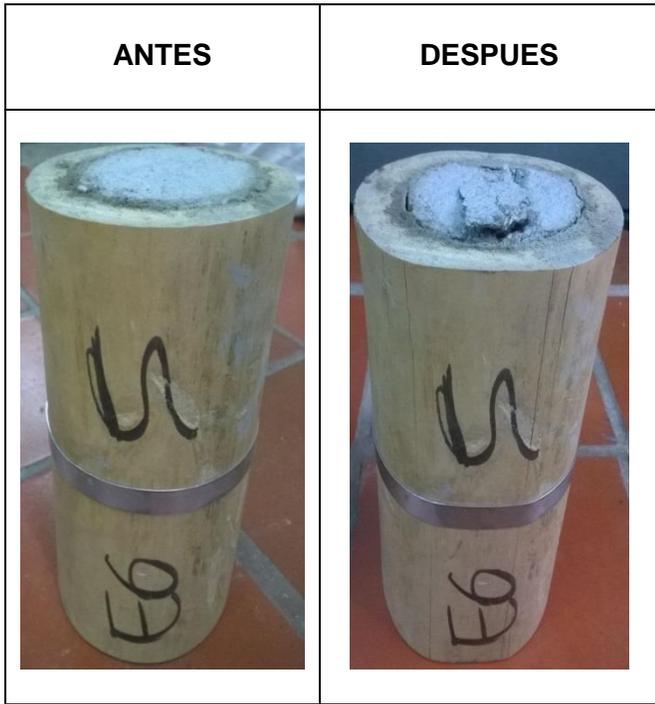
**ANEXO 5. ENSAYO 5
GUADUA + MORTERO + PERNO**





**ANEXO 6. ENSAYO 6
GUADUA + MORTERO + ZUNCHO**





**ANEXO 7. ENSAYO 7
GUADUA + MORTERO + PERNO + ZUNCHO**

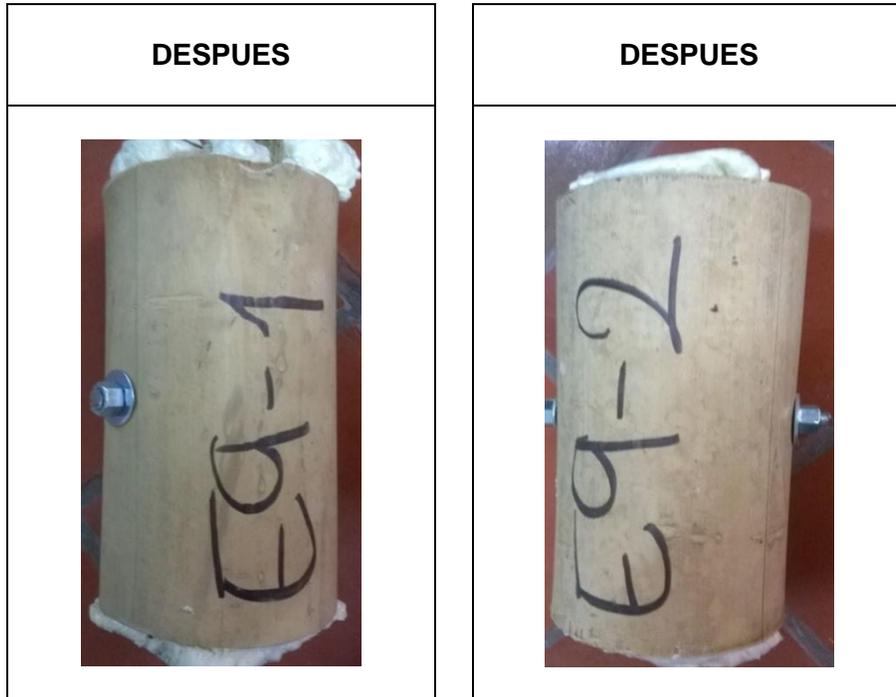


ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
			

**ANEXO 8. ENSAYO 8
GUADUA + POLIURETANO**

DESPUES	DESPUES	DESPUES
		

**ANEXO 9. ENSAYO 9
GUADUA + POLIURETANO + PERNO**



**ANEXO 10. ENSAYO 10
GUADUA + POLIURETANO + ZUNCHO**



DESPUES	DESPUES	DESPUES
		

**ANEXO 11. ENSAYO 11
GUADUA + POLIURETANO + PERNO + ZUNCHO**

ANTES	DESPUES
	

DESPUES



DESPUES



DESPUES



ANEXO 12. CONTROL DE DATOS EN LABORATORIO



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL
REGISTRO: CONTROL DE DATOS EN
LABORATORIO

NOMBRE DEL INVESTIGADOR: Paula Rocio Zamora Rueda
Carlos Leonardo Sanabria Sabogal

TÍTULO DEL PROYECTO: ANÁLISIS DEL EFECTO DE DOS DIFERENTES TIPOS DE RELLENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN FIBRAS DE LA *Guadua angustifolia kunth*

PROBETA	LONGITUD (m)				DIAMETRO (m)						ESPESOR (m)	FUERZA (KN)	
					EXTERNO				INTERNO				
	1	2	3	PROM	1	2	3	PROM	1	2			PROM
GUADUA													
E1-1	0.253	0.253	0.255	0.254	0.124	0.127	0.127	0.126	0.098	0.100	0.099	0.027	3.200
E1-2	0.283	0.281	0.282	0.282	0.137	0.139	0.140	0.139	0.094	0.124	0.109	0.030	4.800
E1-3	0.261	0.258	0.258	0.259	0.123	0.123	0.124	0.123	0.097	0.099	0.098	0.025	2.900
E1-4	0.270	0.271	0.269	0.270	0.134	0.133	0.132	0.133	0.105	0.105	0.105	0.028	3.700
E1-5	0.271	0.271	0.270	0.271	0.130	0.131	0.132	0.131	0.103	0.105	0.104	0.027	2.900
E1-6	0.242	0.242	0.242	0.242	0.110	0.113	0.117	0.113	0.072	0.072	0.072	0.041	4.700
MORTERO													
E2-1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.100	0.100	0.100	0.1	0.100	0.100	0.100	0.000	31.080
E2-2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.100	0.100	0.100	0.1	0.100	0.100	0.100	0.000	27.760
E2-3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.100	0.100	0.100	0.1	0.100	0.100	0.100	0.000	25.560
E2-4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.100	0.100	0.100	0.1	0.100	0.100	0.100	0.000	30.300
E2-5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.100	0.100	0.100	0.1	0.100	0.100	0.100	0.000	32.230

E2-6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.100	0.100	0.100	0.1	0.100	0.100	0.100	0.000	31.200
POLIURETANO													
E3-1	0.150	0.150	0.150	0.150	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.000	3.190
E3-2	0.150	0.150	0.150	0.150	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.000	9.820
E3-3	0.150	0.150	0.150	0.150	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.000	9.730
E3-4	0.150	0.150	0.150	0.150	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.000	7.500
E3-5	0.150	0.150	0.150	0.150	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.000	2.900
E3-6	0.150	0.150	0.150	0.150	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.000	7.920
GUADUA+MORTERO													
E4-1	0.265	0.266	0.266	0.266	0.126	0.131	0.130	0.129	0.100	0.105	0.103	0.026	151.500
E4-2	0.271	0.271	0.271	0.271	0.136	0.134	0.130	0.133	0.103	0.104	0.103	0.030	132.500
E4-3	0.275	0.273	0.274	0.274	0.133	0.137	0.138	0.136	0.105	0.094	0.100	0.036	129.000
E4-4	0.279	0.278	0.278	0.278	0.140	0.137	0.135	0.137	0.099	0.106	0.103	0.035	140.400
E4-5	0.267	0.266	0.266	0.266	0.136	0.132	0.133	0.134	0.101	0.106	0.103	0.030	113.500
E4-6	0.272	0.271	0.272	0.271	0.132	0.128	0.129	0.130	0.102	0.107	0.105	0.025	137.000
GUDUA+MORTERO+PERNO													
E5-1	0.216	0.215	0.216	0.216	0.102	0.100	0.103	0.102	0.079	0.084	0.081	0.020	50.800
E5-2	0.225	0.224	0.225	0.225	0.110	0.111	0.112	0.111	0.088	0.092	0.090	0.021	103.100
E5-3	0.203	0.203	0.202	0.203	0.098	0.097	0.099	0.098	0.075	0.075	0.075	0.023	99.200
E5-4	0.225	0.224	0.224	0.224	0.104	0.106	0.103	0.104	0.072	0.081	0.076	0.028	85.700
E5-5	0.243	0.244	0.243	0.243	0.114	0.115	0.115	0.114	0.090	0.086	0.088	0.026	115.500
E5-6	0.244	0.244	0.244	0.244	0.116	0.111	0.116	0.114	0.086	0.077	0.082	0.033	129.600
GUDUA+MORTERO+ZUNCHO													
E6-1	0.242	0.242	0.242	0.242	0.111	0.114	0.114	0.113	0.074	0.087	0.080	0.032	119.300
E6-2	0.218	0.218	0.218	0.218	0.102	0.103	0.104	0.103	0.070	0.076	0.073	0.030	100.200
E6-3	0.215	0.214	0.215	0.215	0.105	0.103	0.106	0.105	0.076	0.078	0.077	0.028	100.400
E6-4	0.218	0.218	0.218	0.218	0.104	0.103	0.105	0.104	0.077	0.073	0.075	0.029	79.900
E6-5	0.204	0.205	0.205	0.205	0.104	0.105	0.107	0.105	0.073	0.074	0.074	0.032	77.200
E6-6	0.220	0.209	0.211	0.213	0.106	0.103	0.105	0.104	0.073	0.085	0.079	0.025	87.100
GUADUA+MORTERO+PERNO+ZUNCHO													
E7-1	0.023	0.225	0.226	0.158	0.105	0.106	0.106	0.106	0.082	0.079	0.080	0.025	85.400

E7-2	0.229	0.228	0.230	0.229	0.104	0.100	0.102	0.102	0.077	0.082	0.079	0.023	74.000
E7-3	0.223	0.223	0.223	0.223	0.104	0.104	0.106	0.105	0.073	0.084	0.079	0.026	87.200
E7-4	0.221	0.222	0.221	0.221	0.108	0.105	0.109	0.107	0.087	0.081	0.084	0.023	73.000
E7-5	0.203	0.201	0.202	0.202	0.101	0.099	0.100	0.100	0.078	0.078	0.078	0.022	69.700
E7-6	0.225	0.225	0.225	0.225	0.107	0.102	0.107	0.105	0.088	0.083	0.085	0.020	73.200
GUADUA+POLIURETANO													
E8-1	0.281	0.281	0.280	0.280	0.139	0.135	0.136	0.137	0.101	0.104	0.102	0.035	16.570
E8-2	0.265	0.266	0.265	0.265	0.126	0.127	0.128	0.127	0.101	0.101	0.101	0.026	14.440
E8-3	0.204	0.204	0.203	0.203	0.107	0.105	0.107	0.106	0.063	0.079	0.071	0.035	19.180
E8-4	0.265	0.267	0.265	0.266	0.128	0.125	0.125	0.126	0.100	0.100	0.100	0.026	13.950
E8-5	0.242	0.238	0.238	0.239	0.120	0.108	0.112	0.113	0.079	0.076	0.078	0.036	14.520
E8-6	0.242	0.242	0.242	0.242	0.119	0.117	0.118	0.118	0.079	0.084	0.082	0.036	14.070
GUADUA+POLIURETANO+PERNO													
E9-1	0.202	0.203	0.202	0.202	0.107	0.103	0.104	0.105	0.069	0.086	0.077	0.027	19.800
E9-2	0.222	0.222	0.223	0.222	0.106	0.103	0.106	0.105	0.076	0.082	0.079	0.026	17.020
E9-3	0.211	0.211	0.211	0.211	0.104	0.104	0.105	0.104	0.074	0.080	0.077	0.028	16.610
E9-4	0.219	0.220	0.219	0.219	0.106	0.104	0.108	0.106	0.073	0.081	0.077	0.029	17.410
E9-5	0.218	0.218	0.217	0.218	0.109	0.106	0.107	0.107	0.082	0.076	0.079	0.028	17.070
E9-6	0.217	0.217	0.216	0.217	0.105	0.101	0.103	0.103	0.074	0.077	0.075	0.028	17.360
GUADUA+POLIURETANO+ZUNCHO													
E10-1	0.220	0.220	0.221	0.220	0.109	0.107	0.109	0.108	0.081	0.066	0.074	0.035	17.970
E10-2	0.212	0.211	0.212	0.212	0.104	0.100	0.103	0.102	0.076	0.072	0.074	0.029	15.590
E10-3	0.204	0.205	0.205	0.205	0.103	0.102	0.104	0.103	0.075	0.069	0.072	0.031	16.170
E10-4	0.200	0.200	0.200	0.200	0.104	0.100	0.101	0.102	0.062	0.067	0.064	0.038	17.030
E10-5	0.212	0.209	0.209	0.210	0.104	0.102	0.103	0.103	0.080	0.077	0.078	0.025	14.010
E10-6	0.204	0.201	0.203	0.203	0.100	0.099	0.105	0.101	0.069	0.065	0.067	0.034	17.540
GUADUA+POLIURETANO+PERNO+ZUNCHO													
E11-1	0.213	0.214	0.213	0.213	0.104	0.098	0.095	0.099	0.073	0.085	0.079	0.020	27.320
E11-2	0.214	0.213	0.213	0.213	0.099	0.102	0.101	0.101	0.077	0.080	0.079	0.022	22.920
E11-3	0.225	0.226	0.224	0.225	0.109	0.098	0.101	0.102	0.082	0.086	0.084	0.019	22.690
E11-4	0.213	0.213	0.214	0.213	0.102	0.101	0.102	0.102	0.077	0.072	0.075	0.027	19.350

E11-5	0.240	0.214	0.240	0.231	0.114	0.112	0.114	0.113	0.088	0.079	0.083	0.030	17.440
E11-6	0.222	0.224	0.222	0.223	0.103	0.104	0.106	0.104	0.082	0.078	0.080	0.025	24.970

ANEXO 13. RESISTENCIA ATRACCIÓN INDIRECTA PARA MATERIALES DE RELLENO



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL

REGISTRO: RESISTENCIA ATRACCIÓN INDIRECTA PARA
MATERIALES DE RELLENO

$$T = \frac{2P}{\pi * L * Dint}$$

NOMBRE DEL INVESTIGADOR: Paula Rocio Zamora Rueda
Carlos Leonardo Sanabria Sabogal

TÍTULO DEL PROYECTO: ANÁLISIS DEL EFECTO DE DOS DIFERENTES TIPOS DE RELLENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN FIBRAS DE LA *Guadua angustifolia* kunth

PROBETA	LONGITUD (L) (m)	DIAMETRO (Ding) (m)	FUERZA APLICADA (P) (KN)	RESISTENCIA ATRACCIÓN INDIRECTA (T) (Kpa)
MORTERO				
E2-1	0.2	0.1	31.08	989.307
E2-2	0.2	0.1	27.76	883.628
E2-3	0.2	0.1	25.56	813.600
E2-4	0.2	0.1	30.30	964.479
E2-5	0.2	0.1	32.23	1025.913

E2-6	0.2	0.1	31.20	993.127
				945.009
POLIURETANO				
E3-1	0.150	0.102	3.19	133.256
E3-2	0.150	0.102	9.82	410.210
E3-3	0.150	0.102	9.73	406.451
E3-4	0.150	0.102	7.50	313.297
E3-5	0.150	0.102	2.90	121.142
E3-6	0.150	0.102	7.92	330.842
				285.866

ANEXO 14. CARGA MÁXIMA APLICADA



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL
REGISTRO: CARGA MÁXIMA APLICADA

$$P = \frac{T * \pi * L * D_{int}}{2}$$

NOMBRE DEL INVESTIGADOR: Paula Rocio Zamora Rueda
Carlos Leonardo Sanabria Sabogal

TÍTULO DEL PROYECTO: ANÁLISIS DEL EFECTO DE DOS DIFERENTES TIPOS DE RELLENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN FIBRAS DE LA *Guadua angustifolia* kunth

PROBETA	LONGITUD (L) (m)	DIAMETRO INTERNO (D _{int}) (m)	FUERZA APLICADA MATERIAL (P) (KN)
GUADUA+MORTERO			
E4-1	0.266	0.103	40.480
E4-2	0.271	0.103	41.577
E4-3	0.274	0.100	40.542
E4-4	0.278	0.103	42.320
E4-5	0.266	0.103	40.842
E4-6	0.271	0.105	42.281
GUDUA+MORTERO+PERNO			
E5-1	0.216	0.081	26.092
E5-2	0.225	0.090	30.059
E5-3	0.203	0.075	22.603
E5-4	0.224	0.076	25.431
E5-5	0.243	0.088	31.797
E5-6	0.244	0.082	29.583
GUDUA+MORTERO+ZUNCHO			
E6-1	0.242	0.080	28.915

E6-2	0.218	0.073	23.594
E6-3	0.215	0.077	24.381
E6-4	0.218	0.075	24.276
E6-5	0.205	0.074	22.417
E6-6	0.213	0.079	25.011
GUADUA+MORTERO+PERNO+ZUNCHO			
E7-1	0.158	0.080	18.785
E7-2	0.229	0.079	26.892
E7-3	0.223	0.079	26.166
E7-4	0.221	0.084	27.711
E7-5	0.202	0.078	23.481
E7-6	0.225	0.085	28.529
GUADUA+POLIURETANO			
E8-1	0.280	0.102	12.890
E8-2	0.265	0.101	12.045
E8-3	0.203	0.071	6.475
E8-4	0.266	0.100	11.945
E8-5	0.239	0.078	8.363
E8-6	0.242	0.082	8.880
GUADUA+POLIURETANO+PERNO			
E9-1	0.202	0.077	7.018
E9-2	0.222	0.079	7.876
E9-3	0.211	0.077	7.273
E9-4	0.219	0.077	7.625
E9-5	0.218	0.079	7.756
E9-6	0.217	0.075	7.318
GUADUA+POLIURETANO+ZUNCHO			
E10-1	0.220	0.074	7.292
E10-2	0.212	0.074	7.027
E10-3	0.205	0.072	6.602
E10-4	0.200	0.064	5.781
E10-5	0.210	0.078	7.390
E10-6	0.203	0.067	6.095
GUADUA+POLIURETANO+PERNO+ZUNCHO			
E11-1	0.213	0.079	7.597

E11-2	0.213	0.079	7.536
E11-3	0.225	0.084	8.464
E11-4	0.213	0.075	7.157
E11-5	0.231	0.083	8.666
E11-6	0.223	0.080	7.982

ANEXO 15. ESFUERZO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL

REGISTRO: ESFUERZO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR

$$\sigma = \frac{5 F_g D_e}{2 L t^2}$$

NOMBRE DEL
INVESTIGADOR:

Paula Rocío Zamora Rueda
Carlos Leonardo Sanabria Savogal

TÍTULO DEL
PROYECTO:

ANÁLISIS DEL EFECTO DE DOS DIFERENTES TIPOS DE RELLENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN FIBRAS DE LA *Guadua angustifolia* kunth

PROBETA	LONGITUD (L) (m)	DIAMETRO EXTERNO (De) (m)	ESPESOR (t) (m)	FUERZA APLIACADA MATERIAL (P) (KN)	FUERZA APLIACADA GUADUA (Fg) (KN)	ESFUERZO (σ) (KN/m ²)	ESFUERZO (σ) (KPa)
GUADUA+MORTERO							
E4-1	0.266	0.129	0.026	40.480	111.020	115187.860	115.188
E4-2	0.271	0.133	0.030	41.577	90.923	75655.773	75.656
E4-3	0.274	0.136	0.036	40.542	88.458	49733.294	49.733
E4-4	0.278	0.137	0.035	42.320	98.080	60048.617	60.049
E4-5	0.266	0.134	0.030	40.842	72.658	59890.136	59.890
E4-6	0.271	0.130	0.025	42.281	94.719	109897.158	109.897
						78402.140	78.402
GUADUA+MORTERO+PERNO							
E5-1	0.216	0.102	0.020	26.092	24.708	42079.889	42.080
E5-2	0.225	0.111	0.021	30.059	73.041	122401.039	122.401

E5-3	0.203	0.098	0.023	22.603	76.597	106359.681	106.360
E5-4	0.224	0.104	0.028	25.431	60.269	53752.259	53.752
E5-5	0.243	0.114	0.026	31.797	83.703	85338.223	85.338
E5-6	0.244	0.114	0.033	29.583	100.017	66087.956	66.088
						79336.508	79.337
GUDUA+MORTERO+ZUNCHO							
E6-1	0.242	0.113	0.032	28.915	90.385	60321.067	60.321
E6-2	0.218	0.103	0.030	23.594	76.606	60742.988	60.743
E6-3	0.215	0.105	0.028	24.381	76.019	70859.011	70.859
E6-4	0.218	0.104	0.029	24.276	55.624	48119.762	48.120
E6-5	0.205	0.105	0.032	22.417	54.783	42368.965	42.369
E6-6	0.213	0.104	0.025	25.011	62.089	70613.866	70.614
						58837.610	58.838
GUADUA+MORTERO+PERNO+ZUNCHO							
E7-1	0.158	0.106	0.025	18.785	66.615	104005.876	104.006
E7-2	0.229	0.102	0.023	26.892	47.108	61667.339	61.667
E7-3	0.223	0.105	0.026	26.166	61.034	64924.539	64.925
E7-4	0.221	0.107	0.023	27.711	45.289	63097.673	63.098
E7-5	0.202	0.100	0.022	23.481	46.219	73022.702	73.023
E7-6	0.225	0.105	0.020	28.529	44.671	78879.770	78.880
						74266.316	74.266
GUADUA+POLIURETANO							
E8-1	0.280	0.137	0.137	12.890	3.680	143.699	0.144
E8-2	0.265	0.127	0.127	12.045	2.395	106.693	0.107
E8-3	0.203	0.106	0.106	6.475	12.705	881.935	0.882
E8-4	0.266	0.126	0.126	11.945	2.005	89.959	0.090
E8-5	0.239	0.113	0.113	8.363	6.157	340.171	0.340
E8-6	0.242	0.118	0.118	8.880	5.190	272.805	0.273
						305.877	0.306
GUADUA+POLIURETANO+PERNO							
E9-1	0.202	0.105	0.105	7.018	12.782	906.642	0.907

E9-2	0.222	0.105	0.105	7.876	9.144	587.434	0.587
E9-3	0.211	0.104	0.104	7.273	9.337	636.197	0.636
E9-4	0.219	0.106	0.106	7.625	9.785	631.759	0.632
E9-5	0.218	0.107	0.107	7.756	9.314	598.388	0.598
E9-6	0.217	0.103	0.103	7.318	10.042	676.059	0.676
						672.747	0.673
GUADUA+POLIURETANO+ZUNCHO							
E10-1	0.220	0.108	0.108	7.292	10.678	671.020	0.671
E10-2	0.212	0.102	0.102	7.027	8.563	592.000	0.592
E10-3	0.205	0.103	0.103	6.602	9.568	679.435	0.679
E10-4	0.200	0.102	0.102	5.781	11.249	827.231	0.827
E10-5	0.210	0.103	0.103	7.390	6.620	458.989	0.459
E10-6	0.203	0.101	0.101	6.095	11.445	837.050	0.837
						677.621	0.678
GUADUA+POLIURETANO+PERNO+ZUNCHO							
E11-1	0.213	0.099	0.020	7.597	19.723	34360.582	34.361
E11-2	0.213	0.101	0.022	7.536	15.384	22471.011	22.471
E11-3	0.225	0.102	0.019	8.464	14.226	27894.334	27.894
E11-4	0.213	0.102	0.027	7.157	12.193	12130.932	12.131
E11-5	0.231	0.113	0.030	8.666	8.774	7259.567	7.260
E11-6	0.223	0.104	0.025	7.982	16.988	19840.772	19.841
						20659.533	20.660

