



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 23 de enero del 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Luis Carlos Díaz Losada, con C.C. No. 1075321272

Andrés Felipe Mosquera Pérez, con C.C. No. 1075319287

Andrés Camilo Jaramillo Perilla, con C.C. No. 1000949997

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado: La guadua como tubería de conducción de agua. Presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de Ingeniero Civil;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Luis Carlos Díaz Losada.

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Andrés Felipe Mosquera Pérez.

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Andrés Camilo Jaramillo Perilla.

Firma: _____



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: La guadua como tubería de conducción de agua.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Díaz Losada	Luis Carlos
Mosquera Pérez	Andrés Felipe
Jaramillo Perilla	Andrés Camilo

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Duarte Toro	Mauricio

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
N.A	N.A

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero civil

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería civil

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS: 95

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general ___ Grabados ___
Láminas ___ Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas
o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: N.A



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

MATERIAL ANEXO: N.A

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español

1. Guadua angustifolia
2. Resinas
3. Fricción
4. Tubería
5. Alternativa
6. Tratamiento

Inglés

1. Guadua angustifolia
2. Resins
3. Friction
4. Pipe
5. Alternative
6. Treatment

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Se presentan los resultados obtenidos del comportamiento hidráulico en cuanto a pérdidas y coeficiente de fricción en la guadua angustifolia, posibilitando nuevas alternativas semejantes a las tuberías de conducción de agua como el PVC. Las probetas de guadua se seleccionaron con diámetros internos de 1/2" y 3/4", y en busca de reducir el coeficiente y pérdidas de fricción, se consideró la aplicación de resinas en el interior de éstas. Teniendo un tratamiento sin resina (SR) y tratamientos con resina epóxica (R1), poliéster (R2) y acrílica (R3). Los resultados arrojados fueron un coeficiente de fricción promedio para la probeta de 1/2" de 0.06005 para R3 y 0.06131 para SR. Así para la probeta de 3/4" con 0.04046 para la R3 y 0.09387 para SR. Concluyendo que R3 destaca como la mejor alternativa para disminuir el coeficiente de fricción y mejorar la capacidad de conducción de agua en la tubería de guadua.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The results obtained from the hydraulic behavior in terms of losses and coefficient of friction in guadua angustifolia are presented, enabling new alternatives similar to water pipes such as PVC. The guadua specimens were selected with an internal diameter of 1/2" and 3/4", and in search of reducing the friction coefficient and losses, the application of resins inside of these was considered. Having a treatment without resin (SR) and treatments with epoxy resin (R1), polyester (R2) and acrylic (R3). The results obtained were an average coefficient of friction for the 1/2" specimen of 0.06005 for R3 and 0.06131 for SR. Thus, for the 3/4" specimen with 0.04046 for R3 and 0.09387 for SR. Concluding that R3 stands out as the best alternative to reduce the friction coefficient and improve the water conduction capacity in the guadua pipe.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Nadia Brigitte Sanabria Méndez

Firma:

Nombre Jurado: Jaime Izquierdo Bautista

Firma:



“LA GUADUA COMO TUBERÍA DE CONDUCCIÓN DE AGUA”

LUIS CARLOS DÍAZ LOSADA

ANDRÉS FELIPE MOSQUERA PÉREZ

ANDRÉS CAMILO JARAMILLO PERILLA

Universidad Surcolombiana de Colombia

Facultad de ingeniería, Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2022

“LA GUADUA COMO TUBERÍA DE CONDUCCIÓN DE AGUA”

LUIS CARLOS DÍAZ LOSADA

ANDRÉS FELIPE MOSQUERA PÉREZ

ANDRÉS CAMILO JARAMILLO PERILLA

Proyecto de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Civil

Director (a):

M.Sc, Mauricio Duarte Toro

Línea de Investigación:

Hidráulica

Grupo de Investigación:

CONSTRU - USCO

Universidad Surcolombiana de Colombia

Facultad de ingeniería, Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2022

En las noches incesantes de preocupación y desvelo, la constancia es la única sobreviviente para cumplir el deber del éxito.

Dedicado especialmente a nuestro futuro y nuestra superación personal.

Agradecimientos

Agradecemos profundamente a nuestros padres por la incondicional ayuda en nuestro trayecto de vida. Con total agradecimiento a nuestro guía, el ingeniero Mauricio Duarte Toro, por siempre motivarnos y darnos una mano en los momentos más tensos.

Cada pequeña palmada en la espalda de las personas que nos rodearon para seguir adelante, fueron de gran ayuda y con ello queremos decirles que tuvieron una gran importancia en el proceso.

Resumen

En el presente artículo se exponen los resultados obtenidos del comportamiento hidráulico en cuanto a pérdidas y coeficiente de fricción en la guadua angustifolia, posibilitando nuevas alternativas semejantes a las tuberías de conducción de agua como el PVC. Las probetas de guadua se seleccionaron con diámetros de alrededor de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ", lo que se logró con la adecuación y ajuste del diámetro interno mediante elementos de perforación. Al mismo tiempo, en busca de reducir el coeficiente y pérdidas de fricción en la tubería de guadua, se consideró la aplicación de resinas en el interior de ésta, de modo que se plantearon 4 tratamientos para el análisis de la investigación; uno de ellos sin resina (SR) y los demás con resina epóxica (R1), poliéster (R2) y acrílica (R3), que son de mayor accesibilidad. Los resultados arrojados por las pruebas y análisis estadísticos fueron un coeficiente de fricción promedio para la tubería de guadua de $\frac{1}{2}$ " de 0.06005 con el tratamiento R3 y 0.06131 con el tratamiento SR. Así para la tubería de guadua de $\frac{3}{4}$ " con 0.04046 en el tratamiento R3 y 0.09387 en el tratamiento SR. Concluyendo que R3 destaca como la mejor alternativa para disminuir el coeficiente de fricción y mejorar la capacidad de conducción de agua en la tubería de guadua. Por último, se llevó a cabo una comparación económica entre las tuberías convencionales de PVC y las tuberías de guadua con resina, resultando en una opción más económica para estas últimas.

Palabras clave: Guadua angustifolia; Resinas; Fricción; Tubería; Alternativa PVC; Coeficiente de fricción.

Abstract

This article presents the results obtained on the hydraulic behavior in terms of losses and friction coefficient in *guadua angustifolia*, making possible new alternatives similar to water conduction pipes such as PVC. The *guadua* specimens were selected with diameters of about $\frac{1}{2}$ " and $\frac{3}{4}$ ", which was achieved with the adaptation and adjustment of the internal diameter by means of perforation elements. At the same time, in order to reduce the coefficient and friction losses in the *guadua* pipes, the application of resins inside it was considered, so that 4 treatments were proposed for the research analysis; one of them without resin (SR) and the others with epoxy resin (R1), polyester (R2) and acrylic (R3), which are more accessible. The results obtained from the tests and statistical analyses were an average friction coefficient for the $\frac{1}{2}$ " *guadua* pipe of 0.06005 with the R3 treatment and 0.06131 with the SR treatment, and 0.04046 for the $\frac{3}{4}$ " *guadua* pipes with the R3 treatment and 0.09387 with the SR treatment. Concluding that R3 stands out as the best alternative to reduce the friction coefficient and improve the water conduction capacity of the *guadua* pipe. Finally, an economic comparison was carried out between conventional PVC pipes and resin-coated *guadua* pipes, resulting in a more economical option for the *guadua* pipes.

Keywords: *Guadua angustifolia*; Resins, Friction; Pipe; Alternative PVC; friction coefficient.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	VII
Lista de ilustraciones.....	XII
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas.....	XIV
Lista de símbolos y abreviaturas.....	XVI
Capítulo 1	18
1. Introducción.....	18
1.1 Antecedentes.....	20
1.2 Justificación	24
1.3 Objetivos.....	25
1.3.1 Objetivo General	25
1.3.2 Objetivos Específicos	25
1.4 Estructura del documento.....	26
Capítulo 2	29
2. Marco teórico.....	29
2.1 La guadua	29
2.1.1 Bambú.....	29
2.1.2 Guadua Angustifolia.....	30
2.1.3 Características ambientales	32
2.1.4 Características constructivas	33
2.1.5 Partes de la Guadua.....	34

2.2	Características hidráulicas y mecánicas para tuberías de conducción....	35
2.2.1	Caudal.....	35
2.2.2	Principio de continuidad.....	35
2.2.3	Ecuación de Bernoulli en tuberías	36
2.2.4	Pérdida de carga.....	37
2.3	Resinas.....	37
2.3.1	Tiempo de curado.....	38
2.3.2	Tiempo de manipulación.....	38
2.3.3	Tiempo de desmolde.....	38
2.3.4	Tipos de Resinas.....	38
2.3.5	Rehabilitación por resinas.....	41
2.4	Tubería PVC.....	42
Capítulo 3	45
3.	Metodología	45
3.1	Enfoque investigación.....	45
3.2	Población de estudio	46
3.3	Muestra.....	47
3.4	Diseño banco hidráulico	48
3.4.1	Montaje banco hidráulico	50
3.5	Elaboración de las probetas como tubería guadua.....	50
3.5.1	Montaje de las probetas de guadua al banco hidráulico	52
3.6	Adaptación probetas con resina	54
3.6.1	Tratamiento con resina epóxica.....	55
3.6.2	Tratamiento con resina de poliéster.....	55
3.6.3	Tratamiento con resina acrílica	56
3.7	Diseño experimental.....	57
3.7.1	Caracterización física.....	57
3.7.2	Caudal.....	57
3.7.3	Presión y fricción.....	58
3.7.4	ANOVA simple.....	59
3.7.5	Tratamiento del diseño experimental.....	59
3.7.6	Análisis estadístico	61

3.8	Costo beneficio guadua - resina.....	62
Capítulo 4	63
4.	Análisis de resultados	63
4.1	Pérdidas de fricción.....	63
4.2	Coeficientes de fricción (f).....	64
4.3	Análisis estadístico.....	68
4.3.1	Estimación de la f de fricción respecto al tipo de resina para tuberías con diámetro de ½ pulgada.....	68
4.3.2	Interacción entre los tratamientos del factor resina para tuberías con diámetro de ½ pulgada.....	69
4.3.3	Comparación de medias entre los tratamientos del factor RESINAS para tuberías con diámetro de ½ pulgada.....	70
4.3.4	Estimación de la f de fricción respecto al tipo de resina para tuberías con diámetro de ¾ pulgada.....	70
4.3.5	Interacción entre los tratamientos del factor resina para tuberías con diámetro de ¾ pulgada.....	71
4.3.6	Comparación de medias entre los tratamientos del factor RESINAS para tuberías con diámetro de ¾ pulgada.....	72
4.4	Estimación costo beneficio guadua angustifolia vs tubería PVC	72
4.4.1	Costo tubería PVC.....	72
4.4.2	Costo Guadua Angustifolia.....	73
Capítulo 5	75
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	75
5.1	Conclusiones.....	75
5.2	Recomendaciones.....	76
Bibliografía	78

Lista de ilustraciones

	Pág.
<i>Ilustración 1. Riego por goteo con Bambú.....</i>	22
<i>Ilustración 2. Guaduales.....</i>	32
<i>Ilustración 3. Arquitectura con guadua.....</i>	34
<i>Ilustración 4. Partes de la guadua angustifolia.....</i>	35
<i>Ilustración 5. Departamento del huila. Municipio de Pitalito.....</i>	47
<i>Ilustración 6. Banco Hidráulico.....</i>	48
<i>Ilustración 7. Tanque de almacenamiento de agua.....</i>	49
<i>Ilustración 8. Diseño con medidas y elementos del Banco Hidráulico.....</i>	49
<i>Ilustración 9. Acople de balde medidor a Montaje Banco Hidráulico.....</i>	50
<i>Ilustración 10. Corte y muestra tubería guadua.....</i>	51
<i>Ilustración 11. Broca metálica y copa cierra.....</i>	52
<i>Ilustración 12. Perforación interna guadua.....</i>	52
<i>Ilustración 13. Alisado Extremos Probeta.....</i>	53
<i>Ilustración 14. Masilla Bicomponente.....</i>	53
<i>Ilustración 15. Acople unión universal en guadua con masilla.....</i>	53
<i>Ilustración 16. Perforación y ajuste de manómetros para medición.....</i>	54
<i>Ilustración 17. Montaje probeta - banco hidráulico.....</i>	54
<i>Ilustración 18. Recubrimiento interno con Resina Epoxi.....</i>	55
<i>Ilustración 19. Recubrimiento interno con resina Poliéster.....</i>	56
<i>Ilustración 20. Recubrimiento interno con Resina Acrílica.....</i>	56

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1. Arreglo completamente al azar para diámetro tubería de guadua 1/2" y 3/4"</i>	59
<i>Figura 2. Códigos de las pruebas realizadas</i>	60
<i>Figura 3. Caudal (Q) vs. Coeficiente de fricción (f) - guadua 3/4"</i>	65
<i>Figura 4. Caudal (Q) vs. Coeficiente de fricción (f) - guadua 1/2"</i>	65
<i>Figura 5. Caudal (Q) vs. Coeficiente de fricción (f) -guadua 3/4" vs. Pvc 3/4"....</i>	67
<i>Figura 6. Caudal (Q) vs. Coeficiente de fricción (f) - guadua 1/2" vs. Pvc 1/2" ..</i>	67
<i>Figura 7. Diagrama de cajas y bigotes para resinas, tubería de 1/2"</i>	69
<i>Figura 8. Diagrama de cajas y bigotes para resinas, tubería de 3/4"</i>	71

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Diámetros y Espesores en Tuberías presión PAVCO WAVIN.....	43
Tabla 2. Pérdidas de Presión-Pérdidas por Fricción m/m.....	43
Tabla 3. Código de pruebas diseño experimental para el diámetro de ½” para el tratamiento sin resina (SR).....	60
Tabla 4. Código de pruebas diseño experimental para el diámetro de ¾” para el tratamiento sin resina (SR).....	61
Tabla 5. Pérdidas de fricción y caudal promedio para cada tratamiento en guadua ¾”.....	64
Tabla 6. Pérdidas de fricción y caudal promedio para cada tratamiento en guadua ½”.....	64
Tabla 7. Coeficiente de fricción y caudal promedio para cada tratamiento en guadua ¾”.....	65
Tabla 8. Coeficiente de fricción y caudal promedio para cada tratamiento en guadua ½”.....	65
Tabla 9. Coeficiente de fricción y caudal promedio para PVC ¾”, SR y R3 en guadua ¾”.....	67
Tabla 10. Coeficiente de fricción y caudal promedio para PVC ½”, SR y R3 en guadua ½”.....	67
Tabla 11. ANOVA para FRICCIÓN por RESINA.....	69
Tabla 12. Estadístico de prueba HSD Tukey para los tratamientos del factor RESINAS.....	70
Tabla 13. ANOVA para FRICCIÓN por RESINA.....	71
Tabla 14. Estadístico de prueba HSD Tukey para los tratamientos del factor RESINAS.....	72
Tabla 15. Costo resinas adquiridas en Empresa Sinergia Química SAS.....	73

<i>Tabla 16. Precio de fabricación tuberías de guadua y precio comercial tubería de PVC</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 17. Caracterización física probetas de guadua.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 18. Tubería de guadua #1 – ¾” Sin Resina.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 19. Tubería de guadua #2 – ¾” Resina Epóxica.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 20. Tubería de guadua #3 – ¾” Resina Poliéster</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 21. Tubería de guadua #4 – ¾” Resina Acrílica.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 22. Tubería de guadua #5 – ½” Sin resina</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 23. Tubería de guadua #6 – ½” Resina Poliéster</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 24. Tubería de guadua #7 – ½” Resina Acrílica.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 25. Tubería de guadua #8 – ½” Resina Epóxica.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 26. Análisis precios unitario</i>	<i>95</i>

Lista de símbolos y abreviaturas

SÍMBOLO O ABREVIATURA	TÉRMINO	UNIDAD SI
Q	Caudal	m ³ /s
S	Sección transversal de la tubería	m
V	Velocidad del fluido	m/s
P	Presión a lo largo de la línea de corriente del fluido	PSI
ρ	Densidad del fluido	KN/m ³
V	Velocidad media en la tubería	m/s
H	Altura desde el punto de referencia	m
G	Aceleración de la gravedad	m/s ²
D	Diámetro de la tubería	m
μ	Viscosidad del fluido	mPa s
HF	Perdida de carga	m
F	Factor de pérdida de carga	
L	Longitud del tramo en el cual se produce la pérdida de carga	m
HFACC	Perdida de energía por accesorio	
K	Coefficiente de pérdida del accesorio	
V	Volumen	m ³
T	Tiempo	s
F	Factor de fricción	
L	longitud del tramo de guadua	m
ΔH	Diferencia de pérdida por fricción	kPa
D	Diámetro de la tubería de guadua	m

Capítulo 1

1. Introducción

Durante los últimos años, se han presentado enormes variaciones en el medio ambiente por efectos del cambio climático, lo que conlleva una amenaza cada vez más grave para nuestro bienestar y salud del planeta (OMM, 2022), por esta razón, se ha venido trabajando la idea de la utilización de materiales más tradicionales y amigables con el medio ambiente para todo lo relacionado en el sector de la construcción.

A partir de lo anterior, la guadua se ha convertido en un material que presenta una mayor sostenibilidad ambiental, social y económica dentro del ámbito constructivo (Rojas, A., 2013), ya que se trata de un material natural, de fácil adquisición, con uno de los crecimientos y desarrollo vegetativo más rápidos del mundo (Salas Delgado, 2006), igualmente, cuenta con una gran capacidad para absorber energía y proporcionar grandes cantidades de biomasa para la producción de energía renovable (Guadua Bamboo, 2022), además de que no produce residuos ya que es totalmente biodegradable. Esta especie en su morfología presenta un peso muy ligero debido a su interior hueco, lo que facilita su transporte y colocación, permite todo tipo de cortes debido a composición fibrosa y cuenta con altas características de resistencia mecánica a tracción, compresión, flexión y corte. (Bambusa, 2018)

La guadua se puede considerar como un material o recurso natural que muchos países pueden aprovechar para una rehabilitación del medio ambiente y por ende impactar positivamente en el cambio climático, asimismo, como una fuente de ingreso para las poblaciones rurales de tal forma que reduciría la problemática social en el campo, ya que favorecería la economía de aquellas personas que se encargaría de la producción de dicho

elemento, ya sea para su comercialización como para su propio uso y por tanto favorecería las necesidades y el avance de la sociedad.

Cómo consecuencia, la guadua ha sido objeto de numerosos estudios con el pasar de los años, pues se indaga para su aprovechamiento y utilización en distintos sectores constructivos. Según Salas Delgado (2006), en Colombia, desde el siglo XIX, en el inicio de la colonización Antioqueña se empezaron a edificar aldeas, barrios y ciudades. Desde allí se ha estado utilizando la guadua para la construcción de diversas edificaciones que han contribuido al desarrollo de las ciudades y pueblos del país. Sin embargo, también se encuentra el uso de la guadua como mecanismo de conducción de agua, por ejemplo, se ha empleado en ciertas investigaciones como la “Determinación de características del bambú como tubería temporal a través del modelo de un banco hidráulico” (Cruz Hernández, 2019) siendo este el punto de partida para iniciar con el presente estudio, donde se investiga la capacidad de conducción del agua en la guadua, calculando su coeficiente de fricción (f) y sus respectivas pérdidas, siendo la guadua perforada en su interior, mediante pequeños elementos circulares de corte copa sierras, con el fin de ajustar el diámetro interno lo más similar a las tuberías convencionales de PVC de $\frac{1}{2}$ ” y $\frac{3}{4}$ ”. Al mismo tiempo, en busca de reducir el coeficiente y las pérdidas de fricción en la tubería guadua, se considera el empleo de resina en su interior con el propósito de mejorar las características mencionadas previamente. Cabe destacar que, dentro de las resinas empleadas para el estudio, se seleccionaron la resina epóxica, poliéster y acrílica; las cuales son las más comunes y fáciles de conseguir en el mercado, no obstante, la compra y selección de resinas depende en gran parte de su disponibilidad en la zona de trabajo y así mismo del presupuesto económico con el que se cuenta, teniendo una amplia variedad en los tipos y precios de estas.

Dentro del contexto de las resinas, se encuentran las resinas de origen natural y las resinas sintéticas. A lo largo de la historia, las resinas se han empleado desde un comienzo para la impermeabilización de barcos de madera, sin embargo, actualmente cuentan con una infinidad de usos, ya que se utilizan en la fabricación de productos de tipo adhesivos, pinturas, aceites (CNCT, 2007), elaboración de productos médicos (Ciesla, S.f.), reconstrucción y sellado de depósitos de almacenamiento de agua potable y de riego, tubos de agua, entre otros (FibraPlus, s.f.).

Teniendo en cuenta el impacto positivo que supone la guadua como alternativa a las tuberías convencionales, el presente proyecto está orientado a la optimización de la tubería poco convencional y mayormente económica que se desarrolla a partir de la guadua, es así que se busca estudiar las características hidráulicas mediante la estimación de las pérdidas por fricción de la tubería al implementar algunos tipos de resinas a base de polímeros, para posteriormente compararlas con la tubería de guadua sin ningún tipo de resina y con la tubería de PVC, así mismo determinar qué tan favorable en cuanto a costo-beneficio es el uso de resinas en la guadua como tubería para la conducción de agua.

Respecto a la selección de guadua, es importante tener en cuenta ciertas consideraciones a la hora de escoger los especímenes para uso como tubería, ya que se pueden presentar algunos dificultades o impedimentos debido a que la guadua no ofrece una sección uniforme en toda su longitud y no siempre crece de forma recta, de modo que la utilización y disponibilidad de diversos ejemplares de guadua, se encuentra condicionada a las características físicas y morfológicas que nos ofrezca la madre naturaleza. Además, la guadua no cuenta con una sección transversal totalmente circular lo que genera inconvenientes a la hora de realizar ensambles en sus extremos y también se trata de un elemento natural que puede ser vulnerable al ataque de hongos, insectos y condiciones extremas de humedad. Es por ello que se debe procurar una buena selección y protección de los elementos con los que se va a trabajar, dependiendo de las condiciones a las cuales va a estar expuesta, lo que aumenta en gran medida la vida útil de la guadua.

Dentro del diseño estadístico realizado a través del ANOVA SIMPLE, también se logró denotar una diferencia significativa entre los resultados arrojados en la guadua de $\frac{3}{4}$ " de los tratamientos sin resina y la resina acrílica. En tal sentido, el estudio permitió denotar una opción de mejora respecto a la capacidad de conducción de agua en la tubería de guadua.

1.1 Antecedentes

Los sistemas de conducción de agua, especialmente las tuberías, han sido de gran ayuda para la humanidad, debido a que éstas posibilitan la conducción de fluidos. Para llegar a donde hemos llegado hoy día, se han desarrollado diferentes investigaciones. A continuación, se referencian algunas de ellas:

En primer lugar, está probado que el bambú se ha utilizado en otros países como India y Tanzania, a manera de material de conducción para el abastecimiento de agua tanto potable como de riego (Lipangile et al.,1989). Para profundizar en la idea del bambú como tubería, tendríamos que hablar de sus inicios; el padre de la idea fue “Ye Ling”, quien inició la tecnología de tuberías de bambú compuesto en 2006. Este había establecido un equipo de investigación y desarrollo para probar la factibilidad de este concepto; la cual culminó con la aplicación industrial en el mes de septiembre del año 2016. (Redacción, 2017)

Cabe resaltar que en la India se ha estado trabajado con la guadua durante más de 200 años para regar las plantaciones de cultivos, es tanto así que los agricultores desarrollaron un sistema de riego por goteo con bambú aprovechando los manantiales y las corrientes de agua para hacer crecer sus cultivos, ya que en todo proyecto de riego se tienen altos costos debido a los materiales necesarios para el sistema. Este sistema surgió debido a la necesidad de transportar el agua hacia los cultivos en zonas montañosas con laderas, donde el terreno no posibilita el desviar el agua a través de canales de tierra. (Krishnamurthy, 2014) (R A Singh & R C Gupta, 2002). Por esto se creó un modelo de riego de goteo por bambú que se basa en la gravedad (Ver ilustración 1), ya que al tener zonas montañosas se utilizan sus pendientes para el desplazamiento de agua a través de conductos principales, secundarios y terciarios hechos con guadua. Estos conductos se ubican en el suelo con soportes de madera desde las partes más altas donde se intercepta el agua de manantiales y corrientes de agua hasta las partes más bajas de las colinas, de tal forma que se logra distribuir el agua hacia las plantaciones e incluso en algunas ocasiones se realizan canales que se dirigen hacia ciertas viviendas para hacer uso doméstico de este recurso. (P. P. Dabral, 2002) (Krishnamurthy, 2014)

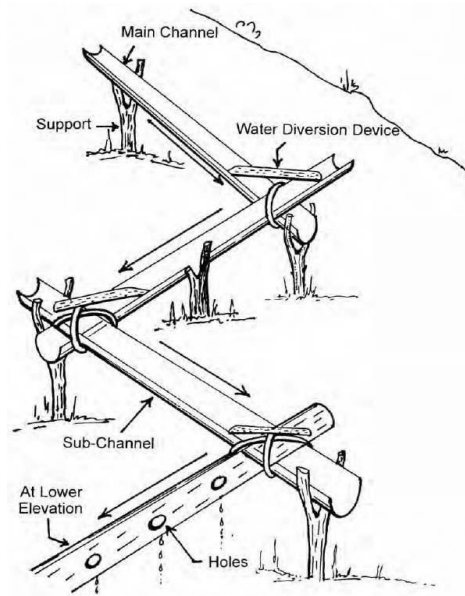


Ilustración 1. Riego por goteo con Bambú.

Recuperado de: “Traditional land and water management systems of North-East hill region”, R A Singh & R C Gupta, *Indian Journal of Traditional Knowledge*, Vol.1(1), July 2002, pp. 32-39

Adicionalmente y en relación a los sistemas de riego elaborados con bambú; es importante mencionar las tuberías compuestas de bobinado de bambú, las cuales se pueden aplicar ampliamente en campos de riego, transporte de agua, suministro de agua y drenajes urbanos, construcción de redes de tuberías de aguas residuales, entre otros. Estas tuberías tienen la capacidad de sustituir aquellas tuberías tradicionales de media y baja presión en gran escala, lo que conlleva importantes beneficios económicos, sociales, ahorro de energía, fijación de carbono y almacenamiento. (DFM Directorio Forestal Maderero, 2018)

“Las tuberías compuestas de bobinado de bambú usan el bambú como material reforzado, procesando bambú hueco de paredes delgadas en una tira continua de material en láminas; posee la ventaja de alta resistencia a la compresión, anticorrosión, excelente rendimiento de aislamiento térmico y electricidad, bajo costo, etc., y cumple con los criterios de evaluación de seguridad de los equipos de distribución para agua potable”. (DFM Directorio Forestal Maderero, 2018)

En la revista “Water”, los investigadores Yannopoulos, Grismer, Bali, & Angelakis (2020) comentan que a lo largo del tiempo los materiales básicos de drenaje subterráneo han evolucionado y así mismo sus técnicas de instalación. En este artículo plantean la posibilidad de experimentar e investigar con materiales diferentes a los convencionales,

que podrían ser una mejor solución a los problemas con alternativas innovadoras. Lo anterior mostrando el uso de la guadua como material de conducción en los sistemas de drenaje.

Además, en la Universidad Católica de Colombia, Cruz Hernández (2019), llevó a cabo un proceso de experimentación de la caracterización de las propiedades hidráulicas del bambú en un banco hidráulico y mediante ensayos de presión. Esta investigación dio como resultado unas pérdidas de presión en la tubería de bambú con una aceptación de estos para ser utilizados en ciertas operaciones; en las pruebas realizadas para las pérdidas de presión, las cuales se realizan a partir de un modelo hidráulico funcional. Cruz Hernández emplea el uso de guaduas con diámetros de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ", y concluye que las pruebas realizadas en el modelo cumplen con las presiones mínimas de operación para ciertos aparatos sanitarios, aunque, por otra parte, también enuncia que las pruebas en el sistema arrojan grandes pérdidas de presión, pues para guaduas con diámetros internos aproximados a $\frac{1}{2}$ " y tramos de 91 cm, se obtienen pérdidas de presión de hasta 9,9 PSI; expresado en una pérdida de fricción de 7 metros. En cuanto a los factores de fricción obtenidos, varían entre 0,23 y 0,28. El autor comenta que de esta manera se podría implementar en estructuras básicas de conducción hidráulica con diferentes enfoques ecológicos y de abastecimiento para comunidades que lo requieran, dando la posibilidad de proponer el uso del bambú como material alternativo en la solución del transporte de agua a presión. Así mismo se habla de utilizar productos químicos para implementarse en el material y así mejorar las propiedades al paso del agua.

Por otro lado, en cuanto a las investigaciones basadas en resinas, se demuestra que a lo largo de los años se ha convertido en un importante objeto de estudio debido a su infinidad de usos, inclusive, se ha empezado a utilizar a manera de protección y mejora para mecanismos de conducción de agua a través de tuberías. Como prueba de lo anterior, se tienen las siguientes investigaciones:

En la investigación realizada por Soria & Olaya (1977), se “establecen tres tipos de soluciones mediante el empleo de las resinas epoxi y de poliuretano, en el caso de protección, respecto a líquidos «agresivos» provenientes del exterior en conducciones de agua, sometidas a altas presiones, en tuberías de hormigón pretensado”

Igualmente, González (2010) realizó tuberías con fibras naturales (Fibras de guadua *Angustifolia*) como refuerzo a una resina polimérica sintética. En esta investigación se tuvieron en cuenta los factores como las propiedades mecánicas implícitas, el incremento en la eficiencia y la racionalización del uso de materiales para la producción de tuberías.

De manera análoga, en la investigación de Villavicencio & Joffre (2013), tuvieron como objetivo “evaluar la factibilidad del uso de la tubería epoxi reforzada con fibra de vidrio (ERFV)”, pues ellos indican que: “Este tipo de tubería se presenta como una alternativa económica para solucionar los problemas originados por el contacto con suelos altamente corrosivos, además de que este tipo de tubería ofrece otras ventajas sobre las tuberías tradicionales como una mejor eficiencia de transporte, durabilidad, menor peso y costos de instalación. Además, no requieren pintura ni materiales de conservación”.

Por último, en cuanto a las tuberías compuestas de bambú con adhesivo de resina, se dice que son ignífugas, impermeables y antisísmicas. Igualmente proporcionan un buen aislamiento térmico y eléctrico, son resistentes a la corrosión y pueden soportar altas presiones. (Redacción, 2017)

1.2 Justificación

Actualmente, existen en el mercado diferentes materiales para la conducción de agua a presión, no obstante, los sistemas para conducción representan un incremento en los costos para los pobladores de la zona rural, en especial para sus acueductos, por esta razón es importante la búsqueda de nuevas opciones en cuanto a tuberías que puedan ser más económicas y que por tanto sustituyan materiales convencionales de mayor costo como el acero y el PVC, sin afectar las propiedades hidráulicas que éstos poseen.

Teniendo en cuenta lo anterior, el bambú leñoso “*Guadua angustifolia*” es la especie vegetal que brinda una alternativa ambiental, sociocultural y en especial económica, lo que manifiesta un alto potencial de crecimiento en el país, esto debido a los múltiples usos que se le puede dar en la industria de la construcción, ebanistería, entre otras; reduciendo los precios cuando se implementa como componente primario. Además, dentro de las principales ventajas se tiene su buen comportamiento físico-mecánico iguales o superiores a muchas especies maderables, la resistencia al ataque de insectos, su forma y color que

la hace muy atractiva visualmente y sus múltiples usos, representando una opción económica para la gente que vive en el campo. (Giraldo y Sabogal, 2007)

Sumado a las capacidades hidráulicas, se desea también explorar diferentes opciones en productos como el uso de resinas comerciales, debido a que estas pueden ser efectivas para mejorar las características hidráulicas, como lo pueden ser las pérdidas por fricción, y optimizar la vida útil del material, lo que genera un mayor interés en la utilización de este tipo de materia prima como tuberías de conducción de agua.

En razón de lo antes expuesto, se lleva a cabo esta investigación con el propósito de validar la guadua como una alternativa de tubería de conducción de agua a presión, dando lugar a una mayor variedad de técnicas y usos en el mercado de materiales más sostenibles que permitan tanto el desarrollo de nuevos mecanismos en el ámbito constructivo, como el desarrollo de diseños en sistemas de acueductos eficientes hidráulica, económica y ambientalmente, debido a que la guadua se puede considerar como un material o recurso natural que muchos pueden aprovechar para generar un impacto positivo en el cambio climático, lo que posibilita una disminución en el perjuicio hacia el medio ambiente ocasionado por materiales convencionales como el PVC.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinación del comportamiento hidráulico en cuanto a coeficientes de fricción y pérdidas por fricción de la guadua *Angustifolia* como tubería de conducción de agua a presión, bajo el uso de diferentes tipos de resinas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar y construir un banco hidráulico para la evaluación de la tubería con guadua *Angustifolia*.
- Seleccionar 3 tipos de resinas comerciales para ser usadas en la evaluación hidráulica de la guadua *Angustifolia*.
- Determinar la influencia que los diferentes tipos de resinas efectúan sobre las pérdidas por fricción de la tubería de guadua *Angustifolia*.

- Establecer la relación beneficio-costo entre la tubería guadua *Angustifolia* con resina y la tubería en PVC.

1.4 Estructura del documento

A continuación, se describe de forma concisa cada uno de los 5 capítulos contenidos en el presente documento.

En el primer capítulo se abarca la introducción, los antecedentes que comprenden el interés de progreso e innovación en sistemas de conducción de agua a través de estudios y procedimientos relacionados con la guadua como tubería y la resina como material de mejora en mecanismos de conducción de agua. Así mismo, se incluye la justificación y por último los objetivos de la investigación.

En el segundo capítulo se incorpora el marco teórico con aspectos importantes respecto a la guadua *angustifolia*, pues ésta cuenta con fibras de excelente calidad, tamaño y demás propiedades que la convierten en un excelente competidor frente a otros materiales de características similares, además de que es un recurso renovable y sostenible, su interior es hueco y las paredes internas son blandas y rugosas, provocando que su duración interna sea reducida y su coeficiente de fricción sea elevado. Se incluye conceptos respecto a las pérdidas por fricción en la tubería y en relación a la resina sintética, materia de desarrollo en el presente trabajo investigativo que se refiere a sustancias viscosas endurecidas mediante reacciones químicas, principalmente por catalizadores y aceleradores, las cuales, se pueden resaltar la resina Epóxica, Poliéster y Acrílica, que cuentan con una buena durabilidad, resistencia a la corrosión, humedad, entre otros.

En el tercer capítulo se explica la metodología empleada para ejecutar la investigación con guadua. Inicialmente se realizó el banco hidráulico necesario para efectuar las pruebas, de tal forma que se construyó un soporte metálico y se adecuaron los accesorios y equipos requeridos. Posteriormente, se seleccionaron guaduas acarreadas del municipio de Pitalito, con diámetros internos que oscilan entre 1/2" y 3/4" para la fabricación de 8 probetas necesarias. Las probetas se fabrican y adecuan de tal forma que se ajusten al banco hidráulico para ejecutar las pruebas donde se determinó la presión y pérdidas de energía por fricción del agua en cada uno de los tratamientos; tratamiento sin resina, con resina epóxica, con resina poliéster y con resina acrílica impermeabilizante. Luego, mediante un

análisis estadístico (ANOVA Simple), se determinó cuál de los tratamientos presenta menores pérdidas por fricción y se realizan comparaciones con tubería de PVC. Finalmente, se estableció una comparación económica entre las tuberías de guadua con resina y de PVC.

En el cuarto capítulo se muestran los resultados obtenidos de la recolección de datos, como lo es el coeficiente de fricción, y las pérdidas por fricción para cada una de las variables tenidas en cuenta y además se expone el análisis estadístico que sirvió para conocer el comportamiento de los resultados obtenidos.

Para terminar, el quinto capítulo expone lo correspondiente a las conclusiones de esta investigación y también las recomendaciones para futuros estudios relacionados a este.

Capítulo 2

2. Marco teórico

2.1 La guadua

2.1.1 Bambú

El bambú se registró por primera vez en uso hace unos 5.000 años en la antigua China, donde a menudo se utiliza para construir casas en los árboles. Se remonta a la dinastía Han en el año 206 a 221 AC, el bambú se utilizaba para hacer papel y libros, mientras que el avance rápido de la dinastía Ming (1386-1644), fue utilizado para la ropa de cama y el suelo. El bambú ha sido objeto de un uso en una variedad de formas, e incluso tiene un poco de sentido práctico en la medicina china y la cocina. (DFM Directorio Forestal Maderero, 2016)

Pertenece a la subfamilia Bambusoideae, que cuenta con 91 géneros y más de 1000 especies. Se encuentra principalmente en los trópicos, encontrándose en todos los continentes, menos en la Antártida, debido a su amplia distribución puede resistir a una amplia variación de temperaturas, en áreas húmedas desde 28°C hasta 50°C. Se puede encontrar bambú desde el nivel del mar hasta altitudes de 4000 metros. En general, el bambú florece en suelos drenados, arcillosos y arenosos. Crece tanto en los bosques tropicales lluviosos como en la sombra de los bosques cálidos, pues usualmente dependen de la humedad, la sombra y una temperatura cálida. (Soler Soler, 2017)

Respecto a su vida útil y durabilidad, según Ramos & Torres (2018), en su trabajo de grado, señalan que, según los estudios realizados a través del tiempo, la vida útil de la guadua, ronda entre los 15 y 30 años. Para esto, se tuvo en cuenta ciertos usos generales de esta, ya sea para la construcción de muros, para refuerzo estructural o como sustituto de madera en algunos procesos decorativos e inclusive, señalan que algunos de los culmos más delgados, se pueden emplear en instalaciones hidráulicas, siendo estos utilizados como tuberías.

Por otro lado, la durabilidad natural promedio de la mayoría de las especies de bambú se encuentra alrededor de 2 años o menos, ampliándose desde 4 hasta 7 años si el bambú se almacena de forma correcta; la durabilidad puede verse afectada por otros factores ajenos al almacenamiento, como la especie de Bambú, el grosor, el momento de la cosecha, la longitud y otros. El bambú debe ser sometido a una serie de tratamientos que evite ser afectado por las plagas, aumente su vida útil y su durabilidad, pues esto permite que el bambú perdure hasta los 50 años o más. (Guadua Bamboo, 2022)

2.1.2 Guadua Angustifolia

La guadua es un género de bambú que pertenece a la subfamilia Bambusoideae de la familia de las gramíneas perennes Poaceae (Gramineae). De todos los pastos, el bambú es el más grande y el único que puede diversificarse en un bosque. (Guadua Bamboo, 2022)

En 1822, el botánico alemán Kunth describió a la guadua como un género segregado del asiático, Bambusa. Kunth usó la palabra indígena "guadua" (hoja estrecha), que era el nombre dado a este bambú entre las comunidades nativas de Colombia y Ecuador. (Guadua Bamboo, 2022)

Existen 38 especies de bambú guadua conocidas, las cuales se encuentran en América Central y del Sur. Sin embargo, la especie guadua angustifolia es nativa de Colombia, Ecuador y Venezuela. Allí se forman guaduales o bosques de guadua que alcanzan su desarrollo óptimo en la región central de los Andes, entre 900 y 1,600 metros sobre el nivel del mar, a temperaturas entre 20° y 26° centígrados, precipitaciones de 2,000 - 2,500 mm / año, con una humedad relativa de 75 - 85 % y en suelos aluviales ricos en cenizas volcánicas con una fertilidad moderada y buen drenaje. (Guadua Bamboo, 2022)

Según Londoño Pava (2000), “Esta especie está dotada y rodeada de condiciones que la hacen ideal para distintos campos de aprovechamiento. Señala, por ejemplo, que se trata de un recurso sostenible y renovable porque se auto multiplica vegetativamente, es decir, que no necesita de semilla para reproducirse como ocurre con algunas especies maderables. Tiene además alta velocidad de crecimiento, casi 11 cm de altura por día en la región cafetera y afirma 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.”

Por lo general, el ciclo de crecimiento del bambú es un tercio del de "un árbol de rápido crecimiento" y tiene el doble de productividad por hectárea. En comparación con el roble, la guadua produce hasta cuatro veces más madera. El diámetro máximo reportado para guadua angustifolia es de 25 cm y el promedio es entre 9 y 13 centímetros. Se ha observado un crecimiento diario de 21 cm de altura, de modo que alcanza su altura máxima (15-30 metros) solo en los primeros seis meses de crecimiento. (Guadua Bamboo, 2022)

Según Salas Delgado (2006), “los guaduales viven y se desarrollan asociados a áreas de gran potencial agrícola, es decir, suelos ricos, jóvenes y de buena capacidad productiva, pues, la inversión en el mantenimiento y manejo anual representa apenas entre el 25 y 30 % de las ganancias que se logran al cosechar el guadual. Por esto se cultiva y resiembra con esmero, aunque no con intensidad”. “En Colombia aproximadamente 100.000 personas derivan su sustento del aprovechamiento, manejo y comercialización de la guadua”. Agregando que “el Bambú debe convertirse en fuente de industrialización con reconocimiento internacional.”

Adicionalmente, “Desde su llegada al Quindío, los colonos encontraron a porrillo la guadua, especie de bambú gigantesco y la utilizaron para hacer sus casas, sus camas, los instrumentos musicales, la banqueta, la tapia del fogón, el aparador, el tarro de sal, el cedazo, el parapeto para la piedra de moler, los burros típicos para el juego de los, las estacas y talanqueras del potrero, las canoas que conducen el agua limpia desde la acequia, el lavadero, la puerta de trampas, el granero en conclusión la guadua fue y ha sido el único soporte de aquella raza, el símbolo de la civilización en estas tierras, como la porcelana en Asia, la piedra en Europa y el hierro y el cemento en Estados Unidos.” (Giraldo Herrera & Sabogal Ospina, 2007)

Por último, cabe resaltar que según Aristizabal (2016); la guadua angustifolia ha sido seleccionada como uno de los mejores bambúes del mundo debido a sus excelentes propiedades físico-mecánicas y se considera como la especie nativa más importante de Colombia.

2.1.3 Características ambientales

La guadua contribuye en gran parte al medio ambiente puesto que esta especie se encarga de aprovechar las grandes concentraciones de agua que absorben en épocas de lluvia para posteriormente mediante efectos de concentración; regresar el agua al caudal de los ríos, cuencas hidrográficas o quebradas en épocas con menor frecuencia de lluvias o con bastante escasez de esta (Guadua Bamboo, 2022). La guadua cuenta con ciertas virtudes tales como que permiten la estabilización de suelos, una mejora en el recurso hídrico, protección de flora y fauna, y fijación del carbono. La guadua favorece la conservación y mejoramiento de la calidad del aire, esto se debe a que esta planta genera grandes cantidades de oxígeno, hasta incluso mayores que las que generan los pinos, los cuales ya de por sí producen grandes concentraciones de este elemento químico; así pues, la guadua se encarga de absorber grandes concentraciones de CO₂ contenidas en el aire (Charpentier, 2017). Cabe resaltar que la guadua (Ver Ilustración 2) también se encarga de contribuir a la conservación y recuperación del suelo ya que evitan la erosión de este al sujetarlo mediante su complejo sistema de raíces. (Salas Delgado, 2006)



Ilustración 2. Guaduales

Recuperado de: <https://bambusa.es/caracteristicas-del-bambu/bambu-gadua/>

2.1.4 Características constructivas

Durante los últimos años, las técnicas de manejo de bambú se han mejorado de forma tal que se ha empelado para un sin fin de prácticas; ya sea en sistemas estructurales, cerramientos, muebles e incluso lencería, lo que llama la curiosidad de muchos guadueros tanto a nivel nacional como mundial (P&M, 2020).

China, India y Colombia son los países que han desarrollado mejores técnicas de construcción con bambú: los dos primeros han experimentado su uso incluso en proyectos estructurales como puentes colgantes y cúpulas; mientras Colombia se ha destacado en la construcción de viviendas y como material para aligerar losas de grandes edificios. (Rivera, 2018)

Según Salas Delgado (2006), en Colombia, desde el siglo XIX se ha venido utilizando la guadua para la construcción, en aquel momento en el que se inició la colonización Antioqueña, fue en ese entonces cuando se empezaron a edificar aldeas, barrios y ciudades. Desde allí se ha estado utilizando la guadua para la construcción de diversas edificaciones que han contribuido al desarrollo de las ciudades y pueblos de Colombia; y todo esto debido a que esta especie se caracteriza por unas buenas propiedades que garantizan altas resistencias a tracción, compresión y flexión.

Por lo anterior, en muchas partes del mundo se trabaja con la guadua para diversos fines, sin embargo, en nuestro país Colombia y bajo normas ambientales, los usos más frecuentes están relacionados al ámbito constructivo (Ver Ilustración 3) como ya se mencionó anteriormente, pues se emplean en viviendas, puentes, canaletas, acueductos, entre otros; pero también ha sido útil para la fabricación de instrumentos musicales, de cocina, horcones, etc. (Salas Delgado, 2006)



Ilustración 3. Arquitectura con guadua.

Recuperado de: <https://co.pinterest.com/pin/501025527270353764/>

2.1.5 Partes de la Guadua

- **Copa:** Parte apical de la guadua que cuenta con una longitud de 1,2 metros a 2 metros. Se utiliza como aporte de materia orgánica al suelo.
- **Varillón:** Parte con sección de menor diámetro de la guadua con una longitud aproximada de 3 metros. Es utilizada en la construcción como correa para techos.
- **Sobrebasa:** Parte de guadua que cuenta con un diámetro óptimo para ser muy empleada y por tanto muy comercial. Su longitud es de aproximadamente 4 metros y es utilizada como elemento de soporte en estructuras de hormigón.
- **Basa:** Parte que cuenta con un diámetro intermedio, permitiendo que pueda contar con varios usos. Su longitud es de aproximadamente 8 metros y es utilizada para la construcción de paredes, casetones y formaletas, vigas y columnas, además de construcciones propias de guadua.
- **Cepa:** Parte encargada de proporcionar la resistencia a la guadua. Cuenta con una distancia entre nudos corta y una longitud aproximada de 3 metros. Es utilizada para columnas y cercos.
- **Rizoma:** Es el tallo subterráneo de la guadua. Es utilizado principalmente como decoración, muebles y juegos.

En la Ilustración 4 se aprecian las partes que conforman la guadua angustifolia:

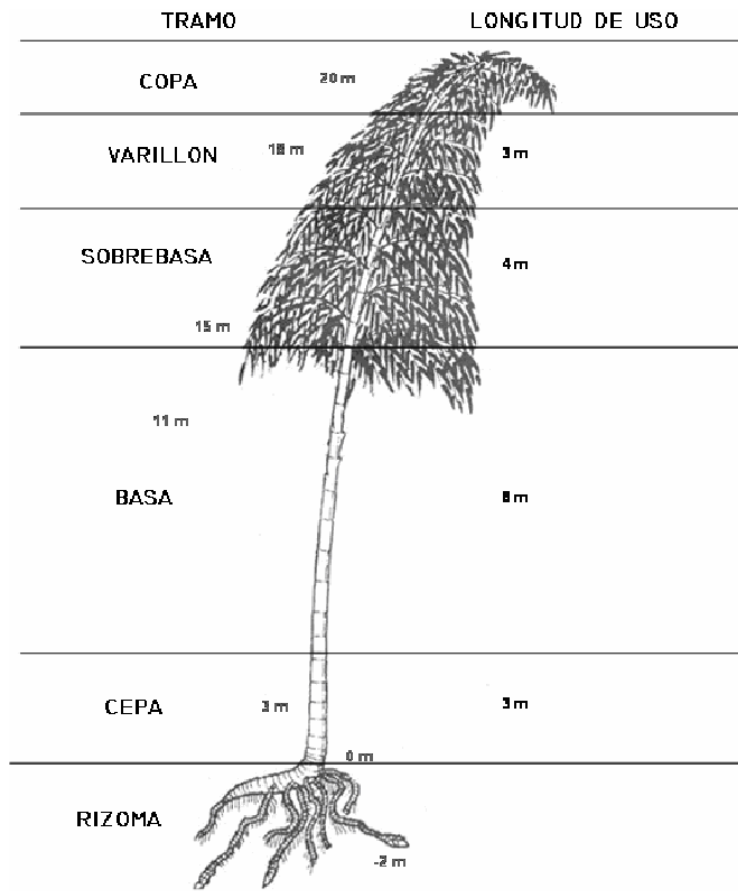


Ilustración 4. Partes de la guadua angustifolia.

2.2 Características hidráulicas y mecánicas para tuberías de conducción

2.2.1 Caudal

Es el volumen que una sección en una unidad de tiempo. (Martín Domingo, 2011)

2.2.2 Principio de continuidad

La ecuación de continuidad es un producto de la ley de conservación de la masa, que manifiesta que, en un conducto o tubería, sin importar su sección; mientras no existan derivaciones, la cantidad de fluido que entra por uno de sus extremos debe salir por el otro. (Universidad tecnologica de Chile, s.f.). Ver ecuación 1.

$$Q_1 = Q_2 \rightarrow S_1 * v_1 = S_1 * v_2$$

Ecuación 1. Principio de continuidad. Recuperada de: http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22_ecuacin_de_continuidad.html

Siendo:

Q: caudal.

S: Sección transversal en la tubería.

V: velocidad del fluido.

Cuando se tiene un fluido en un conducto de diámetro variable la velocidad cambia debido a la sección transversal que varía de un tramo a otro.

2.2.3 Ecuación de Bernoulli en tuberías

Es una ecuación que nos permite matemáticamente poder expresar el principio de Bernoulli basándose en la ley de la conservación de energía en un medio ideal y teniendo en cuenta los factores de velocidad del fluido, presión, carga de potencial, gravedad, altura y peso específico. (Khan Academy, s.f.). Ver ecuación 2.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Ecuación 2. Ecuación de Bernoulli en tuberías. Recuperado de: <https://es.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-bernoullis-equation>

Donde:

P: presión a lo largo de la línea de corriente del fluido.

p: densidad del fluido.

V: velocidad media en la tubería.

h: altura desde un punto de referencia.

g: aceleración de la gravedad.

2.2.4 Pérdida de carga

La pérdida de carga en una tubería o en un elemento hidráulico de una conducción es la diferencia de presión entre dos puntos, para un determinado caudal. (Valvulasarco, 2019)

Para designar las pérdidas se utiliza hf. Ver ecuación 3.

$$hf = fL \frac{V^2}{2gD}$$

*Ecuación 3. Pérdida de carga en tuberías. Recuperado de:
<https://es.slideshare.net/julissaibanezzamudio/hidraulica-en-tuberias-1>*

Donde:

hf: pérdida de carga.

f: factor de pérdida de carga.

L: longitud del tramo en el cual se produce la pérdida de carga.

D: diámetro de la tubería.

V: velocidad del fluido.

g: aceleración de la gravedad.

2.3 Resinas

Según el diccionario de Botánica de Pío Font Quer, la resina consiste en “las sustancias de secreción de las plantas con aspecto y propiedades más o menos analógicas a las de los productos conocidos vulgarmente con el mismo nombre. En cuanto a su formación, pueden resultar del metabolismo normal (resinas fisiológicas) o anormal, producidas las últimas por traumatismo (resinas patológicas). Hay también resinas fósiles, procedentes probablemente de vegetales antediluvianos. Por ej; el ámbar o succino”.

Por otro lado, las resinas son sustancias viscosas que pueden ser translúcidas o transparentes. Estas se endurecen o fortifican mediante reacciones químicas por efectos de catalizadores y aceleradores (Proasur S.L., 2018). En tal sentido, las resinas presentan algunas consideraciones a la hora de realizar trabajos o ciertas manipulaciones con estas:

2.3.1 Tiempo de curado

Según Proasur (2018) “Es el tiempo que toma la resina para curar por completo. Este tiempo depende directamente del tipo de resina utilizada, aunque generalmente depende de la cantidad de catalizador que se emplee (cuanto más catalizador, más rápido se endurecerá). También influye en menor medida la temperatura exterior (en bajas temperaturas se puede aumentar la proporción de catalizador o prever un tiempo de curación superior). Si una vez pasado el tiempo de curación la resina aún está pegajosa, se debe tener en cuenta que ésta no va a mejorar”.

2.3.2 Tiempo de manipulación

“Es el tiempo que se dispone para trabajar con la resina antes de que ésta comience a endurecerse”. (Proasur S.L., 2018)

2.3.3 Tiempo de desmolde

“Es el tiempo que hay que esperar para extraer la resina ya curada del molde”. (Proasur S.L., 2018)

2.3.4 Tipos de Resinas

Dentro de las resinas, encontramos resinas de origen natural y resinas sintéticas:

- **Resinas Naturales:** Las resinas naturales tienen su origen esencialmente en los árboles llamados “Coníferas”, sobre todo los árboles de Pino. Esta resina es liberada por las plantas para cicatrizar algún tipo de corte o lesión ocasionada en su corteza. En cuanto a sus aplicaciones, a lo largo de la historia se han empleado desde un comienzo para la impermeabilización de barcos de madera, sin embargo, actualmente se utilizan en la fabricación de productos de tipo adhesivos, barnices, pinturas, revestimientos para suelos, jabones, aceites, e inclusive para la elaboración de productos médicos como los conservantes de fármacos y repelentes para perros, o las matrices de medicamentos. (CNCT, 2007) (Ciesla, S.f.)
- **Resinas Sintéticas:** Estas resinas presentan propiedades similares a las resinas naturales, sin embargo, respecto a su composición química son muy diferentes. Según

el Blog de Empresas en Valencia (2015) “La resina sintética es un material que ha sido utilizado desde la década de los 60 para suelos industriales y en los últimos años, la resina epoxi y poliuretano se ha utilizado en todo tipo de interiores.” No obstante, encontramos una amplia disponibilidad de resinas sintéticas, dentro de las cuales, se nombrarán algunas considerando su disponibilidad y cualidades necesarias para el proyecto en consideración.

Entre las resinas sintéticas más destacadas para cumplir y satisfacer necesidades de impermeabilidad encontramos:

- **Resina Epoxi o Epóxica:** La resina Epóxica es un polímero termoestable que pasa de estado líquido a sólido cuando se le aplica un endurecedor o catalizador; es decir esta requiere de un componente A y un componente B para llevar a cabo su aplicación (La resina EPOXI, s.f.). En el campo industrial, la resina epoxi presenta una amplia compatibilidad, adaptabilidad y adherencia con distintos materiales y superficies “entre los que se encuentra la madera” (DISEÑOS EPÓXICOS, 2022); esta resina cuenta con una gran variedad de características, presentan una alta resistencia a productos químicos agresivos, un alto rendimiento a altas temperaturas de hasta 45°C y 70 °C, gran capacidad de adaptación en todo tipo de superficies, poca contracción, alta resistencia a la corrosión ya que es una de las resinas que soportan exposiciones más prolongadas a agentes químicos corrosivos, buena flexibilidad y una alta resistencia a la tensión (La resina EPOXI, s.f.). También es importante resaltar que la resina Epóxica necesita un periodo de curado superior respecto a la de Poliéster, presenta un coste medio-alto y cuenta con una vida útil de dos años como mínimo, también, es segura y fácil de utilizar, sin embargo, es necesario utilizar guantes y favorecer la ventilación del espacio para garantizar una correcta manipulación (Rai Pintores, s.f.).

Respecto a sus usos, se suelen emplear para el revestimiento de suelos en industrias y empresas, pues se utilizan para garajes, almacenes, hangares, naves y plantas de procesado (Barnaplac, 2019); también se utilizan como adhesivos o pegamentos relacionados a aspectos estructurales o constructivos junto con su uso para la reparación de piezas vehiculares; o para evitar cortocircuitos y proteger del polvo y la humedad generadores, reductores, escobillas, aisladores y demás piezas eléctricas las cuales se suelen encapsular con este tipo de resina; o también para proteger

embarcaciones, tablas de surf y todo tipo de elementos expuestos a la corrosión por humedad, sal marina y sol; se usan para construir moldes, laminados y piezas maestras o accesorios con costes más reducidos respecto a otros materiales usados para este tipo de elementos; se usan en manualidades ya que la transparencia, la dureza y el brillo de este material la convierten en el material perfecto para ornamentos, artesanías, encapsulado de madera, joyería, bisutería y arte abstracto. Incluso, se utiliza para la elaboración de réplicas de personajes de moda de películas, cómics y videojuegos. (La resina EPOXI, s.f.) (PROSAN, 2021)

Finalmente, resaltar que la resina Epoxi no es toxica siempre y cuando esté completamente curada, es decir, en algunas ocasiones se utiliza en la industria alimentaria para recubrimiento de tanques y recipientes de alimentos o revestimientos interiores para estanques, también para muebles de comedor, se utiliza en terrarios, acuarios, etc. (Resina Epoxi, 2022). Igualmente, se cuentan con sistemas de resina Epoxi que se desarrollaron para todos los requisitos comunes de renovación de alcantarillados domésticos e industriales (BRAWO® SYSTEMS, 2022). Sin embargo, si la resina no está completamente curada y se encuentra en estado líquido; siempre es tóxica y debe evitarse al contacto con la piel o la inhalación de vapores emitidos por la resina, pues estos gases también suponen un riesgo para la salud. (Resina Epoxi, 2022)

- **Resina Poliéster:** La resina poliéster está conformada por compuestos químicos termoplásticos a base de polímeros. Su endurecimiento se obtiene con ayuda de un catalizador a temperatura ambiente, y dependiendo de su tipo, se necesita la ayuda de un acelerante. Estas cuentan con unas propiedades que garantizan una alta estabilidad química, eléctrica y mecánica; son muy impermeables, con alta durabilidad y resistencia a la abrasión e intemperie, además de tener buena capacidad de adherencia. Presentan una vida útil en torno a los 18 y 24 meses tienen un costo bajo – medio, sin embargo, se consideran por mucho, de las resinas más económicas del mercado. (Cosmos, s.f.) (Rai Pintores, s.f.)

Entre sus usos se encuentran que las resinas de Poliéster presentan una amplia gama de aplicaciones industriales; se usan para piezas pequeñas, medianas y grandes; para la protección en coberturas de tablas de surf, embarcaciones y demás objetos expuestos a la humedad y sal marina; se usan para el compuesto de moldeo de hojas, el compuesto

de moldeo a granel y el tóner de las impresoras láser. También se suele utilizar como capa de recubrimiento final en el caso de desear un acabado transparente, siendo la resina de poliéster compatibles con muchos tipos de materiales, tales como hierro, hormigón, madera, PVC, etc. (Nieto. M, 2018)

Adicionalmente, la resina de poliéster también es utilizada para sellar y reconstruir o incluso construir depósitos de almacenamiento de agua potable, agua de riego, y para tubos de agua, etc. (FibraPlus, s.f.). Esto es posible siempre y cuando la resina se encuentre totalmente curada, lo cual inhibe la toxicidad en su fase líquida.

- **Resina Acrílica Impermeabilizante:** Son sustancias que presentan excelentes propiedades de impermeabilizado y adherencia; son buenos selladores de poros y grietas en concretos y terrazas; buenos ligantes para estuco plástico (Invesa, 2020); pueden ser termoplásticas o termoestables y se caracterizan por ser resistentes a la abrasión; tener una alta resistencia a la tensión, al impacto y a la exposición ultravioleta. También presentan propiedades térmicas satisfactorias, pues no presentan contracción o expansión elevada; son fáciles de trabajar y de reparar; y, además, presentan un costo moderado. Sin embargo, son más frágiles respecto a otras resinas y se recomienda evitarse a la intemperie ya que en contacto prolongado con la lluvia, se erosiona con mayor facilidad que las otras resinas. (QuimiNet, 2012) (La resina Epoxi, s.f.)

La resina acrílica tiene multitud de usos en manualidades, escultura, ortodoncia y estética. Esta resina sin otro tipo de disolvente más que el agua, tiene un alto contenido en componentes naturales y biodegradables como el yeso, y por tanto su composición es más natural y libre de Compuestos volátiles COVs, lo que permite que se utilice sin necesidad de mascarilla y carece de toxicidad. (La resina Epoxi, s.f.)

2.3.5 Rehabilitación por resinas

Se refiere a la propuesta para la aplicación de resinas en pro de la restauración y mejora de calidad en una tubería, así como un agente endurecedor, limpiador y duradero. Las resinas permiten distintos tratamientos como el revestimiento de tuberías de aguas residuales, sanitarias, revestimiento de saneamientos, impermeabilización de cubiertas, revestimiento de tuberías en piscinas, entre otros. Estas resinas se aplican en las tuberías para proporcionar algunos atributos tales como la protección ante óxido, corrosión y

sedimentación, aumento en el caudal de soporte y mejoras en la calidad del agua potable. (Dual Pipe Fontanería sin Obras, 2020)

2.4 Tubería PVC

- **Características de las Tuberías de PVC:** El proyecto se centró en las tuberías o tubosistemas de PVC - PVC O WAVIN; información obtenida del Manual Técnico Tubosistemas PRESION PVC (2020). Estas tuberías son fabricadas de policloruro de vinilo bajo las normas NTC 382, las cuales están diseñadas principalmente para el transporte de agua para consumo humano a presión. El material de fabricación se ha verificado de acuerdo a la ANSI/NSF 61, lo que garantiza la conservación de la calidad del agua. Según PAVCO, estos tubosistemas son garantizados y fabricados para unirse con cemento solvente, donde los tubos vienen de extremo liso y los accesorios con campana.

Respecto a su vida útil, se estiman unos 50 años, sin embargo, PAVCO no garantiza esto, puesto que ellos no se encargan de controlar aspectos derivados a la hora de instalación, o demás aspectos que puedan inferir de forma negativa en el desempeño y vida útil del producto.

Adicionalmente, es importante aclarar que las diferentes tuberías que ofrece PAVCO, se basan en función de la presión de trabajo, para la cual se le es asignado un RDE. El concepto de RDE, hace referencia a la relación del diámetro del tubo y el espesor de la pared.

- **Características Físicas y Comportamiento Hidráulico en Tuberías de PVC:** En la tabla 1 se muestran los diámetros y espesores en mm y pulg, junto con la referencia y el peso en g/m, según el RDE para las tuberías de presión PAVCO WAVIN, y en la tabla 2 se muestran las pérdidas de presión en m/m para tuberías de presión PAVCO WAVIN con diámetros de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ " según el caudal empleado en litros por segundo.



Tuberías Presión PAVCO WAVIN

RDE 9 PVC
Presión de Trabajo a 23°C: 500 PSI

RDE 11 PVC
Presión de Trabajo a 23°C: 400 PSI

RDE 13.5 PVC
Presión de Trabajo a 23°C: 315 PSI

RDE 21 PVC
Presión de Trabajo a 23°C: 200 PSI

Diámetro Nominal		Referencia	Peso	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Promedio
mm	pulg.			mm	pulg.	mm	pulg.	
21	1/2	2900266	218	21.34	0.84	2.37	0.09	16.60
26	3/4	2900210	304	26.67	1.05	2.43	0.09	21.81
21	1/2	2902449	157	21.34	0.84	1.58	0.06	18.18
33	1	2900213	364	33.40	1.31	2.46	0.09	28.48
26	3/4	2900237	189	26.7	1.05	1.52	0.06	23.63
33	1	2900220	252	33.4	1.31	1.60	0.06	30.20
42	1.1/4	2900225	395	42.2	1.66	2.01	0.08	38.14
48	1.1/2	2902450	514	48.3	1.90	2.29	0.09	43.68
60	2	2902453	811	60.3	2.37	2.87	0.11	54.58
73	2.1/2	2900230	1185	73.0	2.87	3.48	0.14	66.07
88	3	2900233	1761	88.9	3.50	4.24	0.17	80.42
114	4	2900240	2904	114.3	4.50	5.44	0.21	103.42
168	6	2904616	5835	168.3	6.62	8.03	0.32	152.22

Tabla 1. Diámetros y Espesores en Tuberías presión PAVCO WAVIN.

Recuperado de: *MANUAL_PRESION_24-FEB-2020.pdf*

Q	1/2" RDE		3/4" RDE	
	9	13.5	11	21
0,1	0,0188	0,0184	0,0050	0,0034
0,2	0,0679	0,0663	0,0180	0,0122
0,3	0,1437	0,1404	0,0380	0,0257
0,4	0,2448	0,2391	0,0648	0,0438
0,5	0,3698	0,3613	0,0979	0,0662
0,6	0,5182	0,5062	0,1371	0,0928
0,7	0,6892	0,6733	0,1824	0,1235
0,8	0,8823	0,8619	0,2335	0,1581
0,9	1,0972	1,0718	0,2904	0,1965
1,0	1,3333	1,3024	0,3529	0,2388
1,1	1,5904	1,5536	0,4209	0,2849
1,2	1,8681	1,8249	0,4944	0,3346
1,3			0,5733	0,3880
1,4			0,6576	0,4451
1,5			0,7471	0,5057
1,6			0,8418	0,5698
1,7			0,9417	0,6374
1,8			1,0468	0,7085
1,9			1,1569	0,7830
2,0			1,2720	0,8610
2,2				

Tabla 2. Pérdidas de Presión-Pérdidas por Fricción m/m.

Recuperado de: *MANUAL_PRESION_24-FEB-2020.pdf*

Capítulo 3

3. Metodología

3.1 Enfoque investigación

En el proyecto se llevó a cabo una serie de eventos sistemáticos que parten desde una investigación previa con el propósito de adquirir ciertos conocimientos para el desarrollo de la investigación, por tanto, se abordan hipótesis tales como “¿La guadua angustifolia sirve para la conducción de agua a presión?”; al igual que, “¿Cómo influye el uso de resinas en las pérdidas por fricción de la tubería realizada con guadua angustifolia?”. Por otra parte, se realizaron observaciones y recolección de datos numéricos, de modo que se permitió un análisis estadístico en relación a las pérdidas por fricción de la guadua angustifolia como tubería de conducción de agua a presión, implementando un recubrimiento de resina en su interior. Por tanto, la presente investigación con un enfoque de tipo experimental se apoya en las siguientes etapas:

- Realización del estudio previo de los conceptos requeridos para la investigación.
- Consulta de material bibliográfico relacionado con el tema mediante el uso de bases de datos.
- Conceptualización para el diseño del banco hidráulico, que servirá para poder medir las variables como el caudal, las pérdidas de energía del sistema, presiones, entre otras.
- Montaje del banco hidráulico y su respectiva ubicación para la toma de datos.
- Selección de 3 tipos de resinas teniendo en cuenta su uso comercial.
- Ejecución de los debidos ensayos verificando que el sistema esté correctamente instalado (ausencia de fugas en la tubería y en las uniones del sistema).

- Recolección y análisis de los datos obtenidos a partir de los ensayos (caudal, presiones de entrada y de salida, pérdidas de Energía).
- Análisis estadístico de la influencia de las resinas en las pérdidas por fricción de la guadua *Angustifolia*.
- Elaboración del análisis beneficio costo entre la tubería en guadua y la de PVC.

En este proyecto, se tuvo en cuenta la utilización de varios tipos de resina; es por esto que se utilizaron tres de los tipos de resinas más comunes y de mayor accesibilidad en el mercado local como lo es la resina epoxi, la resina poliéster y la resina acrílica impermeabilizante. Para esto se recubrieron ciertas probetas de guadua con cada una de las resinas y se dejó un elemento de guadua sin resina. Posteriormente se llevaron a cabo pruebas para determinar la presión y pérdidas de energía por fricción del agua en cada una de estas muestras con y sin resina. Todo esto para así comparar resultados entre los elementos de guadua con los diferentes tipos de resina y el elemento de guadua sin ella. Luego, mediante aquellas comparaciones se determinó qué muestra es más factible para su utilización en sistemas de conducción de agua, es decir, se determina cuál de las muestras presentó un mayor desempeño o, en sí, menores pérdidas por fricción cuando es expuesta a condiciones a las que se suele someter una tubería común como lo pueden ser las tuberías construidas con PVC, por lo que también se realizaron comparaciones con esta última. Por último, se estableció una comparación económica entre las tuberías de guadua con resina y de PVC para evaluar su costo beneficio.

3.2 Población de estudio

La población objeto de estudio para el proyecto corresponde a la guadua *angustifolia*, la cual ha sido de enorme interés, valor y trascendencia a lo largo de la historia colombiana. Para este proyecto se estudió la guadua *angustifolia* proveniente del municipio de Pitalito (Ver Ilustración 5), ubicado en el suroriente del departamento del Huila según sus límites geográficos a 01°52'03" latitud norte y 76°03'23" longitud sur. Este municipio posee una extensión total 62.685.7 ha y limita al Norte con los municipios de Timaná, Elías y Saladoblanco; al Sur con el municipio de Palestina; al Oriente con Acevedo y al Occidente con el municipio de Isnos y San Agustín. Pitalito cuenta con unas óptimas condiciones

geográficas y climáticas para desarrollo de la guadua, pues según el “Plan de desarrollo municipal 2020-2023. Pitalito”; presenta altitudes en un rango de 1200-2800 msnm. con un promedio de 1318 msnm. Además, cuenta con un clima templado en donde su temperatura media está entre los 18° y 21° C; su precipitación entre los 1500 mm/año y los 2.300 mm/año; y su humedad relativa entre el 80% y el 85%. Cabe resaltar que el municipio de Pitalito cuenta con una amplia variedad hidrográfica, dentro de los cuales se encuentran los ríos de Guachicos y Guarapas, siendo este último objeto de un estudio en el proyecto “Caracterización de servicios ecosistémicos de la guadua angustifolia kunth en la cuenca baja del río Guarapas” (Noriega, 2018); lo que evidencia un enorme interés de la guadua angustifolia en dicha zona del municipio.



Ilustración 5. Departamento del huila. Municipio de Pitalito

3.3 Muestra

Se seleccionaron guaduas acarreadas del municipio de Pitalito, con diámetros internos que oscilan entre $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ " aproximadamente. Una vez adquirido este material, se fabricaron 16 probetas, aproximadamente de 94 cm de longitud, de las cuales 8 corresponden a las probetas necesarias para llevar a cabo las pruebas de presión y el resto se fabrican en caso de que alguna de las 8 probetas necesarias falle al momento de llevar a cabo la perforación interna o la prueba de presiones. Para esto se emplearon herramientas de corte como la sierra metálica y herramientas de medición como la cinta métrica. Posteriormente se

adecuaron los diámetros internos mediante el empleo de una broca metálica, copa sierra y un taladro.

3.4 Diseño banco hidráulico

Para el soporte del banco hidráulico, se decidió emplear materiales metálicos duraderos, resistentes al agua y la corrosión de tal forma que pueda proporcionar un buen apoyo al banco hidráulico a largo plazo, también se colocaron rodachines en la base del soporte para facilitar su desplazamiento de un lugar a otro.

A continuación (Ver Ilustración 6), se presentan las dimensiones con las cuales se diseña el soporte para garantizar una correcta adecuación de la tubería, los accesorios de acople y demás materiales propuestos para el correcto funcionamiento del banco hidráulico:

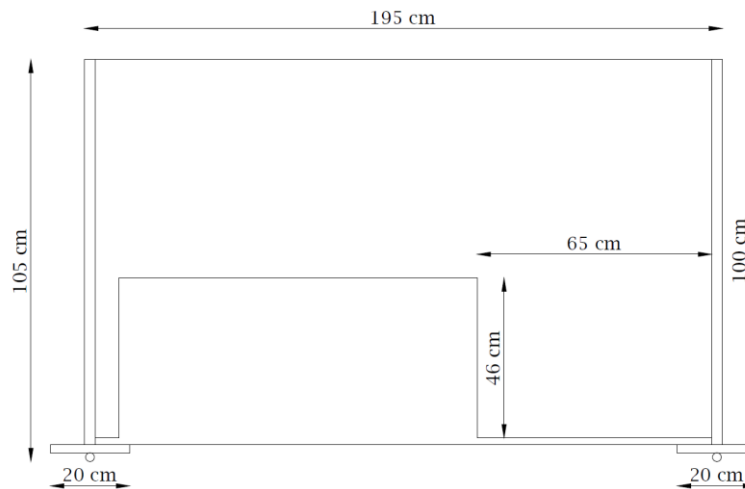


Ilustración 6. Banco Hidráulico

Para el diseño del banco hidráulico se seleccionó una electrobomba de 0.5 HP, donde se escoge a criterio debido a su facilidad en el mercado, su capacidad de bombeo de agua y economía para el procedimiento a realizar.

Así mismo se seleccionó el tanque de almacenamiento de agua (Ver Ilustración 7) de tal forma que dicho producto cumpla con la capacidad mínima para el proceso, considerando también su disponibilidad en el mercado.



Ilustración 7. Tanque de almacenamiento de agua

A continuación, en la ilustración 8, se observan las dimensiones respectivas al diseño del banco hidráulico junto con los accesorios y elementos empleados en el modelo para evaluar los dos tipos de probetas de guadua, siendo la probeta superior con diámetro interno de $\frac{3}{4}$ " y la inferior de $\frac{1}{2}$ ". Se colocó la bomba en la parte inferior del modelo la cual se conecta con el tanque de suministro de agua a través de tubería PVC de 1". Lo que se busca es evaluar la circulación del agua a través de las dos probetas de forma individual, por lo que se utilizan tramos, acoples y válvulas de PVC ajustadas al sistema, de tal forma que se pueda controlar el paso o la retención del líquido hacia la probeta que se está evaluando para posteriormente redireccionar la circulación hacia la probeta faltante.

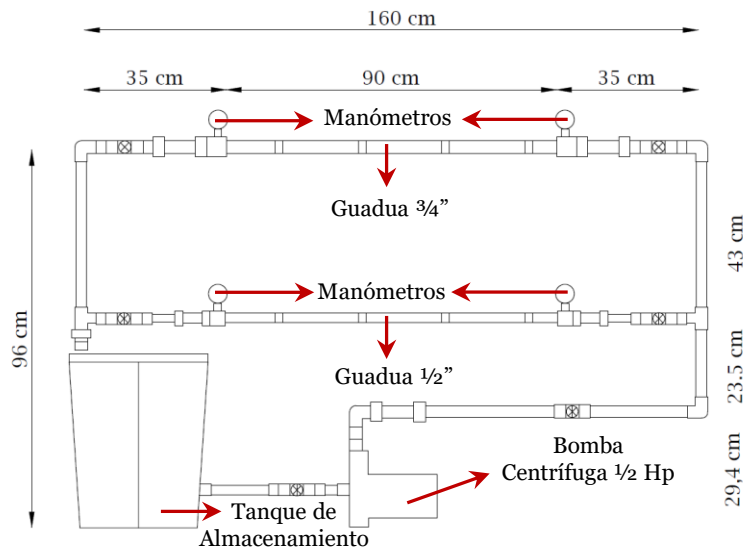


Ilustración 8. Diseño con medidas y elementos del Banco Hidráulico

3.4.1 Montaje banco hidráulico

Para el montaje del banco hidráulico y teniendo como base el modelo establecido mediante AutoCAD; se seleccionaron los elementos de PVC de tipo unión, bujes, codos, tees, adaptadores y llaves, para posteriormente aplicar limpiador y recubrimiento con soldadura como por ejemplo en el caso de las tees. En otros casos, se utilizaron herramientas de tipo llave mixta y se aplica teflón, como fue necesario para el ajuste de las llaves o registro de PVC junto con los adaptadores. Esto se realizó de tal forma que los elementos de PVC se acoplen según el diseño del modelo.

En este orden de ideas, se realizó el montaje del banco hidráulico con tubos de PVC “Sin Probetas de guadua” en el soporte metálico y se adicionó un balde medidor para la determinación de caudales al final del sistema, para lo cual se realizó el acople de un tramo de PVC desmontable mediante el ajuste de una unión universal, como se observa en la ilustración 9.



Ilustración 9. Acople de balde medidor a Montaje Banco Hidráulico

3.5 Elaboración de las probetas como tubería guadua

Las probetas empleadas para el análisis, se seleccionaron con rigurosidad, de tal forma que sean lo más rectas posibles y sin daños o grietas que puedan ocasionar alguna fuga de agua o que permitan el fallo de estas al quebrarse dentro de alguna prueba. Es por esto que, para la realización de las probetas de tuberías de guadua, se llevó a cabo la fabricación de unas 16 probetas de 90 cm de distancia libre “longitud de guadua en el modelo sin

contar parte incrustada en las uniones universales”, de las cuales son necesarias 4 probetas con diámetros de aproximadamente $\frac{3}{4}$ ” y otras 4 probetas con diámetros de aproximadamente $\frac{1}{2}$ ”. Los especímenes restantes se efectuaron en caso de que alguna de las 8 probetas necesarias falle al momento de llevar a cabo la perforación interna o la prueba de presiones. Por consiguiente, se realizaron cortes transversales a la guadua buscando la mayor uniformidad posible en todo el tramo (Ver Ilustración 10-a), de tal forma que se lograran obtener diámetros muy similares en sus extremos, lo que facilitó el acople posterior de dicha probeta al respectivo banco hidráulico planteado anteriormente. En relación con esto, para el corte de la guadua se tuvo en cuenta una longitud total de 94 cm aproximadamente, como se observa en la ilustración 10-b.

$$\begin{aligned} & (\text{Distancia libre} + (\text{Distancia acople con unión universal} \times 2)) \\ & \rightarrow (90 \text{ cm} + (2 \text{ cm} \times 2)) = 94 \text{ cm} \end{aligned}$$



Ilustración 10. Corte y muestra tubería guadua

Al fabricar cada probeta, se procedió a realizar una caracterización física (Ver ANEXO A), como lo es la obtención de diámetros externos e internos, el espesor, la distancia entre nudos y el número de nudos. Para ello se utilizó un pie de rey como herramienta de medición en los diámetros.

Una vez fabricadas las probetas de guadua a utilizar y dado que su diámetro interno natural varía dependiendo de su crecimiento, se procedió a adaptar dicho diámetro a los requerimientos de la prueba, para lo cual se realiza la perforación de los tabiques centrales (parte interna de los nudos de la guadua), mediante el empleo de una broca metálica de 50 cm de largo en donde uno de sus extremos cuenta con una sección puntiaguda para facilitar la perforación, además, en dicho extremo se adecua un elemento de corte o copa sierra dependiendo del diámetro especificado para la tubería que se está perforando. Se utilizaron copa sierras de 16 mm y 22 mm para la guadua de $\frac{1}{2}$ ” y de $\frac{3}{4}$ ” respectivamente,

pues son los diámetros que más se asemejan a una tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ " y de $\frac{3}{4}$ ", convirtiéndolas en tuberías más usuales para el paso del agua.

En la ilustración 11, se evidencia el elemento de fabricación para perforación interna o broca metálica más copa sierra.

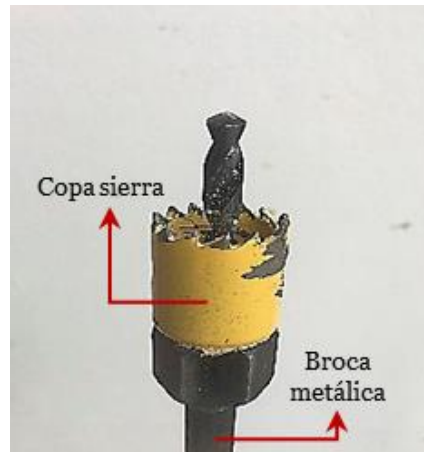


Ilustración 11. Broca metálica y copa sierra

En la ilustración 12-a, se observa la perforación interna de la guadua con ayuda de un taladro al cual se le acopla la broca metálica para finalmente obtener la perforación en la probeta como se observa en el corte transversal de la ilustración 12-b, lo que se buscó fue proporcionar un diámetro interno lo más parejo posible dentro de la guadua de tal forma que se perforaron sus entrenudos de extremo a extremo.

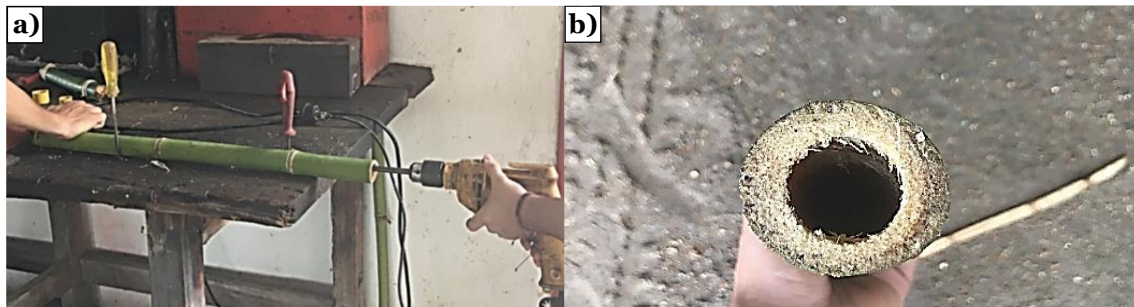


Ilustración 12. Perforación interna guadua

3.5.1 Montaje de las probetas de guadua al banco hidráulico

Para el montaje de las probetas de guadua al banco hidráulico, se seleccionan las probetas fabricadas previamente y se realiza el acople de uniones universales en cada uno de los extremos de estas. Para esto, con anterioridad se pulen los extremos de las probetas como se observa en la ilustración 13, de tal forma que la unión universal encaje de forma precisa

en el extremo de la guadua. Adicionalmente, se utilizó una masilla bicomponente (Ver Ilustración 14) en dichos extremos (Ver Ilustración 15), la cual funciona como sellante y ayuda a prevenir fugas de agua que se pueden ocasionar a la hora de colocar en funcionamiento el sistema para cálculo de presiones.



Ilustración 13. Alisado Extremos Probeta



Ilustración 14. Masilla Bicomponente



Ilustración 15. Acople unión universal en guadua con masilla

En tal sentido, al acoplar las uniones universales en cada una de las guaduas, se procedió a realizar los orificios necesarios para la colocación de los manómetros, para esto se emplea el uso de un taladro y una broca especial para madera como se observa en la Ilustración 16-a. Es importante señalar, que la distancia entre dichos orificios fue de aproximadamente 84 cm, de tal forma que se permita una correcta colocación de los collarines de derivación a utilizar para el acople de los manómetros.

Por último, se colocó el collarín, como se observa en la ilustración 16-b, y los manómetros, para posteriormente ejecutar el ajuste de las probetas en el banco hidráulico, como se aprecia en la ilustración 17.

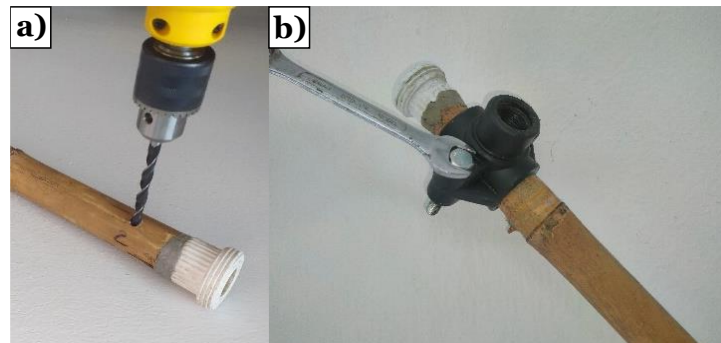


Ilustración 16. Perforación y ajuste de manómetros para medición

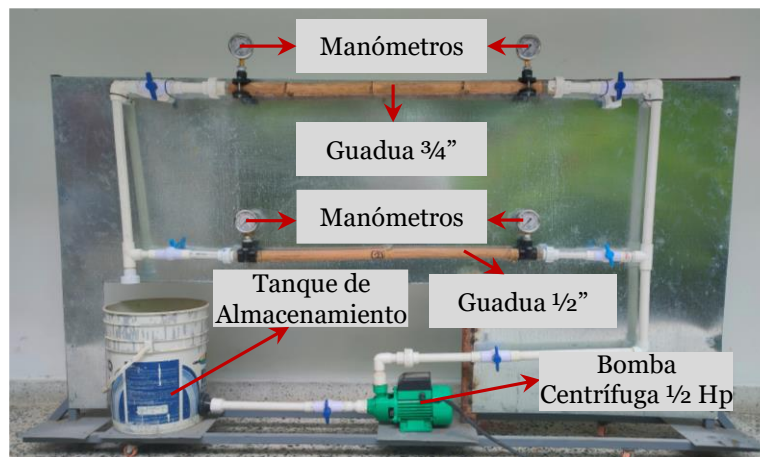


Ilustración 17. Montaje probeta - banco hidráulico

3.6 Adaptación probetas con resina

Se empearon 4 tratamientos, uno de ellos consiste en utilizar la guadua como tubería de forma natural, es decir, sin ningún tipo de recubrimiento o sellante interno para evaluar así sus características hidráulicas. Respecto a los otros, se tienen 3 tratamientos con resina para evaluar las características hidráulicas de la tubería de guadua. De este modo se cuenta con un primer tratamiento en donde se recubre la guadua de forma interna con resina Epóxica, un segundo tratamiento en donde se recubre la guadua con resina de Poliéster y un tercer tratamiento en donde se recubre la guadua con resina Acrílica. Para la aplicación de las resinas, se procuró que abarcasen cada espacio interno de la guadua, este procedimiento se realizó en el tiempo especificado por el fabricante para uso y manejo

de la resina, de tal forma que se garantizara su buena trabajabilidad. Una vez aplicada la primera capa en cada uno de los tratamientos, se espera a que ésta se endurezca para aplicar una segunda capa de resina, e incluso una tercera, a fin de garantizar el recubrimiento total en el interior de la probeta. También, se consideró un tiempo de secado último de 24 horas, siempre y cuando se apreciara una buena dureza al tacto.

A continuación, se explicarán cada uno de los tratamientos con resina para las probetas a ensayar.

3.6.1 Tratamiento con resina epóxica

La resina Epóxica incluye dos componentes; componente A. Resina - líquido transparente, y componente B. Endurecedor - líquido Transparente. Esta resina cuenta con una densidad de mezcla a los 20°C de 1,103 gr/cm³ y una viscosidad de mezcla a los 25°C de 1800-2000 mPa s. Adicionalmente para esta resina se tiene una relación de la mezcla peso 100: 10, lo que quiere decir que por cada 100 gr de componente A, requiere 10 gramos de componente B.

Para la aplicación de la resina, se empleó un recipiente de plástico y una paleta de madera con el fin de mezclar ambos componentes, de tal forma que se garantizara una mezcla homogénea (Ver ilustración 18-a). Seguidamente, se vació la mezcla dentro de la probeta a partir de uno de sus extremos (Ver ilustración 18-b).

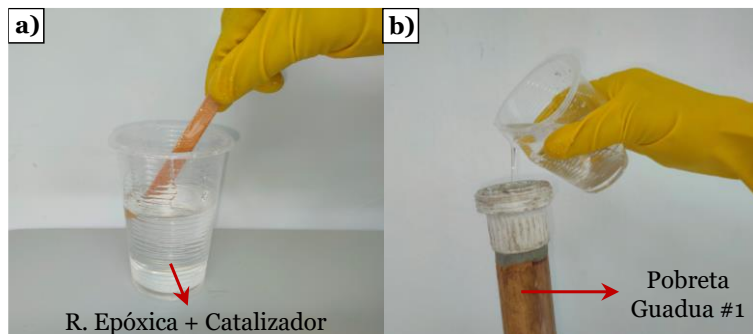


Ilustración 18. Recubrimiento interno con Resina Epoxi

3.6.2 Tratamiento con resina de poliéster

La resina de Poliéster incluye dos componentes; componente A. Resina - Líquido rosada transparente, y componente B. Endurecedor - Líquido Transparente en gotas. Esta resina cuenta con una densidad de mezcla a los 20°C de 1,17 gr/cm³ y una viscosidad de mezcla

a los 25°C de 1500-2500 mPa s. Adicionalmente para esta resina se tiene una relación de la mezcla de 90 gotas de endurecedor por kilo de resina, lo que quiere decir que por cada 1000 gr de componente A, requiere 90 gotas de componente B.

Para la aplicación de la resina, también se empleó un recipiente de plástico y una paleta de madera a el fin de garantizar una mezcla homogénea (Ver Ilustración 19-a). Posteriormente, se vació la mezcla dentro de la probeta a partir de uno de sus extremos (Ver Ilustración 19-b). En adición, se empleó el uso de un elemento de gran longitud para disipar la mezcla en el interior de la probeta con mayor facilidad (Ver Ilustración 19-c).

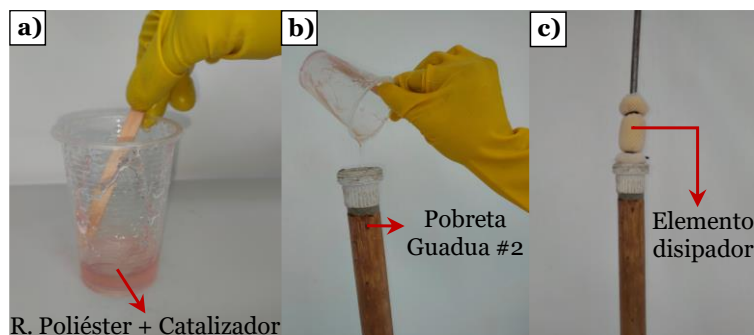


Ilustración 19. Recubrimiento interno con resina Poliéster

3.6.3 Tratamiento con resina acrílica

La resina Acrílica cuenta con un solo componente de tipo líquido con apariencia blanco translucido que presenta una densidad de mezcla a los 25°C de 3,82-3,92 kg/gal y una viscosidad de mezcla a los 25°C de 4111-5048 mPa s.

Para la aplicación de la resina, se empleó un recipiente de plástico para vaciar la mezcla dentro de la probeta a partir de uno de sus extremos (Ver Ilustración 20-a). En adición, se empleó el uso de un elemento de gran longitud, para disipar la mezcla en el interior de la probeta con mayor facilidad (Ver Ilustración 20-b).

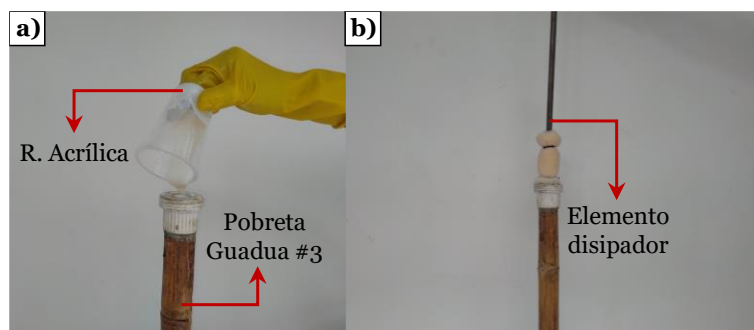


Ilustración 20. Recubrimiento interno con Resina Acrílica

3.7 Diseño experimental

El diseño experimental se construyó con la finalidad de realizar pruebas controladas al material vegetal de guadua (*Angustifolia Kunth*), que trabajó como tubería de conducción de agua y de la cual se obtuvieron datos del factor de fricción (f) mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, y bajo el factor RESINA, que permitió la obtención de resultados con baja probabilidad de error.

3.7.1 Caracterización física

Para el desarrollo del diseño experimental, en primer lugar, es necesario realizar una buena caracterización física de cada una de las probetas de guadua, como ya se había mencionado anteriormente (diámetros externo e interno, espesor, distancia entre nudos y número de nudos), esto para considerar dicha característica como una variable adicional en las pérdidas por fricción. De ahí que se consideró el manejo de un pie de rey a la hora de realizar la medición de diámetros externos, junto con el espesor de la guadua, el cual se tomó después de realizar la perforación interna de las probetas mediante las copas sierras. Posterior a esto, se halló el diámetro interno al restar el dato obtenido del diámetro externo junto con el dato del espesor de la guadua. Además, se utilizó un flexómetro a la hora de tomar las medidas respectivas entre nudos, pues se realiza una distinción del número de estos para el tramo de tubería cortada de 94 cm de extremo a extremo, anotando las distancias entre nudos que presenta cada una de ellas. (Ver ANEXO A)

3.7.2 Caudal

Una vez realizada la caracterización física, se procedió a determinar cuál es el caudal que transita por el sistema de banco hidráulico. Para obtener dicho caudal, se utilizan técnicas de aforo ya establecidas, esto es, la puesta en marcha o encendido del sistema del banco hidráulico, para ejecutar la toma del tiempo en segundos que tarda en llenar el tanque de almacenamiento destinado para este propósito; que cuenta con un volumen de 15 litros. Inmediatamente después de tomar el tiempo necesario para ocupar el volumen establecido, se procedió al cálculo del caudal mediante la ecuación 4.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación 4. Tasa de flujo volumétrico. Recuperado de:

<https://es.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-volume-flow-rate>

3.7.3 Presión y fricción

Para la obtención de las presiones en el sistema del banco hidráulico, se utilizaron 2 manómetros para cada tubería; tanto para la tubería de ¾”, como para la tubería de 1/2”. Estos manómetros se ubicaron en los extremos de cada una de las tuberías; es decir, tanto en la entrada como en la salida. Lo anterior se efectúa a fin de tomar lecturas respecto a las presiones observadas (Entrada y salida) y calcular un delta entre ambas presiones (Pe - Ps). El delta de estas presiones está dividido por el peso específico del agua a temperatura ambiente, con esto se obtiene lo que se denomina pérdida de energía por fricción (hf).

Con los datos anteriormente obtenidos, se determinó el factor de fricción experimental, al despejar el factor “f” en la fórmula de Darcy-Weisbach en función del caudal. Ver ecuación 5.

$$f = \frac{hf * d^5 * \pi * g}{8 * l * Q^2}$$

Ecuación 5. Ecuación del factor de fricción experimental. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/328332798_Estimacion_experimental_de_la_rugosidad_y_del_factor_de_friccion_en_una_tuberia

Donde:

f= Factor de fricción

l= Longitud del tramo de guadua

hf=ΔHf= Pérdida de energía por fricción

D=Diámetro de la tubería de guadua

g= Aceleración de la gravedad.

Q=Caudal

3.7.4 ANOVA simple

Se estableció un diseño experimental mostrado en la figura 1, mediante un análisis de varianza (ANOVA Simple) para cada diámetro interno de tubería (1/2" Y 3/4"), evaluadas de modo independiente entre sí; a su vez se utilizaron 3 tipos de resinas (R1:epóxica, R2:poliéster, R3:acrílica) y una sin resina (SR), para un total de ocho (8) tuberías hechas de guadua (4 para diámetros de 1/2" y 4 para diámetros de 3/4"); en tal sentido, para cada tubería con resina y sin resina se le aplicaron 6 presiones iniciales (P1: 3 psi, P2: 6 psi, P3: 9psi, P4: 12psi, P5: 15, P6: 18 psi) y a su vez, para cada presión establecida, se realizaron 5 tomas de datos o repeticiones.

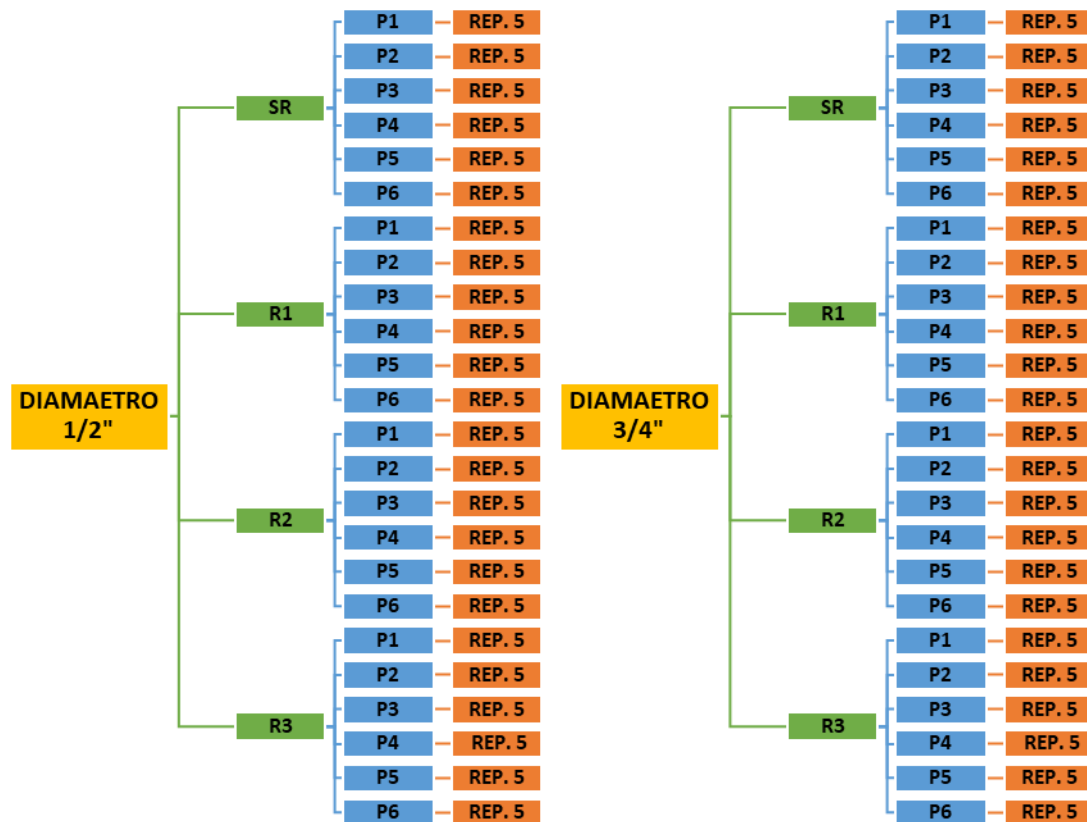


Figura 1. Arreglo completamente al azar para diámetro tubería de guadua 1/2" y 3/4"

3.7.5 Tratamiento del diseño experimental

Los tratamientos que se utilizan en el diseño experimental son nombrados con códigos para su identificación y organización como en la figura 2, estos códigos se asignaron de

acuerdo a los diámetros de las tuberías (D1 para el de ½ pulgada y D2 para el de ¾ de pulgada), a las resinas o sin resina (SR sin resina, R1 resina Epóxica, R2 resina Poliéster y R3 resina Acrílica), la tubería a evaluar (T1, T2, T3,T4 para cada diámetro), la presión inicial utilizada (P1, P2, P3, P4, P5 o P6) y al número de réplica a la que pertenece (rep1, rep2, rep3, rep4, rep5).

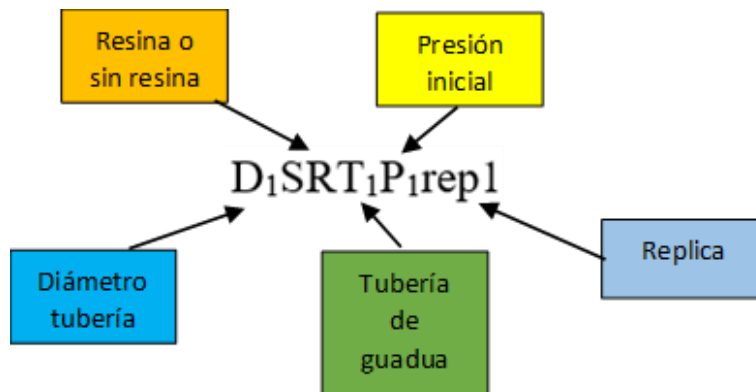


Figura 2. Códigos de las pruebas realizadas

El resumen de los símbolos que se utilizan, están representados en la tabla 3 para el diámetro ½ pulgada, sin resina, tubería 1, presiones de la 1 a la 6 y las cinco réplicas. En la tabla 4 se aprecian los símbolos empelados, igual que la tabla 3, pero para la tubería de ¾ de pulgada.

Diámetro	# Prueba	Cód. Tratamiento	# Prueba	Cód. Tratamiento
½"	1	D ₁ SRT ₁ P ₁ rep ₁	16	D ₁ SRT ₁ P ₄ rep ₁
	2	D ₁ SRT ₁ P ₁ rep ₂	17	D ₁ SRT ₁ P ₄ rep ₂
	3	D ₁ SRT ₁ P ₁ rep ₃	18	D ₁ SRT ₁ P ₄ rep ₃
	4	D ₁ SRT ₁ P ₁ rep ₄	19	D ₁ SRT ₁ P ₄ rep ₄
	5	D ₁ SRT ₁ P ₁ rep ₅	20	D ₁ SRT ₁ P ₄ rep ₅
	6	D ₁ SRT ₁ P ₂ rep ₁	21	D ₁ SRT ₁ P ₅ rep ₁
	7	D ₁ SRT ₁ P ₂ rep ₂	22	D ₁ SRT ₁ P ₅ rep ₂
	8	D ₁ SRT ₁ P ₂ rep ₃	23	D ₁ SRT ₁ P ₅ rep ₃
	9	D ₁ SRT ₁ P ₂ rep ₄	24	D ₁ SRT ₁ P ₅ rep ₄
	10	D ₁ SRT ₁ P ₂ rep ₅	25	D ₁ SRT ₁ P ₅ rep ₅
	11	D ₁ SRT ₁ P ₃ rep ₁	26	D ₁ SRT ₁ P ₆ rep ₁
	12	D ₁ SRT ₁ P ₃ rep ₂	27	D ₁ SRT ₁ P ₆ rep ₂
	13	D ₁ SRT ₁ P ₃ rep ₃	28	D ₁ SRT ₁ P ₆ rep ₃
	14	D ₁ SRT ₁ P ₃ rep ₄	29	D ₁ SRT ₁ P ₆ rep ₄
	15	D ₁ SRT ₁ P ₃ rep ₅	30	D ₁ SRT ₁ P ₆ rep ₅

Tabla 3. Código de pruebas diseño experimental para el diámetro de ½" para el tratamiento sin resina (SR)

Diámetro	# Prueba	Cód. Tratamiento	# Prueba	Cód. Tratamiento
3/4"	1	D ₂ SRT ₁ P ₁ rep1	16	D ₂ SRT ₁ P ₄ rep1
	2	D ₂ SRT ₁ P ₁ rep2	17	D ₂ SRT ₁ P ₄ rep2
	3	D ₂ SRT ₁ P ₁ rep3	18	D ₂ SRT ₁ P ₄ rep3
	4	D ₂ SRT ₁ P ₁ rep4	19	D ₂ SRT ₁ P ₄ rep4
	5	D ₂ SRT ₁ P ₁ rep5	20	D ₂ SRT ₁ P ₄ rep5
	6	D ₂ SRT ₁ P ₂ rep1	21	D ₂ SRT ₁ P ₅ rep1
	7	D ₂ SRT ₁ P ₂ rep2	22	D ₂ SRT ₁ P ₅ rep2
	8	D ₂ SRT ₁ P ₂ rep3	23	D ₂ SRT ₁ P ₅ rep3
	9	D ₂ SRT ₁ P ₂ rep4	24	D ₂ SRT ₁ P ₅ rep4
	10	D ₂ SRT ₁ P ₂ rep5	25	D ₂ SRT ₁ P ₅ rep5
	11	D ₂ SRT ₁ P ₃ rep1	26	D ₂ SRT ₁ P ₆ rep1
	12	D ₂ SRT ₁ P ₃ rep2	27	D ₂ SRT ₁ P ₆ rep2
	13	D ₂ SRT ₁ P ₃ rep3	28	D ₂ SRT ₁ P ₆ rep3
	14	D ₂ SRT ₁ P ₃ rep4	29	D ₂ SRT ₁ P ₆ rep4
	15	D ₂ SRT ₁ P ₃ rep5	30	D ₂ SRT ₁ P ₆ rep5

Tabla 4. Código de pruebas diseño experimental para el diámetro de 3/4" para el tratamiento sin resina (SR)

3.7.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico (Diseño completamente al azar) se realizó en el software R, con la interfaz gráfica RStudio (Versión 1.3.1073, © 2009-2020 RStudio, PBC)

Modelo estadístico

$$y_{IJ} = M + tx + E_{ij}$$

Donde:

y_{IJ} = Variable de respuesta, f de fricción

M = Media poblacional

tx = Efectos debidos al tratamiento

E_{ij} = Error experimental

Para la evaluación del modelo estadístico, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA Simple), que permitió evaluar el efecto de los modelos en la alteración de los resultados obtenidos en la variable de respuesta, con un nivel de confianza del 95%.

3.8 Costo beneficio guadua - resina

Se realizó un análisis costo beneficio entre la tubería de guadua y la tubería de PVC. Para esto, se observan los resultados arrojados mediante las pruebas y ensayos ejecutados previamente, junto con la indagación de los costos de las tuberías de PVC y el desarrollo de un APU donde se establecen los costos para cada uno de los tratamientos de tubería empleados con guadua y resina.

Capítulo 4

4. Análisis de resultados

4.1 Pérdidas de fricción

Obteniendo cada uno de los tiempos para cada promedio de los datos en las presiones de referencia (3, 6, 9, 12, 15 Psi), se calcula el caudal para cada una de estos y sus respectivas pérdidas de fricción. Se pueden observar todos los resultados en ANEXOS B. En este caso se tomaron los datos promediados, tanto de las guaduas de $\frac{3}{4}$ " y las de $\frac{1}{2}$ " para observar la tendencia de las pérdidas con respecto a sus caudales (Ver tabla 5 y 6).

Según Cruz Hernández [6] y teniendo en cuenta los resultados arrojados en la guadua de $\frac{3}{4}$ " con una presión de entrada de 12.3 Psi y una presión de salida de 5.74 Psi, donde obtuvieron una pérdida de fricción de 4.624 m, y al comparar la misma presión de salida en este estudio, se prueba que la presión de entrada es de 12 Psi y la presión promedio es de 11.93 Psi, con una pérdida de fricción correspondiente de 0.047 m; lo cual supone una reducción bastante significativa respecto a las pérdidas de presión, debido a que en la preparación de la guadua se perforó su diámetro interno de tal manera que se garantizara una superficie uniforme. Cabe resaltar que, hasta la fecha, el estudio realizado por Cruz Hernández ha sido el más similar en cuanto a la relación de pérdidas de presión a través de tuberías de guadua.

Guadua 3/4"		
Tratamiento	Caudal (L/s)	Pérdidas de fricción (m)
SR	0.59	0.4921
	0.5356	0.413
	0.4896	0.3697
	0.4438	0.2363
	0.4024	0.0808
	0.3663	0.1057
R1	0.5911	0.1409
	0.5413	0.2255
	0.4935	0.1973
	0.4488	0.1085
	0.43	0.0705
	0.3651	0.1621
R2	0.5666	0.2678
	0.5251	0.2819
	0.4769	0.2255
	0.4359	0.1635
	0.3976	0.1085
	0.3551	0.0536
R3	0.5909	0.2593
	0.5412	0.1156
	0.4893	0.0705
	0.4432	0.0479
	0.4051	0.0578
	0.3706	0.1142

Tabla 5. Pérdidas de fricción y caudal promedio para cada tratamiento en guadua 3/4"

Guadua 1/2"		
Tratamiento	Caudal (L/s)	Pérdidas de fricción (m)
SR	0.5613	1.2234
	0.5158	1.1501
	0.4764	0.949
	0.4363	0.7808
	0.3957	0.4548
	0.3581	0.5999
R1	0.5556	1.0472
	0.5078	0.9246
	0.4686	0.8682
	0.4271	0.6201
	0.3891	0.4214
	0.3537	0.4975
R2	0.5423	1.1881
	0.5058	1.2262
	0.4656	1.1656
	0.4302	0.8598
	0.3931	0.8245
	0.3524	0.5821
R3	0.5778	1.4108
	0.5262	1.1924
	0.486	0.9753
	0.4436	0.8245
	0.4016	0.592
	0.3636	0.6061

Tabla 6. Pérdidas de fricción y caudal promedio para cada tratamiento en guadua 1/2"

4.2 Coeficientes de fricción (f)

A partir de los datos obtenidos en las pruebas realizadas con el banco hidráulico (Ver ANEXO B), se calculan los coeficientes de fricción de cada una de las pruebas y tratamientos, obteniendo los siguientes datos ilustrados en la tabla 7 y tabla 8:

Guadua 3/4"		
Tratamiento	Caudal (L/s)	Coefficiente f
SR	0.59	0.1157
	0.5356	0.1178
	0.4896	0.1262
	0.4438	0.0982
	0.4024	0.0408
	0.3663	0.0645
R1	0.5911	0.035
	0.5413	0.0668
	0.4935	0.0703
	0.4488	0.0468
	0.43	0.0331
	0.3651	0.1056
R2	0.5666	0.0619
	0.5251	0.0759
	0.4769	0.0736
	0.4359	0.0639
	0.3976	0.051
	0.3551	0.0315
R3	0.5909	0.0631
	0.5412	0.0335
	0.4893	0.025
	0.4432	0.0207
	0.4051	0.0299
	0.3706	0.0706

Tabla 7. Coeficiente de fricción y caudal promedio para cada tratamiento en guadua 3/4"

Guadua 1/2"		
Tratamiento	Caudal (L/s)	Coefficiente f
SR	0.5613	0.0594
	0.5158	0.0661
	0.4764	0.0639
	0.4363	0.0627
	0.3957	0.0444
	0.3581	0.0715
	0.3156	0.0587
R1	0.5556	0.0587
	0.5078	0.062
	0.4686	0.0684
	0.4271	0.0588
	0.3891	0.0481
	0.3537	0.0688
	0.3156	0.0587
R2	0.5423	0.058
	0.5058	0.0688
	0.4656	0.0772
	0.4302	0.0667
	0.3931	0.0766
	0.3524	0.0673
	0.3156	0.0587
R3	0.5778	0.0607
	0.5262	0.0618
	0.486	0.0593
	0.4436	0.0601
	0.4016	0.0527
	0.3636	0.0658
	0.3156	0.0587

Tabla 8. Coeficiente de fricción y caudal promedio para cada tratamiento en guadua 1/2"

Con los datos anteriores se obtuvieron las siguientes gráficas:

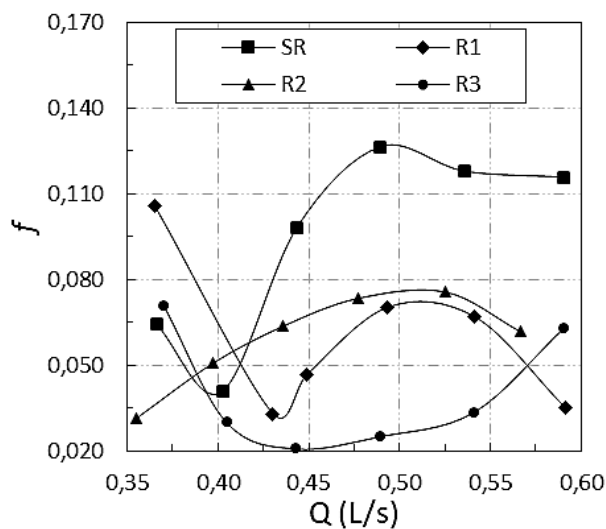


Figura 3. Caudal (Q) vs. Coeficiente de fricción (f) - guadua 3/4"

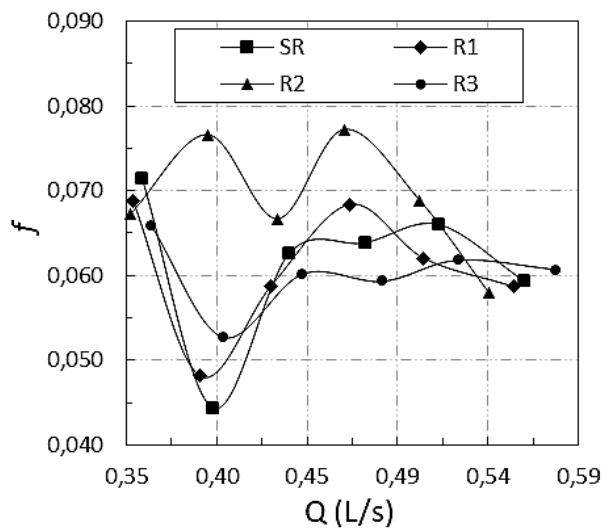


Figura 4. Caudal (Q) vs. Coeficiente de fricción (f) - guadua 1/2"

En la figura 3 se observa que los coeficientes de fricción para la guadua de diámetro de $\frac{3}{4}$ " son las más elevadas en la guadua sin tratamiento (SR), obteniendo un valor "f" máximo de 0.1262 con un caudal de 0.4896 L/s, y un valor "f" mínimo de 0.0408 con un caudal de 0.4024 L/s. Con respecto a las resinas, la que mayor arroja el coeficiente de fricción corresponde la resina de poliéster (R2), obteniendo un valor "f" máximo de 0.0759 con un caudal de 0.5251 L/s, y un valor "f" mínimo de 0.0315 con un caudal de 0.3551 L/s. Por otro lado, la resina que presenta coeficientes de fricción más bajos corresponde a la resina acrílica (R3), obteniendo un valor "f" máximo de 0.0706 con un caudal de 0.3706 L/s, y un valor "f" mínimo de 0.0207 con un caudal de 0.4432 L/s.

En la figura 4 se observa que el tratamiento con los mayores valores de coeficiente de fricción en la guadua de diámetro de $\frac{1}{2}$ " corresponde al tratamiento R2, obteniendo un valor "f" máximo de 0.0772 con un caudal de 0.4656 L/s, y un valor "f" mínimo de 0.0580 con un caudal de 0.5423 L/s; el cual presenta unos resultados mayores que los que arroja el tratamiento sin resina (SR), donde se obtiene un valor "f" máximo de 0.0715 con un caudal de 0.3581 L/s, y un valor "f" mínimo de 0.0444 con un caudal de 0.3957 L/s. Respecto a los valores de coeficientes de fricción en la guadua sin resina (SR), se puede decir que fueron fluctuantes en sus datos, sin embargo, con el tratamiento R3 se dio un comportamiento más uniforme.

Teniendo en cuenta lo anterior, se llevaron a cabo algunas comparaciones de las tuberías de guadua junto con la tubería de PVC. Para ello, se consideraron los datos de las tuberías de guadua con el tratamiento sin resina (SR) y con el tratamiento con resina acrílica (R3), ya que estos son los datos más extremos y por tanto los datos de interés. Por ejemplo, observando los resultados de los coeficientes de fricción y su regularidad en las gráficas, se aprecia que la resina acrílica (R3) arroja los valores más bajos de coeficiente de fricción (f), haciendo indicar que la resina acrílica (R3) arroja mejores resultados en el mejoramiento de las propiedades de conducción del agua. Obteniendo así los siguientes datos ilustrados en la tabla 9 y tabla 10:

Guadua 3/4"		
Tratamiento	Caudal (L/s)	Coefficiente f
PVC 3/4" PAVCO RDE 11	0.5905	0.0324
	0.5384	0.033
	0.4894	0.0333
	0.4435	0.0341
	0.4037	0.0343
	0.3684	0.0351
SR	0.5905	0.1155
	0.5384	0.1166
	0.4894	0.1263
	0.4435	0.0983
	0.4037	0.0406
	0.3684	0.0637
R3	0.5905	0.0632
	0.5384	0.0339
	0.4894	0.025
	0.4435	0.0207
	0.4037	0.0301
	0.3684	0.0714

Tabla 9. Coeficiente de fricción y caudal promedio para PVC 3/4", SR y R3 en guadua 3/4"

Guadua 1/2"		
Tratamiento	Caudal (L/s)	Coefficiente f
PVC 1/2" PAVCO RDE 9	0.5695	0.0319
	0.521	0.0323
	0.4812	0.0333
	0.44	0.0333
	0.3987	0.0335
	0.3609	0.0345
SR	0.5695	0.0576
	0.521	0.0648
	0.4812	0.0626
	0.44	0.0617
	0.3987	0.0437
	0.3609	0.0704
R3	0.5695	0.0624
	0.521	0.063
	0.4812	0.0605
	0.44	0.0611
	0.3987	0.0535
	0.3609	0.0668

Tabla 10. Coeficiente de fricción y caudal promedio para PVC 1/2", SR y R3 en guadua 1/2"

A partir de las tablas de fricción del fabricante PAVCO y los datos recolectados de los tratamientos seleccionados, se realizaron los gráficos respectivos y se compararon directamente. De este modo, se obtuvieron las siguientes gráficas:

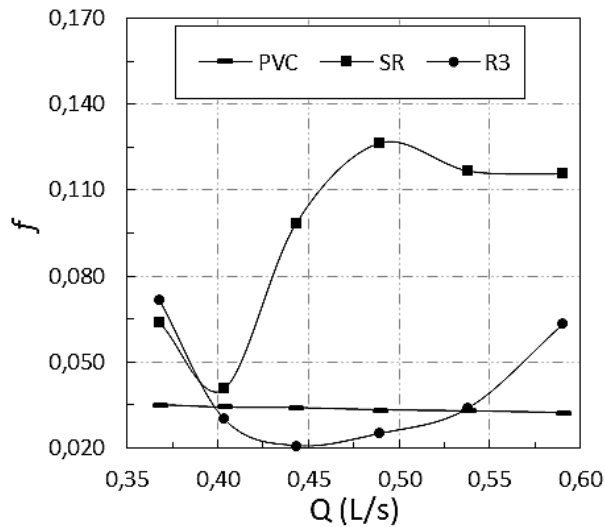


Figura 5. Caudal (Q) vs. Coeficiente de fricción (f) -guadua 3/4" vs. Pvc 3/4"

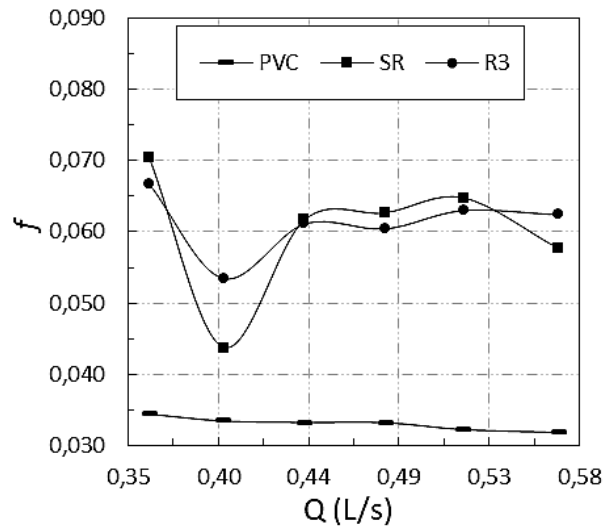


Figura 6. Caudal (Q) vs. Coeficiente de fricción (f) - guadua 1/2" vs. Pvc 1/2"

En la figura 5, donde se comparan los coeficientes de fricción entre la guadua y la tubería de PVC de $\frac{3}{4}$ ", se aprecia que el tratamiento sin resina (SR) presenta mayores valores de coeficiente de fricción en comparación con la resina acrílica (R3) y el PVC con las dimensiones de $\frac{3}{4}$ ", obteniendo un valor "f" máximo de 0.1263 y mínimo de 0.0406 para el tratamiento (SR); un valor "f" máximo de 0.0714 y mínimo de 0.0207 para el tratamiento (R3) y un valor "f" máximo de 0.0351 y mínimo de 0.0324 para el PVC. A su vez, es significativo evidenciar que con el tratamiento R3, muchos de los datos de pérdidas de fricción son inferiores a los datos correspondientes a la tubería de PVC.

En la figura 6, se observa que los datos de los coeficientes de fricción entre la tubería de guadua y la tubería de PVC con diámetro de $\frac{1}{2}$ ", tanto para el tratamiento R3 y SR, son muy superiores a los arrojados por el PVC, obteniendo un valor "f" máximo de 0.0704 y mínimo de 0.0437 para el tratamiento (SR); un valor "f" máximo de 1.4108 m y mínimo de 0.5919 m para el tratamiento (R3); y un valor "f" máximo de 0.0668 y mínimo de 0.0535 para el PVC. Sin embargo, el tratamiento R3 supone una mejor regularidad de los datos en comparación con el tratamiento SR.

4.3 Análisis estadístico

Al obtener los coeficientes de fricción para el conjunto de guaduas, estas fueron sometidas a un análisis estadístico el cual se realizó en el software R, con la interfaz gráfica RStudio (Versión 1.3.1073, © 2009-2020 RStudio, PBC). Se tiene en cuenta que los datos empleados para este análisis comprenden para el promedio de datos obtenidos en las guaduas sin tratamientos de resinas para cada una de las presiones, así como el promedio de datos para de cada tratamiento de resina por cada presión de referencia (3, 6, 9, 12, 15, 18 Psi).

4.3.1 Estimación de la f de fricción respecto al tipo de resina para tuberías con diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada

Los coeficientes de fricción calculados para cada uno de los tratamientos se analizaron en conjunto para las tuberías de guadua de $\frac{1}{2}$ " mediante un diagrama de cajas y bigotes, el cual arrojó una menor mediana para los datos con el tratamiento de resina Acrílica (R3) correspondiente a 0.06006 y un rango reducido para dichos datos. Continuamente, le sigue el tratamiento con resina Epóxica (R1), casi sin diferencia en los resultados de sus

medianas, con un valor de 0.06079. Se observa que el tratamiento de mayor valor en su mediana está en el tratamiento con resina de Poliéster (R2) correspondiente a 0.06908, incluso por encima del tratamiento sin resina (SR) que cuenta con una media de 0.06132. (Ver Figura 7).

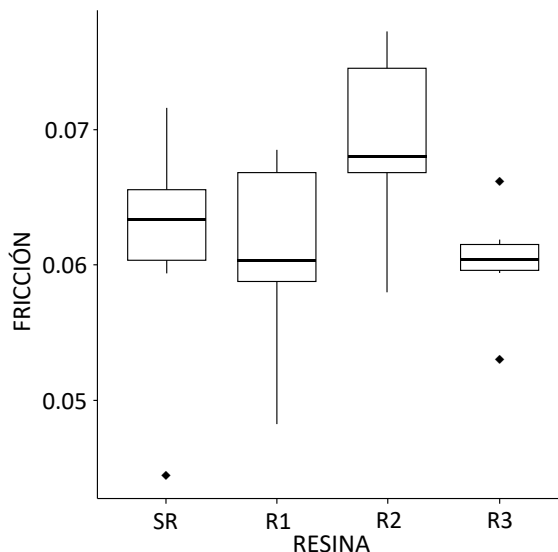


Figura 7. Diagrama de cajas y bigotes para resinas, tubería de 1/2”

4.3.2 Interacción entre los tratamientos del factor resina para tuberías con diámetro de 1/2 pulgada

Se realizó el análisis de varianza f (Tabla 11) donde se utilizó la suma de cuadrados tipo II, para probar hipótesis, en esta, se escogen únicamente las hipótesis asociadas con medias ponderadas ajustadas. La tabla 11 “ANOVA” descompone la varianza de FRICCIÓN en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2.0026, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor P de la razón F es mayor o igual que 0.05, se puede decir que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de FRICCIÓN entre un nivel de RESINA y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000031891	3	1.063	2.0026	0.146
Intra grupos	0.00106164	20	0.53082		
Total (Corr.)	0.00138055	23			

Tabla 11. ANOVA para FRICCIÓN por RESINA

4.3.3 Comparación de medias entre los tratamientos del factor RESINAS para tuberías con diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada

Una vez demostrado en el “ANOVA” que entre los tratamientos del factor RESINAS (SR, R1, R2, R3), no existen diferencias estadísticamente significativas, se procedió a realizar el estadístico de prueba HSD de Tukey con el fin de determinar los valores máximos y mínimos de “f” de FRICCIÓN para las combinaciones de los tratamientos del factor RESINA. (Ver Tabla 12).

Tratamientos	FRICCION	grupos
R2	0.06907663	a
SR	0.06131922	a
R1	0.0607902	a
R3	0.06005697	a

Tabla 12. Estadístico de prueba HSD Tukey para los tratamientos del factor RESINAS

Al observar la Tabla 12, se aprecia que todos los tratamientos aparecen con la misma letra “a”, lo que representa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos al usar el estadístico de prueba de Tukey, aunque se observa que el valor más bajo de fricción se obtiene para el tratamiento R3 (Resina Acrílica) y el valor más alto para el tratamiento R2 (Resina de Poliéster).

4.3.4 Estimación de la f de fricción respecto al tipo de resina para tuberías con diámetro de $\frac{3}{4}$ pulgada

Los coeficientes de fricción calculados para cada uno de los tratamientos se analizaron en conjunto para las tuberías de guadua de $\frac{3}{4}$ ” mediante un diagrama de cajas y bigotes, el cual arrojó una menor mediana para los datos con el tratamiento de resina Acrílica (R3) correspondiente a 0.04047, con notable diferencia respecto a los demás tratamientos. Se observa que las diferencias en las medias para los tratamientos con resina Epóxica (R1) y Poliéster (R2) fueron reducidas, pues corresponden a 0.05960 y 0.05962 respectivamente. Así mismo, los valores para el tratamiento sin resina (SR) corresponden a 0.09388, siendo los mayores datos respecto a los otros tratamientos (Ver Figura 8).

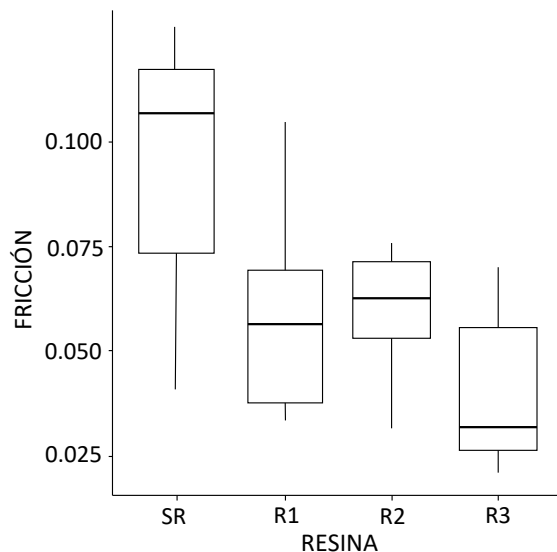


Figura 8. Diagrama de cajas y bigotes para resinas, tubería de 3/4"

4.3.5 Interacción entre los tratamientos del factor resina para tuberías con diámetro de 3/4 pulgada

Se realizó el análisis de varianza f (Tabla 13), donde se utilizó la suma de cuadrados tipo II, para probar hipótesis, en esta, se escogen únicamente las hipótesis asociadas con medias ponderadas ajustadas. La Tabla 13 “ANOVA” descompone la varianza de FRICCIÓN en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 4.53, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de FRICCIÓN entre un nivel de RESINA y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0089006	3	0.00296686	4.53	0.01402
Intra grupos	0.0131009	20	0.00065505		
Total (Corr.)	0.0220015	23			

Tabla 13. ANOVA para FRICCIÓN por RESINA

4.3.6 Comparación de medias entre los tratamientos del factor RESINAS para tuberías con diámetro de $\frac{3}{4}$ pulgada

Una vez demostrado en el ANOVA que entre los tratamientos del factor RESINAS (SR, R1, R2, R3), existen diferencias estadísticamente significativas, se realizó el estadístico de prueba HSD de Tukey con el fin de determinar los valores máximos y mínimos de f de FRICCIÓN para las combinaciones de los tratamientos del factor RESINA. (Tabla 14)

Tratamientos	FRICCION	grupos
SR	0.09387559	a
R2	0.05961983	ab
R1	0.05959865	ab
R3	0.04046689	b

Tabla 14. Estadístico de prueba HSD Tukey para los tratamientos del factor RESINAS

Los resultados del ANOVA mostraron que existían diferentes valores para cada uno de los tratamientos, presentando así los grupos en la Tabla 14 con la letra “a” los tratamientos con resinas R1, R2 y SR, indicando que entre estos tratamientos no hay diferencias significativas; con la letra “b” aparecen los tratamientos R1, R2 y R3 mostrando que entre estos tratamientos tampoco hay diferencias significativas; de todo lo anterior se puede concluir, que el tratamiento que da el valor más bajo de “ f ” de fricción corresponde al tratamiento R3, y el más alto corresponde al tratamiento SR, indicando que entre estos sí hay diferencias significativas y que la resina R3 “Acrílica” proporciona los valores más bajos de coeficiente de fricción.

Por último, se realizó una verificación de supuestos para el modelo del factor RESINAS, tanto para la tubería de $\frac{3}{4}$ ”, como para la de $\frac{1}{2}$ ”. Se verifican supuestos de normalidad, varianza constante, de independencia y de media cero. (Ver ANEXO C)

4.4 Estimación costo beneficio guadua angustifolia vs tubería PVC

4.4.1 Costo tubería PVC

- El tubo de PVC de $\frac{3}{4}$ ” con una longitud de 3m es encontrado con un precio de \$8000.

- El tubo de PVC de ½” con una longitud de 3m es encontrado con un precio de \$7500.

4.4.2 Costo Guadua Angustifolia

La guadua angustifolia en el mercado local cuenta con un precio regular, con una altura de 5m, de \$7500. Por otro lado, para mejorar el coeficiente de fricción de la guadua angustifolia se utilizaron tres resinas, estas fueron: Resina Epóxica, Resina Poliéster y Resina Acrílica. A continuación, se muestran los costos de las resinas en la tabla 15:

ITEM	PRODUCTO	PRESENTACIÓN	CANT.	VALOR UNITARIO	TOTAL
1	Resina Epóxica Resiglas Bicomponente REF	Galón +800 gr	1	\$ 192,017.00	\$ 192,017.00
2	Resina Poliester +Catalizador	1 kg +Catalizador	1	\$ 17,395.00	\$ 17,395.00
3	Resina Acrílica Acroflex 1/4	1 kg	1	\$ 12,185.00	\$ 12,185.00
SUBTOTAL					\$ 221,597.00
IVA (19%)					\$ 42,103.00
TOTAL					\$ 263,700.00

Tabla 15. Costo resinas adquiridas en Empresa Sinergia Química SAS

Para la elaboración de cada tubería de ¾” con 1 m de longitud, se requiere una cantidad de 30 ml de cada resina y para la elaboración de cada tubería de ½” con 1 m de longitud se requiere una cantidad de 20 ml de cada resina. En ANEXO D se encuentra con detalle el análisis de los precios para cada tubería de guadua con la aplicación de cada resina. A continuación, se muestra la tabla 16, la cual nos especifica los precios de cada una de las tuberías por metro lineal, siendo notable que la guadua con la resina acrílica aplicada es la más económica de todos los otros tratamientos; incluso más económica que las tuberías de PVC.

PRECIOS POR TUBERÍA					
ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANT.	V/t. UNIT	V/t. TOTAL
1	Guadua 3/4" + Resina				
1.1	Guadua 3/4" + Resina Epoxica	m	3.00	\$ 3,021.8	\$ 9,065.3
1.2	Guadua 3/4" + Resina Poliester	m	3.00	\$ 2,021.9	\$ 6,065.6
1.2	Guadua 3/4" + Resina Acrilica	m	3.00	\$ 1,865.6	\$ 5,596.7
2	Guadua 1/2" + Resina				
2.1	Guadua 1/2" + Resina Epoxica	m	3.00	\$ 2,514.5	\$ 7,543.5
2.2	Guadua 1/2" + Resina Poliester	m	3.00	\$ 1,847.9	\$ 5,543.7
2.3	Guadua 1/2" + Resina Acrilica	m	3.00	\$ 1,743.7	\$ 5,231.1
3	Tubería en PVC				
3.1	Tubería en PVC 3/4" PAVCO RDE 11	m	3.00	\$ 2,666.7	\$ 8,000.0
3.1	Tubería en PVC 1/2" PAVCO RDE 9	m	3.00	\$ 2,500.0	\$ 7,500.0

Tabla 16. Precio de fabricación tuberías de guadua y precio comercial tubería de PVC

Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Si bien los resultados de los valores de f para la tubería de guadua de $\frac{1}{2}$ " según el estudio de ANOVA SIMPLE no habían diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, para la tubería de guadua de $\frac{3}{4}$ " sí mostró una diferencia significativa con respecto a los otros tratamientos y se puede concluir que la aplicación de la resina 3 (Acrílica) mejora las propiedades hidráulicas en la tubería de guadua, con lo cual hace reducir sus valores de f y sus intervalos dentro de la toma de datos, habiendo así una mejora de la conducción de agua en la tubería de guadua.
- Observando los resultados de las pérdidas de fricción de manera general, se puede detallar que hubo una mejora en la reducción de las pérdidas al comparar aquellos datos que se tomaron sin resina y aquellos tratamientos donde se les aplicó las resinas a las guaduas. Claramente no se puede comparar en una disminución de fricción igual a una tubería de PVC, sin embargo, se determinó que al aplicar la resina 3 (acrílica), se logró disminuir significativamente su coeficiente de fricción y demás características hidráulicas para la mejora del paso del agua dentro de la tubería de guadua, obteniendo en algunos casos mejores resultados en comparación a los de la tubería de PVC.
- No se halló relación alguna entre el número de nodos y la distancia de ellos en la conducción del agua para las tuberías de guadua, ya que estos fueron previamente ajustados en su diámetro interno a través de las copas sierras respectivas, provocando de esta forma, una mayor uniformidad en su interior.

- Basándonos en que la mejor alternativa para mejorar el coeficiente de fricción es la guadua con la resina 3 (acrílica), también nos encontramos con que es la mejor alternativa en cuanto a costos, pues cuenta con el menor precio de fabricación entre las otras alternativas, incluso siendo una alternativa más económica que la tubería de PVC.
- A la par se puede identificar una dificultad en la toma de muestras al aplicar las resinas en una tubería de guadua con dimensiones reducidas, por ende, se interpreta que los datos de la tubería de guadua de $\frac{1}{2}$ " fueron más difíciles para ser obtenidos de forma correcta y metódica.

5.2 Recomendaciones

A través de las tomas de datos se puede revisar la posibilidad de implementar algún tipo de toma de datos de forma automática a través de un software que registre los cambios de presión tanto en la entrada como en la salida de la tubería de guadua, haciendo más exacta la toma de datos y el registro, sin error humano, de las pérdidas que se generan en un determinado tiempo de ensayo.

Para el ensamble de todo el modelo se debe garantizar que no haya fugas en el sistema que puedan afectar en la toma de los datos para los caudales, así como para el tiempo de trabajo y los cambios de presiones que se registran. Una forma de evitar fugas en las tuberías de guadua consiste en aplicar pegante instantáneo y en ciertos casos adhesivo epóxico, sin embargo, se puede plantear el uso de otro tipo de sustancias para evitar estas fugas.

Es importante el empleo de guaduas con mayores longitudes para que puedan registrar mucho mejor los cambios de presión en los dos puntos de la toma de datos (entrada y salida del sistema) y así trabajar con mayores presiones. Al igual que diámetros más grandes (aconsejando desde diámetros de $\frac{3}{4}$ ", 22 mm de diámetro interno, en adelante) ya que representan una mayor y mejor aplicación de cualquier resina que se quisiera emplear para mejorar sus propiedades hidráulicas.

En el estudio se trabajó con tres resinas comerciales (Epóxica, Acrílica y Poliéster), sin embargo, se podría ampliar el margen de resinas comerciales y naturales disponibles para valorar las propiedades físicas de estas a fin de mejorar el coeficiente de fricción más allá

de las resinas estudiadas en el presente estudio. Aparte de lo anterior, se podría indagar a profundidad alguna forma más eficiente para aplicar las diferentes resinas dependiendo de su consistencia para garantizar de manera eficaz y homogénea su aplicación a través del diámetro interno de la tubería de guadua, al igual que el tiempo de exposición máximo que estas podrían resistir.

Bibliografía

Admin. (11 de Septiembre de 2015). Las resinas sintéticas: características y variedades. Obtenido de Empresas en Valencia: <http://empresasenvalencia.es/las-resinas-sinteticas-caracteristicas-y-variedades/>

Aristizabal, W. (22 de Marzo de 2016). Generalidades de la guadua *Angustifolia* Kunth. Obtenido de Arme Ideas en Guadua: <https://armeideasenguadua.com/generalidades-de-la-guadua-angustifolia-kunth/>

Bambusa Estudio. (2018). Bambú Guadua. Bambusa.es. Importaciones y proyectos / Especialistas en bambú. Obtenido de <https://bambusa.es/caracteristicas-del-bambu/bambu-guadua/>

Barnaplac. (Noviembre 26 de 2019). Expertos en resina Epoxi en Barcelona. Obtenido de <https://barnaplac.com/blog/231-expertos-en-resina-epoxi-en-barcelona>

BRAWO® SYSTEMS. (2022). Resinas. Obtenido de <https://www.brawosystems.com/produkte/harze/>

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo (CNCT), Berenguer Subils. Lda en Ciencias Químicas. & Rosa Ma Alonso Espadalé Lda en Ciencias Biológicas, M. (2007). INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 752. Colofonia. Riesgos asociados a su utilización. Obtenido de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/752.pdf>

Charpentier, Gilbert (Abril 01 de 2017). *Valores del bambú Guadua angustifolia (Kunth)*. Obtenido de https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/27509/262_16-21.pdf

Ciesla William M. Forest Health Management International, Fort Collins, Colorado, USA (S.f). Products of Resin Processing. FORESTS AND FOREST PLANTS – Vol. II. Obtenido de <http://www.eolss.net/sample-chapters/c10/e5-03-03-05.pdf>

Cosmos. (s.f.). Resinas Poliéster. Obtenido de <https://resinasalquidalicas.mx/resinas-poliester.html>

Cruz Hernadez, C. A. (2019). *Determinación de características del Bambú como tubería temporal a través del modelo de un banco hidráulico*. Universidad Católica de Colombia. Bogotá. Obtenido de TRABAJO DE GRADO conducción de agua por guadua.pdf

DFM Directorio Forestal Maderero. (20 de Septiembre de 2018). Tuberías de bambú para abastecimiento de agua potable y campos de riego. Obtenido de ForestalMaderero: <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/tuberias-de-bambu-para-abastecimiento-de-agua-potable-y-campos-de-riego.html>

DISEÑOS EPÓXICOS & DEPOXICOS. (2022). ¿Sobre qué superficies puedo aplicar la Resina Epóxica?. Obtenido de <https://xn--diseosepoxicos-tnb.com/blog/sobre-que-superficies-puedo-aplicar-la-resina-epoxica/>

Dual Pipe Fontanería sin Obras. (s.f.). DUAL PIPE. Obtenido de Dual Pipe: <https://fontaneriasinobrasdualpipe.com/>

Duque González, C. F. (2010). Aplicación de materiales compuestos para manufactura de tubos: Resina epoxica reforzada con fibras de Bambú. Bogotá: Universidad de los Andes.

E Ducativa Catedu. (s.f.). *Ecuación de continuidad*. Obtenido de E Ducativa Catedu: http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22_ecuacin_de_continuidad.html

FibraPlus. (s.f.) *MANTENIMIENTO. Y,.....ES QUE NECESITA MANTENIMIENTO???*. Obtenido de <http://fibraplus.com/mantenimiento/>

Giraldo, E. y Sabogal Ospina, A. (2007). Una alternativa sostenible: La Guadua. Técnicas de cultivo y manejo. Obtenido de Corporación Autónoma Regional del Quindío C.R.Q.

Guadua Bamboo. Bamboo Preservation-Bamboo FAQ (2007-2022). El Bambú Proporciona Grandes Cantidades de Biomasa Sostenible para la Producción de Energía Renovable. Obtenido de <https://www.guaduabambu.com.co/blog/el-bambu-proporciona-biomasa-sostenible-para-la-produccion-de-energa-renovable>

Guadua Bamboo. Bamboo Preservation-Bamboo FAQ (2007-2022). ¿Qué tan duradero es el Bambú? Obtenido de <https://www.guaduabambu.com.co/blog/durability-of-bamboo>

Guadua Bamboo. Bamboo Preservation-Bamboo FAQ (2007-2022). ¿Qué es la Guadua angustifolia? Obtenido de <https://www.guaduabambu.com.co/blog/que-es-la-guadua-angustifolia>

Guadua Bamboo. Bamboo Preservation-Bamboo FAQ (2007-2022). ¿La Guadua es un Árbol? Ciencia vs política. Obtenido de <https://www.guaduabambu.com.co/blog/la-guadua-es-un-arbol-ciencia-vs-politica#:~:text=La%20Guadua%20es%20un%20g%C3%A9nero,puede%20diversificarse%20en%20un%20bosque.>

Invesa La Compañía Amiga. (2020). Resina acrílica impermeabilizante Invecryl 500. Obtenido de <https://www.invesa.com/product/invecryl-500/>

Jímenez Carballo, C. A. (2017). *Mécanica de Fluidos: Viscosidad y turbulencia*. Instituto tecnológico de Costa Rica.

Krishnamurthy. (28 de Febrero de 2014). Bamboo Drip Irrigation. Obtenido de Permaculture Research Institute. <https://www.permaculturenews.org/2014/02/28/bamboo-drip-irrigation/>

Khan Academy. (s.f.). *¿Qué es la ecuación de Bernoulli?* Obtenido de Khan Academy: <https://es.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-bernoullis-equation>

Khan Academy. (s.f.). *¿Qué es la tasa de flujo volumétrico?* Obtenido de Khan Academy: <https://es.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-volume-flow-rate>

La resina Epoxi. (s.f.). RESINA ACRÍLICA: alternativa a la epoxi y a la de poliéster. Obtenido de <https://laresinaepoxi.com/resina-acrilica/>

La resina Epoxi. (s.f.). *¿Qué es la resina Epóxica?*. Obtenido de <https://laresinaepoxi.com/resina-epoxica/>

Lipangile, T.N; Ingwe, A.; Budimu, R. 1989. Water, Engineering and Development in Africa. In: 15th WEDC, Conference. Kano, Nigeria. 27-30 p.

Londoño Pava, X. (10, 11, 12 de Febrero de 2000). La guadua: Un gigante dormido. Seminario Guadua en la Reconstrucción, págs. 4-5.

Luisa Ramos & Mónica. Torres. (2018). Universidad Católica de Colombia. Alternativa auxiliar de investigación. REVISIÓN DE LA LITERATURA PARA HALLAR LOS FACTORES DETERMINANTES EN LA PRODUCCIÓN Y USO DE LA GUADUA. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22664/1/REVISI%C3%93N%20DE%20LA%20LITERATURA%20PARA%20HALLAR%20LOS%20FACTORES%20DETERMINANTES%20EN%20LA%20PRODUCCI%C3%93N%20Y%20USO%20DE%20LA%20GUA.pdf>

- Martín Domingo, A. (2011). *Apuntes de Mecanica de Fluidos*. Madrid.
- Nieto Miguel. (Mayo 03 de 2018) Nazza Pro Empresas. Usos y aplicaciones de la resina de Poliéster. Obtenido de https://www.nazza.es/blog/8_Usos-resina-poliester.html
- Organización Meteorológica Mundial. OMM. (Febrero 08 de 2022). *Cambio climático: una amenaza para el bienestar de la humanidad y la salud del planeta*. Obtenido de <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/cambio-clim%C3%A1tico-una-amenaza-para-el-bienestar-de-la-humanidad-y-la>
- PAVCO Wavin. (24 de febrero de 2020). Manual Técnico Tubosistemas PRESION PVC. Obtenido de [MANUAL_PRESION_24-FEB-2020.pdf](#)
- Perea, R. (2003). *Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la guadua en el departamento del Huila*. Obtenido de Ministerio de agricultura y desarrollo social. FUNDAIN. http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3967/2/2006718144553_Manual%20de%20guadua.pdf
- Pío Font Quer. (Marzo de 2001). Ediciones Península. Diccionario de botánica. Obtenido de [Diccionario de botánica.pdf](#).
- P. P. Dabral. (2002). Indigenous Techniques of Soil and Water Conservation in North Eastern Region of India. 12th ISCO Conference, Beijing 2002. Obtenido de <https://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco12/VolumeIII/IndigenousTechniquesofSoil.pdf>
- Proasur S.L. (17 de Agosto de 2018). La resina: variedades, factores a tener en cuenta y recomendaciones para su uso. Obtenido de Proasur: <http://proasur.com/es/nosotros/actualidad/resina-en-los-procesos-productivos-de-proasur/>
- PROSAN (2021). Manualidades con resina Epóxica. Obtenido de: <https://prosanco.com/2021/11/28/manualidades-con-resina-epoxica/>
- P&M Proyectos de Ingeniería - Diseño. (Mayo 17 de 2020). *Construcciones en guadua, una técnica local en Colombia*. Obtenido de <https://pymingenieria.com/construcciones-en-guadua.html>
- QuimiNet. (31 de Agosto de 2012). Las múltiples características de una resina acrílica. Obtenido de QuimiNet: <https://www.quiminet.com/articulos/lasmultiples-caracteristicas-de-una-resina-acrilica-2840008.htm>
- Rai Pintores. Pintores Industriales. (s.f.). Qué son y para qué sirven las resinas de poliéster. Obtenido de [raipintores: http://www.raipintores.com/blog/resinas-poliester](http://www.raipintores.com/blog/resinas-poliester)

R A Singh & R C Gupta. (Julio de 2002), Traditional land and water management systems of North-East hill region. Indian Journal of Traditional Knowledge, Vol.1(1), pp. 32-39. Obtenido de <http://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/19366/1/IJTK%201%28Inaugural%29%2032-39.pdf>

Redacción. (26 de Octubre de 2017). Bambú, ideal para hacer tuberías. Obtenido de elexportario.mx: <https://elexportario.mx/emprendedores/bambuapunta-alto>

Resina Epoxi (2022). El sello de aprobación especial para resina epoxi apta para alimentos. ¿ES SEGURA LA RESINA EPOXI PARA EL CONTACTO CON ALIMENTOS? Obtenido de [Resinaepoxica.es](https://resinaepoxica.es/): <https://resinaepoxica.es/blog/es-segura-la-resina-epoxi-para-el-contacto-con-alimentos/>

Rivera (17 de Abril de 2018). Construcciones en guadua: una técnica lega en Colombia que debes conocer. Obtenido de <https://www.archdaily.co/co/892457/construcciones-en-guadua-una-tecnica-local-en-colombia-que-debes-conocer>

Rojas Alvarado, J. (2013). Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia mediante técnicas estadísticas y redes neuronales. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/50822/1032358002.2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Salas Delgado (15 de Noviembre de 2006). Simón Vélez: “Símbolo y búsqueda de lo primitivo”. Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia. Tesis de Doctorado Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10803/6130>

Soler Soler, P. (Septiembre de 2017). *Uso del bambú en la arquitectura contemporánea*. Escuela técnica superior de arquitectura. Obtenido de <https://riUNET.upv.es/bitstream/handle/10251/106203/SOLER%20-%20CSA-F0111%20Uso%20del%20bamb%C3%BA%20en%20la%20arquitectura%20contempor%C3%A1nea.pdf?sequence=1>

Soria, F., & Olaya, M. (1977). tratamiento de protección para tuberías de hormigón pretensado a base de resinas sintéticas (epoxi y poliuretano). Informes de la Construcción Vol. 30, nº 296, 41-62.

Universidad tecnologica de Chile. (s.f.). Ecuación de Continuidad, de Bernoulli y sus aplicaciones. Santiago.

Valvulararco. (29 de Agosto de 2019). ¿Qué es la pérdida de carga en tuberías? Obtenido de Arco: <https://blog.valvulararco.com/que-es-la-perdida-de-carga-en-tuberias>

Villavicencio, G., & Joffre, R. (2013). Optimización del transporte de hidrocarburos mediante el uso de tuberías de resina Epoxi Reforzada con Fibra de Vidrio (ERFV) en el noroeste peruano. Obtenido de Universidad Nacional de Ingeniería: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3360>

Yannopoulos, Grismer, Bali, & Angelakis. (21 de Junio de 2020). *Evolution of the Materials and Methods Used for Subsurface Drainage of Agricultural Lands from Antiquity to the Present*. Obtenido de revista Water <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/6/1767>

A. Anexo: Caracterización física

Se obtienen los siguientes datos respecto a cada una de las probetas a utilizar, tanto para los diámetros de $\frac{3}{4}$ " (D2), como para los de $\frac{1}{2}$ " (D1); considerando como mínimo tres valores de diámetro y espesor en cada uno de los extremos de la probeta, para así obtener un promedio.

CARACTERIZACIÓN PROBETAS															
ROTULADO PROBETA	DIÁMETRO EXTERNO (cm)				ESPESOR (cm)				DIÁMETRO INTERNO PROMEDIO (cm)			No. NUDOS	DISTANCIA ENTRE NUDOS PROMEDIO (cm)		
	INICIAL	PROM	FINAL	PROM	INICIAL	PROM	FINAL	PROM	INICIAL	FINAL	PROM				
1PSRD2	3,43	3,33	3,46	3,43	0,62	0,56	0,62	0,58	2,20	2,28	2,24	3	28,47	28,6	
	3,25		3,42		0,52		0,56						28,77		
	3,29		3,40		0,54		0,55								
2PR1D2	3,50	3,23	3,48	3,47	0,66	0,52	0,65	0,57	2,20	2,34	2,27	3	29,4	29,9	
	3,10		3,56		0,45		0,55						30,3		
	3,10		3,38		0,44		0,50								
3PR2D2	3,60	3,62	3,48	3,53	0,70	0,71	0,65	0,67	2,20	2,19	2,20	3	24	25,0	
	3,65		3,60		0,72		0,70						26		
	3,60		3,50		0,70		0,66								
4PSR3D2	3,20	3,13	3,43	3,28	0,50	0,46	0,55	0,49	2,21	2,30	2,26	3	32	31,0	
	3,00		3,10		0,40		0,44						30		
	3,18		3,32		0,48		0,48								
5PSRD1	2,69	2,66	2,72	2,76	0,52	0,52	0,60	0,59	1,62	1,58	1,60	3	34,25	33,8	
	2,61		2,72		0,52		0,56						33,25		
	2,68		2,83		0,52		0,60								
6PR2D1	2,45	2,47	2,60	2,70	0,35	0,42	0,60	0,58	1,63	1,53	1,58	3	32,5	31,0	
	2,40		2,70		0,50		0,55						29,5		
	2,55		2,80		0,40		0,60								
7PR3D1	2,90	2,75	2,95	2,87	0,60	0,58	0,70	0,65	1,60	1,57	1,58	3	36	36,5	
	2,65		2,85		0,55		0,65						37		
	2,70		2,80		0,58		0,60								
8PSR1D1	2,71	2,76	2,60	2,70	0,60	0,56	0,50	0,53	1,64	1,64	1,64	5	17,3	19,5	17,7
	2,78		2,62		0,50		0,49						15,5		
	2,80		2,88		0,58		0,60						18,6		

Tabla 17. Caracterización física probetas de guadua

B. Anexo: Pérdidas de presión y factor de fricción (f)

SIN RESINA

Dato	Tiempo (S)	Volumen (L)	Caudal (m ³ /s)	Presión 1 (Psi)	Presión 2 (Psi)	Delta Presión (Psi)	Delta Presión (Kpa)	Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Delta Hf (m)	f	Gradiente
1	25.57	15	0.00058670	3	2.32	0.69	4.723	23	9.783760	0.4827294	0.11475976	0.5746779
2	25.38		0.00059094		2.30	0.70	4.826		9.783760	0.4933001	0.11559690	0.5872620
3	25.41		0.00059040		2.28	0.72	4.987		9.783760	0.5097435	0.11966984	0.6068374
4	25.34		0.00059187		2.30	0.70	4.803		9.783760	0.4909811	0.11468414	0.5844656
5	25.41		0.00059024		2.31	0.69	4.734		9.783760	0.4839039	0.11366325	0.5767661
Prom	25.42		0.00059002		2.30	0.70	4.815		0.4921256	0.11567935	0.5858638	
Dato	Tiempo	Volumen (L)	Caudal	Presión 1 (Psi)	Presión 2 (Psi)	Delta Presión (Psi)	Delta Presión (Kpa)	Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Delta Hf (m)	f	Gradiente
1	27.76	15	0.00054035	6	5.43	0.57	3.930	23	9.783760	0.4016872	0.11258088	0.4781991
2	28.23		0.00053135		5.40	0.60	4.114		9.783760	0.4204796	0.12187213	0.5005710
3	28.00		0.00053565		5.40	0.60	4.137		9.783760	0.4228287	0.12059285	0.5033675
4	27.98		0.00053616		5.42	0.58	4.022		9.783760	0.4110834	0.11701986	0.4893850
5	28.07		0.00053444		5.42	0.58	3.999		9.783760	0.4087344	0.11710098	0.4865886
Prom	28.01		0.00053557		5.41	0.59	4.040		0.4129627	0.11781267	0.4916222	
Dato	Tiempo	Volumen (L)	Caudal	Presión 1 (Psi)	Presión 2 (Psi)	Delta Presión (Psi)	Delta Presión (Kpa)	Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Delta Hf (m)	f	Gradiente
1	30.80	15	0.00048696	9	8.43	0.57	3.507	23	9.783760	0.3993382	0.13780785	0.4754026
2	30.52		0.00049143		8.47	0.53	3.654		9.783760	0.3734987	0.12655830	0.4446413
3	30.63		0.00048972		8.49	0.51	3.516		9.783760	0.3694004	0.12263517	0.4278623
4	30.65		0.00048940		8.49	0.51	3.493		9.783760	0.3570553	0.12199279	0.4250659
5	30.59		0.00049030		8.49	0.51	3.516		9.783760	0.3594044	0.12234173	0.4278623
Prom	30.64		0.00048956		8.48	0.52	3.617		0.3697402	0.12624432	0.4401669	
Dato	Tiempo	Volumen (L)	Caudal	Presión 1 (Psi)	Presión 2 (Psi)	Delta Presión (Psi)	Delta Presión (Kpa)	Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Delta Hf (m)	f	Gradiente
1	33.91	15	0.00044230	12	11.63	0.37	2.551	23	9.783760	0.2607443	0.10906704	0.3104099
2	33.81		0.00044361		11.67	0.33	2.298		9.783760	0.2349048	0.09767998	0.2796486
3	33.68		0.00044541		11.69	0.31	2.114		9.783760	0.2161124	0.08914061	0.2572767
4	33.77		0.00044418		11.68	0.32	2.183		9.783760	0.2231596	0.09255829	0.2656662
5	33.83		0.00044335		11.65	0.35	2.413		9.783760	0.2466501	0.10268535	0.2936310
Prom	33.80		0.00044377		11.66	0.34	2.312		0.2363142	0.09819633	0.2813265	
Dato	Tiempo	Volumen (L)	Caudal	Presión 1 (Psi)	Presión 2 (Psi)	Delta Presión (Psi)	Delta Presión (Kpa)	Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Delta Hf (m)	f	Gradiente
1	37.21	15	0.00040308	15	14.85	0.15	1.011	23	9.783760	0.1033581	0.05205703	0.1230454
2	37.22		0.00040297		14.89	0.11	0.735		9.783760	0.0751695	0.03788001	0.0894875
3	37.33		0.00040179		14.89	0.11	0.735		9.783760	0.0751695	0.03810422	0.0894875
4	37.33		0.00040186		14.88	0.12	0.804		9.783760	0.0822167	0.04166161	0.0978770
5	37.30		0.00040214		14.90	0.10	0.666		9.783760	0.0681224	0.03447032	0.0810981
Prom	37.28		0.00040237		14.89	0.11	0.791		0.0808073	0.04084363	0.0961991	
Dato	Tiempo	Volumen (L)	Caudal	Presión 1 (Psi)	Presión 2 (Psi)	Delta Presión (Psi)	Delta Presión (Kpa)	Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Delta Hf (m)	f	Gradiente
1	41.31	15	0.00036308	18	17.86	0.14	0.988	23	9.783760	0.1010091	0.06270159	0.1202489
2	40.61		0.00036937		17.89	0.11	0.781		9.783760	0.0798676	0.04790430	0.0950805
3	41.01		0.00036579		17.83	0.17	1.195		9.783760	0.1221505	0.07470366	0.1454173
4	40.87		0.00036705		17.85	0.15	1.011		9.783760	0.1033581	0.06277991	0.1230454
5	40.97		0.00036615		17.83	0.17	1.195		9.783760	0.1221505	0.07455799	0.1454173
Prom	40.95		0.00036628		17.85	0.15	1.034		0.1057072	0.06447725	0.1258419	

Tabla 18. Tubería de guadua #1 - 3/4" Sin Resina

RESINA EPOXICA

Dato	Tiempo	Volumen (L)	Caudal (m³/s)	Presión 1 (Psi)	Presión 2 (Psi)	Delta Presión (Psi)	Delta Presión (Kpa)	Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m³)	Delta Hf (m)	f	Gradiente
1	26.50	15	0.00056604	3	1.57	1.43	9.860	23	9.783760	1.0077417	0.05439137	1.2141466
2	27.30		0.00054945		1.50	1.50	10.342		9.783760	1.0570717	0.06055065	1.2735803
3	27.20		0.00055147		1.50	1.50	10.342		9.783760	1.0570717	0.06010787	1.2735803
4	27.20		0.00055147		1.50	1.50	10.342		9.783760	1.0570717	0.06010787	1.2735803
5	26.80		0.00055970		1.50	1.50	10.342		9.783760	1.0570717	0.05835299	1.2735803
Prom	27.00		0.00055556		1.51	1.49	10.246		9.783760	1.0472057	0.05867439	1.2616936
1	29.60	15	0.00050676	6	4.70	1.30	8.963	23	9.783760	0.9161288	0.06169202	1.1037696
2	29.80		0.00050336		4.70	1.30	8.963		9.783760	0.9161288	0.06252852	1.1037696
3	29.25		0.00051282		4.63	1.37	9.446		9.783760	0.9654588	0.06348550	1.1632034
4	29.60		0.00050676		4.70	1.30	8.963		9.783760	0.9161288	0.06169202	1.1037696
5	29.44		0.00050951		4.71	1.29	8.894		9.783760	0.9090816	0.06055745	1.0952791
Prom	29.54		0.00050782		4.69	1.31	9.046		9.783760	0.9245854	0.06200094	1.1139583
1	32.29	15	0.00046454	9	7.72	1.28	8.825	23	9.783760	0.9020345	0.07228502	1.0867886
2	32.15		0.00046656		7.80	1.20	8.274		9.783760	0.8456573	0.06790884	1.0188643
3	31.84		0.00047111		7.78	1.22	8.412		9.783760	0.8597516	0.06689872	1.0358453
4	32.05		0.00046802		7.77	1.23	8.481		9.783760	0.8667988	0.06843256	1.0443359
5	31.71		0.00047304		7.77	1.23	8.481		9.783760	0.8667988	0.06698844	1.0443359
Prom	32.01		0.00046863		7.77	1.23	8.494		9.783760	0.8682082	0.06836440	1.0460340
1	35.44	15	0.00042325	12	11.08	0.92	6.343	23	9.783760	0.6483373	0.06258604	0.7811293
2	34.75		0.00043165		11.17	0.83	5.723		9.783760	0.5849130	0.05428626	0.7047145
3	34.90		0.00042980		11.15	0.85	5.861		9.783760	0.5990073	0.05607535	0.7216955
4	35.09		0.00042747		11.10	0.90	6.205		9.783760	0.6342430	0.06002214	0.7641482
5	35.43		0.00042337		11.10	0.90	6.205		9.783760	0.6342430	0.06119093	0.7641482
Prom	35.12		0.00042708		11.12	0.88	6.067		9.783760	0.6201487	0.05879541	0.7471671
1	38.27	15	0.00039195	15	14.40	0.60	4.137	23	9.783760	0.4228287	0.04759600	0.5094321
2	38.73		0.00038730		14.39	0.61	4.206		9.783760	0.4298758	0.04955952	0.5179227
3	38.53		0.00038931		14.45	0.55	3.792		9.783760	0.3875929	0.04422450	0.4669795
4	38.74		0.00038720		14.37	0.63	4.344		9.783760	0.4439701	0.05121085	0.5349037
5	38.47		0.00038991		14.40	0.60	4.137		9.783760	0.4228287	0.04809477	0.5094321
Prom	38.55		0.00038913		14.40	0.60	4.123		9.783760	0.4214192	0.04812903	0.5077340
1	42.34	15	0.00035427	18	17.30	0.70	4.826	23	9.783760	0.4933001	0.06796761	0.5943375
2	42.73		0.00035104		17.25	0.75	5.171		9.783760	0.5285358	0.07417017	0.6367902
3	41.97		0.00035740		17.35	0.65	4.482		9.783760	0.4580644	0.06201454	0.5518848
4	42.71		0.00035121		17.27	0.73	5.033		9.783760	0.5144415	0.07212474	0.6198091
5	42.30		0.00035461		17.30	0.70	4.826		9.783760	0.4933001	0.06783925	0.5943375
Prom	42.41		0.00035369		17.29	0.71	4.868		9.783760	0.4975284	0.0687704	0.5994318

Tabla 25. Tubería de guadua #8 – ½” Resina Epóxica

C. Anexo: Análisis estadístico

Se realiza la verificación de supuestos para las tuberías de guadua tanto de diámetro $\frac{3}{4}$ " como de $\frac{1}{2}$ ":

1. Verificación de supuestos para el modelo del factor RESINAS en la tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada.

1.1 Supuesto de normalidad

Con el test de Shapiro-Wilk (0.09269) se acepta la Ho: distribución normal en los residuos

Shapiro-Wilk normality test

data: modelo\$res

W = 0.92902, p-value = 0.09269

1.2 Supuesto varianza constante

Con el test de Bartlett se comprobó la igualdad de las varianzas arrojando un p-value de 0, 4705. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula Ho: Varianza constante, es decir que hay homocedasticidad.

Bartlett test of homogeneity of variances

data: modelo\$res and RESINA

Bartlett's K-squared = 2.5265, df = 3, p-value = 0.4705

1.3 Supuesto de independencia

Al realizar el test de Box-LjungL, se comprueba que no existe dependencia entre las observaciones, arrojando un valor de p-value de 0.1074

Box-Ljung test

data: modelo\$res

$X\text{-squared} = 10.436, df = 6, p\text{-value} = 0.1074$

1.4 Supuesto media cero

Con el test t-student´s, se acepta la hipótesis nula H_0 : media=cero (0), con un p-value =1.

2. Verificación de supuestos para el modelo del factor RESINAS en la tubería de 3/4 pulgada.

2.1 Supuesto de normalidad

Con el test de Shapiro-Wilk (0.9678) se acepta la H_0 : distribución normal en los residuos

Shapiro-Wilk normality test

data: modelo\$res

$W = 0.98503, p\text{-value} = 0.9678$

2.2 Supuesto varianza constante

Con el test de Bartlett se comprobó la igualdad de las varianzas arrojando un p-value de 0.4472. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula H_0 : Varianza constante, es decir que hay homocedasticidad.

Bartlett test of homogeneity of variances

data: modelo\$res and RESINA

$Bartlett's K\text{-squared} = 2.6592, df = 3, p\text{-value} = 0.4472$

2.3 Supuesto de independencia

Al realizar el test de Box-LjungL, se comprueba que no existe dependencia entre las observaciones, arrojando un valor de p-value de 0.6216

Box-Ljung test

data: modelo\$res

$X\text{-squared} = 4.4085, df = 6, p\text{-value} = 0.6216$

2.4 Supuesto media cero

Con el test t-student´s, se acepta la hipótesis nula H_0 : media=cero (0), con un p-value =1.

D. Anexo: Análisis de precios unitarios

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Ítem	Descripción			Unidad	Cantidad
1.1	Guadua 3/4" + Resina Epoxica			m	3.00
1. Equipo					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
				SUBTOTAL	\$ 0.00
2. Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
Guadua Angustifolia (5 m)	m	0.20	\$ 7,500.00	\$ 1,500.00	
Resina Epoxica Resiglas Bicomponente	ml	0.0079	\$ 192,017.00	\$ 1,521.77	
				SUBTOTAL	\$ 3,021.77
3. Transportes					
Material	Vol. o Peso	Distancia	m3	Tarifa m3	Vr. Unitario
				SUBTOTAL	\$ 0.00
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 3,021.77

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad		
1.2	Guadua 3/4" + Resina Poliester	m	3.00		
1. Equipo					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
SUBTOTAL					\$ 0.00
2. Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
Guadua Angustifolia (5 m)	m	0.20	\$ 7,500.00	\$ 1,500.00	
Resina Poliester + Catalizador	ml	0.03	\$ 17,395.00	\$ 521.85	
SUBTOTAL				\$ 2,021.85	
3. Transportes					
Material	Vol. o Peso	Distancia	m3	Tarifa m3	Vr. Unitario
SUBTOTAL					\$ 0.00
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 2,021.85
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad		
1.3	Guadua 3/4" + Resina Acrilica	m	3.00		
1. Equipo					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
SUBTOTAL					\$ 0.00
2. Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
Guadua Angustifolia (5 m)	m	0.20	\$ 7,500.00	\$ 1,500.00	
Resina Acrilica Acroflex 1/4	ml	0.03	\$ 12,185.00	\$ 365.55	
SUBTOTAL				\$ 1,865.55	
3. Transportes					
Material	Vol. o Peso	Distancia	m3	Tarifa m3	Vr. Unitario
SUBTOTAL					\$ 0.00
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 1,865.55

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Ítem	Descripción			Unidad	Cantidad	
2.1	Guadua 1/2" + Resina Epoxica			m	3.00	
1. Equipo						
Descripción		Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
SUBTOTAL					\$ 0.00	
2. Materiales						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
Guadua Angustifolia (5 m)		m	0.20	\$ 7,500.00	\$ 1,500.00	
Resina Epoxica Resiglas Bicomponente		ml	0.0053	\$ 192,017.00	\$ 1,014.51	
SUBTOTAL					\$ 2,514.51	
3. Transportes						
Material		Vol. o Peso	Distancia	m3	Tarifa m3	Vr. Unitario
SUBTOTAL					\$ 0.00	
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 2,514.51	
Ítem	Descripción			Unidad	Cantidad	
2.2	Guadua 1/2" + Resina Poliester			m	3.00	
1. Equipo						
Descripción		Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
SUBTOTAL					\$ 0.00	
2. Materiales						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario	
Guadua Angustifolia (5 m)		m	0.20	\$ 7,500.00	\$ 1,500.00	
Resina Poliester + Catalizador		ml	0.02	\$ 17,395.00	\$ 347.90	
SUBTOTAL					\$ 1,847.90	
3. Transportes						
Material		Vol. o Peso	Distancia	m3	Tarifa m3	Vr. Unitario
SUBTOTAL					\$ 0.00	
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 1,847.90	

Ítem	Descripción		Unidad	Cantidad	
2.3	Guadua 1/2" + Resina Acrilica		m	3.00	
1. Equipo					
Descripción	Marca	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr. Unitario
SUBTOTAL					\$ 0.00
2. Materiales					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Vr Unitario
Guadua Angustifolia (5 m)		m	0.20	\$ 7,500.00	\$ 1,500.00
Resina Acrilica Acroflex 1/4		ml	0.02	\$ 12,185.00	\$ 243.70
SUBTOTAL					\$ 1,743.70
3. Transportes					
Material	Vol. o Peso	Distancia	m3	Tarifa m3	Vr. Unitario
SUBTOTAL					\$ 0.00
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 1,743.70

Tabla 26. Análisis precios unitario