

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA
GUADUA ANGUSTIFOLIA DE LOS MUNICIPIOS DE CHACHAGÜI Y BUESACO
UBICADOS EN LA ZONA NORTE DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**FERNANDO YASMANY AYALA ERIRA
JORGE LUIS CADENA ACOSTA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2011**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA
GUADUA ANGUSTIFOLIA DE LOS MUNICIPIOS DE CHACHAGÜI Y BUESACO
UBICADOS EN LA ZONA NORTE DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**FERNANDO YASMANY AYALA ERIRA
JORGE LUIS CADENA ACOSTA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Asesor:
JANETH OJEDA HIDALGO
Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2011**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el presente trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo primero del Acuerdo número 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Ing. JHANET OJEDA HIDALGO
Directora de Proyecto de Grado

Ing. HERNÁN GÓMEZ ZAMBRANO.
Jurado 1.

Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ.
Jurado 2.

San Juan de Pasto, Marzo 2011

DEDICATORIA

*A Dios.
Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida.
Por los triunfos y los momentos difíciles que me
han enseñado a valorar la vida cada día más.*

*Para mis padres Clarita y Polito,
Gracias a sus consejos,
por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad,
por su comprensión y ayuda en momentos malos y menos malos.
Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder
nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.
Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios,
mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis
de amor y sin pedir nunca nada a cambio.*

*Para mi esposa, Diana,
por su comprensión, por su empeño, por su fuerza,
por su amor, por ser tal y como es, ... porque la quiero.
Es la persona que más directamente ha sufrido las consecuencias
del trabajo realizado. Realmente ella me llena por dentro para conseguir
un equilibrio que me permita dar el máximo de mí.
Nunca le podré estar suficientemente agradecido.*

*Para mi hija, Dianita Sophia.
Su nacimiento ha coincidido con el final de la Tesis.
Ella es lo mejor que me a pasado, y ha venido a este mundo
para darme el último empujón para terminar este trabajo.
Es sin duda mi referencia para el presente y para el futuro.*

*A mis Hermanos, Yomaira y Geovanny,
Gracias por que siempre he contado con ellos para recibir un consejo,
gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y la amistad.*

*A mis sobrinos,
que directamente me impulsaron para llegar hasta este lugar ,
es su amor y respeto orgullo de quien soy.*

Fernando Ayala

DEDICATORIA

*A Dios y a la Virgen María
por ser los guías espirituales que me dan la
oportunidad de vivir este momento.*

*A mis queridos padres Luis y María,
Por el apoyo incondicional y la confianza
depositada en mi.*

*A mis hermanos, Carlos, Jairo y Marcela
Por ser más que hermanos, amigos de lucha,
Siempre estarán en las buenas y en las malas.*

*A Adriana,
ella es el sentimiento puro de
amor, respeto y confianza,*

*A mi hijo Sergio,
Fruto del amor y la razón para seguir adelante,
Gracias Dios por tener a mi lado ese ser tan especial.*

*A mis amigos,
Por brindarme su apoyo y estar ahí incondicionalmente.*

Jorge Luis Cadena

RESUMEN

En Colombia, a raíz del sismo ocurrido en 1999 en el eje cafetero, se retomaron y se impulsaron varias investigaciones sobre tecnologías propias; como contribución a la solución de la situación de vivienda a damnificados del terremoto. Entre estos estudios se tiene la construcción con guadua (*Guadua Angustifolia Kunth*) el bambú más resistente del mundo, que aunque ha sido aprovechado mediante técnicas tradicionales, ha sido en esta década, que se lograron avances científicos que han permitido ratificar las excelentes propiedades de este recurso renovable.

Dentro del proceso llevado a cabo en este trabajo de investigación es necesario evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia Kunth* que se produce en los Municipios de Chachagüi y Buesaco ubicados en la región norte del Departamento de Nariño, tomando como base los métodos de ensayo descritos en la Norma Técnica Colombiana NTC 5525, de este modo se obtendrán juicios de valor que permitirán un mejor y mayor uso de este material en diversos proyectos constructivos de la región.

ABSTRACT

In Colombia, following the earthquake in 1999 in the coffee, were resumed and led several investigations into proprietary technologies, as a contribution to solving the housing situation of the earthquake victims. Among these studies is the construction with bamboo (*Guadua angustifolia* Kunth) the strongest bamboo in the world, although it has been used by traditional techniques has been in this decade that scientific progress was allowed to endorse the excellent properties of this renewable resource.

In the process undertaken in this research is necessary to evaluate the physical and mechanical properties of *Guadua angustifolia* Kunth occurs in the municipalities of Buesaco Chachagüí and located in the northern region of Nariño Department, based on methods test described in the Technical Standard NTC 5525, in this way will allow value judgments that a better and greater use of this material in various construction projects in the region.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	27
1. TÍTULO	28
2. MARCO TEÓRICO	29
2.1 DIFERENCIAS ENTRE MADERA Y BAMBÚ.....	30
2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	30
2.3 BIOTIPOS O FORMAS DE GUADUA	32
2.3.1 Guadua macana.....	33
2.3.2 Guadua cebolla:	33
2.3.3 Guadua castilla	33
2.4 MORFOLOGÍA GENERAL DE LA GUADUA	34
2.5 PARTES PRINCIPALES DE LA GUADUA.....	35
2.5.1 Parte inferior o cepa.....	35
2.5.2 Parte intermedia o basa	35
2.5.3 Parte superior o sobrebasa	36
2.5.4 Rizoma.....	36
2.5.5 Tallo o culmo.....	37
2.5.6 Varillón	38

2.5.7	Ramas.....	38
2.5.8	Copa	38
2.5.9	Hoja caulinar	38
2.6	FASES DEL DESARROLLO DE LA GUADUA	38
2.6.1	Rebrote	38
2.6.2	Guadua joven ó viche	39
2.6.3	Guadua madura o adulta.....	40
2.6.4	Guadua seca.....	41
3.	ANTECEDENTES	42
4.	METODOLOGÍA	45
5.	PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA	47
5.1	CONTENIDO DE HUMEDAD.....	47
5.2	DENSIDAD.....	47
5.3	CONTRACCIÓN	47
5.4	ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL.....	48
5.5	ENSAYO DE FLEXIÓN.....	48
5.6	ENSAYO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA.....	50
5.7	ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.....	50
6.	PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO.....	52
6.1	NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5525	52

6.1.1	Objeto	52
6.2	PROCEDIMIENTOS GENERALES.....	52
6.2.1	Medición y peso	52
6.2.2	Temperatura y humedad.....	53
6.2.3	Velocidad de aplicación de la carga.....	53
6.2.4	Calibración	53
6.3	TOMA DE MUESTRAS Y ALMACENAMIENTO DE LAS PROBETAS	53
6.3.1	Toma de muestras	53
6.3.2	Selección.....	53
6.3.3	Corte, rotulado y trozado.....	54
6.3.4	Despacho	55
6.3.5	Recepción y almacenamiento de los culmos de guadua	55
6.3.6	Rotulado y trozado en probetas	56
6.3.7	Informe del ensayo	56
6.4	ENSAYOS DE LABORATORIO	57
6.4.1	Contenido de humedad:.....	57
6.4.2	Densidad:	59
6.4.3	Contracción:.....	60
6.4.4	Ensayo de compresión:.....	62
6.4.5	Ensayo de flexión:.....	63

6.4.6	Corte:	67
6.4.7	Tracción:	69
7.	DESCRIPCIÓN FOTOGRÁFICA	71
7.1	EQUIPOS UTILIZADOS.....	71
7.2	MONTAJES PARA REALIZAR LOS DIFERENTES ENSAYOS	74
7.2.1	Montaje para ensayo de compresión axial:.....	74
7.2.2.	Montaje para ensayo de corte paralelo a la fibra	75
7.2.3	Montaje para ensayo de tracción paralela a la fibra.....	76
7.2.4	Montaje para ensayo de flexión	77
7.2.5	Fallas	79
8.	CÁLCULOS.....	81
8.1	DATOS INICIALES	81
8.1.1	Ensayo de compresión axial:	82
8.1.1.1	Datos iniciales ensayo de compresión Municipio de Chachagüi:.....	82
8.1.1.2	Datos iniciales ensayo de compresión Municipio de Buesaco:	85
8.1.2	Ensayo de corte paralelo a las fibras:	88
8.1.2.1	Datos iniciales ensayo de corte Municipio de Chachagüi:	88
8.1.2.2	Datos iniciales ensayo de corte Municipio de Buesaco.....	91
8.1.3	Ensayo de tracción paralelo a las fibras.....	94
8.1.3.1	Datos iniciales ensayo de tracción municipio de Chachagüi.....	94

8.1.3.2	Datos iniciales ensayo de tracción Municipio de Buesaco	97
8.1.4	Ensayo de flexión:	100
8.1.4.1	Datos iniciales ensayo de flexión Municipio de Chachagüi	100
8.1.4.1	Datos iniciales ensayo de flexión Municipio de Buesaco	102
8.2	CÁLCULOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA <i>ANGUSTIFOLIA</i>	103
8.2.1	Ensayo de compresión axial.	103
8.2.1.1	Ensayo de compresión con deflexión controlada Municipio de Chachagüi:	105
8.2.1.2	Ensayo de compresión con deflexión controlada Municipio de Buesaco	112
8.2.2	Ensayo de corte paralelo a las fibras.	120
8.2.2.1	Ensayo de corte con carga controlada Municipio de Chachagüi:.....	121
8.2.2.2	Ensayo de corte con carga controlada Municipio de Buesaco:	127
8.2.3	Ensayo de tracción paralela a las fibras.....	133
8.2.3.1	Ensayo de tracción paralela a las fibras con carga controlada Municipio de Chachagüi:	135
8.2.3.2	Ensayo de tracción paralela a las fibras con carga controlada Municipio de Buesaco:	141
8.2.4	Ensayo de flexión.....	147
8.2.4.1	Ensayo de flexión Municipio de Chachagüi:.....	148
8.2.4.2	Ensayo de flexión Municipio de Buesaco	151

8.2.5	Propiedades físicas de la guadua <i>angustifolia</i>	154
8.2.5.1	Contenido de humedad (CH).	154
8.2.5.2	Densidad (ρ).....	159
8.2.5.3	Contracción.....	169
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	182
9.1	RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL	182
9.2	RESULTADOS ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS.....	185
9.3	RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS .	188
9.4	RESULTADOS ENSAYO DE FLEXIÓN.....	191
10.	CONCLUSIONES	194
11.	RECOMENDACIONES	197
	BIBLIOGRAFÍA	198
	ANEXOS	200

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Diferencias entre madera y bambú	30
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la guadua	32
Tabla 3. Datos inicales ensayo de compresión	82
Tabla 4. Datos iniciales ensayo de compresión	83
Tabla 5. Datos iniciales ensayo de compresión	84
Tabla 6. Datos iniciales ensayo de compresión	85
Tabla 7. Datos iniciales ensayo de compresión.	86
Tabla 8. Datos iniciales ensayo de compresión	87
Tabla 9. Datos iniciales ensayo de corte paralelo a las fibras.....	88
Tabla 10. Datos iniciales ensayo de corte paralelo a las fibras.....	89
Tabla 11. Datos iniciales ensayo de corte paralelos a las fibras.....	90
Tabla 12. Datos iniciales ensayo de corte paralelos a las fibras	91
Tabla 13. Datos iniciales ensayo de corte paralelos a las fibras	92
Tabla 14. Datos iniciales ensayo de corte paralelos a las fibras	93
Tabla 15. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras	94
Tabla 16. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras	95
Tabla 17. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras	96
Tabla 18. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras	97
Tabla 19. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras	98
Tabla 20. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras	99
Tabla 21. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas largas	100
Tabla 22. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas intermedias	100
Tabla 23. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas cortas	101
Tabla 24. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas largas	102
Tabla 25. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas intermedias	102
Tabla 26. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas cortas	103

Tabla 27.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 1	105
Tabla 28.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 2	106
Tabla 29.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 3	106
Tabla 30.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 4	107
Tabla 31.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 1	107
Tabla 32.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 2	108
Tabla 33.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 3	108
Tabla 34.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 4	109
Tabla 35.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 1	109
Tabla 36.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 2	110
Tabla 37.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 3	110
Tabla 38.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 4	111
Tabla 39.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 1	112
Tabla 40.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 2	113
Tabla 41.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 3	114
Tabla 42.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 4	115
Tabla 43.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 1	116
Tabla 44.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 2	117
Tabla 45.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 3	117
Tabla 46.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 4	118
Tabla 47.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 1	118
Tabla 48.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 2	119
Tabla 49.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 3	119
Tabla 50.	Resultados ensayo de compresión. Probeta 4	120
Tabla 51.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1	121
Tabla 52.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2	122
Tabla 53.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3	122
Tabla 54.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4	123
Tabla 55.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1	123
Tabla 56.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2	124

Tabla 57.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3	124
Tabla 58.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4	125
Tabla 59.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1	125
Tabla 60.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2	126
Tabla 61.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3	126
Tabla 62.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4	127
Tabla 63.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1.	127
Tabla 64.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2	128
Tabla 65.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3.	128
Tabla 66.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4.	129
Tabla 67.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1.	129
Tabla 68.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2.	130
Tabla 69.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3.	130
Tabla 70.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4.	131
Tabla 71.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1.	131
Tabla 72.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2.	132
Tabla 73.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3.	132
Tabla 74.	Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4.	133
Tabla 75.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1.....	135
Tabla 76.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2.....	135
Tabla 77.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3.....	136
Tabla 78.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.....	136
Tabla 79.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1.....	137
Tabla 80.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2.....	137
Tabla 81.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3.....	138
Tabla 82.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.....	138
Tabla 83.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1.....	139
Tabla 84.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2.....	139
Tabla 85.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3.....	140
Tabla 86.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.....	140

Tabla 87.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1.....	141
Tabla 88.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2.....	141
Tabla 89.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3.....	142
Tabla 90.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.....	142
Tabla 91.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1.....	143
Tabla 92.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2.....	143
Tabla 93.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3.....	144
Tabla 94.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.....	144
Tabla 95.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1.....	145
Tabla 96.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2.....	145
Tabla 97.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3.....	146
Tabla 98.	Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.....	146
Tabla 99.	Resultados ensayo de flexión- probetas largas (L=3.0 mts).....	148
Tabla 100.	Resultados ensayo de flexión- probetas intermedias (L=2.0 mts)...	149
Tabla 101.	Resultados ensayo de flexión- probetas cortas (L=1.0 mts).....	150
Tabla 102.	Resultados ensayo de flexión- probetas largas (L=3.0 mts).....	151
Tabla 103.	Resultados ensayo de flexión- probetas intermedias (L=2.0 mts)....	152
Tabla 104.	Resultados ensayo de flexión- probetas cortas (L=1.0 mts).....	153
Tabla 105.	Resultados control de humedad para ensayo de compresión. Municipio de Chachagüi	154
Tabla 106.	Resultados control de humedad para ensayo de compresión. Municipio de Buesaco	155
Tabla 107.	Resultados control de humedad para ensayo de tracción paralela a las fibras. Municipio de Chachagüi	156
Tabla 108.	Resultados control de humedad para ensayo de tracción paralela a las fibras. Municipio de Buesaco	157
Tabla 109.	Resultados control de humedad para ensayo de corte paralelo a las fibras y ensayo de flexión. Municipio de Chachagüi.....	158
Tabla 110.	Resultados control de humedad para ensayo de corte paralelo a las fibras y ensayo de flexión. Municipio de Buesaco.....	159

Tabla 111. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte inferior. Municipio de Chachagüi	163
Tabla 112. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte media. Municipio de Chachagüi.....	164
Tabla 113. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte superior. Municipio de Chachagüi.	165
Tabla 114. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte inferior. Municipio de Buesaco.....	166
Tabla 115. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte media. Municipio de Buesaco.....	167
Tabla 116. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte superior. Municipio de Buesaco.....	168
Tabla 117. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte inferior. Municipio de Chachagüi.....	170
Tabla 118. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte media. Municipio de Chachagüi.....	171
Tabla 119. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte superior. Municipio de Chachagüi.....	172
Tabla 120. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte inferior. Municipio de Buesaco.....	173
Tabla 121. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte media. Municipio de Buesaco.....	174
Tabla 122. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte superior. Municipio de Buesaco.....	175
Tabla 123. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte inferior. Municipio de Chachagüi.	176
Tabla 124. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte media. Municipio de Chachagüi.....	177
Tabla 125. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte superior. Municipio de Chachagüi.....	178

Tabla 126. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte inferior. Municipio de Buesaco.....	179
Tabla 127. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte media. Municipio de Buesaco.....	180
Tabla 128. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte superior. Municipio de Buesaco.....	181
Tabla 129. Resultados esfuerzo último de probetas sometidas a compresión. .	182
Tabla 130. Resultados de esfuerzo último de probetas sometidas a compresión de otras investigaciones.....	183
Tabla 131. Resultados resistencia última de probetas sometidas al corte paralelo a las fibras.....	185
Tabla 132. Resultados resistencia última de probetas sometidas al corte paralelo a las fibras de otras investigaciones.....	186
Tabla 133. Resultados esfuerzo último de probetas sometidas a tracción paralela a las fibras.....	188
Tabla 134. Resultados esfuerzo último de probetas sometidas a tracción paralela a las fibras de otras investigaciones.....	189
Tabla 135. Resultados esfuerzo último de probetas sometidas a flexión.....	191
Tabla 136. Resultados esfuerzo último de probetas sometidas a flexión de otras investigaciones.....	192

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Guadua Angustifolia	29
Foto 2. Culmo de Guadua	34
Foto 3. Rizoma de Guadua	36
Foto 4. Tallo de Guadua.....	37
Foto 5. Cogollo o Rebrote	39
Foto 6. Guadua Viche	40
Foto 7. Guadua Madura	40
Foto 8. Prensa hidraulica	48
Foto 9. Dispositivo para ensayo de compresión.....	48
Foto 10. Probetas para ensayo de tracción.....	51
Foto11. Mordazas para ensayo de tracción	51
Foto 12. Rodal en buen estado	54
Foto 13. Muestras de Guadua.....	56
Foto 14. Probetas cortadas y rotuladas.....	56
Foto 15. Probetas para el control de humedad	58
Foto 16. Probetas para ensayo de contracción.....	61
Foto 17. Montaje para ensayo de compresión	63
Foto 18. Equipo utilizado para ensayo de Flexión.....	64
Foto 19. Montaje para ensayo de Flexión	66

Foto 20. Montaje para ensayo de Corte	68
Foto 21. Probetas para ensayo de tracción.....	70
Foto 22. Prensa hidráulica - Montaje.....	71
Foto 23. Montaje utilizado para realizar el ensayo de flexión.....	71
Foto 24. El Equipo utilizado para desarrollar el ensayo de tracción paralela	72
Foto 25. Horno eléctrico digital.....	72
Foto 26. Deformímetro de vástago.....	73
Foto 27. Calibrador o Pie de rey.....	73
Foto 28. Balanza	73
Foto 29. Flexómetro y sierra circular	73
Foto 30. Montaje para ensayo de compresión axial	74
Foto 31. Montaje para ensayo de corte paralelo a la fibra	75
Foto 32. Dispositivo de ensayo	75
Foto 33. Máquina universal	76
Foto 34. Mordazas planas.....	76
Foto 35. El montaje para ensayo de flexión	77
Foto 36. Dispositivo de apoyo	78
Foto 37. Dispositivo de Carga.....	78
Foto 38. Ensayo de compresión. Falla por aplastamiento.....	79
Foto 39. Ensayo de compresión. Falla por corte.....	79
Foto 40. Ensayo de tracción. Falla sin desprendimiento de fibras.	79
Foto 41. Ensayo de tracción. Falla con desprendimiento de fibras.	79

Foto 42. Ensayo de corte. Falla por corte sin desprendimiento de fibras.....	80
Foto 43. Ensayo de corte. Falla por corte con desprendimiento de fibras.....	80
Foto 44. Ensayo de flexión. Falla por corte longitudinal.....	80
Foto 45. Ensayo de flexión. Falla por aplastamiento.....	80

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Partes principales de la guadua <i>Angustifolia kunth</i>	35
Figura 2. Esquema de distribución de fuerzas y longitudes para ensayo de Flexión.....	49
Figura 3. Dispositivos para ensayo de Flexión	65
Figura 4. Ensayo de corte y sus dispositivos.....	67
Figura 5. Resultados ensayo de compresión	184
Figura 6. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras.....	187
Figura 7. Resultados ensayo de tracción paralela a las fibras.	190
Figura 8. Resultados ensayo de flexión.	193

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Municipios de Chachagüi y Buesaco	201
Anexo B: Modelos estadísticos para muestras pequeñas.....	202
Anexo C: Corte, Rotulado y Trozado.....	205
Anexo D: Rotulado y Trozado en probetas según la norma NTC 5525.....	206
Anexo E: Montaje inicial para ensayo de Flexión	207

GLOSARIO

TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para el propósito de este documento, se aplican los siguientes términos y definiciones:

Área de sección transversal. En un corte transversal del culmo es el área de la sección perpendicular a la dirección de las fibras y de los vasos conductores.

NOTA: Se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = (\pi/4) * [D^2 - (D - 2t)^2] \quad [1]$$

En donde D es el diámetro externo y t es el espesor de pared, obtenidos de los valores promedios de las mediciones en el segmento.

Contenido de humedad. Contenido de agua al interior de un cuerpo expresado como la relación en porcentaje entre el peso del agua contenida y el peso del material anhidro.

Culmo. Eje aéreo segmentado formado por nudos y entrenudos.

Diámetro externo. Diámetro de una sección transversal de una pieza de guadua medido desde dos puntos opuestos en la superficie externa.

Espesor de la pared. Grosor de la pared de una probeta de guadua angustifolia kunth en mm.

Luz. Espacio libre entre los soportes del culmo en el equipo utilizado para el ensayo de flexión.

Muestra. Cantidad o grupo de probetas o especímenes.

Probeta. Segmento o pieza de guadua que se usa para ensayos o pruebas de laboratorio con medidas específicas.

Rodal. Conjunto de culmos que pueblan un terreno diferenciándolo de los colindantes.

Trozar. Dividir en segmentos un culmo.

SÍMBOLOS Y TÉRMINOS ABREVIADOS

Se aplican los siguientes símbolos y

- A** Área de la sección transversal en mm^2 , calculada con la formula [1].
- D** Diámetro externo en mm.
- δ Deflexión o deformación en mm (se lee delta)
- E** Módulo de elasticidad en MPa
- F** Carga en N
- G** Módulo de corte en MPa
- IB** Momento de inercia en mm^4
- L** Luz en el ensayo de flexión. Longitud de la probeta en los ensayos en compresión, corte y tracción en mm.
- CH** Contenido de humedad en %
- M** Masa en g
- π Se toma como 3.14
- ρ Densidad (masa por unidad de volumen) en kg/m^3 (se lee "ro")
- σ Esfuerzo en MPa (se lee "sigma")
- t** Espesor de la pared en mm
- τ Esfuerzo de corte en MPa (se lee "tao")
- V** Volumen de la probeta de ensayo en mm^3 , calculado como $A \times L$ o según se haya medido
- W** Módulo de sección en mm^3
- X** Símbolo de multiplicación

NOTA 1Mpa= 1N/mm².

INTRODUCCIÓN

El esfuerzo por mejorar la calidad del ambiente, debe ser también parte de la razón científica y de la tecnología del futuro. La búsqueda de alternativas de solución a las necesidades diarias, debe ir acompañada de un serio criterio ambiental sostenible. Más cuando la prospectiva climática demuestra consecuencias irreversibles para el planeta.

Los ensayos se van a realizar sobre segmentos o probetas de Guadua, provenientes de culmos que se recolectaron en rodales de los dos Municipios escogidos para hacer la investigación y una vez obtenidos los resultados se evaluarán esfuerzos admisibles y se compararán con resultados existentes de ensayos sobre estas propiedades de la guadua de otras regiones del País.

Objetivos

Objetivo general: Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua *Angustifolia Kunth* de los municipios de Chachagüi y Buesaco ubicados en zona norte del Departamento de Nariño.

Objetivos específicos:

- ✓ Realizar los ensayos de laboratorio con base en las normas técnicas como la NTC 5525: MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH, entre otras; sobre segmentos de guadua provenientes de rodales de dos Municipios de Nariño: Chachagüi y Buesaco.
- ✓ Obtener resultados de valores que permitan evaluar contenidos de humedad, densidad y contracción de la guadua, para los ensayos mecánicos.
- ✓ Obtener resultados de valores que permitan evaluar resistencias a esfuerzos de compresión axial.
- ✓ Obtener resultados de valores que permitan evaluar resistencias a esfuerzos de flexión.
- ✓ Obtener resultados de valores que permitan evaluar resistencias al corte paralelo a la fibra.
- ✓ Obtener resultados de valores que permitan evaluar resistencias a esfuerzos de tracción paralela a la fibra.

1. TÍTULO

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA
GUADUA ANGUSTIFOLIA DE LOS MUNICIPIOS DE CHACHAGÜI Y BUESACO
UBICADOS EN LA ZONA NORTE DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

2. MARCO TEÓRICO

La Guadua es una gramínea nativa de origen natural, de amplia distribución en el mundo, donde ha cumplido un importante papel ambiental, sociocultural y económico. En Colombia se le encuentra ampliamente dispersa, conformando rodales (guadales) casi puros que cumplen indiscutible efecto protector sobre el suelo, las aguas y el cauce de los ríos, contribuyendo a su recuperación y conservación como se puede observar en la foto 1.

Foto 1. Guadua Angustifolia



Su estructura es cilíndrica ahuecada, con fibras dispuestas de forma paralela a lo largo del tallo formando un tubo, lo que provee a este material de excelentes propiedades estructurales:

- ✓ Relación área/resistencia
- ✓ Alta capacidad para absorber energía y permitir mejor flexión
- ✓ Gran tamaño y alto contenido de fibra

Aunque se ha comparado con madera, técnicamente se trata de un material con otras características que definen las diferencias del bambú con la madera, expresadas en la tabla 1).

2.1 DIFERENCIAS ENTRE MADERA Y BAMBÚ

Tabla 1. Diferencias entre madera y bambú¹

Madera	Bambú
1. Árbol, no es autorreproducible, ej. Cedro, guayacán, caoba, teca, Pino	1. Gramínea, es autorreproducible ej. Caña de azúcar, arroz, trigo, guadua
2. Tallo sólido no segmentado	2. Culmo cilíndrico y hueco en su gran mayoría
3. Tiene corteza	3. No tiene corteza
4. La parte más dura es la médula y el duramen y está en el centro visto en una sección transversal al tallo	4. La parte más dura es la zona de la periferia o parte externa.
5. El tallo crece en diámetro con la edad	5. El culmo no incrementa en diámetro con la edad. Nace con el diámetro establecido.
6. Crece lentamente en altura y diámetro.	6. Crece extremadamente rápido (20 – 30 m en 6 meses), más rápida en el mundo
7. Crece como un individuo independiente y su aprovechamiento no afecta a la colectividad	7. Crece de forma asociada, formando una red de rizomas, en donde un individuo depende del otro y su aprovechamiento afecta al resto de la colectividad.
8. Cada día es más escasa y difícil de conseguir. Es un recurso maderable no renovable y no sostenible.	8. Cada día hay más interés a nivel mundial por este recurso no maderable, renovable y sostenible

2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Los primeros especímenes de guadua se recolectaron en 1.783, por el español Don José Celestino Mutis (1.732-1.808) durante la Real Expedición Botánica, y en 1.806, fueron estudiados por el taxónomo y naturalista francés Aimé Bonpland (1.773-1.858) y el naturalista y explorador alemán Alejandro Von Humboldt (1.788-1.859). Posteriormente, en 1.822, su compañero de clasificaciones botánicas, y el también alemán Karl Sigismund (1.788-1.850), conocido como Kunth, quien después de adquirir experiencia en la taxonomía de la familia de las gramíneas, decidió que los bambúes de América debían

¹ LONDOÑO, Ximena. Botánica morfológica - 2008

ser agrupados como un género diferente y no dentro del género Bambusa, ya que la distribución es distinta al igual que la conformación de la palea, que es una estructura floral (guadua con quillas aladas, bambusa no). “Fue Kunth, quien clasificó la colección de plantas americanas reunidas por Humbolth y Bonpland y publicó en Paris la sinopsis entre 1.822y 1.825²”

La especie guadua pertenece a las angiospermas o plantas con flores, consideradas bastantes complejas a pesar de ser muy familiares; pertenece a una de las familias más antiguas e importantes del reino vegetal “Las gramíneas” abundante en especie; se encuentra en todas las latitudes y se considera familia cosmopolita, posee unos 500 géneros y 8.000 especies³

En Colombia existen tres especies del Género guadua:

- ✓ Angustifolia: Se encuentra distribuida en gran parte de la región central Andina.
- ✓ Amplexifolia: Se localiza en los llanos orientales, parte norte de la Orinoquía y la costa Atlántica.
- ✓ Superba y weberbaueri: Ubicadas en la Amazonía y corredor chocoano del Pacífico.

A partir de estudios botánicos para determinar la clasificación de la guadua el Código Internacional de Nomenclatura Botánica establece 14 rangos taxonómicos⁴, los cuales se relacionan en la tabla 2.

² CASTRILLÓN VALDÉS, Brigitte Matilde y MALAVER ZAPATA, Diego Mauricio. Procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la guadua. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia, 2004. p 60.

³ *Ibíd.*, p. 21.

⁴ CAMACHO REYES, Victor Manuel y PAEZ RAMOS, Humberto. Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector. Bogota D.C: Universidad de Colombia, 2002.

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la guadua

Rangos taxonómicos de la guadua	
1. REINO	- Vegetal
2. DIVISIÓN	- Espermatofitas
3. SUBDIVISIÓN	- Angiospermas
4. ORDEN	- Glumiflorales
5. CLASE	- Monocotiledónea
6. FAMILIA	- Poaceae-Graminea
7. SUBFAMILIA	- Bambusoideae
8. SUPERTRIBU	- Bambusodae
9. TRIBU	- Bumbuseae
10. SUBTRIBU	- Guadinae
11. GÉNERO	- Guadua
12. ESPECIE	- Angustifolia Kunt
13. FORMA	- Castilla, Cebolla, Macana, Cotuda y rayada
14. NOMBRE CIENTÍFICO	- Guadua Angustifolia Kunt

La *Guadua Angustifolia Kunth*, corresponde a una de las 1.200 especies de Bambú conocidas en el mundo; es nativa de América, cuyo hábitat natural se extiende desde las zonas tropicales de México hasta el sur en Argentina, exceptuando Chile y las islas del Caribe. En Colombia, la *Guadua* se ubica en las orillas de los ríos, en bosques húmedos y en plantaciones (rodales), especialmente en los departamentos de Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, Tolima, Nariño, Cundinamarca y Santander.

Las dos variedades de *Guadua Angustifolia* mas representativas en nuestro país son: “*Angustifolia - bicolor* y *Angustifolia – Angustifolia*, las cuales presentan formas o biotipos denominados vulgarmente como *macana, cebolla, cotuda, rayada y castilla*⁵”. Estos biotipos o formas se han diferenciado de acuerdo con sus características morfológicas externas, costumbres campesinas y condiciones climáticas propias para el desarrollo de esta gramínea.

2.3 BIOTIPOS O FORMAS DE GUADUA

Entre las formas o biotipos más importantes se destaca:

⁵ PANTOJA TRUJILLO, Nelson Hernando y ACUÑA JIMÉNEZ, Diego Fernando. Resistencia al corte paralelo a ala fibra de la *Guadua Angustifolia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2005. p 70.

2.3.1 Guadua macana:

- Presenta coloración blanca debido al recubrimiento de un tejido blanquecino, reticulado y de tipo arenoso, que esta esparcido a lo largo del entrenudo y más concentrado al nivel del nudo además los nudos son rectos.
- Diámetros comprendidos entre 70 mm - 150 mm .
- Espesor: 10 - 12 mm .
- Se desarrolla en suelos con pocos nutrientes y de humedad baja.
- El suelo debe presentar pendientes pronunciadas.

2.3.2 Guadua cebolla:

- Menor cantidad de esclerénquima o tejido duro y menor cantidad de haces fibro-vasculares.
- Diámetros en la parte media de la cepa mayores de 100 mm, espesores de 10 mm.
- En corte longitudinal de culmos en estado adulto, la coloración interna es amarillenta, no hay presencia de tejido blanquecino y los nudos son convexos en el sentido del crecimiento del tallo.
- Acanaladura de la base de la yema hacia arriba apenas perceptible y que se prolonga hasta la mitad del entrenudo.
- Se desarrolla en suelos ricos en nutrientes con alta humedad.
- El suelo debe presentar mínimas pendientes.

2.3.3 Guadua castilla:

- Presenta diámetros grandes: 180 mm – 350 mm.
- Espesor: 150 mm.
- Se desarrolla en suelos húmedos y ricos en nutrientes.

Entonces, la guadua Colombiana puede alcanzar alturas hasta de 30 metros y diámetros entre 7 y 35 cm dependiendo de su biotipo o forma.

2.4 MORFOLOGÍA GENERAL DE LA GUADUA

La Guadua Angustifolia está constituida por un sistema de ejes vegetativos segmentados, formado por entrenudos cilíndricos y huecos separados por nudos que le dan mayor rigidez, flexibilidad y resistencia, además como se observa en la foto (2) los entrenudos en la base son cortos pero a medida que va creciendo se van alargando.

Por otra parte, este tipo de bambú crece hasta los cuatro meses de vida y luego de este tiempo únicamente se desarrolla el espesor de la guadua

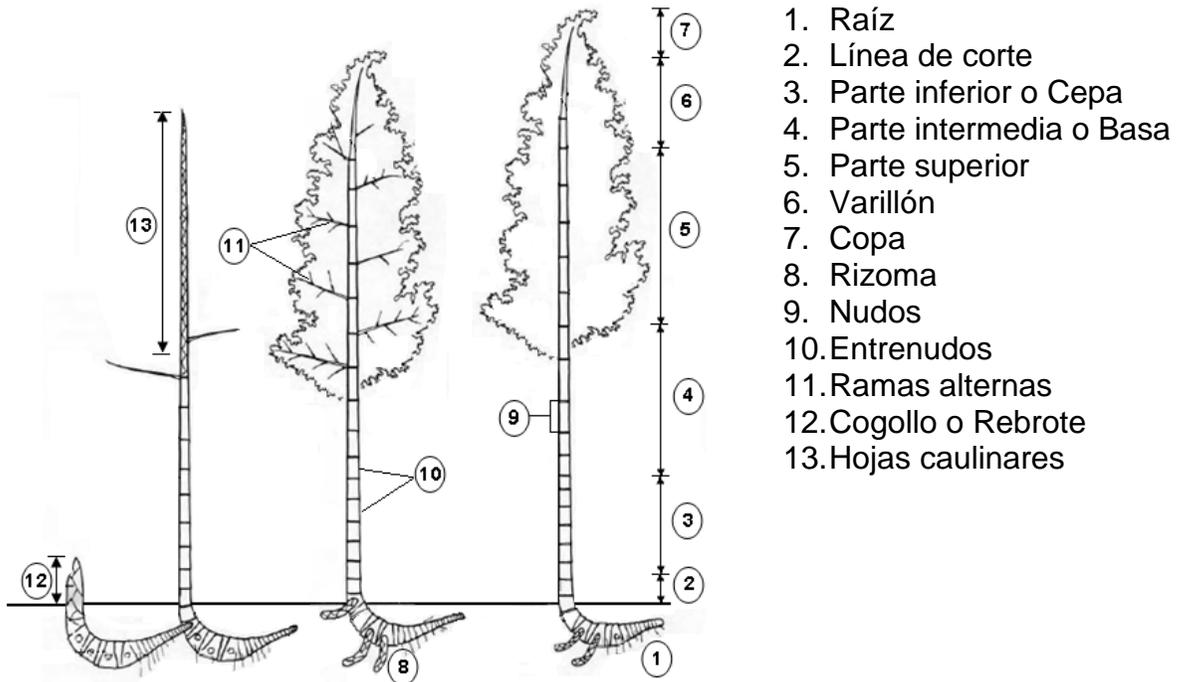
En cuanto a lo que corresponde al tallo y su estructura también varía dependiendo de la especie, variedad y/o biotipo a la cual pertenezca, así mismo como en alturas, diámetros, y forma de los nudos facilitándose así su clasificación.

Foto 2. Culmo de guadua



2.5 PARTES PRINCIPALES DE LA GUADUA

Figura 1. Partes principales de la guadua *Angustifolia kunth*.



2.5.1 Parte inferior o cepa. Es la parte del culmo con mayor diámetro y espesores de pared mayores; Posee una longitud entre 3.0-4.0 metros. Las distancias de entrenudos son las más cortas y en la construcción se las utiliza como columnas, construcción de cercos y entibados para estabilidad de taludes tiene debido a su sección.

En cuanto al comportamiento frente a esfuerzos de flexión, esta parte de la guadua se comporta muy bien, gracias a la corta distancia entre nudos.

2.5.2 Parte intermedia o basa. Parte de la guadua que posee mayores usos, debido a que su diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa; es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza, tiene una longitud aproximada entre 8.0-11.0 metros. De esta sección se elaboran esterillas, la cual tiene múltiples usos en construcción de casetones, paredes, postes y formaletas. Además, sí el tallo es de buen diámetro se utilizan también como columnas.

2.5.3 Parte superior o sobrebasa. El diámetro es menor y la distancia entre nudos es mayor comparada con la basa, es un tramo de guadua con buen comercio, debido a que su diámetro permite buenos usos como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción (puntal), también se emplea como viguetas para formaletear vaciados de losas, vigas y columnas. Su longitud es aproximadamente 4.0 metros.

2.5.4 Rizoma. Como en todas las plantas, el rizoma tiene una función muy importante, no sólo como órgano almacenador de los nutrientes y el alimento necesario para el desarrollo del resto de la planta, sino como elemento básico que permite la propagación de la guadua la cual se efectúa asexualmente por ramificación de los rizomas.

“El rizoma es la estructura soporte de la planta, consta de dos partes: La primera el cuello del rizoma el cual carece de yemas; y la segunda rizoma en sí, que es subterráneo y tiene raíces, yemas y brácteas”⁶, como se observa en la foto 3 se debe recolectar y almacenar para posteriormente cultivarlo en aéreas especificadas, normalmente los rizomas alcanzan profundidades de anclaje entre 1 y 3 metros.

Foto 3. Rizoma de guadua



⁶ CASTRILLÓN VALDÉS y MALAVER ZAPATA. Op. cit., p. 19.

2.5.5 Tallo o culmo. El culmo es el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma y es la porción más útil del bambú. En la foto (4), se observa que los tallos de bambú se caracterizan por tener forma cilíndrica y entrenudos huecos, separados transversalmente por tabiques o nudos que le proporcionan mayor rigidez, flexibilidad y resistencia.

Foto 4. Tallo de guadua



El tallo de la guadua es un sistema modular el cual consta de nudos y entrenudos dispuestos axialmente, y el diámetro y el espesor de la pared del culmo disminuyen con la altura, caso contrario, la densidad y la longitud entre nudos aumenta con ésta. Su forma es cilíndrica y esbelta y puede alcanzar alturas promedio de 18 - 20 metros⁷.

El tallo se origina en el ápice del rizoma y el proceso de desarrollo del tallo se da a partir de que brota del suelo lo cual es la salida del rebrote ó cogollo.

Lleva intrínseco la cantidad de nudos que va a poseer y con el máximo diámetro que tendrá de por vida. El crecimiento se realiza por el alargamiento o elongación de los entrenudos comenzando por el inferior y terminando por el último superior con el cual termina el crecimiento del tallo. Posteriormente, crecen las ramas de las yemas en los nudos y sus hojas.

⁷ Ibíd.

Debido a su tejido delicado, el tallo está protegido con brácteas u hojas de forma triangular que lo recubren, las cuales se originan en cada uno de los nudos que se van formando.

2.5.6 Varillón. Es la sección de menor diámetro. Su longitud es aproximadamente 3.0 metros, generalmente se utiliza en la construcción de apuntalamientos y como soporte para disponer tejas de barro o paja (correas).

2.5.7 Ramas. Se originan en la línea nodal⁸, en el caso de la guadua las ramas basales se modifican y llegan a transformarse en espinas de gran tamaño y muy resistentes. Las ramas apicales del culmo tienen un alto contenido de fibra, por lo cual se pueden aprovechar en la fabricación de papel.

2.5.8 Copa. Es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1.20 a 2.0 metros. Se pica en el suelo del guadua como aporte de materia orgánica.

2.5.9 Hoja caulinar. Es la que nace en cada nudo del culmo y tiene como función proteger la yema que da origen a las ramas y al follaje. Consta de dos partes: la vaina o parte basal y la lámina o parte distal, en el caso de la guadua es continua.

2.6 FASES DEL DESARROLLO DE LA GUADUA

Generalmente la guadua tiene las siguientes fases:

2.6.1 Rebrote. “Entre los 0-6 meses de edad. Se considera como el primer individuo de la fase de desarrollo. Durante los primeros 30 días el crecimiento alcanza tasas de 4 – 6 cm en 24 horas, y el 60 % de éste se realiza en horas nocturnas, condición que obedece a la presencia de auxinas. Después de 90 cm el renuevo se estabiliza en un promedio de 9 – 11 cm de crecimiento en 24 horas; se encuentra revestido completamente de hojas caulinares que varían según el sitio y las condiciones climáticas donde se desarrolla el renuevo, características que se observan en la foto 5.

⁸ Siempre por encima de la línea nodal o sobre el nudo, nunca por debajo de la línea nodal.

“En los primeros 30 días de su crecimiento, se puede usar como alimento humano y también se puede aprovechar este tiempo para formaletearla con el fin de inducirle formas distintas a su sección con fines decorativos”⁹.

Foto 5. Cogollo o Rebrote



2.6.2 Guadua joven ó viche. Esta fase está entre los 6 meses y 3 años de edad, en la foto 6 se observan las características de una guadua viche, su color verde intenso, hay presencia de ramas apicales y el tallo de la guadua empieza a eliminar todas las hojas caulinares de la parte superior y conserva las basales, también se aprecian claramente las bandas nodales en el culmo.

Debido a la baja dureza que tiene el tallo, su uso se limita a la elaboración de canastas, paneles tejidos y esterilla, además cuando el tallo se torna verde claro y empieza a presentar manchas blancuzcas en su corteza está iniciando la fase de maduración.

⁹ Ibíd.

Foto 6. Guadua viche



2.6.3 Guadua madura o adulta. Esta fase es la de mayor importancia comercial y está entre los 3 y 6 años de edad, debido a que la guadua alcanza su mayor resistencia y dureza. Las características de una guadua madura son manchas blancas en forma de plaquetas que corresponden a hongos y se inicia la formación de líquenes en los nudos, como se observa en la foto 7. En esta fase la guadua es propicia para ser utilizada en construcción, también es utilizada como baldosas laminadas y tablillas para entrepiso laminado.

Foto 7. Guadua madura



La sabiduría popular dice que la madurez de la guadua genera un sonido fino en el tallo cuando se golpea con una piedra o el lomo de un machete.

2.6.4 Guadua seca. Esta fase se presenta de los 6 años en adelante, no hay presencia de follaje y los tallos son de color ocre o amarillo pálido. No se deben dejar llegar los guaduales a ese estado por cuanto en él, los tallos pierden su resistencia y además se está impidiendo la generación de rebrotes.

3. ANTECEDENTES

Uno de los principales problemas que actualmente está afrontando el mundo es el del calentamiento global, un fenómeno asociado a las emisiones incontrolladas de CO₂, las cuales, de acuerdo con las estadísticas, están aumentando a un ritmo exponencial pese a todos los controles y tratados consignados en las diferentes cumbres ambientales. El Protocolo de *Kyoto*, realizado en 1997 en el marco de la ONU, es el más conocido porque en él, los países industrializados concretan compromisos de reducción de emisiones para el año 2008 - 2012 en una proporción equivalente al 5,2 % sobre el total de emisiones del año 1990.

Para los Ingenieros Civiles y urbanistas, los problemas ambientales adquieren una importante vigencia, en la medida en que los procesos de urbanización contribuyen hoy en día con el 33% de las emisiones globales de CO₂ (y de otros gases contaminantes) y el sector de la vivienda consume el 40% de los recursos energéticos.

Como respuesta a este grave problema, todos los profesionales relacionados con el desarrollo del hábitat construido, como arquitectos, ingenieros y diseñadores industriales deben tomar conciencia de su responsabilidad ambiental y en el marco de sus profesiones, tener la capacidad de proponer estrategias tecnológicas y constructivas encaminadas a reducir los impactos del sector sobre el medio ambiente. Estas profesiones, en el próximo futuro, estarán abocadas a cumplir en sus diseños y construcciones, estrictas normas y requisitos de control ambiental. Deberán ser conscientes además de tener la capacidad de proponer y manejar con competencia las estrategias para construir sosteniblemente.

En el marco de las tecnologías de construcción sostenibles, se impone el rescate de técnicas autóctonas de construcción¹⁰ que contribuyen con una significativa reducción en la contaminación del medio ambiente, dejando una huella ecológica.

Es importante tener en cuenta que no solamente se trata de rescatar tecnologías autóctonas, sino que estas estén adaptadas a los requerimientos tecnológicos actuales en relación con el cumplimiento de normas y códigos de seguridad antisísmica.

En ese sentido es plenamente comprobada la capacidad de resistencia a los sismos que ofrece la guadua así como la especial característica de aislamiento térmico que tienen las estructuras en la tierra.

¹⁰ Técnicas autóctonas basadas en la utilización de materias primas renovables y reciclables, como la tierra, la madera y particularmente la guadua.

El conocimiento de tecnologías de construcción como las mencionadas, le confiere al profesional del área de la ciencia, la capacidad de realizar propuestas ambientalmente sostenibles y tecnológicamente seguras. Dentro de estas tecnologías sostenibles está el Bambú, cuyo uso ha estado ligado al desarrollo de diversas culturas del mundo. Colombia es privilegiada en poseer una de las especies de Bambú con las mejores propiedades físico-mecánicas de alta resistencia y con extensos beneficios ambientales.

Colombia es conocida por el amplio aprovechamiento del Bambú *Guadua* como material de Ingeniería y construcción, especialmente en el Eje Cafetero y el Valle del Cauca, en donde la *Guadua Angustifolia* ha sido y es utilizada considerablemente en diversos proyectos constructivos y urbanísticos como viviendas, espacios turísticos y culturales, puentes, además de una extensa aplicación en artesanías. Esto ha creado mercados específicos dependiendo del uso final. Hoy en día en la zona cafetera, en el Valle y en el Cauca, se puede encontrar *Guadua* de calidad; preservada, seleccionada para construcción o artesanías, seleccionada por diámetro o dependiendo de la determinada sección del culmo.

La investigación científica se ha desarrollado progresivamente con *Guadua* de estas regiones mencionadas, obteniendo excelentes resultados que ratifican las potencialidades del material. Las evaluaciones de las investigaciones y los valores de resistencia obtenidos, han permitido incluir en la actualidad el cálculo estructural en los nuevos proyectos de construcción con *Guadua*. Entre los alcances relevantes está haber incluido el material dentro de la Normas NSR-10¹¹; se espera que se incremente su uso en otras regiones como Nariño, que posee varias zonas en donde se produce *Guadua Angustifolia Kunth*, y existen zonas con características óptimas para su cultivo dando como resultado *Guadua* de excelente calidad tanto en resistencia como durabilidad.

El uso dado en la región Nariñense, en su mayoría es de un bajo valor agregado. Principalmente se usa como apuntalamiento de encofrados de losas y vigas o como material para fabricación de casetones en losas aligeradas de hormigón armado.

Esta sub utilización, ha hecho que los requerimientos de calidad de esta materia prima sean despreciados. Es una tarea imposible conseguir *Guadua* en los expendios madereros de Nariño, con las características de maduración, preservación, resistencia y contenidos de humedad adecuados para emplearse como elemento estructural. Sin embargo, se usa en esas condiciones y se obtienen resultados en su mayoría desfavorables como reducción de diámetro, agrietamientos, aplastamientos, fracturas, ataque de insectos y otras patologías, lo

¹¹ Norma Sismorresistente. NSR-10. Título G. Estructuras de madera y Estructuras de *Guadua*. Capítulo G-12. Estructuras de *Guadua*.

que ha llevado a especular en el sector constructivo de Nariño, que la Guadua de Nariño “no es buena para Construcción”.

A toda esta serie de eventos que han desfavorecido el uso de este material en la región, se añade la ausencia de investigación local en este campo. No se registran ensayos específicos sobre Guadua proveniente de rodales de zonas de Nariño. No hay criterios técnicos y científicos que permitan valorar de manera acertada este material. Por tanto existe desconfianza en material de Guaduales propios de la región y la implementación de este material constructivo crece a paso lento; pese a las oportunidades de conveniencia ofrecida por esta tecnología propia; pese al déficit de vivienda, pese a las condiciones económicas de la mayoría de la población y pese a las características sísmicas de Nariño, no utilizamos la guadua para la construcción.

Por el afán de incentivar la utilización de la guadua en Nariño queremos aportar con una investigación entorno a las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia, basándonos en Normas¹² actuales, investigaciones y estudios realizados porque Nariño se suma a la lista de estructuras sociales con desconocimiento y escaso fomento del desarrollo endógeno.

¹² Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua Angustifolia Kunth y la Norma Sismorresistente. NSR-10. Título G. Estructuras de madera y Estructuras de guadua. Capítulo G-12. Estructuras de guadua.

4. METODOLOGÍA

En el contexto de esta investigación se tuvieron en cuenta 7 puntos clave:

- Recolección inicial de información en registros existentes sobre investigaciones realizadas sobre el tema, tanto en el departamento como fuera de el.
- Selección de rodales en los dos Municipios escogidos, Chachagüi y Buesaco¹³, en donde existen antecedentes y se encuentra Guadua nativa de Nariño.
- Recolección de muestras de los Municipios escogidos, de acuerdo a lo estipulado a la Norma Técnica Colombiana NTC 5300¹⁴. En esta etapa se contó con el apoyo de CORPONARIÑO, SENA y Colegio San Francisco Javier, para identificar y acceder a los rodales localizados en Chachagüi. En el Municipio de Buesaco se tuvo la colaboración de la Alcaldía Municipal, luego desarrollar las labores de selección y toma de muestras en cada uno de estos Municipios.
- Transporte de muestras desde el sitio de recolección hasta los Laboratorios de suelos y Materiales del programa de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño en la ciudad de Pasto.
- Preparación de las probetas para los diferentes ensayos a realizar, el total de probetas para cada ensayo no debe ser inferior a 12, debido a lo contemplado en la Norma NTC 5525, y un modelo estadístico para muestras pequeñas¹⁵, tomando como referencia estudios realizados anteriormente de esfuerzos a compresión.
- Ensayos de laboratorio, tomando como base la Norma NTC 5525 se determinó las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua *Angustifolia Kunth* mediante los siguientes ensayos:
 - ✓ Ensayo de compresión

¹³ Ver Anexo A. Municipios de Chachagüi y Buesaco.

¹⁴ Norma Técnica Colombiana NTC 5300. Cosecha y postcosecha del culmo de guadua *angustifolia kunth*. Bogotá. 2010.

¹⁵ Ver Anexo B. Modelo estadísticos para muestras pequeñas

- ✓ Ensayo de corte paralelo a la fibra
- ✓ Ensayo de tracción paralelo a la fibra
- ✓ Ensayo de flexión
- ✓ Control de humedad
- ✓ Densidad
- ✓ Contracción
- ✓ Análisis de resultados
- ✓ Comparación de resultados con valores establecidos por la Norma Sismorresistente NSR-10 y otras investigaciones que se han realizado en el ámbito nacional.

5. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA

5.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad se ha entendido como la relación entre la masa de agua y la masa de sólidos presentes en un determinado material. El contenido de humedad es una propiedad física muy importante porque las propiedades mecánicas de la guadua dependen de esta propiedad.

Las probetas para determinar el contenido de humedad de la guadua se toman inmediatamente después de cada ensayo mecánico, estas muestras se pesan en su estado natural en una balanza y así obtener un peso húmedo.

Según la Norma Técnica Colombiana, NTC 5525 se lleva la probeta a un horno eléctrico a una temperatura de 103 ± 2 °C en un periodo de 24 horas, con intervalos regulares de 2 horas hasta obtener una diferencia de masas inferiores o iguales a 0.01 g

5.2 DENSIDAD

La densidad de la guadua es la relación entre la masa de una probeta seca al horno y el volumen húmedo de la misma probeta. Para determinar la densidad se tomo los mismos datos utilizados en la determinación del contenido de humedad.

El volumen de la muestra será calculado en base a la fórmula:

$$V = \pi * r^2 * h \quad [2]$$

En donde

V es el volumen de la muestra, en cm^3
 r es el radio de la muestra, en cm
 h es la altura de la muestra, en cm

5.3 CONTRACCIÓN

“Como su nombre lo indica es la contracción del material en estudio desde su estado inicial húmedo hasta la condición final seca, expresada siempre en

porcentaje. Para nuestro caso la probeta no debe tener nudos, se debe medir el diámetro externo, el espesor de la pared y la altura de la muestra¹⁶

5.4 ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL

La compresión axial es la acción mecánica que acorta o comprime un elemento, comprende la aplicación de una carga que actúa sobre un cuerpo rígido, de tal forma que la probeta se comprime hasta llegar a la falla.

Con este ensayo se pretende determinar el esfuerzo último de compresión axial de las probetas provenientes de los culmos de Guadua, para lo cual es necesario un equipo y un dispositivo adecuado el cual consta de una prensa hidráulica con capacidad de 150 Tn, sobre esta se instalará un dispositivo que consta de una barra lisa de 1 pulgada y un deformímetro, el cual se desplaza libremente para poderlo calibrar, es decir que cuando empecemos a desarrollar el ensayo de compresión la lectura del deformímetro este en ceros, de este modo obtendremos datos tanto de esfuerzo como deformación, datos que pueden ser utilizados para determinar el módulo de elasticidad. Ver fotos 8 y 9.

Foto 8. Prensa Hidráulica



Foto 9. Dispositivo para ensayo de compresión.



5.5 ENSAYO DE FLEXIÓN

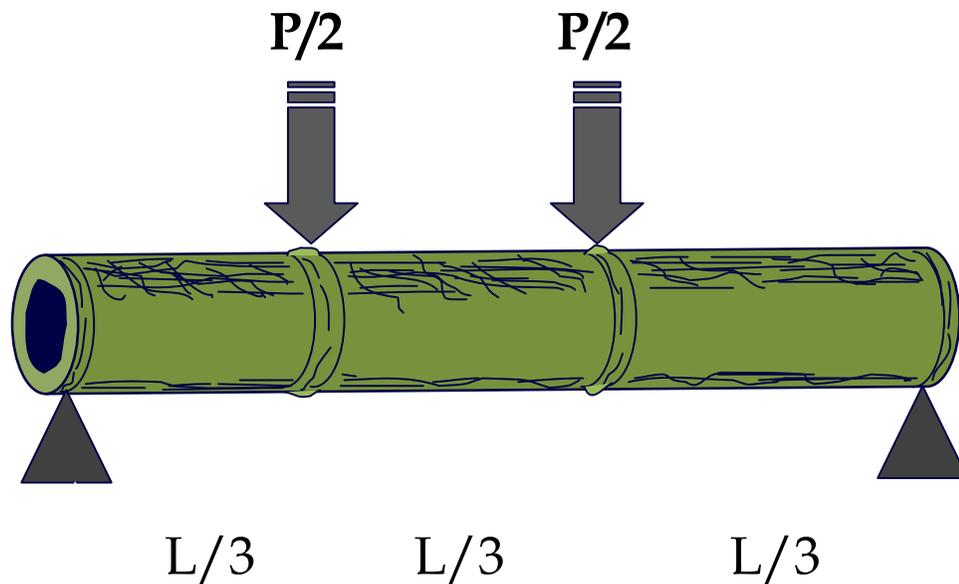
El ensayo de flexión es una acción mecánica que consiste en aplicar una carga a una muestra determinada la cual produce una deformación δ para cada incremento de carga hasta que el elemento falle.

¹⁶ Se mide lo solicitado con la ayuda de un calibrador o un micrómetro.

Según la Norma Técnica Colombiana, NTC 5525¹⁷, para lograr una falla en flexión es necesario un espacio libre al menos $30xD$, donde D es el diámetro externo de la guadua.

En el desarrollo de este ensayo se utilizó una máquina que aplique una carga vertical y un dispositivo adecuado para alojar la muestra, este dispositivo debe garantizar la aplicación de una carga en cuatro puntos, La norma INBAR¹⁸ recomienda para el ensayo a flexión un método de carga concerniente en dividir la fuerza que genera la máquina en dos partes por medio de una viga rígida, que a su vez transmite a cuatro dispositivos de apoyo ubicados sobre los nudos cercanos a los tercios de la luz como lo indica la figura 2. Posteriormente se hará referencia al procedimiento y al dispositivo más detalladamente.

Figura 2. Esquema de distribución de fuerzas y longitudes para ensayo de Flexión



¹⁷ Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Op. cit., p. 14.

¹⁸ INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN. Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo. INBAR, 1999.

5.6 ENSAYO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA

El ensayo de corte es una acción mecánica, la cual fragmenta transversalmente el elemento. Para el desarrollo de este ensayo se sigue el procedimiento contemplado en la Norma NTC 5525, en la cual “su principio es la determinación de la resistencia última al esfuerzo cortante, paralelo a las fibras”¹⁹ de las probetas de guadua ensayadas. Además un 50 % de las probetas para este ensayo deben tener nudo y el 50 % restante no deben tener nudo.

Es importante tener en cuenta que el material, a pesar de que pudo fallar por corte paralelo a la fibra, podría estar sometido al mismo tiempo a compresión, dando como resultado un valor erróneo de resistencia al corte debido a que no siempre se garantiza la verticalidad de la fibra. Por lo cual se debe prever que los dispositivos de carga estén correctamente colocados y con las dimensiones especificadas²⁰.

5.7 ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

En cuanto a la tracción es una acción mecánica producida por una fuerza exterior que actúan sobre un elemento, la cual empieza a estirar la probeta de tal forma que ésta se alargue y en la mayoría de veces falle.

Para el desarrollo de este ensayo la disposición de las muestras de guadua frente al equipo de ensayo deben ser óptimas, las probetas deben estar perfectamente cortadas de forma rectangular y marcadas como se indica en la foto 10 y en cuanto al equipo utilizado para fallar estas probetas se utilizó la máquina de Prueba Universal, tipo hidráulica con mordazas planas, las cuales impiden el desplazamiento de las probetas de guadua. Ver foto 11.

¹⁹ Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Op. cit., p. 16.

²⁰ PANTOJA TRUJILLO y ACUÑA JIMÉNEZ. Op. cit., p 60.

Foto 10. Probetas para ensayo de tracción



Foto11. Mordazas para ensayo de tracción



6. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Los procedimientos de ensayos ejecutados se realizaron teniendo como base la **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5525²¹**, la cual especifica de manera clara y objetiva los procedimientos para desarrollar los diferentes ensayos de laboratorio y así poder determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia kunth* de los Municipios de Chachagüi y Buesaco del Departamento de Nariño.

6.1 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5525

6.1.1 Objeto. La norma comprende los ensayos que se van a realizar sobre segmentos de la guadua *angustifolia kunth*, para obtener resultados de laboratorio, los cuales se pueden utilizar para establecer valores y resistencias. Los resultados también se pueden usar para establecer la relación de propiedades físicas y factores mecánicos, como contenido de humedad, densidad, sitio de cultivo, posición a lo largo del culmo, presencia de nudo y entrenudo, contracción, compresión, flexión, corte y tracción, etc, para las funciones de control de calidad.

6.2 PROCEDIMIENTOS GENERALES

6.2.1 Medición y peso. Según la Norma NTC 5525, antes de cada ensayo, se deben medir las dimensiones de cada probeta con una exactitud de:

- 10 mm para la longitud del culmo,
- 1mm para la longitud o altura de la probeta, paralela al eje del culmo,
- 1mm para el diámetro del culmo; en cada sección transversal, el diámetro se debe tomar dos veces, en direcciones perpendiculares entre sí;
- 0.1mm para el espesor de la pared; en cada sección transversal, el espesor de la pared se debe tomar cuatro veces en los mismos sitios en que se midió el diámetro (dos veces).

La probeta se debe pesar con una exactitud de:

- 10 g por culmo;

²¹ Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Op. cit., p 22.

- 1 g por probeta de mas de 100 g y
- 0.1 g por probeta de menos de 100 g.

6.2.2 Temperatura y humedad. Para evitar cambios significativos en las propiedades de resistencia, todas las probetas se deben ensayar dentro de un rango de temperatura de $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y de humedad relativa del aire de $70\% \pm 5\%$.

Sin embargo, si el propósito de los ensayos es tomar los resultados para uso local en la misma región, o si el laboratorio no puede cumplir con las condiciones especificadas anteriormente, las probetas se pueden ensayar a la humedad relativa del aire y la temperatura ambiente.

Nuestra investigación se desarrollará en la Ciudad de Pasto, de tal manera que se tendrá una temperatura de $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire de $50 \pm 5\%$, en lo posible realizaremos los ensayos de laboratorio en días sin cambios bruscos de temperatura.

6.2.3 Velocidad de aplicación de la carga. La velocidad de aplicación de la carga de la máquina de ensayo no debe tener una variación superior a $\pm 20\%$ con respecto a la velocidad especificada para un ensayo determinado. La carga se debe aplicar continuamente, sin interrupción, a la velocidad requerida durante el ensayo. La velocidad de recorrido del cabezal móvil de la máquina del ensayo debe ser la velocidad libre o sin carga del cabezal, en la máquina con funcionamiento mecánico, y la velocidad del cabezal con carga, para máquinas de ensayo de tipo de carga hidráulica.

6.2.4 Calibración. Se debe calibrar todos los dispositivos y equipos de ensayo antes de cada prueba para garantizar que todos los resultados sean confiables, la persona responsable es el laboratorista encargado.

6.3 TOMA DE MUESTRAS Y ALMACENAMIENTO DE LAS PROBETAS

6.3.1 Toma de muestras. Como se trata de una investigación, se deben tomar muestras de las localidades determinadas, en nuestro caso de los Municipios de Chachagüi y Buesaco ubicados al norte del Departamento de Nariño.

6.3.2 Selección. Los culmos de guadua *angustifolia* se deben seleccionar de diferentes rodales en pie, por una persona calificada que pueda identificar la

especie y comprender las diferentes implicaciones involucradas en el trozado y en el ensayo. Siempre que sea necesario y conveniente, el responsable del ensayo debe inspeccionar la localidad antes del corte.

Para el caso de la investigación científica, los culmos seleccionados para el ensayo deben estar sanos y libres de todo defecto y deben representar el promedio de los culmos del rodal o de la localidad. Los culmos quebrados, deteriorados o descoloridos se deben desechar. El número de culmos requeridos para los ensayos se debe tomar, en forma aleatoria, de los diferentes rodales y parcelas, en la siguiente foto se observa un rodal en óptimas condiciones porque la guadua esta madura y sana.

Foto 12. Rodal en buen estado



Inmediatamente después de la selección, el culmo en pie se puede marcar, preferiblemente con una “T”, a la altura del pecho y se debe informar al responsable del ensayo sobre la localidad, de manera que se puede ubicar fácilmente para futuras instrucciones.

6.3.3 Corte, rotulado y trozado²² Antes del corte, se debe marcar un anillo a la altura de un metro desde el suelo, con pintura blanca o negra y se deben registrar los siguientes datos:

- Nombre (botánico y local)
- Nombre de la localidad
- Cantidad de rodales y culmos seleccionados

²² Ver Anexo C. Corte, rotulado y trozado.

- Estado de madurez de los culmos
- Detalles acerca de marcas y defectos en los culmos
- Número de entrenudos entre el suelo y el anillo de pintura
- Fecha de corte y despacho
- Nombre y firma del responsable del corte, rotulado y trozado.

De igual modo, antes del corte, cada culmo se debe identificar a una distancia aproximada de 0.25m por encima del anillo de pintura; si se usan los dígitos 6 o 9 se deben subrayar.

Los culmos se deben cortar de acuerdo con la NTC 5300 y la normatividad ambiental local, conservando el anillo de pintura sobre el culmo cortado. Una vez derribado el culmo, se deben marcar las partes que serán utilizadas para los ensayos. Las partes que se van a usar se deben marcar con un anillo en el extremo inferior y la identificación de los culmos se debe repetir en cada una de las partes. También se debe añadir identificación con relación a la posición del segmento en el culmo, “inferior”, “medio”, o “superior”, cada uno constituyendo 1/3 de la porción utilizable del culmo.

6.3.4 Despacho. Es recomendable que el material se despache tan pronto como sea posible, preferiblemente en un lapso de dos semanas después del corte. En los casos en que no sea posible enviar el material inmediatamente, este se debe almacenar en un lugar a la sombra, protegido de la lluvia y sin contacto con el suelo. Si existe riesgo de agrietamiento, los extremos se pueden recubrir con alquitrán de hulla, cera de parafina, barníz o cualquier otro cubrimiento apropiado.

En el caso de investigación científica, los ensayos se pueden hacer en especímenes húmedos (verdes), en cuyo caso estos se deben despachar inmediatamente. Debido a que en muchos países, la guadua es muy susceptible al ataque de agentes destructivos puede ser necesario un tratamiento profiláctico para mantenerlas intactas durante el despacho, tránsito y almacenamiento.

6.3.5 Recepción y almacenamiento de los culmos de guadua. La recepción de las muestras de guadua y su almacenamiento se lo realizó en los laboratorios de suelos de la facultad de Ingeniería de la universidad de Nariño, Sede pasto, teniendo en cuenta lo descrito en la Norma NTC 5525.

Los culmos de guadua se deben almacenar durante un período lo mas corto que sea posible, de modo tal que no se produzca deterioro.

6.3.6 Rotulado y trozado en probetas²³ Se deben cortar probetas para los diferentes ensayos y se deben rotular adecuadamente (número del proyecto, número del envío, cantidad de culmos, etc.), como se observa en las Fotos 13 y 14, para la completa identificación de cada probeta.

La secuencia de ensayos debe ser de tal forma que elimine, en la medida de lo posible, los cambios debidos al almacenamiento y a las condiciones climáticas que puedan afectar la comparación de los resultados.

Nota: La cantidad de probetas para cada ensayo no debe ser inferior a doce.

Foto 13. Muestras de Guadua



Foto 14. Probetas cortadas y rotuladas



6.3.7 Informe del ensayo²⁴

Para cada ensayo se deben tener la siguiente información:

- Nombre y dirección del laboratorio, fecha del ensayo, y nombre del responsable del ensayo
- Referencia a la Norma NTC 5525. y a las normas nacionales aplicables.
- Detalles de los especímenes de ensayo, como lo mencionado en el numeral 7.3.3.

²³ Ver anexo D. Rotulado y trozado en probetas.

²⁴ Ver Anexo D. Rotulado y trozado en probetas según la norma NTC: 5525.

- Temperatura y humedad en el laboratorio.
- Equipo utilizado y toda información que pueda influir en el uso de los resultados del ensayo.
- Resultados del ensayo, incluyendo los valores del contenido de humedad y la densidad, las dimensiones antes del ensayo, los módulos y/o valores de resistencia, el modo de falla y toda información adicional que pueda influir en el uso de los resultados del ensayo.
- Detalles sobre el tratamiento estadístico de los resultados del ensayo, incluyendo los métodos empleados y los resultados obtenidos; la exactitud de un valor medio debe ser la mitad de la desviación estándar y la exactitud de una desviación estándar debe ser la mitad de la propia desviación estándar.

6.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

6.4.1 Contenido de humedad:

Objeto y campo de aplicación: Esta sección especifica un método para determinar el contenido de humedad de la guadua angustifolia para los ensayos físicos y mecánicos.

Principio: Determinación, mediante el pesaje, de la pérdida de masa de la probeta de ensayo durante el secado hasta una masa constante. Cálculo de la pérdida de masa como un porcentaje de la masa de la probeta de ensayo después del secado.

Equipo:

- Balanza con una exactitud de 0.01g
- Equipo con capacidad para secar la guadua hasta obtener una condición absolutamente seca, por ejemplo un horno eléctrico.

Preparación de las probetas: Las probetas para la determinación del contenido de humedad se deben preparar inmediatamente después de cada ensayo mecánico. La cantidad de probetas debe ser igual a la cantidad de probetas para los ensayos mecánicos y físicos, para nuestro caso se tomo 12 muestras. La probeta corresponde a la forma del culmo con una altura de 50 mm con espesor igual al espesor de la pared. Las muestras se deben tomar cerca del lugar de la falla y almacenar en condiciones que garanticen que el contenido de humedad no cambie.

Procedimiento: Las probetas se deben pesar con una exactitud de 0.1g y luego se deben secar en un horno a temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ como se observa en la foto 15.

Después de 24 horas se debe registrar la masa a intervalos regulares no inferiores a 2 horas. Se debe tener mucho cuidado para evitar todo cambio en el contenido de humedad durante el periodo entre el retiro del horno y las determinaciones posteriores de la masa.

Foto 15. Probetas para el control de humedad



El secado se debe considerar terminado cuando la diferencia entre las determinaciones sucesivas de la masa no excede 0.01g.

Cálculo y expresión de los resultados: El contenido de humedad de cada probeta se debe calcular como la pérdida de masa, expresada como porcentaje de la masa seca en horno, usando la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{m - m_o}{m_o} * 100 \quad [3]$$

En donde

CH contenido de humedad

m es la masa de la probeta antes del secado en g.

m_o es la masa de la probeta después del secado en g.

Cada una con una exactitud de 0.01g.

6.4.2 Densidad:

Objeto y campo de aplicación: Esta sección especifica un método para determinar la densidad (masa/volumen) de la guadua para los ensayos físicos y mecánicos. Para la comparación exacta entre los valores reportados, la fórmula masa/volumen es la más apropiada en donde se usa la masa anhidra y el volumen húmedo (verde) los cuales no varían con respecto a las condiciones climáticas. El símbolo es ρ , si la densidad se va a registrar con el contenido de humedad de la probeta, la masa se toma como la masa anhidra y solo se toma el volumen con el contenido de humedad de la probeta. El símbolo es ρ_0 .

Principio: Determinación de la masa de la probeta mediante pesaje y de su volumen mediante la medición de sus dimensiones o con cualquier otro método. Cálculo de la masa por unidad de volumen de guadua.

Equipo:

- Instrumento de medición, Calibrador con capacidad para determinar las dimensiones de las probetas con una exactitud de 0.1mm.
- Balanza con una exactitud de 0.01g
- Horno eléctrico para la determinación del contenido de humedad.

Preparación de las probetas: Las probetas utilizadas para este ensayo son las mismas utilizadas en el control de humedad, para la determinación de la masa por unidad de volumen se determina mediante el pesaje de la muestra y midiendo las dimensiones de la probeta siempre y cuando se puedan medir con facilidad.

Procedimiento: Mida las dimensiones de las probetas con una exactitud de 0.1mm y calcule el volumen o determínelo con un método adecuado (por ejemplo mediante inmersión), para nuestro caso el volumen de la muestra será calculado en base a la fórmula [1], con una exactitud de 10mm^3 .

Realice este procedimiento en condición húmeda (verde) o con el contenido de humedad durante el ensayo mecánico, según se requiera.

Seque las probetas hasta obtener una masa constante, pero hágalo gradualmente para minimizar la deformación y el fisuramiento.

Realice las operaciones de pesaje inmediatamente después del secado.

Determine la masa de las probetas con una exactitud de 0.01g.

Cálculo y expresión de los resultados: La densidad (masa, seca en horno por unidad de volumen) de cada probeta se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\rho = \left(\frac{m}{V}\right) \cdot 10^6 \quad [4]$$

En donde

ρ es densidad en kg/m³

m es la masa de la probeta seca en horno en g.

V es el volumen húmedo (verde) de la probeta en mm³

Expresar los resultados en kg/m³.

La densidad ρ_0 de cada probeta en la misma condición que durante el ensayo, esta determinada por la misma fórmula, con una m anhidra y V en la condición durante el ensayo.

6.4.3 Contracción:

Objeto y campo de aplicación: Esta sección especifica un método para determinar la contracción de culmos completos de guadua.

PRINCIPIO: Determinación de la contracción de un entrenudo (sin incluir los nudos), midiendo el diámetro externo, el espesor de la pared y la altura, antes y después del secado.

Equipos:

- Calibrador, para cumplir lo estipulado en el numeral 2.1.1
- Equipo con capacidad para secar la guadua hasta obtener una condición absolutamente seca, por ejemplo un horno eléctrico.

Preparación de las probetas: Las probetas, con una altura de 100mm, se deben preparar a partir de secciones, que no incluyan nudos, tomadas de culmos completos de guadua. En el caso de ensayos de compresión, corte y tensión, las muestras para el ensayo de contracción se deben tomar lo más cerca posible de las muestras tomadas para compresión, corte y tracción. En el caso de ensayos de flexión, se deben tomar lo más cerca posible del sitio de la falla. En cada caso, deben estar libres de grietas iniciales.

Procedimiento: La contracción se debe medir en el diámetro externo D , en el espesor de la pared t y en la longitud L de la probeta.

Como se indica en la fotografía se deben hacer marcas adecuadas en las probetas para facilitar que todas las observaciones se realicen cada vez del mismo lugar. Como se indica en la siguiente foto, en cada probeta, se deben medir cuatro diámetros, cuatro espesores de pared (dos en cada extremo) y 2 longitudes.

Foto 16. Probetas para ensayo de contracción



Se debe permitir que la probeta se seque lentamente en condiciones de humedad gradualmente decreciente y temperatura creciente. Las masas y las dimensiones se deben registrar con regularidad hasta que las dimensiones sean constantes o se termine un ciclo completo de secado. Por último, las probetas se deben poner en un horno con temperatura aproximada de 103°C mas o menos 2°C, de tal forma que se sequen completamente, después de lo cual, se deben tomar las dimensiones por última vez.

Cálculo y expresión de los resultados: La contracción desde la condición inicial húmeda hasta la condición final seca, expresada como porcentaje ajustado a una cifra decimal, se debe calcular con la siguiente fórmula:

$$\text{Contracción} = \left(\frac{I - F}{I} \right) * 100 \quad [5]$$

Donde

I Lectura inicial

F Lectura final

Cada lectura es el valor promedio del diámetro, el espesor de la pared o la longitud.

6.4.4 Ensayo de compresión:

Objeto y campo de aplicación: Esta sección especifica un método para los ensayos de compresión axial en probetas de culmos de guadua angustifolia kunth.

Principio: Determinación de:

- El esfuerzo último de compresión de las probetas provenientes de los culmos de guadua angustifolia kunth;
- El módulo nominal de elasticidad.

Equipo: Para el desarrollo de este ensayo se utilizará una prensa hidráulica, marca PINZUAR, con capacidad de carga de 150 Tn, la cual consta de un gato hidráulico de forma hemisférica de 20 cm de diámetro y un cabezal móvil hemisférico de 22 cm de diámetro, lo cual garantiza una distribución uniforme de carga en los extremos de la probeta, también la aplicación de la carga por parte del equipo es constante.

Preparación de las probetas: Las probetas se deben tomar de las parte inferior, media y superior de cada culmo. Estas probetas se deben marcar con las letras I,M,S respectivamente.

Los ensayos de compresión axial se deben llevar a cabo en probetas sin nudos y cuya longitud sea igual al diámetro externo; pero en el caso de ensayos para investigación científica, existe libertad para determinar algo diferente.

Las superficies de los extremos de la probeta deben estar en ángulo perfectamente recto con la longitud de esta; deben ser planos, con una desviación máxima de 0.2mm.

Para determinar el módulo de elasticidad E, se tiene en cuenta la gráfica Carga Vs Deformación, donde la prensa hidráulica nos determina la carga y con la utilización de un deformímetro digital se obtiene la deformación.

Procedimiento: Como se indica en la fotografía la probeta se debe colocar de tal forma que el centro del cabezal móvil este verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la probeta y se aplica inicialmente una carga pequeña, no mayor a 1kN, para acomodar la probeta.

Foto 17. Montaje para ensayo de compresión



La carga se debe aplicar continuamente durante el ensayo para hacer que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0.01mm/s.

Cuando sea necesario se deben realizar lecturas de deformación la cantidad necesaria de veces para poder hacer un diagrama lo mas exacto posible de la deformación frente a la carga, a partir de la cual se determina el valor de E.

Se debe registrar la lectura final de la carga máxima a la cual falla la probeta.

El módulo de elasticidad E se debe calcular a partir del valor medio de la lectura del deformímetro como una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, en un rango entre el 10% y el 60% de F_{ult} .

El esfuerzo último promedio de la muestra de ensayo se debe calcular con aproximación de 0.05MPa como la media aritmética de los resultados de ensayo de las probetas.

6.4.5 Ensayo de flexión:

Objeto y campo de aplicación: Esta sección especifica un método para los ensayos de flexión en los culmos de guadua.

Principio: Determinación de la capacidad de flexión de los culmos usando un ensayo de flexión de cuatro puntos.

Equipo: El equipo utilizado en un principio es la prensa hidráulica²⁵ pero es descartada por requerir una altura libre de 90 cm, de esta forma se utilizó un gato hidráulico con un dispositivo adecuado el cual garantice la deflexión en cuatro puntos como se observa en la siguiente foto.

Foto 18. Equipo utilizado para ensayo de Flexión



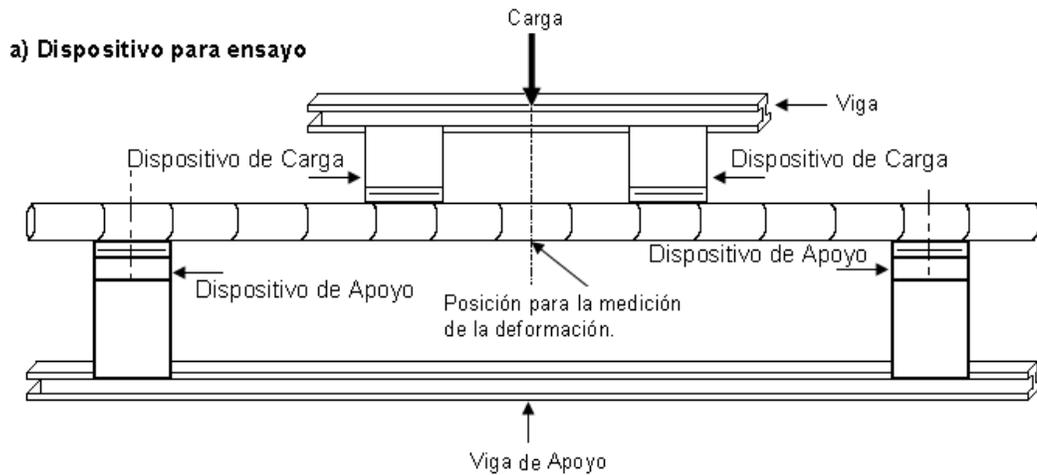
Montaje para flexionar el culmo, se aplica una carga mediante la utilización de un gato hidráulico con capacidad de 150 tn de carga en la distancia media entre los centros de las monturas del dispositivo de carga. El ensayo debe ser de flexión de cuatro puntos.

La carga se debe dividir en dos mitades mediante la utilización de una viga, para este caso se utilizara un perfil IPE-140, con un espesor de 6.9 mm (ver figura 3a).

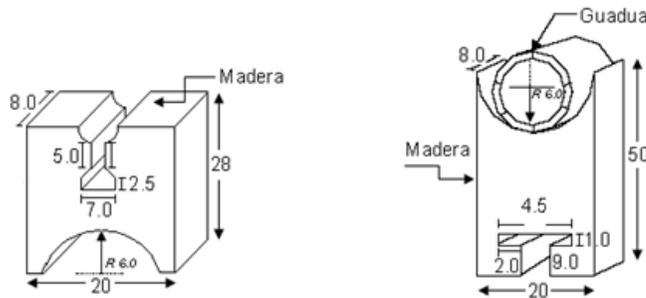
Para evitar el aplastamiento del culmo, las mitades de las cargas y las fuerzas de reacción en los soportes se deben aplicar en los nudos mediante los dispositivos apropiados los cuales son unos caballetes en madera de achapo (tipo de madera) que tienen en un extremo una media luna y en el otro una guía para el desplazamiento libre sobre la viga (ver figura 3b). En los soportes, se debe permitir que el culmo de guadua rote libremente.

²⁵ Ver Anexo E. Montaje inicial para ensayo de Flexión.

Figura 3. Dispositivos para ensayo de Flexión



b) Dispositivo de Carga y de apoyo para ensayo de flexión
Dimensiones en cm



Preparación de los culmos de ensayo: Los culmos de ensayo no deben tener defectos visibles y para un mejor análisis de falla por flexión se tomarán probetas de luz libre entre apoyos: larga, intermedia y corta (3.0, 2.0, 1.0 metros) respectivamente. Además la longitud total del culmo debe ser la longitud entre apoyos más una longitud adicional que garantice al menos un entrenudo después del apoyo en cada extremo.

Procedimiento: Determine el valor medio del diámetro externo D y del espesor de la pared t , y calcule el momento de inercia según la fórmula:

$$I_B = \frac{\pi}{64} * [D^4 - (D - 2t)^4] \quad [6]$$

Nota: El valor de I_B se usa para predecir el comportamiento durante el ensayo.

Coloque el culmo en su lugar en la máquina de ensayo, apoyado sobre los dos dispositivos de apoyo, permitiendo que la probeta encuentre su propia posición, enseguida ubique los dos dispositivos de carga y la viga (que divide la carga) en la parte superior del culmo y permita nuevamente que el culmo encuentre su posición, alinee visualmente los dispositivos de carga y apoyo, el culmo y la carga en un plano vertical. Véase la Foto 19.

Foto 19. Montaje para ensayo de Flexión



La aplicación de la carga al culmo se debe hacer uniformemente a velocidad constante, pero también se la puede realizar utilizando un gato hidráulico impulsado manualmente apoyado de una celda electrónica la cual verifica la carga aplicada. Observe las grietas y describa la forma de la falla.

Después del ensayo determiné nuevamente el diámetro externo D y el espesor de la pared t , lo más cerca posible de los puntos de la carga. El promedio de los valores de diámetro y de los espesores de la pared se debe usar para calcular el momento de inercia I_B .

Determine el contenido de humedad utilizando una probeta proveniente de un punto cercano a la falla.

6.4.6 Corte:

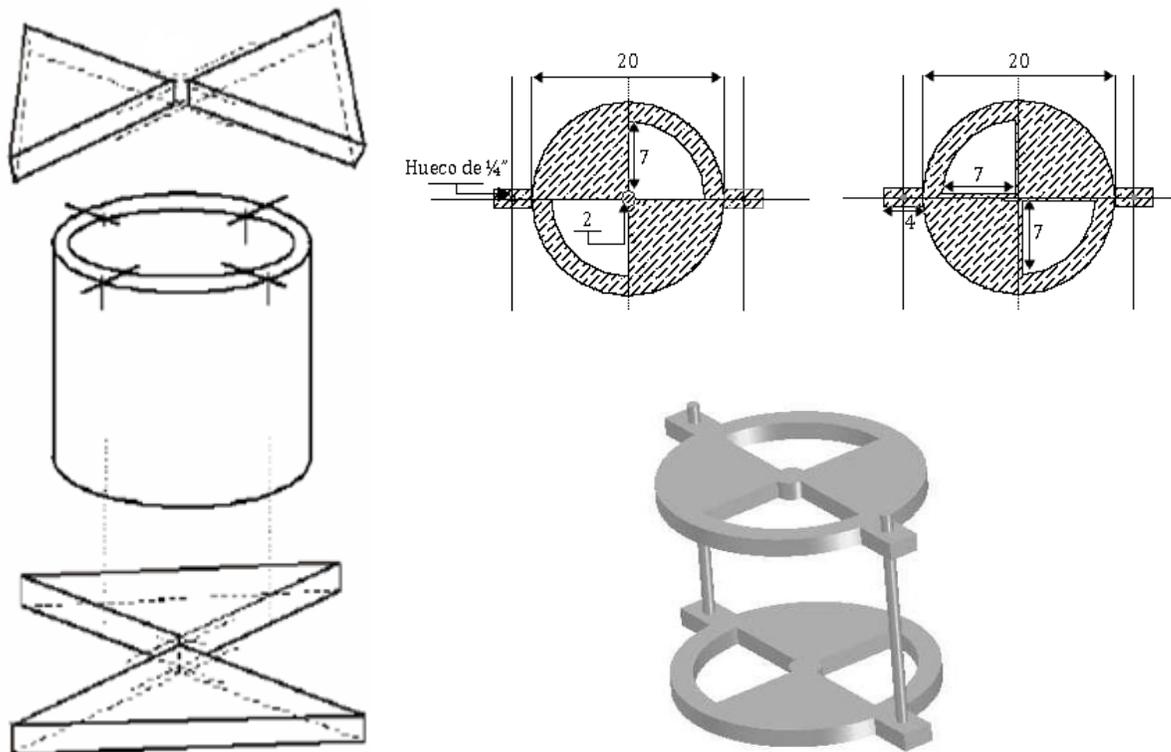
Objeto y campo de aplicación: Esta sección especifica un método para los ensayos de corte paralelo a las fibras en probetas de culmo de guadua *angustifolia*.

Principio: Determinación de la resistencia última al esfuerzo cortante, paralelo a las fibras, en probetas provenientes de culmos de guadua *angustifolia*.

Equipo: Las pruebas de ensayo se llevan a cabo en una máquina de compresión, la probeta se debe apoyar en el extremo inferior, sobre dos cuartas partes de su superficie, opuestas entre si; y se debe aplicar la carga en el extremo superior, sobre las dos cuartas partes que no están apoyadas, mediante la utilización de un dispositivo. Véase la figura 4. Esta forma de apoyar y aplicar la carga a la probeta produce cuatro áreas de corte.

Nota: Las dimensiones están dadas en cm, además el espesor de la platina es de 1/2 “

Figura 4. Ensayo de corte y sus dispositivos



Preparación de las probetas: Las muestras se deben tomar de las partes inferior, media y superior de cada culmo, además el 50% de las probetas para los ensayos de corte paralelo a la fibra deben tener nudo y el 50% restante no deben tener nudo. La longitud de la probeta debe ser igual a su diámetro. Estas limitaciones son válidas en caso de ensayos con propósitos comerciales, en caso de investigación científica, existe libertad para determinar algo diferente.

Las superficies de los extremos de la probeta deben estar en ángulo recto con la longitud de ésta. Las superficies deben ser planas.

El espesor de pared t y la altura L de la probeta se deben tomar en las cuatro áreas de corte.

Procedimiento: La probeta se debe colocar de manera tal que el centro del cabezal móvil esté verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la misma.

Como se indica en la foto 20 la probeta debe estar centrada con relación a los cuartos de soporte y de carga. Inicialmente se aplica una carga pequeña, no superior a 1 KN, para acomodar la probeta.

Foto 20. Montaje para ensayo de Corte



La carga se debe aplicar continuamente durante la prueba para lograr que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0.01mm/s.

Se debe registrar la lectura final de la carga máxima en la cual falló la probeta.

6.4.7 Tracción:

Objeto y campo de aplicación: Esta sección especifica un método para los ensayos de tracción paralela a las fibras en una sección longitudinal tomada de culmos de guadua.

Principio: Determinación de la resistencia última a la tracción, paralela a las fibras, aplicando una carga gradualmente creciente sobre la probeta.

Equipo: Se utiliza la máquina universal con sujetadores los cuales deben garantizar que la carga se aplique a lo largo del eje longitudinal de la probeta y deben evitar la torsión longitudinal de ésta. Los sujetadores deben ser planos para sostener la probeta perpendicular a las fibras y en dirección radial.

La carga se debe aplicar continuamente durante todo el ensayo a la velocidad de movimiento del cabezal móvil de 0.01mm/s.

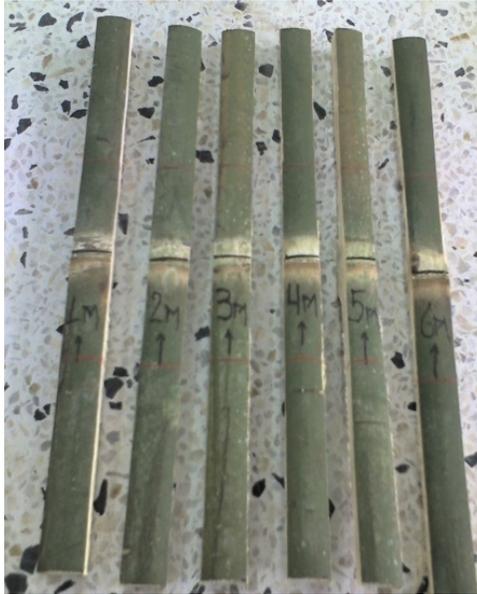
Las dimensiones de la sección transversal de la porción de ensayo de la probeta se deben medir con una exactitud del 0.1mm.

Preparación de las probetas: Las muestras se deben tomar de las partes inferior, media y superior de cada culmo. Estas muestras se deben marcar con las letras I, M y S respectivamente.

Los ensayos de tracción paralela a las fibras se deben hacer en probetas con un nudo, que debe estar en la porción de ensayo.

La dirección general de las fibras debe ser paralela al eje longitudinal de la porción de ensayo de la probeta. La porción de ensayo debe tener una sección transversal rectangular cuyas dimensiones sean iguales al espesor de la pared o menor en la dirección radial; y de 10mm a 20mm en la dirección tangencial. La longitud de la porción de ensayo debe estar entre 50mm y 100mm, como se detalla en la siguiente fotografía.

Foto 21. Probetas para ensayo de tracción



Los extremos de las probetas deben tener una forma tal que garantice que la falla se produzca en la porción de ensayo y que minimice la concentración del esfuerzo en el área de transición, para lograr el objetivo se deben cortar las muestras adecuadamente, como se describe en el numeral 8, en algunos casos se permite usar probetas con extremos laminados.

Para determinar el módulo de elasticidad E , se realiza mediante la utilización de la gráfica de Esfuerzo Vs Deformación unitaria.

Procedimiento: Mida las dimensiones de la sección transversal de la porción de ensayo de la probeta con una exactitud de 0.1mm, en tres lugares de la porción de ensayo y calcule el valor medio.

Asegure los extremos de la probeta entre los sujetadores de la máquina de ensayo, a una distancia segura desde la porción de ensayo. Aplique la carga a velocidad constante. Lea la carga máxima. Deseche los resultados obtenidos en probetas cuya falla se produzca fuera de la porción de ensayo. Después de la prueba, determine el contenido de humedad.

Cuando sea necesario se deben realizar lecturas de deformación la cantidad necesaria de veces para poder hacer un diagrama lo mas exacto posible de la deformación frente a la carga a partir de la cual se calcula el valor de E .

7. DESCRIPCIÓN FOTOGRÁFICA

7.1 EQUIPOS UTILIZADOS

Foto 22. Prensa hidráulica, es un equipo de marca PINZUAR Ltda, con capacidad de carga de 150 Tn, equipo utilizado para realizar el ensayo de Compresión axial y corte paralelo a la fibra. Antes de cada ensayo una persona calificada debe calibrar la máquina. Este equipo pertenece a la Universidad de Nariño.



Foto 23. Montaje utilizado para realizar el ensayo de flexión, consta de un gato hidráulico, Celda electrónica, Soportes, Deformímetro y dispositivos tanto de carga como de apoyo, el gato hidráulico es operado manualmente.

Foto 24. El Equipo utilizado para desarrollar el ensayo de tracción paralela a la fibra es la Máquina universal, marca RAVENSTEIN, tipo hidráulico con capacidad de carga de 50 Tn. La calibración de ésta máquina se realiza al inicio de cada ensayo. Este equipo pertenece a la Universidad de Nariño.



Foto 25. Horno eléctrico digital, Marca DiES. Utilizado para secar las probetas de guadua *Angustifolia* a una temperatura de 105 °C.

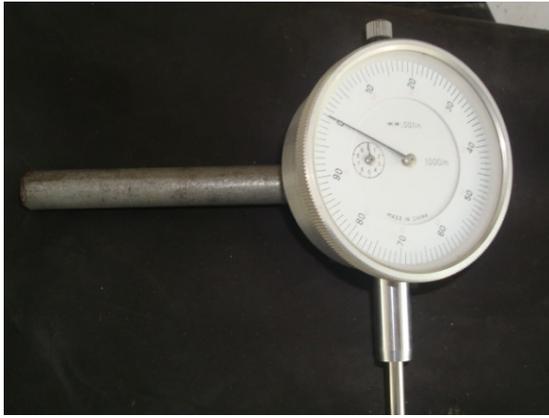


Foto 26. Deformímetro de vástago con 30 cm de recorrido, su escala es 10^{-3} pulgadas, es utilizado para medir las deformaciones de los ensayos de corte paralelo a la fibra, compresión y flexión.



Foto 27. Calibrador o Pie de rey, instrumento utilizado para medir espesores, alturas, diámetro interno y diámetro externo de las diferentes probetas.



Foto 28. Balanza con exactitud de 0.01 g, su capacidad para pesar es de 1000 g.



Foto 29. Flexómetro y sierra circular, los cuales son utilizados para medir y cortar las probetas.

7.2 MONTAJES PARA REALIZAR LOS DIFERENTES ENSAYOS

7.2.1 Montaje para ensayo de compresión axial:

Foto 30. Montaje para ensayo de compresión axial, consta de:



- Lámina de acero de 2" de espesor sobre la cual se apoya la probeta y el deformímetro.
- Deformímetro ubicado en la parte lateral de la prensa hidráulica.
- Varilla lisa de 1/2" que sirve como eje vertical para ubicar correctamente el deformímetro, además una lámina de 10x5 cm, espesor de 1" con tornillos de 1/4 " para asegurar la varilla y el deformímetro.

7.2.2. Montaje para ensayo de corte paralelo a la fibra:



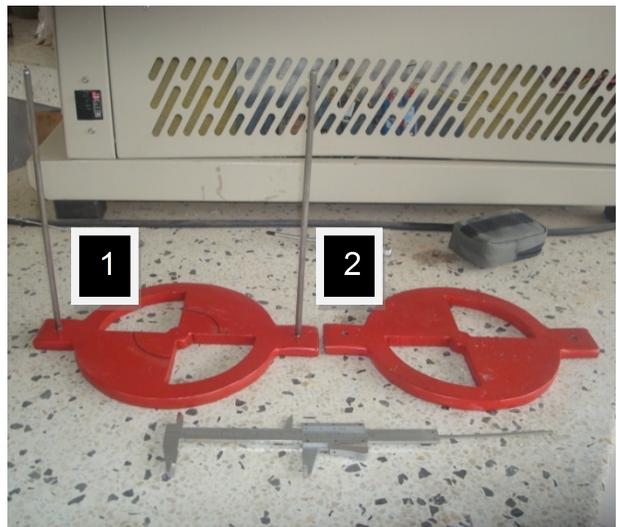
Foto 31. Montaje para ensayo de corte paralelo a la fibra, al igual que el ensayo de compresión este ensayo se lo realiza en la prensa hidráulica con el apoyo de un dispositivo que consta de un deformímetro y dos placas de hierro soportadas por varillas de 1/4 “.

El montaje de las probetas se hizo siguiendo el procedimiento de la norma NTC 5525, el dispositivo se apoyó sobre una lámina para garantizar la distribución uniforme de la carga aplicada.

Foto 32. Dispositivo de ensayo, consta de dos placas de hierro:

Parte inferior del dispositivo de ensayo, elaborado en una lámina de acero de 1/2 “ de espesor, las varillas que sobresalen sirven para mantener las dos láminas colineales.

Es el complemento del dispositivo el cual lleva dos orificios que le sirven para desplazarse libremente sobre las varillas.



7.2.3 Montaje para ensayo de tracción paralela a la fibra:

Foto 33. Máquina universal, colocamos sobre ella las láminas rectangulares de guadua y empezamos a aplicar carga, la probeta se empieza a alargar y en la parte derecha se observa una regla metálica encargada de medir la deformación.

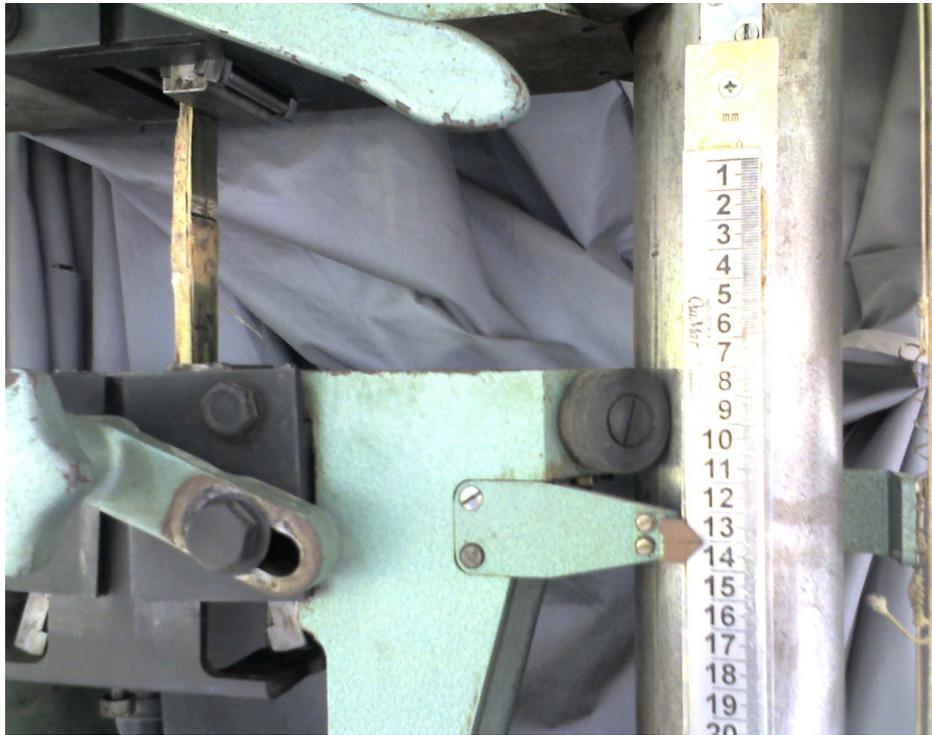
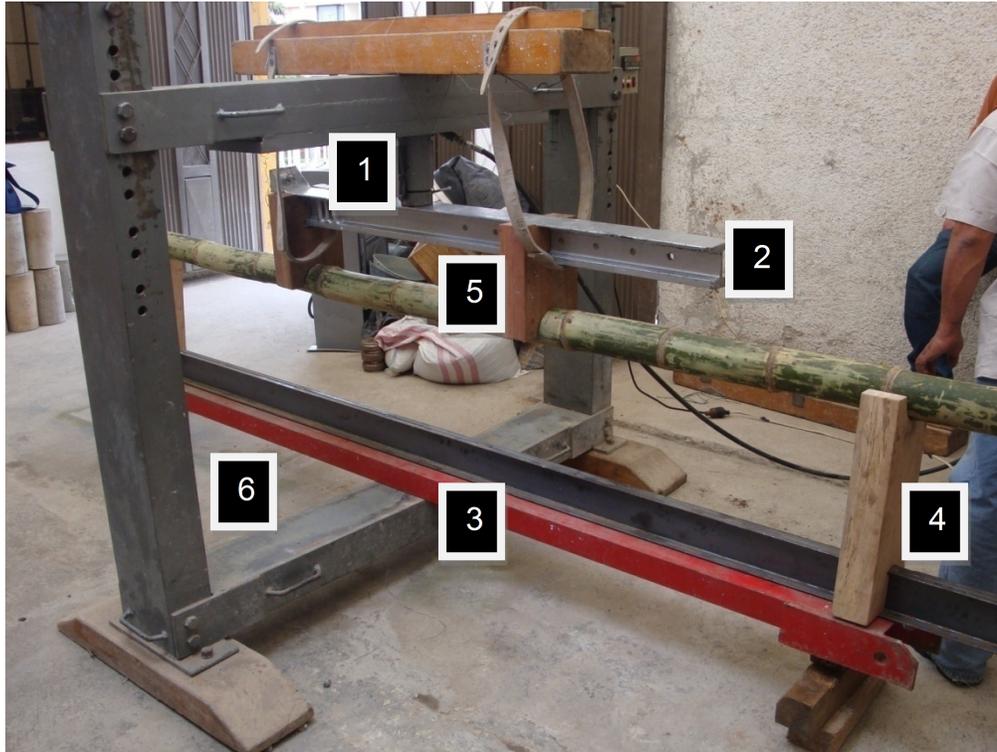


Foto 34. Mordazas planas, estas mordazas tienen la característica de ser corrugadas lo que facilita el amordazamiento de las probetas impidiendo el desplazamiento de las mismas.



7.2.4 Montaje para ensayo de flexión:

Foto 35. El montaje para ensayo de flexión consta de:



- Gato hidráulico, con capacidad de carga de 100 Tn el cual es operado manualmente, está conectado a una celda digital la cual registra la carga aplicada.
- Perfil de carga, es un perfil IPE-140 con un espesor de 6.9 mm, sobre él van colocados los dispositivos de carga. Este perfil también sirve de riel a los dispositivos de carga, los cuales se pueden trasladar longitudinalmente.
- Perfil de soporte, es un perfil IPE-140 con un espesor de 3.0 mm, sobre él van colocados los dispositivos de apoyo. El perfil funciona también de riel para los dispositivos de apoyo, los cuales se pueden trasladar longitudinalmente.
- Dispositivo de apoyo, son dos bloques rectangulares de madera de achapó (tipo de madera), sirven de apoyo para alojar la probeta de guadua, sus dimensiones se muestran en la Figura 3. En la parte superior tiene una forma semi-circular para aumentar la superficie de contacto entre la probeta y el dispositivo de apoyo. Véase la Foto 36.

Foto 36. Dispositivo de apoyo



Dispositivo de carga, son dos bloques rectangulares de madera de achapo (tipo de madera) los cuales sirven para transmitir carga a la probeta, sus dimensiones están especificadas en la figura (3). En la parte superior tiene una forma semi-circular para aumentar la superficie de contacto entre la probeta y el dispositivo de carga. Véase la Foto (37).

Foto 37. Dispositivo de carga.



Base sobre la cual se aloja el montaje para realizar el ensayo de flexión, esta base consta de bloques rectangulares de acero, sus dimensiones son: alto 2.00 mt y ancho 2.20 m .

7.2.5 Fallas:



Foto 38. Ensayo de compresión.
Falla por corte.



Foto 39. Ensayo de compresión.
Falla por aplastamiento.



Foto 40. Ensayo de tracción. Falla sin desprendimiento de fibras.



Foto 41. Ensayo de tracción. Falla con desprendimiento de fibras.



Foto 42. Ensayo de corte. Falla por corte sin desprendimiento de fibras.



Foto 43. Ensayo de corte. Falla por corte con desprendimiento de fibras.

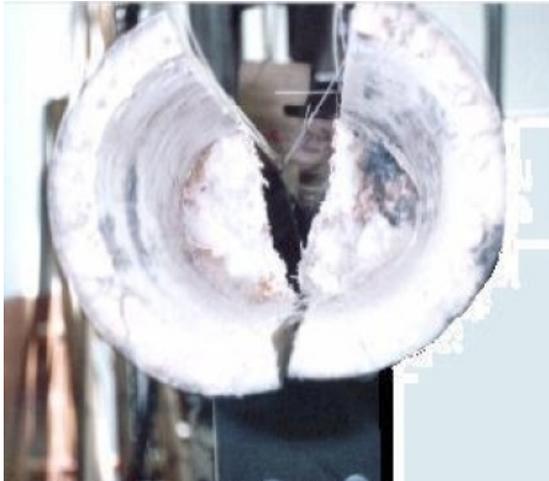


Foto 44. Ensayo de flexión. Falla por corte longitudinal.



Foto 45. Ensayo de flexión. Falla por aplastamiento.

8. CÁLCULOS

Para los diferentes cálculos se deben tener datos iniciales, los cuales se obtienen mediante la realización de los diferentes ensayos.

8.1 DATOS INICIALES

En las siguientes tablas se utiliza la siguiente nomenclatura:

H	altura de la probeta
D	diámetro externo
d	diámetro interno
t	espesor de la pared
b	ancho de la probeta para ensayo de tracción
W	peso de la probeta
m	masa de probeta en estado húmedo, en gr
mo	masa de la probeta seca en horno, en gr
A	área de la sección transversal.
L	luz en el ensayo de flexión. Longitud de la probeta para ensayo de compresión, corte y tracción, en estos casos L=H.
I_B	momento de inercia
σ	esfuerzo
τ	resistencia al corte
δ	deformación en pulgadas
ΔH	deformación en cm
F	carga aplicada a la probeta
$\Sigma (txL)$	sumatoria de espesor por longitud, donde L=H para ensayo de corte

Nota: La denominación de cada probeta depende del ensayo que se va a realizar y de la parte de la guadua: Inferior (I), media (M) o superior (S).

8.1.1 Ensayo de compresión axial:

8.1.1.1 Datos iniciales ensayo de compresión Municipio de Chachagüi:

UBICACIÓN: CHACHAGÜI – Probetas parte inferior

Tabla 3. Datos iniciales ensayo de compresión

Probeta	H (cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)
Com1 I	10.92	10.85	7.73	1.72	507.4	93.18
	10.87	10.82	7.83	1.58		91.25
		10.99	7.72	1.65		94.73
		10.96	7.67	1.66		94.34
Promedio:	10.895	10.905	7.7375	1.6525		93.37
Com2 I	11.35	11.33	7.9	1.65	621.2	100.42
	11.24	11.31	7.69	1.8		101.71
		11.23	7.76	1.77		100.02
		11.23	7.78	1.73		99.58
Promedio:	11.295	11.275	7.7825	1.7375		100.42
Com3 I	12.62	12.35	7.25	2.42	1068.2	128.42
	12.7	12.56	7.55	2.72		137.21
		12.85	7.69	2.83		144.68
		12.64	7.51	2.44		134.19
Promedio:	12.66	12.6	7.5	2.6025		136.00
Com4 I	12.71	12.71	6.91	2.74	1151.5	140.41
	12.42	12.6	7.01	3.02		143.37
		12.54	7	2.52		133.54
		12.57	7.05	3.02		142.80
Promedio:	12.565	12.605	6.9925	2.825		139.89

UBICACIÓN: CHACHAGÜI – Probetas parte media

Tabla 4. Datos iniciales ensayo de compresión

Probeta	H (cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)
Com1 M	9.35	9.37	6.3	1.47	315.6	68.35
	9.26	9.2	6.37	1.57		66.96
		9.22	6.44	1.52		66.75
		9.33	6.41	1.51		68.17
Promedio:	9.305	9.28	6.38	1.5175		67.55
Com2 M	10.02	10.04	7.25	1.4	384.7	77.40
	9.89	10.02	7.16	1.3		76.26
		9.81	7.14	1.33		73.40
		9.82	7	1.35		73.71
Promedio:	9.955	9.9225	7.1375	1.345		75.18
Com3 M	10.05	10.22	7.45	1.52	408.7	81.22
	10.1	10.03	7.36	1.4		77.25
		10.26	7.44	1.49		81.55
		10.52	7.64	1.41		84.86
Promedio:	10.075	10.2575	7.4725	1.455		81.19
Com4 M	10.37	10.68	7.83	1.44	454.2	87.67
	10.23	10.24	7.63	1.34		79.91
		10.6	7.47	1.31		85.27
		10.7	7.92	1.3		86.78
Promedio:	10.3	10.555	7.7125	1.3475		84.87

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Probetas parte superior

Tabla 5. Datos iniciales ensayo de compresión.

Probeta	H (cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)
Com1 S	7.13	7.32	5.01	1.31	152	41.70
	7.1	7.22	4.98	1.09		38.98
		7.3	5.03	1.01		39.31
		7.21	5.1	0.98		38.16
Promedio:	7.115	7.2625	5.03	1.098		39.49
Com2 S	7.4	7.51	5.2	1.22	168.4	43.05
	7.53	7.6	5.22	1.13		43.39
		7.53	5.02	1.18		42.97
		7.45	4.99	1.16		41.95
Promedio:	7.465	7.5225	5.1075	1.1725		42.83
Com3 S	9.9	9.9	7.03	1.41	270.1	75.41
	9.85	9.86	6.88	1.54		76.02
		9.94	6.98	1.41		76.00
		9.9	7.01	1.46		75.86
Promedio:	9.875	9.9	6.975	1.455		75.81
Com4 S	9.02	9.08	6.28	1.37	300.1	63.49
	9.14	9.12	6.32	1.4		64.29
		9.04	6.31	1.41		63.30
		9.16	6.33	1.39		64.74
Promedio:	9.08	9.1	6.31	1.3925		63.95

8.1.1.2 Datos iniciales ensayo de compresión Municipio de Buesaco:

UBICACIÓN: BUESACO. Probetas parte inferior

Tabla 6. Datos iniciales ensayo de compresión.

Probeta	H (cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)
CI1	9.99	11.33	8.21	1.37	422	97.77
	9.95	10.73	8.15	1.5		89.02
		10.82	8.19	1.48		90.29
		11.05	8.26	1.33		92.73
Promedio:	9.97	10.98	8.20	1.42		92.39
CI2	9.92	11.17	8.31	1.44	448	95.69
	9.8	11.11	8.27	1.6		96.21
		11.22	8.31	1.5		97.08
		11.12	8.2	1.49		95.31
Promedio:	9.86	11.155	8.2725	1.5075		96.06
CI3	9.85	10.83	8.14	1.43	412	89.99
	9.57	10.7	8.2	1.36		87.28
		10.75	8.25	1.41		88.52
		10.78	8.16	1.38		88.74
Promedio:	9.71	10.765	8.1875	1.395		88.63
CI4	10.05	10.91	8.38	1.4	456	91.03
	9.98	11.41	8.33	1.38		99.22
		10.98	8.31	1.32		91.49
		11.25	8.28	1.47		97.31
Promedio:	10.015	11.1375	8.325	1.3925		94.72

UBICACIÓN BUESACO. Probetas parte media

Tabla 7. Datos iniciales ensayo de compresión.

Probeta	H (cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)
CM1	10.07	9.15	6.82	1.15	282	62.69
	10.15	8.77	6.53	1.14		57.57
		8.98	6.41	1.1		60.05
		8.65	6.68	1.09		55.68
Promedio:	10.11	8.8875	6.61	1.12		58.97
CM2	9.94	8.81	6.78	1.15	286	58.17
	9.91	9.44	7.25	1.06		66.07
		9.05	6.74	1.19		61.64
		9.25	6.98	1.01		63.11
Promedio:	9.925	9.1375	6.9375	1.1025		62.19
CM3	9.83	9.16	7.18	1.25	294	63.58
	9.87	9.42	6.68	1.14		66.34
		9.23	6.98	1.3		64.94
		9.44	6.82	1.11		66.41
Promedio:	9.85	9.3125	6.915	1.2		65.29
CM4	9.9	8.55	6.49	1.12	260	54.61
	9.88	8.98	6.54	1.06		59.78
		8.74	6.43	1.01		56.31
		8.35	6.61	1.09		51.91
Promedio:	9.89	8.655	6.5175	1.07		55.60

UBICACIÓN: BUESACO. Probetas parte superior

Tabla 8. Datos iniciales ensayo de compresión.

Probeta	H (cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)
CS1	9.96	7.14	5.23	0.8	154	36.42
	10.15	7.21	5.29	0.94		37.92
		7.16	5.28	0.99		37.70
		7.32	5.48	1		39.46
Promedio:	10.055	7.2075	5.32	0.933		37.85
CS2	9.92	7.18	5.28	0.84	154	37.05
	9.96	7.22	5.32	0.93		37.97
		7.1	5.51	0.93		36.71
		7.35	5.48	0.93		39.35
Promedio:	9.94	7.2125	5.3975	0.9075		37.76
CS3	9.89	7.45	5.49	0.87	164	40.10
	9.87	7.62	5.7	0.95		42.43
		7.48	5.62	0.95		40.88
		7.36	5.59	0.95		39.58
Promedio:	9.88	7.4775	5.6	0.93		40.74
CS4	9.73	7.38	5.69	0.86	166	39.28
	9.72	7.23	5.58	0.9		37.90
		7.51	5.62	0.9		40.92
		7.63	5.71	0.9		42.25
Promedio:	9.725	7.4375	5.65	0.89		40.07

8.1.2 Ensayo de corte paralelo a las fibras:

8.1.2.1 Datos iniciales ensayo de corte Municipio de Chachagüi:

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Probetas parte inferior

Tabla 9. Datos iniciales ensayo de corte paralelo a las fibras.

Probeta	H(cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)	Σ (txL) (cm ²)
Ct1 I (Sin nudo)	9.96	12.02	7.31	2.48	686.21	123.29	
	10	12	7.36	2.56		124.20	
	10.08	12.01	7.34	2.46		122.80	
	10.02	12.009	7.33	2.41		122.02	
Promedio:	10.015	12.010	7.335	2.478		123.07	396.9946
Ct2 I (Sin nudo)	10.09	11.28	7.68	1.72	662.1	100.32	
	10.11	11.3	7.75	1.82		101.77	
	10.13	11.2	7.72	1.77		99.52	
	10.08	11.23	7.71	1.79		100.24	
Promedio:	10.1025	11.2525	7.715	1.775		100.46	286.911
Ct3 I (Con nudo)	10.14	12.1	7.35	2.66	984.32	127.65	
	10.27	12.14	7.36	2.45		125.01	
	10.18	12.11	7.56	2.41		123.85	
	10.21	12.12	7.51	2.46		124.80	
Promedio:	10.200	12.118	7.445	2.495		125.30	407.184
Ct4 I (Con nudo)	10.06	12.56	6.82	2.77	1004.16	138.07	
	10.01	12.61	6.72	3.01		143.37	
	9.98	12.5	6.85	2.78		137.11	
	10.09	12.58	6.69	3.02		142.99	
Promedio:	10.035	12.5625	6.77	2.895		140.34	464.8212

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Probetas parte media

Tabla 10. Datos iniciales ensayo de corte paralelo a las fibras.

Probeta	H(cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)	Σ (txL) (cm ²)
Ct1 M (Sin nudo)	10.03	10.88	7.78	1.61	412.26	92.52	
	10.34	10.87	7.89	1.64		92.67	
	10.12	10.89	7.79	1.59		92.48	
	10.18	10.96	7.66	1.48		92.57	
Promedio:	10.1675	10.9	7.78	1.58		92.55	257.0344
Ct2 M (Sin nudo)	10.02	10.14	7.28	1.41	384.75	79.00	
	9.96	10.12	7.26	1.38		78.43	
	9.98	10.01	7.31	1.43		77.22	
	10.02	10.02	7.28	1.35		76.67	
Promedio:	9.995	10.0725	7.2825	1.3925		77.82	222.6886
Ct3 M (Con nudo)	10.18	10.85	7.71	1.58	516.39	91.73	
	10.06	10.89	7.68	1.59		92.48	
	10.2	10.74	7.73	1.52		89.37	
	10.05	10.81	7.63	1.61		91.39	
Promedio:	10.1225	10.8225	7.6875	1.575		91.24	255.087
Ct4 M (Con nudo)	10.21	10.56	7.42	1.44	502.11	85.76	
	10.09	10.44	7.56	1.58		85.20	
	10.18	10.52	7.49	1.51		85.78	
	10.12	10.6	7.51	1.52		87.14	
Promedio:	10.15	10.53	7.495	1.5125		85.96	245.63

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Probetas parte superior

Tabla 11. Datos iniciales ensayo de corte paralelos a las fibras.

Probeta	H(cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)	Σ (txL) (cm ²)
CtS1 (Sin nudo)	9.9	7.92	5.78	1.18	261.55	47.40	
	9.92	8.12	5.66	1.21		49.98	
	9.98	8.06	5.66	1.15		48.82	
	10.01	8.1	5.71	1.12		49.08	
Promedio:	9.9525	8.05	5.7025	1.165		48.81	185.5146
CtS2 (Sin nudo)	10.02	7.5	5.2	1.15	225.45	42.42	
	10.01	7.59	5.22	1.13		43.27	
	10.09	7.54	5.09	1.18		43.08	
	10.08	7.49	5.15	1.16		42.38	
Promedio:	10.05	7.53	5.165	1.155		42.79	185.724
CtS3 (Con nudo)	9.94	8.17	5.59	1.25	301.24	50.89	
	10.09	8.08	5.55	1.19		49.35	
	10.02	8.1	5.63	1.26		50.13	
	9.99	8.12	5.51	1.36		51.19	
Promedio:	10.01	8.1175	5.57	1.265		50.38	202.6024
CtS4 (Con nudo)	9.98	8.08	5.49	1.22	300.08	49.58	
	10.02	7.95	5.56	1.2		47.89	
	10.01	7.96	5.51	1.26		48.48	
	10	8.02	5.63	1.21		48.79	
Promedio:	10.0025	8.0025	5.5475	1.2225		48.68	195.6489

8.1.2.2 Datos iniciales ensayo de corte Municipio de Buesaco

UBICACIÓN: BUESACO. Probetas parte inferior

Tabla 12. Datos iniciales ensayo de corte paralelos a las fibras.

Probeta	H(cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)	Σ (txL) (cm ²)
Ct1 I (Sin nudo)							
	10.24	12.46	7.14	2.81	882	136.89	
	10.05	12.44	7.29	2.57		132.46	
	10.08	12.43	7.25	2.61		132.92	
	10.11	12.45	7.19	2.69		134.63	
Promedio:	10.12	12.45	7.22	2.67		134.19	432.3264
Ct2 I (Sin nudo)							
	10.15	12.48	7.33	2.32	822	129.37	
	10.28	12.07	7.3	2.56		125.47	
	10.2	12.26	7.32	2.54		128.63	
	10.23	12.37	7.31	2.41		128.65	
Promedio:	10.215	12.295	7.315	2.4575		127.98	401.6538
Ct3 I (Con nudo)							
	10.29	12.46	7.41	2.84	1076	137.42	
	10.45	12.66	7.49	2.56		136.46	
	10.27	12.54	7.42	2.62		135.15	
	10.3	12.59	7.44	2.57		135.29	
Promedio:	10.328	12.563	7.440	2.648		136.03	437.4729
Ct4 I (Con nudo)							
	10.14	12.1	7.35	2.66	1004	127.65	
	10.27	12.14	7.36	2.45		125.01	
	10.18	12.11	7.56	2.41		123.85	
	10.21	12.12	7.51	2.46		124.80	
Promedio:	10.200	12.118	7.445	2.495		125.30	407.184

UBICACIÓN: BUESACO. Probetas parte media.

Tabla 13. Datos iniciales ensayo de corte paralelos a las fibras.

Probeta	H(cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)	Σ (txL) (cm ²)
Ct1 M (Sin nudo)	9.9	10.72	8.64	1.24	434	86.62	
	10.09	11.5	8.25	1.24		99.62	
	10.05	11.12	8.39	1.24		93.17	
	10.03	11	8.58	1.24		91.18	
Promedio:	10.0175	11.085	8.465	1.24		92.58	198.7472
Ct2 M (Sin nudo)	10.04	11.02	8.59	1.16	402	90.91	
	10.02	10.85	8.36	1.15		88.05	
	10.01	10.87	8.39	1.154		88.40	
	10.05	10.9	8.4	1.158		88.92	
Promedio:	10.03	10.91	8.435	1.1555		89.07	185.43464
Ct3 M (Con nudo)	10.38	11.26	8.75	1.38	556	96.67	
	10.33	10.85	8.49	1.19		88.34	
	10.28	10.89	8.52	1.26		89.53	
	10.31	10.95	8.57	1.24		90.36	
Promedio:	10.325	10.9875	8.5825	1.2675		91.19	209.391
Ct4 M (Con nudo)	10.12	10.87	8.8	1.18	542	88.59	
	10.16	11.28	8.23	1.41		97.27	
	10.09	11	8.35	1.37		92.24	
	10.08	10.96	8.4	1.29		90.92	
Promedio:	10.1125	11.0275	8.445	1.3125		92.21	212.3625

UBICACIÓN: BUESACO. Probetas parte superior.

Tabla 14. Datos iniciales ensayo de corte paralelos a las fibras.

Probeta	H(cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)	W (gr)	A (cm ²)	Σ (txL) (cm ²)
Ct1 S (Sin nudo)	10.07	8.11	6.42	1	244	48.40	
	10	8.5	6.12	1.04		53.44	
	10.02	8.46	6.28	1.01		52.75	
	10.09	8.37	6.34	1.02		51.69	
Promedio:	10.045	8.36	6.29	1.018		51.55	163.5326
Ct2 S (Sin nudo)	10	8.24	6.15	1.03	226	50.16	
	9.98	7.89	5.86	0.96		45.57	
	10.03	7.92	6.14	0.97		45.98	
	10.02	8.15	6	0.99		48.82	
	Promedio:	10.0075	8.05	6.0375	0.9875		
Ct3 S (Con nudo)	10.01	8.26	6.12	1.1	320	50.87	
	9.91	8.28	6.14	1		50.46	
	10.1	8.27	6.13	1.09		50.93	
	10.02	8.25	6.12	1.05		50.41	
	Promedio:	10.01	8.265	6.1275	1.06		
Ct4 S (Con nudo)	10.36	8.9	6.48	1.1	394	58.99	
	10.37	8.95	6.8	1.18		60.23	
	10.31	8.92	6.65	1.16		59.68	
	10.39	8.94	6.74	1.15		59.87	
	Promedio:	10.3575	8.9275	6.6675	1.1475		

8.1.3 Ensayo de tracción paralelo a las fibras:

8.1.3.1 Datos iniciales ensayo de tracción municipio de Chachagüi:

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte inferior

Tabla 15. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras.

Probeta	L (cm)	b (cm)	t (cm)	W (gr)	A(mm ²)
1I	10.00	1.90	1.38	67.70	1990
		2.02	1.30		
		2.05			
Promedio:	10.00	1.99	1.34	67.70	1990
2I	10.00	1.92	1.45	90.10	2030
		2.13	1.60		
		2.04			
Promedio:	10.00	2.03	1.53	90.10	2030
3I	10.00	2.09	1.06	71.90	2080
		2.07	1.24		
		2.08			
Promedio:	10.00	2.08	1.15	71.90	2080
4I	10.00	2.02	1.05	64.30	2040
		2.00	1.02		
		2.10			
Promedio:	10.00	2.04	1.04	64.30	2040

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte media

Tabla 16. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras.

Probeta	L (cm)	b (cm)	t (cm)	W (gr)	A(mm ²)
1m					2046.67
	10	2.04	0.79	48.2	
		2	0.74		
		2.1			
Promedio:	10.00	2.05	0.77	48.20	2046.67
2m					2060
	10	2.09	0.8	48.3	
		2.07	0.8		
		2.02			
Promedio:	10.00	2.06	0.80	48.30	2060
3m					1980
	10	2	0.86	54.3	
		1.94	0.92		
		2			
Promedio:	10.00	1.98	0.89	54.30	1980
4m					1976.67
	10	2	0.9	53.9	
		1.93	0.92		
		2			
Promedio:	10.00	1.98	0.91	53.90	1976.67

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte superior

Tabla 17. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras.

Probeta	L (cm)	b (cm)	t (cm)	W (gr)	A(mm ²)
1S	10	2.11	0.84	54.6	
		2.08	0.86		
		2.05			
Promedio:	10.00	2.08	0.85	54.60	2080.00
2S	10	2.12	0.99	58.9	
		2	0.91		
		2.03			
Promedio:	10.00	2.05	0.95	58.90	2050
3S	10	2.09	0.81	50.5	
		2.12	0.8		
		2.1			
Promedio:	10.00	2.10	0.81	50.50	2103.33
4S	10	1.96	0.86	51.5	
		2.07	0.82		
		2.08			
Promedio:	10.00	2.04	0.84	51.50	2036.67

8.1.3.2 Datos iniciales ensayo de tracción Municipio de Buesaco

UBICACIÓN: BUESACO. Parte inferior

Tabla 18. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras.

Probeta	L (cm)	b (cm)	t (cm)	W (gr)	A(mm ²)
1I					2186.67
	10.00	2.21	1.36	82.00	
		2.20	1.29		
		2.15			
Promedio:	10.00	2.19	1.33	82.00	2186.67
2I					2263.33
	10.00	2.27	1.26	99.00	
		2.24	1.30		
		2.28			
Promedio:	10.00	2.26	1.28	99.00	2263.33
3I					2006.67
	10.00	2.02	1.31	85.00	
		2.00	1.26		
		2.00			
Promedio:	10.00	2.01	1.29	85.00	2006.67
4I					2330.00
	10.00	2.34	1.27	97.00	
		2.30	1.16		
		2.35			
Promedio:	10.00	2.33	1.22	97.00	2330.00

UBICACIÓN: BUESACO. Parte media

Tabla 19. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras

Probeta	L (cm)	b (cm)	t (cm)	W (gr)	A(mm ²)
1m					
	10	2.3	1.24	87	
		2.34	1.17		
		2.28			
Promedio:	10.00	2.31	1.21	87.00	2306.67
2m					
	10	2.14	1.2	84	
		2.1	1.11		
		2.19			
Promedio:	10.00	2.14	1.16	84.00	2143.33
3m					
	10	2.2	1.14	88	
		2.16	1.2		
		2.14			
Promedio:	10.00	2.17	1.17	88.00	2166.67
4m					
	10	2.2	1.11	83	
		2.2	1.1		
		2.17			
Promedio:	10.00	2.19	1.11	83.00	2190.00

UBICACIÓN: BUESACO. Parte superior

Tabla 20. Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras

Probeta	L (cm)	b (cm)	t (cm)	W (gr)	A(mm ²)
1S	10	2.3	1	66	2303.33
		2.3	1.01		
		2.31			
Promedio:	10.00	2.30	1.01	66.00	2303.33
2S	10	2.35	0.95	64	2313.33
		2.3	0.87		
		2.29			
Promedio:	10.00	2.31	0.91	64.00	2313.33
3S	10	2.27	0.9	68	2290
		2.3	1.03		
		2.3			
Promedio:	10.00	2.29	0.97	68.00	2290
4S	10	2.34	0.89	67	2320.00
		2.32	0.87		
		2.3			
Promedio:	10.00	2.32	0.88	67.00	2320.00

8.1.4 Ensayo de flexión:

8.1.4.1 Datos iniciales ensayo de flexión Municipio de Chachagüi

Tabla 21. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas largas

Probeta	L(cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)
Flx 1	300	12.04	7.12	2.48
		11.5	7.02	2.22
Promedio:		11.77	7.07	2.350
Flx 2	300	11.93	7.77	2.14
		11.2	7.41	2.08
Promedio:		11.565	7.59	2.11
Flx 3	300	12.25	7.26	2.48
		12.08	7.12	2.42
Promedio:		12.165	7.19	2.45
Flx 4	300	11.56	7.28	2.12
		11.22	7.16	2.02
Promedio:		11.39	7.22	2.07

Tabla 22. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas intermedias

Probeta	L(cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)
Flx 5	200	10.88	7.15	1.85
		10.45	7.03	1.68
Promedio:		10.665	7.09	1.765
Flx 6	200	10.32	7.26	1.54
		10.01	7.14	1.42
Promedio:		10.165	7.2	1.48
Flx 7	200	9.79	7.05	1.36
		9.45	6.88	1.26
Promedio:		9.62	6.965	1.310

Tabla 22. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas intermedias. Continuación

Probeta	L(cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)
	200			
Flx 8		9.55	7.01	1.28
		9.34	6.91	1.18
Promedio:		9.445	6.96	1.23

Tabla 23. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas cortas.

Probeta	L(cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)
	100			
Flx 9		8.94	6.6	1.18
		8.82	6.49	1.11
Promedio:	100	8.88	6.545	1.145
	100			
Flx 10		8.65	6.42	1.08
		8.24	6.12	1.04
Promedio:	100	8.445	6.27	1.06
	100			
Flx 911		8.24	6.12	1.1
		8.11	6.14	1
Promedio:	100	8.175	6.13	1.050
	100			
Flx 12		8.01	6.13	1.05
		7.89	5.88	0.95
Promedio:	100	7.95	6.005	1

8.1.4.1 Datos iniciales ensayo de flexión Municipio de Buesaco:

Tabla 24. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas largas

Probeta	L (cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)
Flx 1	300	12.42	7.26	2.56
		12.33	7.19	2.52
Promedio:		12.375	7.225	2.540
Flx 2	300	12.27	7.29	2.48
		12.06	7.22	2.44
Promedio:		12.165	7.255	2.46
Flx 3	300	12.7	7.47	2.62
		12.65	7.46	2.58
Promedio:		12.675	7.465	2.6
Flx 4	300	12.21	7.35	2.45
		12.14	7.32	2.39
Promedio:		12.175	7.335	2.42

Tabla 25. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas intermedias

Probeta	L (cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)
Flx 5	200	11.45	8.38	1.54
		11.32	8.26	1.46
Promedio:		11.385	8.32	1.5
Flx 6	200	10.87	8.44	1.24
		10.81	8.39	1.18
Promedio:		10.84	8.415	1.21
Flx 7	200	9.99	7.52	1.26
		9.87	7.43	1.22
Promedio:		9.93	7.475	1.240
Flx 8	200	9.42	6.99	1.22
		9.31	6.92	1.18
Promedio:		9.365	6.955	1.2

Tabla 26. Datos iniciales ensayo de flexión - Probetas cortas

Probeta	L (cm)	D (cm)	d (cm)	t (cm)
Flx 9	100	8.44	6.2	1.12
		8.36	6.12	1.09
Promedio:		8.4	6.16	1.105
Flx 10	100	8.39	6.24	1.1
		8.26	6.16	1.03
Promedio:		8.325	6.2	1.065
Flx 911	100	8.23	6.14	1.06
		8.17	6.12	1
Promedio:		8.2	6.13	1.030
Flx 12	100	7.75	5.9	0.88
		7.66	5.7	0.85
Promedio:		7.705	5.8	0.865

8.2 CÁLCULOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA

Los cálculos de las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia* se realizarán basándose en la Norma Técnica Colombiana NTC 5525. MÉTODOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH.

8.2.1 Ensayo de compresión axial. Para las tablas correspondientes al ensayo de compresión que se enumeran a continuación se realizaron los siguientes cálculos:

- Deflexión: Se utiliza la siguiente ecuación.

$$\Delta H = \left[\frac{\delta}{1000} \right] * 2.54 \quad [7]$$

En donde:

ΔH deflexión en cm

δ deflexión en milésimas de pulgada (10^{-3}), son rangos de valores que se toman al inicio del ensayo, es decir que el ensayo de compresión se lo realiza con carga controlada.

- Deflexión unitaria: Se utiliza la siguiente ecuación.

$$\delta_{unitaria} = \frac{\Delta H}{H} \quad [8]$$

En donde:

ΔH valor obtenido de la ecuación [7]

H altura de la probeta en cm,

- Área corregida: Se calcula con la siguiente ecuación.

$$A_{corregida} = A - \Delta H \quad [9]$$

En donde:

A área de la sección transversal calculada con fórmula [1],

$$A = (\pi/4) * [D^2 - (D - 2t)^2]$$

ΔH valor obtenido de la ecuación [7]

- El esfuerzo de compresión axial se determina con la fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [10]$$

En donde:

σ es el esfuerzo de compresión, en Kg/cm²

F carga aplicada a la probeta en Kg/f

A es el área de la sección transversal en mm². Fórmula [1],

$$A = (\pi/4) * [D^2 - (D - 2t)^2]$$

- El esfuerzo último de compresión axial se determina con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A} \quad [11]$$

En donde:

σ_{ult} es el esfuerzo último de compresión, en MPa (o N/mm²), redondeado con aproximación de 0.5 MPa.

F_{ult} es la carga máxima a la cual falla la probeta, en N.

A es el área de la sección transversal en mm². Fórmula [1],

$$A = \left(\frac{\pi}{4}\right) * [D^2 - (D - 2t)^2]$$

Nota aclaratoria: Las unidades utilizadas en el presente trabajo relacionan esfuerzos en kg/cm², para transformar a Sistema Internacional (MPa) se debe dividir entre 10 y para transformar a kg/mm² se debe dividir entre 100.

A continuación se relacionan sus respectivas memorias de cálculo.

8.2.1.1 Ensayo de compresión con deflexión controlada Municipio de Chachagüi:

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior

Tabla 27. Resultados ensayo de compresión. Probeta 1

Lectura No.	Probeta No.1- Com1 I								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
1	30	0.0762	10.895	0.0070	93.366	93.29	600	6.43	0.64
2	60	0.1524		0.0140		93.21	900	9.66	0.97
3	90	0.2286		0.0210		93.14	3000	32.21	3.22
4	120	0.3048		0.0280		93.06	7000	75.22	7.52
5	150	0.3810		0.0350		92.98	10800	116.15	11.61
6	180	0.4572		0.0420		92.91	10800	116.24	11.62
7	210	0.5334		0.0490		92.83	10800	116.34	11.63
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 10800 Kg/f								
σ_{ult}	11.63 Mpa								

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior

Tabla 28. Resultados ensayo de compresión. Probeta 2

Lectura No.	Probeta No.2- Com2 I								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
1	20	0.0508	11.295	0.0045	100.42	100.37	300	2.99	0.299
2	40	0.1016		0.0090		100.32	600	5.98	0.598
3	60	0.1524		0.0134		100.27	6000	59.84	5.984
4	80	0.2032		0.0179		100.22	7000	69.85	6.985
5	100	0.254		0.0224		100.17	9900	98.83	9.883
6	120	0.3048		0.0269		100.12	12500	124.85	12.485
7	140	0.3556		0.0314		100.07	12500	124.92	12.492
8	160	0.4064		0.0359		100.02	12500	124.98	12.498
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 12500 Kg/f								
σ_{ult}	12.498 Mpa								

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior

Tabla 29. Resultados ensayo de compresión. Probeta 3

Lectura No.	Probeta No.3- Com3 I								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
1	20	0.0508	12.66	0.0040	136.00	135.95	300	2.21	0.221
2	40	0.1016		0.0080		135.90	300	2.21	0.221
3	60	0.1524		0.0120		135.85	600	4.42	0.442
4	80	0.2032		0.0160		135.80	7500	55.23	5.523
5	100	0.254		0.0200		135.75	9600	70.72	7.072
6	120	0.3048		0.0240		135.70	10500	77.38	7.738
7	140	0.3556		0.0280		135.65	10500	77.41	7.741
8	160	0.4064		0.0321		135.60	23800	175.52	17.552
9	180	0.4572		0.0361		135.55	23800	175.59	17.559
10	200	0.508		0.0401		135.49	23800	175.65	17.565
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 23800 Kg/f								
σ_{ult}	17.565 Mpa								

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior

Tabla 30. Resultados ensayo de compresión. Probeta 4

Lectura No.	Probeta No.4- Com4 I								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	20	0.0508	12.565	0.0040	139.89	139.84	600	4.29	0.43
2	40	0.1016		0.0081		139.79	1720	12.30	1.23
3	60	0.1524		0.0121		139.74	21000	150.28	15.03
4	80	0.2032		0.0162		139.69	23400	167.52	16.75
5	100	0.254		0.0202		139.64	27000	193.36	19.34
6	120	0.3048		0.0243		139.58	27000	193.43	19.34
7	140	0.3556		0.0283		139.53	27300	195.65	19.57
8	160	0.4064		0.0323		139.48	27300	195.72	19.57
9	180	0.4572		0.0364		139.43	27300	195.79	19.58
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 27300 Kg/f								
σ_{ult}	19.58 Mpa								

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte media

Tabla 31. Resultados ensayo de compresión. Probeta 1

Lectura No.	Probeta No.1- Com1 M								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)		$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	9.305	0.0027	67.549	67.52	0	0.00	0.00
2	20	0.0508		0.0054		67.50	300	4.44	0.44
3	30	0.0762		0.0081		67.47	300	4.45	0.44
4	40	0.1016		0.0109		67.45	1800	26.69	2.67
5	50	0.127		0.0136		67.42	9900	146.84	14.68
6	60	0.1524		0.0163		67.40	10500	155.79	15.58
7	70	0.1778		0.0191		67.37	11700	173.66	17.37
8	80	0.2032		0.0218		67.35	12000	178.18	17.82
9	90	0.2286		0.0245		67.32	12000	178.25	17.83
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 12000 Kg/f								

σ_{ult}	17.83 Mpa
----------------	-----------

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte media

Tabla 32. Resultados ensayo de compresión. Probeta 2

Lectura No.	Probeta No.2- Com2 M								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	9.955	0.0025	75.179	75.15	600	7.980	0.80
2	20	0.0508		0.0051		75.13	1800	23.96	2.40
3	30	0.0762		0.0076		75.10	7200	95.87	9.59
4	40	0.1016		0.0102		75.08	9600	127.87	12.79
5	50	0.127		0.0127		75.05	10200	135.91	13.59
6	60	0.1524		0.0153		75.03	11100	147.95	14.79
7	70	0.1778		0.0178		75.00	11400	152.00	15.20
8	80	0.2032		0.0204		74.98	11400	152.05	15.20
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 11400 Kg/f								
σ_{ult}	15.20 Mpa								

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte media

Tabla 33. Resultados ensayo de compresión. Probeta 3

Lectura No.	Probeta No.3- Com3 M								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	10.075	0.0025	81.190	81.16	300	3.70	0.37
2	20	0.0508		0.0050		81.14	300	3.70	0.37
3	30	0.0762		0.0075		81.11	600	7.40	0.74
4	40	0.1016		0.0100		81.09	7500	92.49	9.25
5	50	0.127		0.0126		81.06	9600	118.43	11.84
6	60	0.1524		0.0151		81.04	10500	129.57	12.96
7	70	0.1778		0.0176		81.01	10500	129.61	12.96
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 10500 Kg/f								
σ_{ult}	12.96 Mpa								

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte media

Tabla 34. Resultados ensayo de compresión. Probeta 4

Lectura No.	Probeta No.4- Com4 M								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
1	10	0.0254	10.3	0.0024	84.871	84.85	300	3.536	0.354
2	20	0.0508		0.0049		84.82	900	10.611	1.061
3	30	0.0762		0.0074		84.79	1500	17.690	1.769
4	40	0.1016		0.0098		84.77	5100	60.163	6.016
5	50	0.127		0.0123		84.74	7800	92.042	9.204
6	60	0.1524		0.0148		84.72	9300	109.77	10.978
7	70	0.1778		0.0172		84.69	12000	141.68	14.169
8	80	0.2032		0.0197		84.67	12900	152.36	15.236
9	90	0.2286		0.0222		84.64	13200	155.95	15.595
10	100	0.254		0.0246		84.62	13200	155.99	15.600
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 13200 Kg/f								
σ_{ult}	15.60 Mpa								

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte superior

Tabla 35. Resultados ensayo de compresión. Probeta 1

Lectura No.	Probeta No.1- Com1 S								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	7.115	0.003569	39.48	39.46	1500	38.01	3.80
2	20	0.0508		0.007139		39.43	3600	91.29	9.13
3	30	0.0762		0.010709		39.41	6600	167.48	16.75
4	40	0.1016		0.014279		39.38	7800	198.05	19.81
5	50	0.127		0.017849		39.36	7800	198.18	19.82
6	60	0.1524		0.021419		39.33	8100	205.94	20.59
7	70	0.1778		0.024989		39.31	8400	213.70	21.37
8	80	0.2032		0.028559		39.28	8400	213.84	21.38
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 8400 Kg/f								
σ_{ult}	21.38 Mpa								

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Superior

Tabla 36. Resultados ensayo de compresión. Probeta 2

Lectura No.	Probeta No.2- Com2 S								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	7.465	0.00340	42.833	42.81	300	7.01	0.70
2	20	0.0508		0.00681		42.78	900	21.04	2.10
3	30	0.0762		0.01021		42.76	5400	126.30	12.63
4	40	0.1016		0.01361		42.73	7800	182.53	18.25
5	50	0.127		0.01701		42.71	8400	196.69	19.67
6	60	0.1524		0.02042		42.68	8700	203.84	20.38
7	70	0.1778		0.02382		42.66	8700	203.96	20.40
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 8700 Kg/f								
σ_{ult}	20.40 Mpa								

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Superior

Tabla 37. Resultados ensayo de compresión. Probeta 3

Lectura No.	Probeta No.3- Com3 S								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	9.875	0.00257	75.813	75.79	2400	31.67	3.17
2	20	0.0508		0.00514		75.76	7800	102.95	10.30
3	30	0.0762		0.00771		75.74	9000	118.83	11.88
4	40	0.1016		0.01028		75.71	9600	126.80	12.68
5	50	0.127		0.01286		75.69	9900	130.80	13.08
6	60	0.1524		0.01543		75.66	9900	130.85	13.08
7	70	0.1778		0.01800		75.64	10200	134.86	13.49
8	80	0.2032		0.02057		75.61	10200	134.90	13.49
9	90	0.2286		0.02315		75.59	10200	134.95	13.49
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 10200 Kg/f								
σ_{ult}	13.49 Mpa								

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Superior

Tabla 38. Resultados ensayo de compresión. Probeta 4

Lectura No.	Probeta No.4- Com4 S								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	9.08	0.00280	63.951	63.93	3000	46.93	4.69
2	20	0.0508		0.00559		63.90	8100	126.76	12.68
3	30	0.0762		0.00839		63.87	9000	140.90	14.09
4	40	0.1016		0.01119		63.85	9300	145.66	14.57
5	50	0.127		0.01399		63.82	9400	147.28	14.73
6	60	0.1524		0.01678		63.80	10400	163.01	16.30
7	70	0.1778		0.01958		63.77	10400	163.08	16.31
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 10400 Kg/f								
σ_{ult}	16.31 Mpa								

8.2.1.2 Ensayo de compresión con deflexión controlada Municipio de Buesaco:

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior

Tabla 39. Resultados ensayo de compresión. Probeta 1.

Lectura No.	Probeta No.1- Com1 I								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	9.97	0.00255	92.393	92.37	300	3.25	0.32
2	20	0.0508		0.00510		92.34	600	6.50	0.65
3	30	0.0762		0.00764		92.32	1800	19.50	1.95
4	40	0.1016		0.01019		92.29	6000	65.01	6.50
5	50	0.127		0.01274		92.27	10800	117.05	11.71
6	60	0.1524		0.01529		92.24	12000	130.09	13.01
7	70	0.1778		0.01783		92.22	12600	136.64	13.66
8	80	0.2032		0.02038		92.19	13200	143.18	14.32
9	90	0.2286		0.02293		92.16	13800	149.73	14.97
10	100	0.254		0.02548		92.14	14700	159.54	15.95
11	110	0.2794		0.02802		92.11	15000	162.84	16.28
12	120	0.3048		0.03057		92.09	15600	169.40	16.94
13	130	0.3302		0.03312		92.06	15900	172.71	17.27
14	140	0.3556		0.03567		92.04	15900	172.76	17.28
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 15900 Kg/f								
σ_{ult}	17.28 Mpa								

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior

Tabla 40. Resultados ensayo de compresión. Probeta 2

Lectura No.	Probeta No.2- Com 2I								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	9.86	0.00258	96.060	96.03	600	6.25	0.62
2	20	0.0508		0.00515		96.01	1200	12.50	1.25
3	30	0.0762		0.00773		95.98	6600	68.76	6.88
4	40	0.1016		0.01030		95.96	9000	93.79	9.38
5	50	0.127		0.01288		95.93	10800	112.58	11.26
6	60	0.1524		0.01546		95.91	12000	125.12	12.51
7	70	0.1778		0.01803		95.88	13200	137.67	13.77
8	80	0.2032		0.02061		95.86	13800	143.96	14.40
9	90	0.2286		0.02318		95.83	14100	147.13	14.71
10	100	0.254		0.02576		95.81	14400	150.30	15.03
11	110	0.2794		0.02834		95.78	15000	156.61	15.66
12	120	0.3048		0.03091		95.76	15300	159.78	15.98
13	130	0.3302		0.03349		95.73	15900	166.09	16.61
14	140	0.3556		0.03606		95.70	15900	166.14	16.61
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 15900 Kg/f								
σ_{ult}	16.61 Mpa								

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior

Tabla 41. Resultados ensayo de compresión. Probeta 3

Lectura No.	Probeta No.3- Com3 I								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	9.71	0.00262	88.630	88.60	300	3.39	0.34
2	20	0.0508		0.00523		88.58	600	6.77	0.68
3	30	0.0762		0.00785		88.55	1500	16.94	1.69
4	40	0.1016		0.01046		88.53	6000	67.77	6.78
5	50	0.127		0.01308		88.50	10800	122.03	12.20
6	60	0.1524		0.01570		88.48	12600	142.41	14.24
7	70	0.1778		0.01831		88.45	14400	162.80	16.28
8	80	0.2032		0.02093		88.43	14700	166.24	16.62
9	90	0.2286		0.02354		88.40	15000	169.68	16.97
10	100	0.254		0.02616		88.38	15600	176.52	17.65
11	110	0.2794		0.02877		88.35	15900	179.97	18.00
12	120	0.3048		0.03139		88.33	15900	180.02	18.00
13	130	0.3302		0.03401		88.30	16200	183.47	18.35
14	140	0.3556		0.03662		88.27	16500	186.92	18.69
15	150	0.381		0.03924		88.25	16500	186.97	18.70
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 16500 Kg/f								
σ_{ult}	18.70 Mpa								

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior

Tabla 42. Resultados ensayo de compresión. Probeta 4

Lectura No.	Probeta No.4- Com4 I								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	10.015	0.00254	94.720	94.69	600	6.34	0.63
2	20	0.0508		0.00507		94.67	1500	15.84	1.58
3	30	0.0762		0.00761		94.64	6000	63.40	6.34
4	40	0.1016		0.01014		94.62	9000	95.12	9.51
5	50	0.127		0.01268		94.59	10500	111.00	11.10
6	60	0.1524		0.01522		94.57	12000	126.89	12.69
7	70	0.1778		0.01775		94.54	12600	133.27	13.33
8	80	0.2032		0.02029		94.52	12900	136.48	13.65
9	90	0.2286		0.02283		94.49	13200	139.70	13.97
10	100	0.254		0.02536		94.47	14400	152.44	15.24
11	110	0.2794		0.02790		94.44	14700	155.65	15.57
12	120	0.3048		0.03043		94.42	15000	158.87	15.89
13	130	0.3302		0.03297		94.39	15300	162.09	16.21
14	140	0.3556		0.03551		94.36	15900	168.50	16.85
15	150	0.381		0.03804		94.34	16200	171.72	17.17
16	160	0.4064		0.04058		94.31	16800	178.13	17.81
17	170	0.4318		0.04312		94.29	16800	178.18	17.82
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 16800 Kg/f								
σ_{ult}	17.82 Mpa								

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media

Tabla 43. Resultados ensayo de compresión. Probeta 1

Lectura No.	Probeta No.1- Com1 M								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	10.11	0.00251	58.967	58.94	0	0.00	0.00
2	20	0.0508		0.00502		58.92	600	10.18	1.02
3	30	0.0762		0.00754		58.89	3600	61.13	6.11
4	40	0.1016		0.01005		58.87	7200	122.31	12.23
5	50	0.127		0.01256		58.84	10200	173.35	17.34
6	60	0.1524		0.01507		58.82	11400	193.83	19.38
7	70	0.1778		0.01759		58.79	11700	199.01	19.90
8	80	0.2032		0.02010		58.76	12300	209.31	20.93
9	90	0.2286		0.02261		58.74	12900	219.62	21.96
10	100	0.254		0.02512		58.71	13200	224.82	22.48
11	110	0.2794		0.02764		58.69	13200	224.92	22.49
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 13200 Kg/f								
σ_{ult}	22.49 Mpa								

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media

Tabla 44. Resultados ensayo de compresión. Probeta 2

Lectura No.	Probeta No.2- Com2 M								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
1	10	0.0254	9.925	0.00256	62.186	62.16	900	14.48	1.45
2	20	0.0508		0.00512		62.14	9300	149.67	14.97
3	30	0.0762		0.00768		62.11	11100	178.71	17.87
4	40	0.1016		0.01024		62.08	11400	183.62	18.36
5	50	0.127		0.01280		62.06	11700	188.53	18.85
6	60	0.1524		0.01536		62.03	12000	193.44	19.34
7	70	0.1778		0.01791		62.01	12300	198.36	19.84
8	80	0.2032		0.02047		61.98	12600	203.28	20.33
9	90	0.2286		0.02303		61.96	12900	208.21	20.82
10	100	0.254		0.02559		61.93	12900	208.29	20.83
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 12900 Kg/f								
σ_{ult}	20.83 Mpa								

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media

Tabla 45. Resultados ensayo de compresión. Probeta 3

Lectura No.	Probeta No.3- Com3 M								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
1	10	0.0254	9.85	0.00258	65.289	65.26	900	13.79	1.38
2	20	0.0508		0.00516		65.24	7200	110.37	11.04
3	30	0.0762		0.00774		65.21	9600	147.21	14.72
4	40	0.1016		0.01031		65.19	11100	170.28	17.03
5	50	0.127		0.01289		65.16	11700	179.55	17.96
6	60	0.1524		0.01547		65.14	12300	188.84	18.88
7	70	0.1778		0.01805		65.11	12600	193.52	19.35
8	80	0.2032		0.02063		65.09	12900	198.20	19.82
9	90	0.2286		0.02321		65.06	12900	198.28	19.83
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 12900 Kg/f								
σ_{ult}	19.83 Mpa								

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media

Tabla 46. Resultados ensayo de compresión. Probeta 4

Lectura No.	Probeta No.4- Com4 M								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
1	10	0.0254	9.89	0.00257	55.604	55.58	600	10.80	1.08
2	20	0.0508		0.00514		55.55	4800	86.40	8.64
3	30	0.0762		0.00770		55.53	9300	167.48	16.75
4	40	0.1016		0.01027		55.50	9900	178.37	17.84
5	50	0.127		0.01284		55.48	10800	194.67	19.47
6	60	0.1524		0.01541		55.45	11400	205.58	20.56
7	70	0.1778		0.01798		55.43	11700	211.09	21.11
8	80	0.2032		0.02055		55.40	12000	216.60	21.66
9	90	0.2286		0.02311		55.38	12300	222.12	22.21
10	100	0.254		0.02568		55.35	12300	222.22	22.22
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 12300 Kg/f								
σ_{ult}	22.22 Mpa								

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior

Tabla 47. Resultados ensayo de compresión. Probeta 1

Lectura No.	Probeta No.1- Com1 S								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	10.055	0.00252	37.852	37.83	600	15.86	1.59
2	20	0.0508		0.00505		37.80	1800	47.62	4.76
3	30	0.0762		0.00757		37.78	6300	166.77	16.68
4	40	0.1016		0.01010		37.75	7500	198.67	19.87
5	50	0.127		0.01263		37.72	7800	206.76	20.68
6	60	0.1524		0.01515		37.70	8100	214.86	21.49
7	70	0.1778		0.01768		37.67	8100	215.00	21.50
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 8100 Kg/f								
σ_{ult}	21.50 Mpa								

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior

Tabla 48. Resultados ensayo de compresión. Probeta 2

Lectura No.	Probeta No 2- Com2 S								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	9.94	0.00255	37.760	37.73	300	7.95	0.80
2	20	0.0508		0.00511		37.71	900	23.87	2.39
3	30	0.0762		0.00766		37.68	5800	153.91	15.39
4	40	0.1016		0.01022		37.66	6900	183.23	18.32
5	50	0.127		0.01277		37.63	7500	199.29	19.93
6	60	0.1524		0.01533		37.61	8100	215.38	21.54
7	70	0.1778		0.01788		37.58	8100	215.53	21.55
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 8100 Kg/f								
σ_{ult}	21.55 Mpa								

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior

Tabla 49. Resultados ensayo de compresión. Probeta 3

Lectura No.	Probeta No.3- Com3 S								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	9.88	0.00257	40.738	40.71	1500	36.84	3.68
2	20	0.0508		0.00514		40.69	3600	88.48	8.85
3	30	0.0762		0.00771		40.66	6000	147.56	14.76
4	40	0.1016		0.01028		40.64	9300	228.86	22.89
5	50	0.127		0.01285		40.61	9600	236.39	23.64
6	60	0.1524		0.01543		40.59	9900	243.93	24.39
7	70	0.1778		0.01800		40.56	9900	244.08	24.41
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 9900 Kg/f								
σ_{ult}	24.41 Mpa								

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior

Tabla 50. Resultados ensayo de compresión. Probeta 4

Lectura No.	Probeta No.4- Com4 S								
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ	σ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	(cm ²)	(cm ²)	Kg/f	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0		0	0		
1	10	0.0254	9.725	0.00261	40.072	40.05	3000	74.91	7.49
2	20	0.0508		0.00522		40.02	6000	149.92	14.99
3	30	0.0762		0.00784		40.00	7200	180.02	18.00
4	40	0.1016		0.01045		39.97	9300	232.67	23.27
5	50	0.127		0.01306		39.95	9600	240.33	24.03
6	60	0.1524		0.01567		39.92	9700	242.99	24.30
7	70	0.1778		0.01828		39.89	9700	243.14	24.31
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 9700 Kg/f								
σ_{ult}	24.31 Mpa								

8.2.2 Ensayo de corte paralelo a las fibras. Para las tablas correspondientes al ensayo de corte paralelo a las fibras que se enumeran a continuación se realizaron los siguientes cálculos:

- Deflexión: Se utiliza la ecuación [7], (cm)
Deflexión unitaria: Se utiliza la ecuación [8], $\delta_{unitaria} = \frac{\Delta H}{H}$
- H, altura de la probeta en cm
- Resistencia al corte, se determina con la fórmula:

$$\tau = \frac{F}{\Sigma(t \cdot L)} \quad [12]$$

En donde:

τ Resistencia al corte

F carga aplicada a la probeta

- La resistencia última de corte se debe calcular con la siguiente fórmula:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(t * L)} \quad [13]$$

En donde

T_{ult} es la resistencia última al corte, en MPa, con aproximación, por exceso o por defecto, a una cifra decimal.

F_{ult} es el valor máximo de la carga aplicada en la cual falla la probeta, expresada en N

$\sum(t * L)$ es la suma de los cuatro productos de t y L, aplicable a la ecuación [12] y [13].

Además en este ensayo el valor de L=H en cm.

Nota aclaratoria: Las unidades utilizadas en el presente trabajo relacionan esfuerzos en kg/cm^2 , para transformar a Sistema Internacional (MPa) se debe dividir entre 10.y para transformar a kg/mm^2 se debe dividir entre 100.

A continuación se relacionan sus respectivas memorias de cálculo.

8.2.2.1 Ensayo de corte con carga controlada Municipio de Chachagüi:

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior

Tabla 51. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1

Lectura No.	Probeta No.1- Ct1 I (Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	$\Sigma (t \times L)$	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
1	20	0.0508	10.015	0.0051	300	396.994	0.756	0.076
2	40	0.1016		0.0101	900		2.267	0.227
3	60	0.1524		0.0152	1800		4.534	0.453
4	80	0.2032		0.0203	5400		13.602	1.36
5	100	0.254		0.0254	9600		24.182	2.418
6	120	0.3048		0.0304	12300		30.983	3.098
7	140	0.3556		0.0355	13200		33.25	3.325
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 13200 Kg/f							
τ_{ult}	3.325Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior

Tabla 52. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2

Lectura No.	Probeta No.2- Ctl2 (Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0	0	0
1	20	0.0508	10.1025	0.005	300	286.911	1.046	0.105
2	40	0.1016		0.0101	900		3.137	0.314
3	60	0.1524		0.0151	1800		6.274	0.627
4	80	0.2032		0.0201	5400		18.821	1.882
5	100	0.254		0.0251	9600		33.46	3.346
6	120	0.3048		0.0302	12300		42.87	4.287
7	140	0.3556		0.0352	13200		46.007	4.601
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 13200 Kg/f							
τ_{ult}	4.601 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior

Tabla 53. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3

Lectura No.	Ctl3 (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0		
1	20	0.0508	10.2	0.005	300	407.184	0.737	0.074
2	40	0.1016		0.01	900		2.21	0.221
3	60	0.1524		0.0149	1800		4.421	0.442
4	80	0.2032		0.0199	5400		13.262	1.326
5	100	0.254		0.0249	9600		23.577	2.358
6	120	0.3048		0.0299	12300		30.207	3.021
7	140	0.3556		0.0349	13200		32.418	3.242
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 13200 Kg/f							
τ_{ult}	3.242 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior

Tabla 54. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4

Lectura No.	CtI4 (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0		
1	20	0.0508	10.035	0.0051	300	464.821	0.645	0.065
2	40	0.1016		0.0101	900		1.936	0.194
3	60	0.1524		0.0152	1800		3.872	0.387
4	80	0.2032		0.0202	5400		11.617	1.162
5	100	0.254		0.0253	9600		20.653	2.065
6	120	0.3048		0.0304	12300		26.462	2.646
7	140	0.3556		0.0354	13200		28.398	2.84
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 13200Kg/f							
τ_{ult}	2.84 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Media

Tabla 55. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1

Lectura No.	CtM1 (Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0	0	0
1	20	0.0508	10.1675	0.005	600	257.034	2.334	0.233
2	40	0.1016		0.01	2100		8.17	0.817
3	60	0.1524		0.015	3600		14.006	1.401
4	80	0.2032		0.02	5400		21.009	2.101
5	100	0.254		0.025	8400		32.68	3.268
6	120	0.3048		0.03	9600		37.349	3.735
7	140	0.3556		0.035	10200		39.683	3.968
8	160	0.4064		0.04	10500		40.851	4.085
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 10500 Kg/f							
τ_{ult}	4.085 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Media

Tabla 56. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2

Lectura No.	CtM2 (Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	$\Sigma (txL)$	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0	0	0
1	20	0.0508	9.995	0.0051	900	222.688	4.042	0.404
2	40	0.1016		0.0102	1800		8.083	0.808
3	60	0.1524		0.0152	4100		18.411	1.841
4	80	0.2032		0.0203	5700		25.596	2.56
5	100	0.254		0.0254	9000		40.415	4.042
6	120	0.3048		0.0305	9900		44.457	4.446
7	140	0.3556		0.0356	10200		45.804	4.58
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 10200 Kg/f							
τ_{ult}	4.58 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Media

Tabla 57. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3

Lectura No.	CtM3 (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	$\Sigma (txL)$	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
1	20	0.0508	10.1225	0.005	300	255.087	1.176	0.118
2	40	0.1016		0.01	1800		7.056	0.706
3	60	0.1524		0.0151	5400		21.169	2.117
4	80	0.2032		0.0201	8400		32.93	3.293
5	100	0.254		0.0251	9000		35.282	3.528
6	120	0.3048		0.0301	9900		38.81	3.881
7	140	0.3556		0.0351	10500		41.162	4.116
8	160	0.4064		0.0401	10800		42.338	4.234
9	180	0.4572		0.0452	11100		43.515	4.351
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 11100 Kg/f							
τ_{ult}	4.351 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Media

Tabla 58. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4

Lectura No.	CtM4 (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0		
1	20	0.0508	10.15	0.005	600	245.63	2.443	0.244
2	40	0.1016		0.01	1200		4.885	0.489
3	60	0.1524		0.015	2100		8.549	0.855
4	80	0.2032		0.02	7200		29.312	2.931
5	100	0.254		0.025	8700		35.419	3.542
6	120	0.3048		0.03	9600		39.083	3.908
7	140	0.3556		0.035	10500		42.747	4.275
8	160	0.4064		0.04	10800		43.969	4.397
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 10800 Kg/f							
τ_{ult}	4.397 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Superior

Tabla 59. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1

Lectura No.	CtS1 (Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0	0	0
1	20	0.0508	9.9525	0.0051	300	185.514	1.617	0.162
2	40	0.1016		0.0102	900		4.851	0.485
3	60	0.1524		0.0153	4200		22.64	2.264
4	80	0.2032		0.0204	4800		25.874	2.587
5	100	0.254		0.0255	5400		29.108	2.911
6	120	0.3048		0.0306	6000		32.342	3.234
7	140	0.3556		0.0357	6300		33.96	3.396
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 6300 Kg/f							
τ_{ult}	3.396 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Superior

Tabla 60. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2

Lectura No.	CtS2 (Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0	0	0
1	20	0.0508	10.05	0.0051	600	185.724	3.231	0.323
2	40	0.1016		0.0101	900		4.846	0.485
3	60	0.1524		0.0152	3600		19.384	1.938
4	80	0.2032		0.0202	4800		25.845	2.584
5	100	0.254		0.0253	5700		30.691	3.069
6	120	0.3048		0.0303	6000		32.306	3.231
7	140	0.3556		0.0354				
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 6000 Kg/f							
τ_{ult}	3.231 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Superior

Tabla 61. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3

Lectura No.	CtS3 (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0		
1	20	0.0508	10.01	0.0051	900	202.602	4.442	0.444
2	40	0.1016		0.0101	1500		7.404	0.74
3	60	0.1524		0.0152	3300		16.288	1.629
4	80	0.2032		0.0203	6000		29.615	2.961
5	100	0.254		0.0254	7800		38.499	3.85
6	120	0.3048		0.0304	8100		39.98	3.998
7	140	0.3556		0.0355	8700		42.941	4.294
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 8700 Kg/f							
τ_{ult}	4.294 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Superior

Tabla 62. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4

Lectura No.	CtS4 (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0		
1	20	0.0508	10.0025	0.0051	600	195.649	3.067	0.307
2	40	0.1016		0.0102	1200		6.133	0.613
3	60	0.1524		0.0152	2100		10.734	1.073
4	80	0.2032		0.0203	4800		24.534	2.453
5	100	0.254		0.0254	6600		33.734	3.373
6	120	0.3048		0.0305	7500		38.334	3.833
7	140	0.3556		0.0356	8100		41.401	4.14
8	160	0.4064		0.0406	8400		42.934	4.293
9	180	0.4572		0.0457				
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 8400 Kg/f							
τ_{ult}	4.293 Mpa							

8.2.2.2 Ensayo de corte con carga controlada Municipio de Buesaco:

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior

Tabla 63. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1.

Lectura No.	Ct11(Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0	0	0
1	20	0.0508	10.12	0.005	600	432.326	1.388	0.139
2	40	0.1016		0.01	900		2.082	0.208
3	60	0.1524		0.0151	3600		8.327	0.833
4	80	0.2032		0.0201	5400		12.491	1.249
5	100	0.254		0.0251	12000		27.757	2.776
6	120	0.3048		0.0301	12300		28.451	2.845
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 12300 Kg/f							
τ_{ult}	2.845 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior

Tabla 64. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2

Lectura No.	Ct2I (Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0	0	0
1	20	0.0508	10.215	0.005	600	401.653	1.494	0.149
2	40	0.1016		0.0099	2100		5.228	0.523
3	60	0.1524		0.0149	3300		8.216	0.822
4	80	0.2032		0.0199	6000		14.938	1.494
5	100	0.254		0.0249	10500		26.142	2.614
6	120	0.3048		0.0298	12000		29.876	2.988
7	140	0.3556		0.0348	12300		30.623	3.062
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 12300 Kg/f							
τ_{ult}	3.062 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior

Tabla 65. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3.

Lectura No.	Ct3I (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0		
1	20	0.0508	10.3275	0.0049	600	437.472	1.372	0.137
2	40	0.1016		0.0098	1800		4.115	0.411
3	60	0.1524		0.0148	5400		12.344	1.234
4	80	0.2032		0.0197	7800		17.83	1.783
5	100	0.254		0.0246	11100		25.373	2.537
6	120	0.3048		0.0295	11900		27.202	2.72
7	140	0.3556		0.0344	12300		28.116	2.812
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 12300 Kg/f							
τ_{ult}	2.812 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior

Tabla 66. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4.

Lectura No.	Ct4I (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	$\Sigma (txL)$	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0		
1	20	0.0508	10.2	0.005	600	407.184	1.474	0.147
2	40	0.1016		0.01	2100		5.157	0.516
3	60	0.1524		0.0149	6000		14.735	1.474
4	80	0.2032		0.0199	7500		18.419	1.842
5	100	0.254		0.0249	9600		23.577	2.358
6	120	0.3048		0.0295	11200		27.506	2.751
7	140	0.3556		0.0344	12300		30.207	3.021
8	160	0.4064		0.0394				
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 12300 Kg/f							
τ_{ult}	3.021 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media

Tabla 67. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1.

Lectura No.	Ct1M (Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	$\Sigma (txL)$	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0	0	0
1	20	0.0508	10.0175	0.0051	600	198.747	3.019	0.302
2	40	0.1016		0.0101	1500		7.547	0.755
3	60	0.1524		0.0152	3600		18.113	1.811
4	80	0.2032		0.0203	7200		36.227	3.623
5	100	0.254		0.0254	9000		45.284	4.528
6	120	0.3048		0.0304	9300		46.793	4.679
7	140	0.3556		0.0355				
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 9300 Kg/f							
τ_{ult}	4.679 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media

Tabla 68. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2.

Lectura No.	Ct2M (Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	$\Sigma (txL)$	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0	0	0
1	20	0.0508	10.03	0.0051	900	185.434 6	4.853	0.485
2	40	0.1016		0.0101	3300		17.796	1.78
3	60	0.1524		0.0152	6600		35.592	3.559
4	80	0.2032		0.0203	9000		48.535	4.853
5	100	0.254		0.0253	9600		51.77	5.177
6	120	0.3048		0.0304				
7	140	0.3556		0.0355				
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 9600 Kg/f							
τ_{ult}	5.177 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media

Tabla 69. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3.

Lectura No.	Ct3M (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	$\Sigma (txL)$	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0		
1	20	0.0508	10.325	0.0049	900	209.391	4.298	0.43
2	40	0.1016		0.0098	1800		8.596	0.86
3	60	0.1524		0.0148	6300		30.087	3.009
4	80	0.2032		0.0197	9300		44.415	4.441
5	100	0.254		0.0246	9600		45.847	4.585
6	120	0.3048		0.0295	9900		47.28	4.728
7	140	0.3556		0.0344				
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 9900 Kg/f							
τ_{ult}	4.728 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media

Tabla 70. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4.

Lectura No.	Ct4M (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	$\Sigma (txL)$	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0		
1	20	0.0508	10.1125	0.005	600	212.362	2.825	0.283
2	40	0.1016		0.01	1200		5.651	0.565
3	60	0.1524		0.0151	3300		15.539	1.554
4	80	0.2032		0.0201	7800		36.73	3.673
5	100	0.254		0.0251	9300		43.793	4.379
6	120	0.3048		0.0301	9900		46.618	4.662
7	140	0.3556		0.0352				
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 9900 Kg/f							
τ_{ult}	4.662 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior

Tabla 71. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 1.

Lectura No.	Ct1S (Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	$\Sigma (txL)$	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0	0	0
1	20	0.0508	10.045	0.0051	1200	163.532	7.338	0.734
2	40	0.1016		0.0101	2400		14.676	1.468
3	60	0.1524		0.0152	3600		22.014	2.201
4	80	0.2032		0.0202	4800		29.352	2.935
5	100	0.254		0.0253				
6	120	0.3048		0.0303				
7	140	0.3556		0.0354				
8	160	0.4064		0.0405				
9	180	0.4572		0.0455				
10	200	0.508		0.0506				
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 4800 Kg/f							
τ_{ult}	2.935 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior

Tabla 72. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 2.

Lectura No.	Ct2S (Sin nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0	0	0
1	20	0.0508	10.0075	0.0051	900	158.118	5.692	0.569
2	40	0.1016		0.0102	4200		26.562	2.656
3	60	0.1524		0.0152	4800		30.357	3.036
4	80	0.2032		0.0203	5400		34.152	3.415
5	100	0.254		0.0254				
6	120	0.3048		0.0305				
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 5400 Kg/f							
τ_{ult}	3.415 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior

Tabla 73. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 3.

Lectura No.	Ct3S (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	Σ (txL)	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0		
1	20	0.0508	10.01	0.0051	1500	169.769	8.836	0.884
2	40	0.1016		0.0101	3000		17.671	1.767
3	60	0.1524		0.0152	5100		30.041	3.004
4	80	0.2032		0.0203	6600		38.876	3.888
5	100	0.254		0.0254	7200		42.41	4.241
6	120	0.3048		0.0304				
7	140	0.3556		0.0355				
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 7200 Kg/f							
τ_{ult}	4.241 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior

Tabla 74. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras. Probeta 4.

Lectura No.	Ct4S (Con nudo)							
	δ en pulgadas	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	Carga (F)	$\Sigma (txL)$	τ	τ
	10 E-3"	(cm)	(cm)	$\Delta H/H$	Kg/f	cm ²	Kg/cm ²	Mpa
	0	0		0	0	0		
1	20	0.0508	10.3575	0.0049	1800	190.163 7	9.466	0.947
2	40	0.1016		0.0098	4500		23.664	2.366
3	60	0.1524		0.0147	5400		28.397	2.84
4	80	0.2032		0.0196	6000		31.552	3.155
5	100	0.254		0.0245	6600		34.707	3.471
6	120	0.3048		0.0294				
7	140	0.3556		0.0343				
Falla	La probeta falló cuando se aplicó una carga de 6600 Kg/f							
τ_{ult}	3.471 Mpa							

8.2.3 Ensayo de tracción paralela a las fibras. Para las tablas correspondientes al ensayo de tracción paralela a las fibras que se enumeran a continuación se realizaron los siguientes cálculos:

- Deflexión: Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta H = \frac{\delta}{10} \quad [14]$$

En donde:

ΔH deflexión en mm

δ deflexión. Dato inicial en cm

- Deflexión unitaria: Se utiliza la ecuación [8], $\delta_{unitaria} = \frac{\Delta H}{H}$
- H, longitud de la probeta en mm, según la norma NTC 5525 la longitud de la probeta es de 100 mm, además H=L

- Área corregida: Se calcula con la ecuación [9], $A_{\text{corregida}} = A - \Delta H$
- El esfuerzo de tensión se determina con la fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [15]$$

En donde:

σ es el esfuerzo de tracción, en N/mm²

F carga aplicada a la probeta en N

A es el área de la sección transversal en mm², calculada en el capítulo 9.1.3 su ecuación es:

$$A = b * L \quad [16]$$

En donde:

b es la porción tomada transversalmente (ancho de la probeta) en mm,

L longitud de la probeta en mm, además L=H.

- El esfuerzo último de tracción se determina con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A} \quad [17]$$

En donde:

σ_{ult} es el esfuerzo último de tracción, en N/mm².

F_{ult} es el valor de la carga aplicada en la cual falla la probeta, expresada en KN.

A es el área media de la sección transversal de la porción de ensayo, expresada en mm². Fórmula [16]. $A = b * L$.

Nota: 1 N/mm² = 1 Mpa, y para transformar 1 KN a 1 N se debe dividir entre 1000

A continuación se relacionan sus respectivas memorias de cálculo.

**8.2.3.1 Ensayo de tracción paralela a las fibras con carga controlada
Municipio de Chachagüi:**

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior.

Tabla 75. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1.

Lectura No.	1 I							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.5	0.05	100	0.0005	1990	1990	4	2.01
2	0.8	0.08		0.0008		1990	8	4.02
3	1.1	0.11		0.0011		1990	12	6.03
4	1.5	0.15		0.0015		1990	16	8.04
5	1.9	0.19		0.0019		1990	20	10.05
6	3	0.3		0.003		1990	22.8	11.457
7								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 22.8 KN							
σ_{ult}	11.46 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior.

Tabla 76. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2.

Lectura No.	2 I							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.7	0.07	100	0.0007	2030	2030	4	1.97
2	1.3	0.13		0.0013		2030	8	3.941
3	2	0.2		0.002		2030	12	5.911
4	7.15	0.715		0.00715		2029.99	15	7.389
5								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 15 KN							
σ_{ult}	7.39 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior.

Tabla 77. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3.

Lectura No.	3 I							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.8	0.08	100	0.0008	2080	2080	4	1.923
2	1.4	0.14		0.0014		2080	8	3.846
3	1.7	0.17		0.0017		2080	12	5.769
4	3.3	0.33		0.0033		2080	16	7.692
5	4.4	0.44		0.0044		2080	17.85	8.582
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 17.85 KN							
σ_{ult}	8.58 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Inferior.

Tabla 78. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.

Lectura No.	4 I							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.7	0.07	100	0.0007	2040	2040	4	1.961
2	1	0.1		0.001		2040	8	3.922
3	1.9	0.19		0.0019		2040	12	5.882
4	3.4	0.34		0.0034		2040	16	7.843
5	4	0.4		0.004		2040	17.4	8.529
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 17.4 KN							
σ_{ult}	8.53 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Media.

Tabla 79. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1

Lectura No.	1 M							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.8	0.08	100	0.0008	2046.67	2046.67	4	1.954
2	1.1	0.11		0.0011		2046.67	8	3.909
3	1.3	0.13		0.0013		2046.67	12	5.863
4	2.4	0.24		0.0024		2046.66	16	7.818
5	3.9	0.39		0.0039		2046.66	20	9.772
6	4.1	0.41		0.0041		2046.66	21.19	10.353
7								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 21.19 KN							
σ_{ult}	10.35 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Media.

Tabla 80. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2

Lectura No.	2 M							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.7	0.07	100	0.0007	2060	2060	4	1.942
2	1	0.1		0.001		2060	8	3.883
3	1.8	0.18		0.0018		2060	12	5.825
4	3.7	0.37		0.0037		2060	16	7.767
5	4.5	0.45		0.0045		2060	19.1	9.272
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 19.1 KN							
σ_{ult}	9.27 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Media.

Tabla 81. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3

Lectura No.	3 M							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.6	0.06	100	0.0006	1980	1980	4	2.02
2	1	0.1		0.001		1980	8	4.04
3	1.9	0.19		0.0019		1980	12	6.061
4	3.1	0.31		0.0031		1980	16	8.081
5	3.6	0.36		0.0036		1980	18.55	9.369
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 18.55 KN							
σ_{ult}	9.37 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Media.

Tabla 82. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.

Lectura No.	4 M							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.6	0.06	100	0.0006	1976.67	1976.67	4	2.024
2	1.2	0.12		0.0012		1976.67	8	4.047
3	1.4	0.14		0.0014		1976.67	12	6.071
4	3.9	0.39		0.0039		1976.66	16	8.094
5	4.4	0.44		0.0044		1976.66	18.21	9.212
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 18.21 KN							
σ_{ult}	9.21 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Superior.

Tabla 83. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1.

Lectura No.	1 S							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.6	0.06	100	0.0006	2080.00	2080	4	1.923
2	1.2	0.12		0.0012		2080	8	3.846
3	1.6	0.16		0.0016		2080	12	5.769
4	2.4	0.24		0.0024		2080	14.7	7.067
5								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 14.7 KN							
σ_{ult}	7.07 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Superior.

Tabla 84. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2.

Lectura No.	2 S							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	1.1	0.11	100	0.0011	2050	2050	4	1.951
2	1.9	0.19		0.0019		2050	8	3.902
3	2.4	0.24		0.0024		2050	12	5.854
4	3.3	0.33		0.0033		2050	16	7.805
5	4.1	0.41		0.0041		2050	17.1	8.341
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 17.1 KN							
σ_{ult}	8.34 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Superior.

Tabla 85. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3.

Lectura No.	3 S							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	1.2	0.12	100	0.0012	2103.33	2103.33	4	1.902
2	2	0.2		0.002		2103.33	8	3.803
3	2.7	0.27		0.0027		2103.33	12	5.705
4	3.5	0.35		0.0035		2103.33	16	7.607
5	4.2	0.42		0.0042		2103.33	17.42	8.282
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 17.42 KN							
σ_{ult}	8.28 Mpa							

UBICACIÓN: CHACHAGÜI. Parte Superior.

Tabla 86. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.

Lectura No.	4 S							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.8	0.08	100	0.0008	2036.67	2036.67	4	1.964
2	1.5	0.15		0.0015		2036.67	8	3.928
3	2.4	0.24		0.0024		2036.66	12	5.892
4	3	0.3		0.003		2036.66	16	7.856
5	3.6	0.36		0.0036		2036.66	16.2	7.954
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 16.2 KN							
σ_{ult}	7.95 Mpa							

**8.2.3.2 Ensayo de tracción paralela a las fibras con carga controlada
Municipio de Buesaco:**

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior.

Tabla 87. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1.

Lectura No.	1 I							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.6	0.06	100	0.0006	2186.67	2186.67	4	1.829
2	1.2	0.12		0.0012		2186.67	8	3.659
3	1.7	0.17		0.0017		2186.66	12	5.488
4	2.1	0.21		0.0021		2186.66	16	7.317
5	2.6	0.26		0.0026		2186.66	20	9.146
6	4.2	0.42		0.0042		2186.66	23.65	10.816
7								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 23.65 KN							
σ_{ult}	10.82 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior.

Tabla 88. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2.

Lectura No.	2 I							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.6	0.06	100	0.0006	2263.33	2263.33	4	1.767
2	1.1	0.11		0.0011		2263.33	8	3.535
3	1.8	0.18		0.0018		2263.33	12	5.302
4	2.6	0.26		0.0026		2263.33	16	7.069
5	3.1	0.31		0.0031		2263.33	20	8.837
6	3.7	0.37		0.0037		2263.33	22.26	9.835
7								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 22.26 KN							
σ_{ult}	9.84 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior.

Tabla 89. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3.

Lectura No.	3 I							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.4	0.04	100	0.0004	2006.67	2006.67	4	1.993
2	0.9	0.09		0.0009		2006.67	8	3.987
3	1.6	0.16		0.0016		2006.67	12	5.98
4	1.9	0.19		0.0019		2006.66	15.5	7.724
5								
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 15.5 KN							
σ_{ult}	7.72 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Inferior.

Tabla 90. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.

Lectura No.	4 I							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.7	0.07	100	0.0007	2330.00	2330	4	1.717
2	1.1	0.11		0.0011		2330	8	3.433
3	1.9	0.19		0.0019		2330	12	5.15
4	2.4	0.24		0.0024		2330	16	6.867
5	2.7	0.27		0.0027		2330	17.5	7.511
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 17.5 KN							
σ_{ult}	7.51 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media.

Tabla 91. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1.

Lectura No.	1 M							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.5	0.05	100	0.0005	2306.67	2306.67	4	1.734
2	0.6	0.06		0.0006		2306.67	8	3.468
3	1	0.1		0.001		2306.67	12	5.202
4	2.2	0.22		0.0022		2306.66	16	6.936
5	4.2	0.42		0.0042		2306.66	18.6	8.064
6								
7								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 18.6 KN							
σ_{ult}	8.06 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media.

Tabla 92. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2.

Lectura No.	2 M							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.7	0.07	100	0.0007	2143.33	2143.33	4	1.866
2	1.1	0.11		0.0011		2143.33	8	3.733
3	1.8	0.18		0.0018		2143.33	12	5.599
4	2.2	0.22		0.0022		2143.33	16	7.465
5	2.6	0.26		0.0026		2143.33	16.3	7.605
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 16.3 KN							
σ_{ult}	7.6 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media.

Tabla 93. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3.

Lectura No.	3 M							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.4	0.04	100	0.0004	2166.67	2166.67	4	1.846
2	0.8	0.08		0.0008		2166.67	8	3.692
3	1.5	0.15		0.0015		2166.67	12	5.538
4	2.4	0.24		0.0024		2166.66	16	7.385
5	2.8	0.28		0.0028		2166.66	17.2	7.938
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 17.2 KN							
σ_{ult}	7.94 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Media.

Tabla 94. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.

Lectura No.	4 M							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.6	0.06	100	0.0006	2190.00	2190	4	1.826
2	1.4	0.14		0.0014		2190	8	3.653
3	1.8	0.18		0.0018		2190	12	5.479
4	2.4	0.24		0.0024		2190	16	7.306
5	2.8	0.28		0.0028		2190	16.8	7.671
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 16.8 KN							
σ_{ult}	7.67 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior.

Tabla 95. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 1.

Lectura No.	1 S							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.9	0.09	100	0.0009	2303.33	2303.33	4	1.737
2	1.7	0.17		0.0017		2303.33	8	3.473
3	2.6	0.26		0.0026		2303.33	12	5.21
4	3.5	0.35		0.0035		2303.33	15.1	6.556
5								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 15.1 KN							
σ_{ult}	6.56 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior.

Tabla 96. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 2.

Lectura No.	2 S							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.7	0.07	100	0.0007	2313.33	2313.33	4	1.729
2	1.3	0.13		0.0013		2313.33	8	3.458
3	2.1	0.21		0.0021		2313.33	12	5.187
4	3.1	0.31		0.0031		2313.33	14.3	6.182
5								
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 14.3 KN							
σ_{ult}	6.18 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior.

Tabla 97. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 3.

Lectura No.	3 S							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	1.1	0.11	100	0.0011	2290	2290	4	1.747
2	2.1	0.21		0.0021		2290	8	3.493
3	2.6	0.26		0.0026		2290	12	5.24
4	3.4	0.34		0.0034		2290	15.2	6.638
5								
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 15.2 KN							
σ_{ult}	6.64 Mpa							

UBICACIÓN: BUESACO. Parte Superior.

Tabla 98. Resultados ensayo de tracción paralelo a las fibras. Probeta 4.

Lectura No.	4 S							
	δ	ΔH	H	$\delta_{unitaria}$	A	A corregida	Carga (F)	σ
	cm	mm	mm	$\Delta H/H$	(mm ²)	(mm ²)	KN	Mpa
	0	0		0		0	0	
1	0.8	0.08	100	0.0008	2320.00	2320	4	1.724
2	1.5	0.15		0.0015		2320	8	3.448
3	2.3	0.23		0.0023		2320	12	5.172
4	3	0.3		0.003		2320	14.2	6.121
5								
6								
Falla	La probeta falló cuando se aplico una carga de 14.2 KN							
σ_{ult}	6.12 Mpa							

8.2.4 Ensayo de flexión. Para un mejor análisis de la flexión en las probetas de guadua se utilizarán muestras de diferente longitud: Largas (3.0 mts), intermedias (2.0 mts) y cortas (1.0 mts).

Para las tablas correspondientes al ensayo de Flexión que se enumeran a continuación se realizaron los siguientes cálculos:

L, D, d, t y F son datos iniciales descritos en el capítulo 9.1.4 (Datos iniciales para ensayo de flexión)

- Momento de inercia. Determinado por la ecuación [6],

$$I_B = \frac{\pi}{64} * [D^4 - (D - 2t)^4]$$

- La resistencia última, σ_{ult} en MPa (o N/mm²), en la flexión estática con el contenido de humedad en el momento del ensayo está determinado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{ult} = [F * L * \frac{D/2}{6}] / I_B \quad [18]$$

En donde

σ_{ult} es la resistencia última expresada en Mpa (o N/mm²)

F es la carga máxima aplicada en Kg, (la carga total aplicada en los dos puntos de carga).

L es la luz, en cm (o espacio de separación entre apoyos)

D es el diámetro externo, en cm.

I_B es momento de inercia, en cm⁴. Fórmula [6] la cual reemplazamos en [18].

A continuación se relacionan sus respectivas memorias de cálculo.

8.2.4.1 Ensayo de flexión Municipio de Chachagüi:

UBICACIÓN: CHACHAGÜI

Tabla 99. Resultados ensayo de flexión- probetas largas (L=3.0 mts)

Probeta	L	D	d	t	F	F/2	IB	σ_{Ult}	σ_{Ult}
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg)	(cm ⁴)	kg/cm ²	Mpa
Flx 1		12.04	7.12	2.48					
		11.5	7.02	2.22					
Promedio:	300	11.77	7.07	2.350	622	311	818.994	223.474	22.347
Flx 2		11.93	7.77	2.14					
		11.2	7.41	2.08					
Promedio:	300	11.565	7.59	2.11	540	270	734.876	212.454	21.245
Flx 3		12.25	7.26	2.48					
		12.08	7.12	2.42					
Promedio:	300	12.165	7.19	2.45	703	351.5	937.804	227.979	22.798
Flx 4		11.56	7.28	2.12					
		11.22	7.16	2.02					
Promedio:	300	11.39	7.22	2.07	578	289	690.192	238.463	23.846

UBICACIÓN: CHACHAGÜI

Tabla 100. Resultados ensayo de flexión- probetas intermedias (L=2.0 mts)

Probeta	L	D	d	t	F	F/2	IB	σ_{Ult}	σ_{Ult}
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg)	(cm ⁴)	kg/cm ²	Mpa
Flx 5		10.88	7.15	1.85					
		10.45	7.03	1.68					
Promedio:	200	10.665	7.09	1.765	582	291	507.583	203.810	20.381
Flx 6		10.32	7.26	1.54					
		10.01	7.14	1.42					
Promedio:	200	10.165	7.2	1.48	552	276	391.600	238.810	23.881
Flx 7		9.79	7.05	1.36					
		9.45	6.88	1.26					
Promedio:	200	9.62	6.965	1.310	487	243.5	302.395	258.213	25.821
Flx 8		9.55	7.01	1.28					
		9.34	6.91	1.18					
Promedio:	200	9.445	6.96	1.23	421	210.5	273.650	242.179	24.218

UBICACIÓN: CHACHAGÜI

Tabla 101. Resultados ensayo de flexión- probetas cortas (L=1.0 mts)

Probeta	L	D	d	t	F	F/2	IB	σ_{Ult}	σ_{Ult}
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg)	(cm ⁴)	kg/cm ²	Mpa
Flx 9		8.94	6.6	1.18					
		8.82	6.49	1.11					
Promedio:	100	8.88	6.545	1.145	560	280	212.540	194.975	19.498
Flx 10		8.65	6.42	1.08					
		8.24	6.12	1.04					
Promedio:	100	8.445	6.27	1.06	543	271.5	171.023	223.442	22.344
Flx 911		8.24	6.12	1.1					
		8.11	6.14	1					
Promedio:	100	8.175	6.13	1.050	522	261	152.305	233.487	23.349
Flx 12		8.01	6.13	1.05					
		7.89	5.88	0.95					
Promedio:	100	7.95	6.005	1	512	256	134.491	252.210	25.221

8.2.4.2 Ensayo de flexión Municipio de Buesaco

UBICACIÓN: BUESACO

Tabla 102. Resultados ensayo de flexión- probetas largas (L=3.0 mts)

Probeta	L	D	d	t	F	F/2	IB	σ_{Ult}	σ_{Ult}
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg)	(cm ⁴)	kg/cm ²	Mpa
Flx 1		12.42	7.26	2.56					
		12.33	7.19	2.52					
Promedio:	300	12.375	7.225	2.540	782	391	1011.669	239.141	23.914
Flx 2		12.27	7.29	2.48					
		12.06	7.22	2.44					
Promedio:	300	12.165	7.255	2.46	777	388.5	939.302	251.575	25.158
Flx 3		12.7	7.47	2.62					
		12.65	7.46	2.58					
Promedio:	300	12.675	7.465	2.6	844	422	1113.137	240.260	24.026
Flx 4		12.21	7.35	2.45					
		12.14	7.32	2.39					
Promedio:	300	12.175	7.335	2.42	711	355.5	935.997	231.209	23.121

UBICACIÓN: BUESACO

Tabla 103. Resultados ensayo de flexión- probetas intermedias (L=2.0 mts)

Probeta	L	D	d	t	F	F/2	IB	σ_{Ult}	σ_{Ult}
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg)	(cm ⁴)	kg/cm ²	Mpa
Flx 5		11.45	8.38	1.54					
		11.32	8.26	1.46					
Promedio:	200	11.385	8.32	1.5	702	351	581.765	228.966	22.897
Flx 6		10.87	8.44	1.24					
		10.81	8.39	1.18					
Promedio:	200	10.84	8.415	1.21	580	290	430.831	243.220	24.322
Flx 7		9.99	7.52	1.26					
		9.87	7.43	1.22					
Promedio:	200	9.93	7.475	1.240	452	226	325.893	229.542	22.954
Flx 8		9.42	6.99	1.22					
		9.31	6.92	1.18					
Promedio:	200	9.365	6.955	1.2	391	195.5	261.921	233.004	23.300

UBICACIÓN: BUESACO

Tabla 104. Resultados ensayo de flexión- probetas cortas (L=1.0 mts)

Probeta	L	D	d	t	F	F/2	IB	σ_{Ult}	σ_{Ult}
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg)	(cm ⁴)	kg/cm ²	Mpa
Flx 9		8.44	6.2	1.12					
		8.36	6.12	1.09					
Promedio:	100	8.4	6.16	1.105	584	292	172.238	237.346	23.735
Flx 10		8.39	6.24	1.1					
		8.26	6.16	1.03					
Promedio:	100	8.325	6.2	1.065	512	256	163.398	217.384	21.738
Flx 911		8.23	6.14	1.06					
		8.17	6.12	1					
Promedio:	100	8.2	6.13	1.030	502	251	152.092	225.544	22.554
Flx 12		7.75	5.9	0.88					
		7.66	5.7	0.85					
Promedio:	100	7.705	5.8	0.865	316	158	110.386	183.808	18.381

8.2.5 Propiedades físicas de la guadua *angustifolia*. Para complementar el estudio de esta investigación es necesario determinar las propiedades físicas de la guadua: Contenido de humedad, densidad y contracción.

8.2.5.1 Contenido de humedad (CH). El contenido de humedad (CH) de cada probeta se debe calcular como la pérdida de masa, expresada como porcentaje de la masa seca al horno, usando la ecuación [3]

$$CH = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100$$

En donde m es la masa de la probeta antes del secado en gr y m_0 es la masa de la probeta después del secado en gr.

A continuación se relacionan sus respectivas memorias de cálculo.

Tabla 105. Resultados control de humedad para ensayo de compresión. Municipio de Chachagüi

Parte inferior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1 I	327.8	240.8	129.3	129.3	153.52
CH2 I	343.7	236.6	136.5	136.3	152.16
CH3 I	344.6	251.2	132.5	132.4	160.27
CH4 I	492	304.6	186.01	185.9	164.66
Parte media					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1M	165.3	64.7	63.72	63.7	159.50
CH2M	176.7	76.5	65.66	65.7	168.95
CH3M	192	74.1	72.32	72.2	165.93
CH4M	219.4	83.1	82.23	82.1	167.24
Parte superior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1S	103.2	47.5	46.8	46.32	122.80
CH2S	112.4	53.2	50.1	50.1	124.35
CH3S	148	66.2	56.1	55.9	164.76
CH4S	149.6	64.6	57.3	57	162.46

CH (Máximo): 168.95 %

CH (Mínimo): 122.80 %

CH (Promedio): 145.87%

Tabla 106. Resultados control de humedad para ensayo de compresión. Municipio de Buesaco.

Parte inferior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1 I	232	186.32	119.4	119.3	94.47
CH2 I	238	176.21	121.32	121.3	96.21
CH3 I	254	201.2	129.35	129.34	96.38
CH4 I	246	180.31	125.9	125.9	95.39
Parte media					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1M	148	103.51	76.4	76.3	93.97
CH2M	138	100.22	74.24	73.24	88.42
CH3M	136	91.98	71.21	71.23	90.93
CH4M	134	96.87	71.23	70.2	90.88
Parte superior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1S	102	76.58	68.01	67.99	50.02
CH2S	100	76.52	67.4	66.3	50.83
CH3S	98	71.02	64.78	64.52	51.89
CH4S	100	77.51	66.01	65.87	51.81

CH (Máximo): 96.38 %

CH (Mínimo): 50.02 %

CH (Promedio): 73.20 %

Dentro de las variables utilizadas en la tabla 106 son:

CH es el contenido de humedad,

m es la masa de la probeta antes del secado en gr y

m_0 es la masa de la probeta después del secado en gr.

Tabla 107. Resultados control de humedad para ensayo de tracción paralela a las fibras. Municipio de Chachagüi

Parte inferior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1I	107.50	51.36	129.3	50	115.00
CH2I	115.60	50.69	136.5	48.93	136.26
CH3I	107.10	52.92	132.5	51.22	109.10
CH4I	106.48	51.23	50.12	50.01	112.92
Parte media					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1M	91.2	45.42	44.81	44.5	104.94
CH2M	90	45	43.9	43.9	105.01
CH3M	83.6	41.9	41.1	40.4	106.93
CH4M	80	39.8	38.7	38.6	107.25
Parte superior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1S	103.2	48.5	47.3	46.9	120.04
CH2S	72.3	35.8	35	34.5	109.57
CH3S	65.3	33.4	32.6	32.4	101.54
CH4S	62.3	32.5	31.9	31.4	98.41

CH (Máximo): 136.26 %

CH (Mínimo): 98.41 %

CH (Promedio): 117.33 %

Dentro de las variables utilizadas en la tabla 107 son:

CH es el contenido de humedad,

m es la masa de la probeta antes del secado en gr y

m_0 es la masa de la probeta después del secado en gr.

Tabla 108. Resultados control de humedad para ensayo de tracción paralela a las fibras. Municipio de Buesaco

Parte inferior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1I	182.90	144.05	102.63	102.56	78.33
CH2I	174.70	138.26	96.02	95.27	83.37
CH3I	168.40	131.33	91.98	91.21	84.63
CH4I	165.80	135.29	88.7	88.69	86.94
Parte media					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1M	153.90	107.14	80.01	80	92.38
CH2M	141.60	96.54	76.7	76.55	84.98
CH3M	126.50	90.12	71.85	71.2	77.67
CH4M	118.40	83.44	65.6	65.3	81.32
Parte superior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1S	119.70	81.2	68.62	68.2	75.51
CH2S	112.60	74.2	64.23	64.21	75.36
CH3S	103.50	75.85	69.12	69.03	49.93
CH4S	98.60	73.9	67.8	67.7	45.64

CH (Máximo): 92.38 %

CH (Mínimo): 45.64 %

CH (Promedio): 69.01 %

Dentro de las variables utilizadas en la tabla 108 son:

CH es el contenido de humedad,

m es la masa de la probeta antes del secado en gr y

m_0 es la masa de la probeta después del secado en gr.

Tabla 109. Resultados control de humedad para ensayo de corte paralelo a las fibras y ensayo de flexión. Municipio de Chachagüi

Parte inferior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1I	341.25	280.8	162.3	161.55	111.23
CH2I	347.51	276.6	168.8	168.2	106.61
CH3I	352.30	283.3	182.2	182	93.57
CH4I	358.89	290.1	191.4	191.21	87.69
Parte media					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1M	206.6	102.2	96.21	96.4	114.32
CH2M	192.36	99.1	86.35	86.3	122.90
CH3M	259.26	133.5	120.99	120.8	114.62
CH4M	211.87	107.8	97.1	96.71	119.08
Parte superior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1S	130.98	69.62	61.2	60.23	117.47
CH2S	110.5	56.7	51.4	51.4	114.98
CH3S	120.98	63.25	58.63	58.6	106.45
CH4S	133.06	66.2	62.4	62.3	113.58

CH (Máximo): 122.90 %

CH (Mínimo): 87.69 %

CH (Promedio): 105.30 %

Dentro de las variables utilizadas en la tabla 109 son:

CH es el contenido de humedad,

m es la masa de la probeta antes del secado en gr y

m_0 es la masa de la probeta después del secado en gr.

Tabla 110. Resultados control de humedad para ensayo de corte paralelo a las fibras y ensayo de flexión. Municipio de Buesaco.

Parte inferior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1I	450.00	272.4	234.2	234	92.31
CH2I	434.00	281.3	230.3	229.6	89.02
CH3I	388.00	251.36	203.5	203.2	90.94
CH4I	406.00	258.32	214.6	213.3	90.34
Parte media					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1M	208.00	132.5	122.1	122.1	70.35
CH2M	206.00	141.4	122	119.8	71.95
CH3M	196.00	142.3	116.3	116	68.97
CH4M	172.00	116.7	101.5	100	72.00
Parte superior					
Probeta	m (gr)	mo (gr)			CH (%)
		mo1	mo2	mo3	
CH1S	146.00	82.5	75.8	75.1	94.41
CH2S	144.00	80.3	78.8	78.6	83.21
CH3S	117.00	74.5	62.8	62.5	87.20
CH4S	120.00	76.2	64.1	63.7	88.38

CH (Máximo): 94.41 %

CH (Mínimo): 68.97 %

CH (Promedio): 81.69 %

Dentro de las variables utilizadas en la tabla 110 son:

CH es el contenido de humedad,

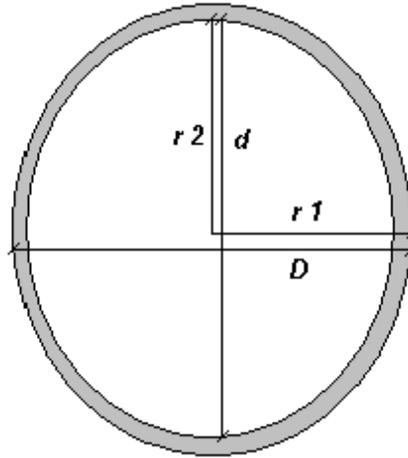
m es la masa de la probeta antes del secado en gr y

m_0 es la masa de la probeta después del secado en gr.

8.2.5.2 Densidad (ρ). Para las tablas correspondientes al análisis de la densidad de las probetas ensayadas que se enumeran a continuación se realizaron los siguientes cálculos:

Radio: en el siguiente gráfico observamos la distribución de r1 y r2 en las probetas de guadua, los cuales se determinan con las siguientes ecuaciones:

Figura 5. Distribución de r1 y r2 en las probetas de guadua.



$$r1 = \frac{D}{2} \quad [19]$$

En donde:

r1 radio mayor en cm,

D diámetro externo en cm.

$$r2 = \frac{d}{2} \quad [20]$$

En donde:

r2 radio menor en cm,

d diámetro interno en cm.

Volumen: Para determinar el volumen total de la muestra de guadua se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$V1 = \pi * (r1)^2 * H \quad [21]$$

En donde:

V1 volumen 1 en cm³,

r1 radio mayor en cm, calculado con fórmula [19],

H altura de la probeta en cm.

$$V2 = \pi * (r2)^2 * H \quad [22]$$

En donde:

V2 volumen 2 en cm³,

r2 radio mayor en cm, calculado con la ecuación [20],

H altura de la probeta en cm.

Y para determinar el volumen total de la probeta se utiliza la siguiente ecuación.

$$V_T = V1 - V2 \quad [23]$$

En donde:

V_T volumen total de la probeta en m³,

V1 y V2, volumen 1 y volumen 2 respectivamente en cm³.

- Densidad: Para determinar la densidad de las probetas se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho = \left(\frac{m_s}{V_T} \right) \times 10^6 \quad [24]$$

En donde:

ρ Densidad, en Kg/m³,

m_s es la masa de la probeta seca en el horno, en Kg,

V_T volumen total determinado por la ecuación [23] en cm³.

A continuación se relacionan sus respectivas memorias de cálculo.

Tabla 111. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte inferior. Municipio de Chachagüi

Probeta	Datos iniciales								Cálculo y expresión de resultados				ρ kg/m ³
	H	D	r1	d	r2	m (Húmedo)	m _s	m _s	V1	V2	V _T	V _T	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(Kg)	cm ³	cm ³	cm ³	m ³	
ρ_{1l}						327.8	129.3	0.129	554.758	252.709	302.048	3.020	42807.73
	4.88	11.97	5.985	8.01	4.005								
	4.99	11.8	5.9	8.05	4.025								
		12.13	6.065	8.17	4.085								
Promedio:	4.935	11.967	5.983	8.077	4.038								
ρ_{2l}						343.7	136.3	0.136	584.610	266.314	318.296	3.183	42821.75
	5.1	12.17	6.085	8.29	4.145								
	5.09	12	6	8.1	4.05								
		12.1	6.05	8.09	4.045								
Promedio:	5.095	12.090	6.045	8.160	4.080								
ρ_{3l}						344.6	132.4	0.132	607.722	281.183	326.539	3.265	40546.49
	5.2	12.3	6.15	8.31	4.155								
	5.3	12.09	6.045	8.15	4.075								
		12.04	6.02	8.32	4.16								
Promedio:	5.25	12.143	6.072	8.260	4.130								
ρ_{4l}						492	185.9	0.186	667.758	184.005	483.753	4.838	38428.74
	5.07	12.83	6.415	6.77	3.385								
	5.26	12.77	6.385	6.71	3.355								
		12.9	6.45	6.73	3.365								
Promedio:	5.165	12.833	6.416	6.736	3.368^o								

Tabla 112. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte media. Municipio de Chachagüi

Probeta	Datos iniciales						Cálculo y expresión de resultados						ρ kg/m ³
	H	D		d	r2	m (Húmedo)	m _s	m _s	V1	V2	V _T	V _T	
	(cm)	(cm)	kg/m ³	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(Kg)	cm ³	cm ³	cm ³	m ³	
ρ1M						165.3	63.7	0.064	338.663	178.658	160.005	1.600	39811.36
	5.08	9.34	4.67	6.74	3.37								
	5.07	9.2	4.6	6.63	3.315								
	9.12	4.56	6.72	3.36									
Promedio:	5.075	9.220	4.610	6.697	3.348								
ρ2M						176.7	65.7	0.066	358.665	193.416	165.249	1.652	39758.28
	5.01	9.46	4.73	6.91	3.455								
	4.83	9.7	4.85	7.18	3.59								
	9.75	4.875	7.14	3.57									
Promedio:	4.920	9.637	4.818	7.077	3.538								
ρ3M						192	72.2	0.072	395.706	216.171	179.535	1.795	40215.05
	4.98	9.88	4.94	7.21	3.605								
	4.89	10.35	5.175	7.57	3.785								
	10.09	5.045	7.63	3.815									
Promedio:	4.935	10.107	5.053	7.470	3.735								
ρ4M						219.4	82.1	0.082	445.847	222.750	223.097	2.231	36800.22
	4.92	10.79	5.395	7.85	3.925								
	4.94	10.68	5.34	7.2	3.6								
	10.73	5.365	7.71	3.855									
Promedio:	4.930	10.733	5.367	7.587	3.793								

Tabla 113. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte superior. Municipio de Chachagüi.

Probeta	Datos iniciales						Cálculo y expresión de resultados						
	H	D		d	r2	m (Húmedo)	m _s	m _s	V1	V2	V _T	V _T	ρ
	(cm)	(cm)	kg/m ³	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(Kg)	cm ³	cm ³	cm ³	m ³	kg/m ³
ρ1S						103.2	46.32	0.046	197.649	94.024	103.625	1.036	44699.85
	5.13	7.01	3.505	4.86	2.43								
	5.04	7.11	3.555	4.92	2.46								
		6.99	3.495	4.78	2.39								
Promedio:	5.085	7.037	3.518	4.853	2.427								
ρ2S						112.4	50.1	0.050	218.288	109.868	108.420	1.084	46209.15
	4.97	7.43	3.715	5.22	2.61								
		7.52	3.76	5.32	2.66								
		7.49	3.745	5.38	2.69								
Promedio:	4.970	7.480	3.740	5.307	2.653								
ρ3S						148	55.9	0.056	302.625	147.978	154.647	1.546	36146.74
	5.07	8.63	4.315	6.08	3.04								
	5.14	8.73	4.365	6.02	3.01								
		8.71	4.355	6.13	3.065								
Promedio:	5.105	8.690	4.345	6.077	3.038								
ρ4S						134	52.6	0.053	319.505	173.572	145.934	1.459	36043.81
	5.01	8.82	4.41	6.58	3.29								
		9.01	4.505	6.7	3.35								
		9.21	4.605	6.65	3.325								
Promedio:	5.010	9.013	4.507	6.643	3.322								

Tabla 114. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte inferior. Municipio de Buesaco.

Probeta	Datos iniciales								Cálculo y expresión de resultados				ρ kg/m ³
	H	D	r1	d	r2	m (Húmedo)	m _s	m _s	V1	V2	V _T	V _T	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(Kg)	cm ³	cm ³	cm ³	m ³	
ρ1l	5.32	11.6	5.8	8.78	4.39	232	119.3	0.119	533.382	305.807	227.575	2.276	52422.29
	5.43	11.01	5.505	8.45	4.225								
		11.12	5.56	8.31	4.155								
Promedio:	5.375	11.243	5.622	8.513	4.257								
ρ2l	5.33	11.58	5.79	8.39	4.195	238	121.3	0.121	535.716	302.109	233.608	2.336	51924.70
	5.29	11.12	5.56	8.71	4.355								
		11.31	5.655	8.44	4.22								
Promedio:	5.310	11.337	5.668	8.513	4.257								
ρ3l	5.17	11.28	5.64	8.29	4.145	254	129.3 4	0.129	517.164	277.745	239.418	2.394	54022.59
	5.21	11.32	5.66	8.27	4.135								
		11.2	5.6	8.21	4.105								
Promedio:	5.190	11.267	5.633	8.257	4.128								
ρ4l	5.22	11.34	5.67	8.24	4.12	246	125.9	0.126	543.886	286.077	257.810	2.578	48834.49
	5.48	11.4	5.7	8.31	4.155								
		11.4	5.7	8.21	4.105								
Promedio:	5.350	11.380	5.690	8.253	4.127								

Tabla 115. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte media. Municipio de Buesaco.

Probeta	Datos iniciales								Cálculo y expresión de resultados				ρ kg/m ³
	H	D	r1	d	r2	m (Húmedo)	m _s	m _s	V1	V2	V _T	V _T	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(Kg)	cm ³	cm ³	cm ³	m ³	
ρ1M						148	76.3	0.076	320.267	172.174	148.093	1.481	51521.59
	5.18	8.93	4.465	6.55	3.275								
	5.16	8.82	4.41	6.41	3.205								
		8.9	4.45	6.58	3.29								
Promedio:	5.170	8.883	4.442	6.513	3.257								
ρ2M						138	73.24	0.073	299.694	163.350	136.344	1.363	53716.96
	5.07	8.75	4.375	6.33	3.165								
	5.08	8.53	4.265	6.4	3.2								
		8.74	4.37	6.48	3.24								
Promedio:	5.075	8.673	4.337	6.403	3.202								
ρ3M						136	71.23	0.071	280.250	157.430	122.819	1.228	57995.72
	5.1	8.4	4.2	6.25	3.125								
	5.19	8.37	4.185	6.31	3.155								
		8.22	4.11	6.17	3.085								
Promedio:	5.145	8.330	4.165	6.243	3.122								
ρ4M						134	70.2	0.070	284.979	145.559	139.420	1.394	50351.39
	5.15	8.35	4.175	6.08	3.04								
	5.14	8.44	4.22	6.12	3.06								
		8.41	4.205	5.81	2.905								
Promedio:	5.145	8.400	4.200	6.003	3.002								

Tabla 116. Resultados densidad para ensayos mecánicos (Compresión, tracción, corte y flexión). Parte superior. Municipio de Buesaco.

Probeta	Datos iniciales								Cálculo y expresión de resultados				ρ kg/m ³
	H	D	r1	d	r2	m (Húmedo)	m _s	m _s	V1	V2	V _T	V _T	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(Kg)	cm ³	cm ³	cm ³	m ³	
ρ1S						102	67.99	0.068	212.731	109.247	103.484	1.035	65701.23
	5.02	7.39	3.695	5.4	2.7								
	5.04	7.32	3.66	5.12	2.56								
		7.31	3.655	5.26	2.63								
Promedio:	5.030	7.340	3.670	5.260	2.630								
ρ2S						100	66.3	0.066	203.353	110.703	92.650	0.926	71559.86
	5.09	7.15	3.575	5.22	2.61								
	5.13	7.06	3.53	5.21	2.605								
		7.15	3.575	5.33	2.665								
Promedio:	5.110	7.120	3.560	5.253	2.627								
ρ3S						98	64.52	0.065	199.581	111.451	88.130	0.881	73210.00
	5.13	7.08	3.54	5.36	2.68								
	5.12	7.04	3.52	5.23	2.615								
		7.01	3.505	5.2	2.6								
Promedio:	5.125	7.0433	3.521	5.263	2.631								
ρ4S						100	65.87	0.066	200.166	111.636	88.530	0.885	74404.56
	5.1	7.05	3.525	5.18	2.59								
	5.18	6.99	3.495	5.16	2.58								
		7.09	3.545	5.44	2.72								
Promedio:	5.140	7.043	3.522	5.260	2.630								

8.2.5.3 Contracción. La contracción desde la condición inicial húmeda hasta la condición final seca, expresada como porcentaje ajustada a una cifra decimal, se debe calcular con la ecuación [5],

$$\text{Contraccion} = \left(\frac{I - F}{I} \right) * 100 .$$

Donde I es la lectura inicial y F es la lectura final.

Para las tablas referentes al ensayo de contracción enumeradas a continuación se tiene en cuenta las lecturas iniciales y finales de:

- Altura (H),
- Diámetro externo (D),
- Diámetro interno (d),
- Espesor (t).

Resultados expresados en porcentaje.

A continuación se relacionan sus respectivas memorias de cálculo.

Tabla 117. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte inferior. Municipio de Chachagüi.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H(I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
C1 I									1.34	10.31	5.15	24.25
	10.25	12.24	7.91	2.13	10.05	10.74	7.42	1.22				
	9.95	11.96	8.08	2.07	9.88	10.84	7.66	1.54				
		11.99	7.91	1.82		10.88	7.59	1.8				
Promedio:	10.100	12.063	7.967	2.007	9.965	10.820	7.557	1.520				
C2 I									1.74	9.39	0.63	27.72
	10.15	11.74	7.52	1.95	9.91	10.44	7.92	1.36				
	9.91	11.77	8.18	1.66	9.8	10.77	7.86	1.43				
		11.86	8.25	1.91		10.84	8.02	1.2				
Promedio:	10.030	11.790	7.983	1.840	9.855	10.683	7.933	1.330				
C3 I									0.94	5.21	1.46	18.84
	10.14	11.82	8.12	1.94	10.1	10.98	7.95	1.66				
	10.13	11.72	7.81	1.9	9.98	11.1	7.63	1.53				
		11.57	8.02	1.84		11.2	8.02	1.42				
Promedio:	10.135	11.703	7.983	1.893	10.040	11.093	7.867	1.537				
C4 I									1.33	6.66	2.31	19.27
	10.12	12.04	8.12	2.17	10.1	11.15	8.03	1.83				
	10.21	11.91	7.95	1.85	9.96	11.42	7.85	1.65				
		12.26	8.14	2		11.23	7.77	1.38				
Promedio:	10.165	12.070	8.070	2.007	10.030	11.267	7.883	1.620				

Tabla 118. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte media. Municipio de Chachagüi.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H(I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
C1 M									0.30	14.22	10.34	30.94
	9.96	10.05	7.16	1.3	9.92	8.62	6.44	1				
	10	9.71	6.96	1.47	9.98	8.15	6.42	0.94				
		9.64	7.34	1.27		8.45	6.38	0.85				
Promedio:	9.980	9.800	7.153	1.347	9.950	8.407	6.413	0.930				
C2 M									0.80	14.03	8.94	25.95
	9.99	9.86	7.1	1.63	10	8.36	6.3	1.23				
	10.06	9.87	6.8	1.35	9.89	8.16	6.53	1.2				
		9.63	7.02	1.49		8.72	6.22	0.88				
Promedio:	10.025	9.787	6.973	1.490	9.945	8.413	6.350	1.103				
C3 M									1.13	15.15	10.42	31.01
	10.2	10.02	7.3	1.27	10	8.49	6.74	0.98				
	10.07	9.94	7.6	1.54	10.04	8.4	6.51	0.95				
		10.33	7.36	1.35		8.81	6.69	0.94				
Promedio:	10.135	10.097	7.420	1.387	10.020	8.567	6.647	0.957				
C4 M									0.20	14.48	8.48	30.59
	10	10.67	7.91	1.47	10.02	8.64	6.94	1.03				
	10.05	10.63	7.43	1.44	9.99	9.5	7.2	1.04				
		10.46	7.66	1.47		9.02	6.91	0.97				
Promedio:	10.025	10.587	7.667	1.460	10.005	9.053	7.017	1.013				

Tabla 119. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte superior. Municipio de Chachagüi.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H (I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
C1 S									0.05	11.85	9.52	18.54
	10.05	7.28	4.9	1.05	9.98	6.43	4.62	0.85				
	9.9	7.03	5.1	0.95	9.96	6.38	4.46	0.77				
		7.12	5.23	1.02		6.08	4.7	0.84				
Promedio:	9.975	7.143	5.077	1.007	9.970	6.297	4.593	0.820				
C2 S									0.40	12.88	6.44	28.03
	10	7.42	5.3	1.02	10	6.47	5.03	0.78				
	10.07	7.31	5.32	1.1	9.99	6.6	5.01	0.83				
		7.55	5.37	1.02		6.34	4.92	0.65				
Promedio:	10.035	7.427	5.330	1.047	9.995	6.470	4.987	0.753				
C3 S									0.45	11.17	2.60	27.61
	9.91	9.46	6.81	1.33	10	8.65	6.42	0.97				
	10	9.06	6.81	1.25	9.82	7.67	6.61	1.02				
		9.31	6.74	1.15		8.4	6.8	0.71				
Promedio:	9.955	9.277	6.787	1.243	9.910	8.240	6.610	0.900				
C4 S									0.10	10.26	5.44	10.03
	10	9.2	6.85	1.36	10.01	8.45	6.3	1.16				
	10.02	9.64	6.66	1.25	9.99	8.94	6.41	1.22				
		9.32	6.7	1.38		7.88	6.4	1.21				
Promedio:	10.010	9.387	6.737	1.330	10.000	8.423	6.370	1.197				

Tabla 120. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte inferior. Municipio de Buesaco.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H (I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
CNI1	10.26	11.67	8.7	1.66	10.14	10.33	8	1.29	0.20	9.78	6.07	17.33
	10.15	11.48	8.61	1.33	10.23	10.58	8.45	1.16				
		11.41	8.41	1.51		10.27	7.71	1.27				
Promedio:	10.205	11.520	8.573	1.500	10.185	10.393	8.053	1.240				
CNI2	10.17	11.42	8.68	1.38	10.04	10.19	8.14	1.02	0.15	12.72	7.39	20.56
	10.01	11.38	8.73	1.12	10.11	9.61	8.15	1.11				
		11.48	8.71	1.44		10.12	7.9	1				
Promedio:	10.090	11.427	8.707	1.313	10.075	9.973	8.063	1.043				
CNI3	10.21	11.08	8	1.3	10.13	10.58	8.04	1.28	0.64	2.03	1.37	6.89
	10.15	10.48	8.04	1.37	10.1	10.45	7.94	1.17				
		10.45	8.12	1.25		10.33	7.85	1.2				
Promedio:	10.180	10.670	8.053	1.307	10.115	10.453	7.943	1.217				
CNI4	10.12	10.8	9.01	1.37	10.12	10.84	8.35	1.15	0.25	7.77	6.54	6.18
	9.99	11.6	9.01	1.14	9.94	9.88	8.12	1.18				
		11.3	8.44	1.21		10.36	8.26	1.16				
Promedio:	10.055	11.233	8.820	1.240	10.030	10.360	8.243	1.163				

Tabla 121. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte media. Municipio de Buesaco.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H(I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
CNM1	10	9.74	7.39	1.16	10.05	9.07	6.94	1.08	0.20	4.99	5.30	8.03
	10.05	9.66	7.38	1.22	9.96	9.2	6.89	1.14				
		9.44	7.12	1.23		9.13	6.9	1.1				
Promedio:	10.025	9.613	7.297	1.203	10.005	9.133	6.910	1.107				
CNM2	9.99	9.46	7.37	1.2	9.95	8.72	7.26	0.94	0.25	6.35	3.10	17.60
	9.88	9.88	7.29	1.18	9.87	9.14	6.78	1.06				
		9.47	7.28	1.2		9.12	7.22	0.95				
Promedio:	9.935	9.603	7.313	1.193	9.910	8.993	7.087	0.983				
CNM3	9.82	8.86	6.65	1.2	9.68	8.2	6.7	1.12	1.02	5.27	3.89	4.37
	9.72	8.8	6.78	0.99	9.66	8.57	6.28	0.95				
		9.07	6.87	1.01		8.55	6.53	0.99				
Promedio:	9.770	8.910	6.767	1.067	9.670	8.440	6.503	1.020				
CNM4	9.86	9.34	6.86	1.26	9.75	8.36	6.1	1.12	0.36	7.19	6.98	12.83
	9.72	8.95	6.5	1.34	9.76	8.68	6.36	1.11				
		9.25	6.71	1.22		8.52	6.21	1.1				
Promedio:	9.790	9.180	6.690	1.273	9.755	8.520	6.223	1.110				

Tabla 122. Resultados contracción para los ensayos de compresión y tracción. Parte superior. Municipio de Buesaco.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H(I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
CNS1									0.41	12.58	10.51	14.66
	9.84	8.94	5.89	1.18	9.77	7.3	5.5	0.97				
	9.75	7.73	6.01	1.11	9.74	7.37	5.29	0.98				
		8.52	6.09	1.12		7.35	5.31	0.96				
Promedio:	9.795	8.397	5.997	1.137	9.755	7.340	5.367	0.970				
CNS2									0.36	3.73	2.74	10.36
	9.71	7.42	5.43	1.07	9.7	7.17	5.18	0.99				
	9.76	7.7	5.41	1.15	9.7	7.28	5.24	1.02				
		7.39	5.21	1.16		7.22	5.19	1.02				
Promedio:	9.735	7.503	5.350	1.127	9.700	7.223	5.203	1.010				
CNS3									1.31	4.57	1.33	8.50
	9.87	7.44	5.24	1.09	9.86	7.47	5.28	1.1				
	9.94	7.87	5.41	1.25	9.69	7.06	5.17	1.05				
		7.66	5.19	1.19		7.39	5.18	1.08				
Promedio:	9.905	7.657	5.280	1.177	9.775	7.307	5.210	1.077				
CNS4									0.60	5.45	3.42	12.46
	9.92	7.44	5.34	1.04	9.88	6.99	5.26	0.98				
	9.98	7.5	5.42	1.03	9.9	7.08	5.1	0.86				
		7.26	5.33	1.06		6.92	5.18	0.9				
Promedio:	9.950	7.400	5.363	1.043	9.890	6.997	5.180	0.913				

Tabla 123. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte inferior. Municipio de Chachagüi.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H(I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
C1 I									2.02	8.79	7.42	20.56
	10.23	11.84	7.93	1.92	10.05	10.74	7.42	1.22				
	10.11	11.86	7.99	1.96	9.88	10.84	7.66	1.54				
		11.89	7.92	1.86		10.88	6.99	1.8				
Promedio:	10.170	11.863	7.947	1.913	9.965	10.820	7.357	1.520				
C2 I									1.94	8.52	1.38	22.12
	10.09	11.74	7.82	1.84	9.91	10.44	7.81	1.32				
	10.01	11.71	8	1.75	9.8	10.77	7.72	1.43				
		11.76	8.14	1.79		11	8.1	1.44				
Promedio:	10.050	11.737	7.987	1.793	9.855	10.737	7.877	1.397				
C3 I									0.05	3.89	1.06	13.45
	10.01	11.66	8.1	1.86	10.1	11.3	8.02	1.62				
	10.08	11.72	8.19	1.68	9.98	11.06	8.1	1.53				
		11.59	8.23	1.74		11.25	8.14	1.42				
Promedio:	10.045	11.657	8.173	1.760	10.040	11.203	8.087	1.523				
C4 I									0.55	3.38	0.67	8.45
	10	11.94	8.09	2.01	9.98	11.56	7.85	1.83				
	10.05	11.9	7.98	1.95	9.96	11.49	7.92	1.84				
		11.92	7.85	1.96		11.5	7.99	1.75				
Promedio:	10.025	11.920	7.973	1.973	9.970	11.517	7.920	1.807				

Tabla 124. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte media. Municipio de Chachagüi.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H (I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
C1 M	10.03	10.62	7.72	1.55	9.92	8.62	6.44	1	1.14	21.26	15.80	38.68
	10.1	10.69	7.59	1.48	9.98	8.15	6.42	0.94				
		10.72	7.54	1.52		8.45	6.38	0.85				
Promedio:	10.065	10.677	7.617	1.517	9.950	8.407	6.413	0.930				
C2 M	9.98	10.09	7.3	1.44	10	8.36	6.3	1.23	0.75	16.89	12.25	23.20
	10.06	10.16	7.19	1.42	9.89	8.16	6.53	1.2				
		10.12	7.22	1.45		8.72	6.22	0.88				
Promedio:	10.020	10.123	7.237	1.437	9.945	8.413	6.350	1.103				
C3 M	10.1	10.75	7.33	1.63	10	8.49	6.74	0.98	0.69	19.74	10.46	41.19
	10.08	10.69	7.48	1.59	10.04	8.4	6.51	0.95				
		10.58	7.46	1.66		8.81	6.69	0.94				
Promedio:	10.090	10.673	7.423	1.627	10.020	8.567	6.647	0.957				
C4 M	10.02	10.47	7.51	1.46	10.01	8.64	6.94	1.03	0.15	13.51	6.39	31.74
	10.03	10.43	7.53	1.45	10.01	9.5	7.2	1.04				
		10.43	7.46	1.47		9.02	6.91	0.97				
Promedio:	10.025	10.455	7.513	1.465	10.010	9.043	7.033	1.000				

Tabla 125. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte superior. Municipio de Chachagüi.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H (I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
C1 S	9.99	7.98	5.63	1.22	10.05	6.43	4.62	0.85	0.10	20.73	17.14	32.60
	10.06	7.93	5.52	1.25	9.98	6.38	4.46	0.77				
		7.92	5.48	1.18		6.08	4.7	0.84				
Promedio:	10.025	7.943	5.543	1.217	10.015	6.297	4.593	0.820				
C2 S	10.01	7.52	5.31	1.16	10	6.47	5.03	0.78	0.20	12.63	3.99	33.33
	10.02	7.41	5.32	1.12	9.99	6.6	5.01	0.83				
		7.48	5.16	1.11		6.51	5.12	0.65				
Promedio:	10.015	7.470	5.263	1.130	9.995	6.527	5.053	0.753				
C3 S	10.05	8.06	5.66	1.23	10	7.98	5.51	1.18	1.25	3.45	1.13	5.74
	10.02	8.16	5.62	1.25	9.82	7.67	5.64	1.15				
		8.11	5.54	1.18		7.84	5.48	1.12				
Promedio:	10.035	8.110	5.607	1.220	9.910	7.830	5.543	1.150				
C4 S	10.02	8.2	5.76	1.23	9.99	8.1	5.48	1.12	0.15	1.27	2.88	3.25
	9.99	8.14	5.66	1.2	9.99	8.05	5.39	1.22				
		8.05	5.58	1.26		7.93	5.64	1.23				
Promedio:	10.005	8.130	5.667	1.230	9.990	8.027	5.503	1.190				

Tabla 126. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte inferior. Municipio de Buesaco.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H (I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
CNI1									0.75	4.17	1.90	11.13
	9.97	12.1	7.7	2.46	10.02	11.56	7.44	2.21				
	10.1	11.9	7.44	2.26	9.9	11.42	7.38	2.02				
		11.95	7.5	2.29		11.47	7.39	2				
Promedio:	10.035	11.983	7.547	2.337	9.960	11.483	7.403	2.077				
CNI2									1.75	5.66	3.67	17.68
	10.33	12.12	8.07	2.07	10.1	11.44	7.61	1.82				
	10.27	12.02	7.75	2.63	10.14	11.35	7.62	2				
		12.07	7.86	2.2		11.37	7.58	1.86				
Promedio:	10.300	12.070	7.893	2.300	10.120	11.387	7.603	1.893				
CNI3									0.74	5.44	3.61	5.55
	10.25	11.88	7.36	2.32	10.1	11.32	7.18	2.19				
	10.14	12.22	7.64	2.14	10.14	11.41	7.27	2.11				
		11.95	7.46	2.21		11.36	7.2	2				
Promedio:	10.195	12.017	7.487	2.223	10.120	11.363	7.217	2.100				
CNI4									0.93	2.92	1.39	15.74
	10.22	12.15	7.73	2.23	10.13	11.82	7.18	1.84				
	10.16	12.17	7.7	2.33	10.06	11.8	7.31	1.9				
		12.16	7.71	2.28		11.75	7.96	1.98				
Promedio:	10.190	12.155	7.715	2.288	10.095	11.800	7.608	1.928				

Tabla 127. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte media. Municipio de Buesaco.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H(I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
CNM1									0.75	6.07	4.03	10.66
	10.08	9.6	7.41	1.24	10.02	9.66	7.25	1.04				
	9.99	10.24	8.04	1.03	9.9	9.15	7.5	1.05				
		10.15	7.62	1.2		9.36	7.39	1.01				
Promedio:	10.035	9.997	7.690	1.157	9.960	9.390	7.380	1.033				
CNM2									0.35	7.09	7.59	7.51
	9.94	9.16	6.77	1.13	9.96	8.58	6.14	1.03				
	10.09	9.29	7.05	1.18	10	8.55	6.52	0.97				
		9.2	7	1.15		8.56	6.58	1.2				
Promedio:	10.015	9.217	6.940	1.153	9.980	8.563	6.413	1.067				
CNM3									0.20	6.03	4.16	21.21
	9.99	8.88	6.55	1.22	9.98	8.5	6.44	0.92				
	9.94	9.41	7.1	1.2	9.91	8.76	6.63	0.99				
		9.25	7	1.21		8.62	6.72	0.95				
Promedio:	9.965	9.180	6.883	1.210	9.945	8.627	6.597	0.953				
CNM4									0.74	6.03	4.99	14.41
	10.14	8.7	6.38	1.22	10.1	8.26	6.18	0.95				
	10.11	9.2	6.9	1.15	10	8.44	6.49	1.06				
		8.8	6.75	1.17		8.39	6.36	1.02				
Promedio:	10.125	8.900	6.677	1.180	10.050	8.363	6.343	1.010				

Tabla 128. Resultados contracción para los ensayos de corte paralelo a las fibras y flexión. Parte superior. Municipio de Buesaco.

Probeta	LECTURA INICIAL				LECTURA FINAL				CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS			
	H (I)	D (I)	d (I)	t (I)	H (F)	D (F)	d (F)	t (F)	H	D	d	t
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	%	%	%	%
CNS1									0.40	8.13	4.31	22.02
	9.9	8.6	6.17	1.13	10.02	7.5	5.91	0.88				
	10.04	8.2	6.54	1.11	9.84	8	6.1	0.9				
		8.4	6.1	1.12		7.65	5.99	0.84				
Promedio:	9.970	8.400	6.270	1.120	9.930	7.717	6.000	0.873				
CNS2									0.65	6.39	6.09	17.78
	9.99	8.95	6.52	1.34	9.91	8.61	6.14	0.99				
	9.97	9.01	6.62	1.24	9.92	8.24	6.21	0.9				
		8.97	6.57	1.3		8.36	6.16	1.3				
Promedio:	9.980	8.977	6.570	1.293	9.915	8.403	6.170	1.063				
CNS3									0.46	5.14	1.07	16.96
	9.79	8.6	6.31	1.17	9.86	8.31	6.61	0.88				
	9.96	9.01	6.81	1.1	9.8	8.32	6.22	0.96				
		8.84	6.46	1.15		8.46	6.54	1				
Promedio:	9.875	8.817	6.527	1.140	9.830	8.363	6.457	0.947				
CNS4									0.60	7.98	3.56	11.71
	9.99	8.97	6.28	1.12	9.89	8.41	6.41	1				
	9.9	9.08	6.9	1.1	9.88	8	6.5	0.95				
		8.9	6.75	1.11		8.39	6.31	0.99				
Promedio:	9.945	8.983	6.643	1.110	9.885	8.267	6.407	0.980				

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar los diferentes ensayos y respectivos cálculos se obtuvieron los resultados de las propiedades mecánicas (compresión, tracción, corte y flexión) de la Guadua Angustifolia de los Municipios de Chachagüi y Buesaco, los cuales se relacionan en diferentes tablas que se muestran a continuación:

9.1 RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL

Tabla 129. Resultados esfuerzo último de probetas sometidas a compresión.

Fuente	ESFUERZO ÚLTIMO (σ_{Ult})		
	Parte inferior	Parte media	Parte superior
	Mpa o N/mm ²	Mpa o N/mm ²	Mpa o N/mm ²
CHACHAGUI	11.63	17.83	21.38
	12.50	15.20	20.40
	17.57	12.96	13.49
	19.58	15.60	16.31
σ_{Ult} (Máximo)	21.38 Mpa		
σ_{Ult} (Mínimo)	11.63 Mpa		
σ_{Ult} (Promedio)	16.20 Mpa		
BUESACO	17.28	22.49	21.50
	16.61	20.83	21.55
	18.70	19.83	24.41
	17.82	22.22	24.31
σ_{Ult} (Máximo)	24.41 Mpa		
σ_{Ult} (Mínimo)	16.61 Mpa		
σ_{Ult} (Promedio)	20.63 Mpa		

Como se indica en la tabla 129 al realizar el ensayo de compresión sobre las probetas de guadua se obtuvo resultados de esfuerzos últimos a compresión divididos en esfuerzo último máximo, esfuerzo último mínimo y esfuerzo último promedio, en esta investigación se tomó el esfuerzo último máximo como valor comparativo con otras investigaciones realizadas en Colombia.

- Para la localidad de Chachagüi el esfuerzo máximo alcanzado por las probetas es de 21.4 Mpa.
- Para la localidad de Buesaco el esfuerzo máximo alcanzado por las probetas es de 24.4 Mpa.

Según investigaciones realizadas por otras universidades en Colombia el esfuerzo último de probetas sometidas a compresión se consignan en la siguiente tabla.

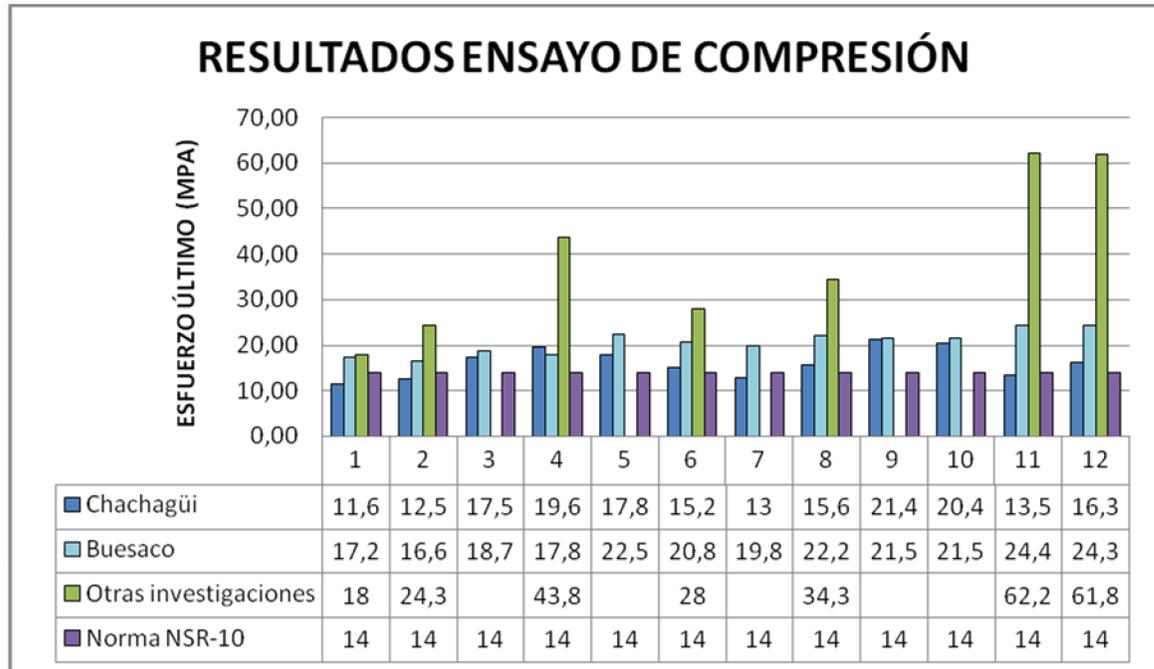
Tabla 130. Resultados de esfuerzo último de probetas sometidas a compresión de otras investigaciones

Título de la investigación	σ_{ult} (Mpa)
• Instituto Alemán de Prueba de Materiales de Construcción Civil de Stuttgart.	18
• Camacho y Páez, Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá D.C.	24.3
• López y Silva, Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales.	43.8
• López y Silva, Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Convenio AIS-Forec.	28
• Martínez Cáceres, Universidad Nacional de Colombia.	34.3
• Martín y Mateus, Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá D.C.	62.2
• Uribe y Duran, Universidad Nacional de Colombia	61.8
• Norma Sismorresistente NSR-10. Título G	14

Nota: Los dos últimos valores consignados en la anterior tabla se salen del rango debido a que éstas dos investigaciones realizaron ensayos con probetas cilíndricas, las cuales en su interior están llenas de cemento, lo cual permite elevar considerablemente el valor del esfuerzo último.

A continuación, se representa gráficamente los datos consignados en las tablas 129 y 130.

Figura 5. Resultados ensayo de compresión



- La figura 6 demuestra que los valores obtenidos en las diferentes probetas ensayadas a compresión están sobre el rango contemplado en la Norma NSR-10 el cual es de 14 Mpa, y pueden ser utilizados como elementos constructivos, en este caso como columnas.
- Se debe tener en cuenta que a pesar que cuatro probetas de Chachagüi no cumplen con la norma no se debe descartar a la guadua de la localidad como elemento de construcción, ya que estos valores se pudieron dar por factores externos que influyeron en el resultado del ensayo como: Fallas en el corte de la probeta, almacenamiento, fallas en la calibración del equipo, etc.
- Si se compara los resultados obtenidos entre las localidades de Chachagüi y Buesaco se deduce que la guadua de Buesaco presenta mayor resistencia a la compresión.
- Si se compara los resultados de nuestra investigación con otras realizadas en Departamentos como Quindío, Cundinamarca, Valle, entre otros, se observa que la guadua de estas regiones es más resistente a la compresión lo cual se puede atribuir a factores como: Temperatura, clima, humedad relativa y la más importante a la técnica de cultivo ya que la guadua obtenida en las localidades de Chachagüi y Buesaco es silvestre (Rodales ubicados en las faldas de montañas y en orillas de los ríos), en cambio en los

Departamentos anteriormente mencionados la guadua se obtiene mediante la silvicultura (Técnica y manejo del cultivo de guaduas).

9.2 RESULTADOS ENSAYO DE CORTE PARALELO A LAS FIBRAS

Cabe anotar que el ensayo de corte se lo realizó tanto en probetas con nudos y sin nudos como lo requiere la Norma NTC 5525, Norma base para nuestra investigación. A continuación se relacionan los resultados de este ensayo:

Tabla 131. Resultados resistencia última de probetas sometidas al corte paralelo a las fibras

Fuente	RESISTENCIA ÚLTIMA AL CORTE (τ_{Ult})		
	Parte inferior	Parte media	Parte superior
	Mpa o N/mm ²	Mpa o N/mm ²	Mpa o N/mm ²
CHACHAGUI	3.32	4.09	3.40
	4.60	4.58	3.23
	3.24	4.35	4.29
	2.84	4.397	4.29
τ_{Ult} (Máxima)	4.60		
τ_{Ult} (Mínima)	2.84		
τ_{Ult} (Promedio)	3.89		
BUESACO	2.85	4.68	2.94
	3.06	5.18	3.42
	2.81	4.73	4.24
	3.02	4.66	3.47
τ_{Ult} (Máxima)	5.18		
τ_{Ult} (Mínima)	2.81		
τ_{Ult} (Promedio)	3.75		

Como se indica en la tabla (131), al realizar el ensayo de corte paralelo a las fibras sobre las probetas de guadua se obtuvieron resultados de resistencia última al corte divididos en resistencia última máxima, resistencia última mínima y resistencia última promedio, en esta investigación se tomó la resistencia última máxima como valor comparativo con otras investigaciones realizadas en Colombia.

- Para la localidad de Chachagüi la resistencia máxima alcanzado por las probetas es de 4.60 Mpa.

- Para la localidad de Buesaco la resistencia máxima alcanzado por las probetas es de 5.18 Mpa.

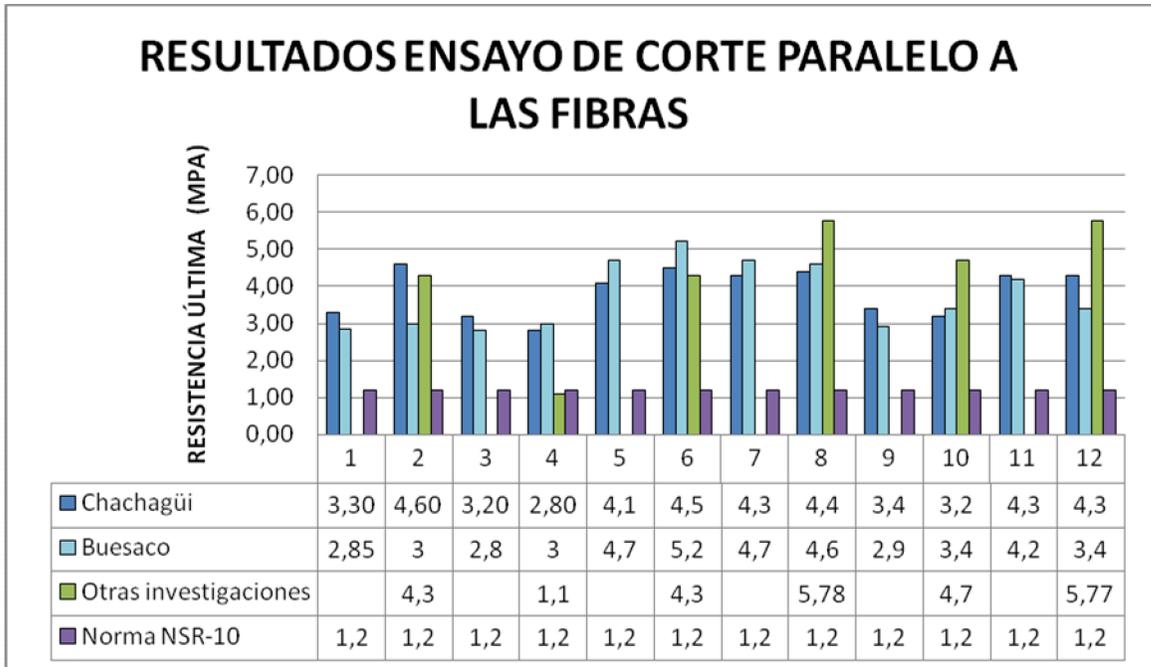
Según investigaciones realizadas por otras universidades en Colombia la resistencia última de probetas sometidas a corte paralelo a las fibras se consignan en la siguiente tabla.

Tabla 132. Resultados resistencia última de probetas sometidas al corte paralelo a las fibras de otras investigaciones

Título de la investigación	τ_{Ult} (Mpa)
• Instituto Alemán de Prueba de Materiales de Construcción Civil de Stuttgart.	4.3
• Camacho y Páez, Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá D.C.	1.1
• López y Silva, Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales.	4.3
• Torres Chacón Y Jaimes, Universidad Industrial de Santander.	5.78
• Prieto y Sánchez, Universidad Nacional de Colombia.	4.7
• Castrillon y Malaver, Simposio Internacional realizado en Pereira.	5.77
• Norma Sismorresistente NSR-10. Título G.	1.2

A continuación se representa gráficamente los datos consignados en las tablas 131 y 132.

Figura 6. Resultados ensayo de corte paralelo a las fibras.



- La figura 7, demuestra que los valores obtenidos en las diferentes probetas del ensayo de corte están sobre el rango contemplado en la Norma NSR-10 el cual es de 1.2 Mpa, y pueden ser utilizados como elementos de construcción.
- Al comparar los resultados entre las localidades de Chachagüi y Buesaco se determina que la guadua de estos dos Municipios es similar en cuanto a la resistencia al corte, tomando como base el esfuerzo ultimo promedio consignado en la tabla 131.
- Por otra parte, en la figura 7 se observa que los valores obtenidos en los ensayos realizados en Buesaco y Chachagüi se encuentran en rangos similares con los de otras investigaciones al tomar como máximo valor 4.6 Mpa para la localidad de Chachagüi, 5.2 Mpa para Buesaco y 5.7 Mpa para otras investigaciones.

9.3 RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS

Después de realizar el ensayo de tracción paralela a las fibras y sus respectivos cálculos se obtuvieron los resultados que se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 133. Resultados esfuerzo último de probetas sometidas a tracción paralela a las fibras.

Fuente	ESFUERZO ULTIMO (σ_{Ult})		
	Parte inferior	Parte media	Parte superior
	Mpa o N/mm ²	Mpa o N/mm ²	Mpa o N/mm ²
CHACHAGUI	11.46	10.35	7.07
	7.39	9.27	8.34
	8.58	9.37	8.28
	8.53	9.212	7.95
σ_{Ult} (Máximo)	11.46		
σ_{Ult} (Mínimo)	7.07		
σ_{Ult} (Promedio)	8.82		
BUESACO	10.82	8.06	6.56
	9.84	7.60	6.18
	7.72	7.94	6.64
	7.51	7.67	6.12
σ_{Ult} (Máximo)	10.82		
σ_{Ult} (Mínimo)	6.12		
σ_{Ult} (Promedio)	7.72		

Como indica la tabla 133, al realizar el ensayo de tracción paralelo a las fibras sobre las probetas de guadua se obtuvieron resultados de esfuerzo último a la tracción divididos en esfuerzo último máximo, esfuerzo último mínimo y esfuerzo último promedio, en esta investigación se tomó el esfuerzo último máximo como valor comparativo con otras investigaciones realizadas en Colombia.

- Para la localidad de Chachagüi el esfuerzo máximo alcanzado por las probetas es de 11.46 Mpa.
- Para la localidad de Buesaco el esfuerzo máximo alcanzado por las probetas es de 10.82 Mpa.

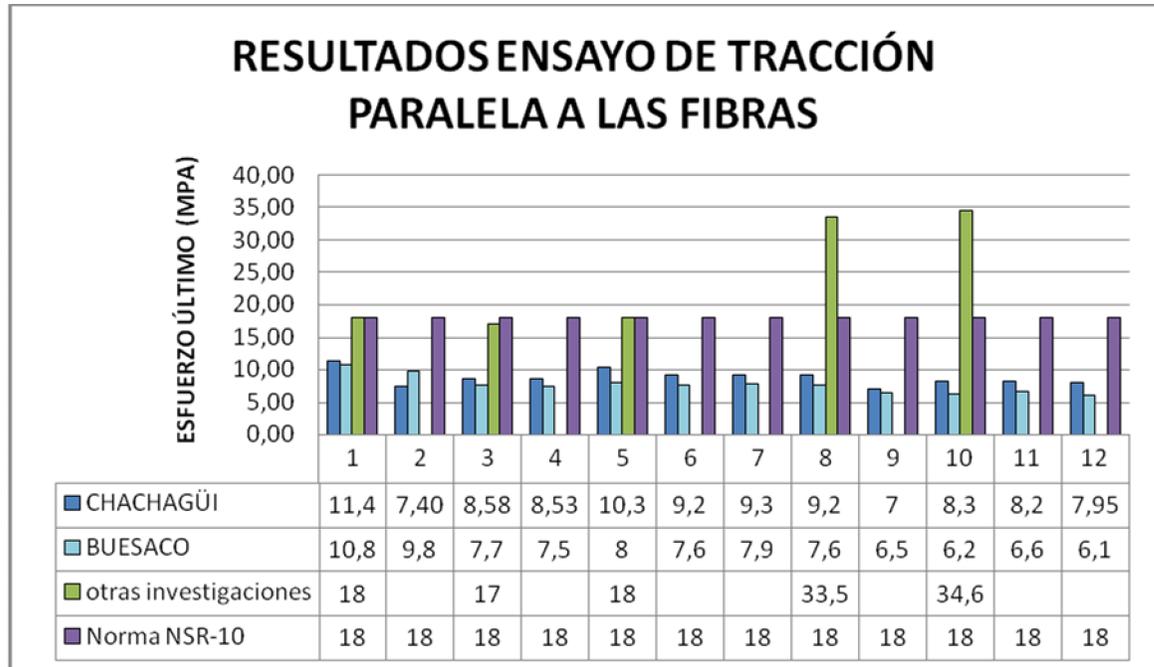
Según investigaciones realizadas por otras universidades en Colombia los valores del esfuerzo último de probetas sometidas a tracción paralela a las fibras se consignan en la siguiente tabla.

Tabla 134. Resultados esfuerzo último de probetas sometidas a tracción paralela a las fibras de otras investigaciones

Título de la investigación	σ_{Ult} (Mpa)
<ul style="list-style-type: none"> • Instituto Alemán de Prueba de Materiales de Construcción Civil de Stuttgart. 	18
<ul style="list-style-type: none"> • Camacho y Páez, Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá D.C. 	17
<ul style="list-style-type: none"> • López y Silva, Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. 	18
<ul style="list-style-type: none"> • Castrillon y Malaver, Simposio Internacional realizado en Pereira. 	33.5
<ul style="list-style-type: none"> • Martínez Caseres, Universidad Nacional de Colombia. 	34.6
<ul style="list-style-type: none"> • Norma Sismorresistente NSR-10. Título G. 	18

A continuación se representa gráficamente los datos consignados en las tablas 133 y 134:

Figura 7. Resultados ensayo de tracción paralela a las fibras.



- La figura 8, demuestra que los valores obtenidos en las diferentes probetas del ensayo de tracción están por debajo del rango contemplado en la Norma NSR-10 el cual es de 18 Mpa, esto puede deberse a factores mecánicos como: falla en la calibración de la máquina universal, falla en los dispositivos de la máquina (mordazas planas), y otros atribuibles a factores externos como: exceso de humedad de las muestras, diámetros de guadua inferiores a 9 cm.
- En las localidades de Buesaco y Chachagüi existen guaduas con diámetros de 12cm y un espesor de pared de 3cm, sin embargo, para este ensayo se trabajó con muestras que tienen un diámetro externo comprendido entre 5 y 9 cm y un espesor de pared entre 0.7 y 1.36 cm como se puede verificar en el capítulo 9.1.3 Datos iniciales ensayo de tracción paralelo a las fibras. Cabe resaltar que se tomó este rango de diámetros debido a que el corte de las probetas se realizó con una sierra circular la cual no permite sobrepasar los 10 cm, distancia libre para colocar la muestra y garantizar la manipulación del operario, como se observa en la foto 28.
- Según la figura 8 el esfuerzo máximo obtenido para la localidad de Chachagüi es 11.4 Mpa y para la localidad de Buesaco es de 10.8 Mpa, valores registrados en la tabla 133. Cabe resaltar que estos valores pueden

ser mayores si el ensayo se realiza con muestras de mayores diámetros y por ende mayor espesor de pared.

9.4 RESULTADOS ENSAYO DE FLEXIÓN

Después de realizar el ensayo de flexión y sus respectivos cálculos se obtuvieron los resultados que se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 135. Resultados esfuerzo último de probetas sometidas a flexión.

Fuente	ESFUERZO ULTIMO (σ_{Ult})		
	probetas largas (L=3.0 mts)	Probetas intermedias (L=2.0 mts)	Probetas cortas (L=1.0 mts)
	Mpa o N/mm ²	Mpa o N/mm ²	Mpa o N/mm ²
CHACHAGUI	22.35	20.38	19.50
	21.25	23.88	22.34
	22.80	25.82	23.35
	23.85	24.218	25.22
σ_{Ult} (Máximo)	25.82		
σ_{Ult} (Mínimo)	19.50		
σ_{Ult} (Promedio)	22.91		
BUESACO	23.91	22.90	23.73
	25.16	24.32	21.74
	24.03	22.95	22.55
	23.12	23.30	18.38
σ_{Ult} (Máximo)	25.16		
σ_{Ult} (Mínimo)	18.38		
σ_{Ult} (Promedio)	23.01		

Al realizar el ensayo de flexión sobre las probetas de guadua se obtuvieron resultados de resistencia última a la flexión estática divididos en esfuerzo último máximo, esfuerzo último mínimo y esfuerzo último promedio, en esta investigación se tomó el esfuerzo último máximo como valor comparativo con otras investigaciones realizadas en Colombia.

- Para la localidad de Chachagüi el esfuerzo máximo alcanzado por las probetas es de 25.82 Mpa.
- Para la localidad de Buesaco el esfuerzo máximo alcanzado por las probetas es de 25.16 Mpa.

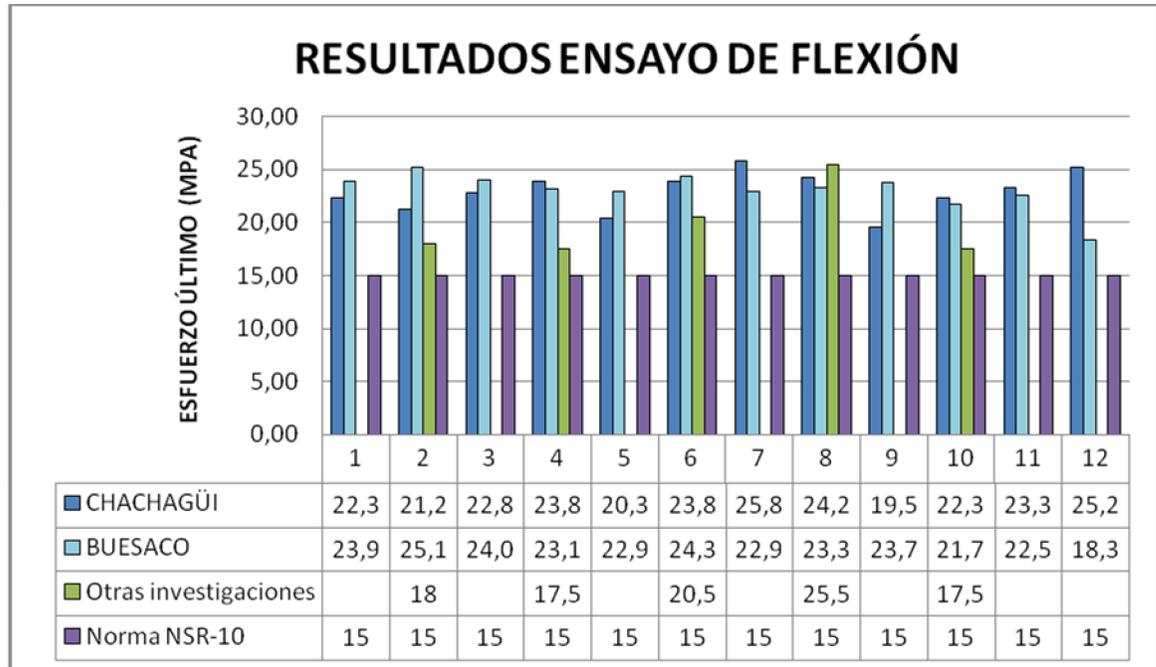
Según investigaciones realizadas por otras universidades en Colombia el esfuerzo último de probetas sometidas a flexión se consignan en la siguiente tabla.

Tabla 136. Resultados esfuerzo último de probetas sometidas a flexión de otras investigaciones

Título de la investigación	σ_{Ult} (Mpa)
• Instituto Alemán de Prueba de Materiales de Construcción Civil de Stuttgart.	18
• Camacho y Páez, Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá D.C.	17.5
• López y Silva, Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales.	20.5
• Castrillon y Malaver, Simposio Internacional realizado en Pereira.	25.5
• Martínez Caseres, Universidad Nacional de Colombia.	17.5
• Norma Sismorresistente NSR-10. Título G.	15

A continuación se representa gráficamente los datos consignados en las tablas 135 y 136:

Figura 8. Resultados ensayo de flexión.



- La figura 9 demuestra que los valores obtenidos en las diferentes probetas ensayadas a flexión están sobre el rango contemplado en la Norma NSR-10 el cual es de 15 Mpa, y pueden ser utilizados como elementos de construcción, en este caso como vigas.
- Los resultados obtenidos en las localidades de Chachagüi y Buesaco son muy similares sin embargo de acuerdo a la figura 9 se deduce que la guadua de Chachagüi presenta mayor resistencia a la flexión con un esfuerzo último máximo de 25.8 Mpa frente a 25.1 Mpa, esfuerzo último máximo correspondiente a la localidad de Buesaco.
- Si se compara los resultados de nuestra investigación con otras realizadas en Departamentos como Quindío, Cundinamarca, Valle, entre otros, se observa que la guadua de nuestra región es mas resistente a la flexión; de este modo se garantiza que la guadua de estas dos localidades puede ser utilizada como elemento de construcción cumpliendo la función de viga.

10. CONCLUSIONES

En el desarrollo de la Investigación se realizaron los ensayos de laboratorio con base en las normas técnicas NTC 5525, con el fin de determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth, proveniente de los rodales de los municipios de, Buesaco y Chachagüi, del departamento de Nariño, ensayos en los que se contemplan las propiedades mecánicas: compresión, corte paralelo a las fibras, tracción paralela a las fibras y flexión; por otro lado, las propiedades físicas, entre las cuales tenemos: control de humedad, densidad y contracción, cuyo estudio conjunto permite determinar si la guadua del Municipio de Chachagüi y del municipio de Buesaco, es apta para ser utilizada como elemento de construcción, siempre y cuando cumpla con lo estipulado en la Norma sismo-resistente NSR-10 la cual se contempla en el título G, estructuras de madera y estructuras de guadua, los parámetros de diseño, métodos de diseño estructural, esfuerzos admisibles, métodos de construcción y otros aspectos encaminados a garantizar la calidad de la estructura construida con materiales tradicionales.

El contenido de humedad es un parámetro físico que debe determinarse para establecer una correlación entre el comportamiento de la guadua y sus propiedades mecánicas; cada vez que se realice un ensayo para determinar las propiedades mecánicas de la guadua se debe determinar el contenido de humedad de cada probeta.

Al realizar el ensayo para determinar el contenido de humedad en cada una de las probetas en estudio, se obtuvo un porcentaje de humedad que varía entre 168.95% como valor máximo y 87.69% como valor mínimo para el Municipio de Chachagüi. Para el Municipio de Buesaco el porcentaje de humedad está entre 96.36% y 45.54%, valor máximo y mínimo respectivamente.

El ensayo de densidad hace parte de las propiedades físicas de la guadua angustifolia, determinada por el cálculo de la masa por unidad de volumen de cada probeta, en donde la masa se determinó mediante pesaje de la muestra con una exactitud de 0.01 gr y el volumen se determinó mediante la medida de sus dimensiones con la ayuda de un calibrador, su exactitud es de 0.1 mm, de tal modo que después de haber realizado el ensayo y sus respectivos cálculos, se obtuvo los siguientes resultados: para el municipio de Chachagüi, la densidad está entre 36000 y 46000 Kg/m³ y para el municipio de Buesaco, está entre 48000 y 58000 Kg/m³, concluyendo así, que las muestras de guadua de Buesaco son más compactas que las del municipio de Chachagüi y por lo tanto, presentan mayor resistencia a los ensayos mecánicos.

El ensayo de contracción es una propiedad física que relaciona una lectura inicial y una lectura final de tres parámetros: altura de la probeta (H), diámetro (D) y espesor (t), la lectura inicial se reporta en estado húmedo y la lectura final se reporta en estado seco, condición que se consiguió después de colocar las probetas en un horno a una temperatura de 105° C por 24 horas, los resultados obtenidos para el municipio de Chachagüi son: Altura (H); mínima de 0.05% y 1.9% máxima, diámetro (D); 1.27% mínima y 21% máxima y para el espesor (t); 3.2% mínima y 41% máxima. Para el municipio de Buesaco los resultados del ensayo de contracción son: Altura (H); mínima de 0.15% y 1.75% máxima, diámetro (D); 2% mínima y 12.7% máxima y para el espesor (t); 4.3% mínima y 22% máxima. La contracción presenta una relación inversamente proporcional con la densidad, es decir, que a menor contracción mayor densidad, por lo tanto, se concluye que las muestras de Buesaco al tener una menor contracción, presentan una mayor densidad y una mayor resistencia a los ensayos mecánicos.

La compresión es una propiedad mecánica, que ayuda a determinar el esfuerzo último que presenta una probeta de guadua al aplicarle una carga determinada. Al realizar este ensayo se observaron dos tipos de falla: la primera por aplastamiento y la segunda por corte, como se observa en el registro fotográfico (capítulo 8.2.5. Fallas).

Los resultados del ensayo de compresión axial obtenidos para las probetas de guadua del municipio de Chachagüi, son: 21.38 Mpa como esfuerzo último máximo y 16.20 Mpa como esfuerzo último mínimo. Para el Municipio de Buesaco el esfuerzo último máximo es de 24.41 Mpa y 16.61 Mpa como esfuerzo último mínimo, valores registrados en la tabla 129. De esta manera, se concluye, que la guadua de estos dos municipios cumple con la norma sismo-resistente NSR-10 para elementos solicitados a compresión la cual contempla un valor de 14Mpa.

El corte paralelo a las fibras es una propiedad mecánica, por medio de la cual se determina la resistencia última al esfuerzo cortante de una probeta de guadua al aplicarle una carga a velocidad constante, en este ensayo se presentaron fallas por corte con desprendimiento de fibra en las probetas sin nudo y falla por corte sin desprendimiento de fibra en las probetas con nudo, como se observa en el registro fotográfico (capítulo 8.2.5. Fallas).

Los resultados del ensayo de corte paralelo a las fibras del municipio de Chachagüi son: 4.60 Mpa como resistencia última máxima y 2.84 Mpa como resistencia última mínima. Para el municipio de Buesaco la resistencia última máxima es de 5.18 Mpa y 2.81 Mpa como resistencia última mínima, valores registrados en la tabla 131. Estos resultados permiten concluir, que los valores obtenidos en las diferentes probetas del ensayo de corte, son similares en los dos municipios y que éstos, se encuentran sobre el rango contemplado en la Norma NSR-10 el cual es de 1.2 Mpa, lo que demuestra que este material puede ser utilizado como elemento de construcción.

La flexión es una propiedad mecánica, el principio de este ensayo es determinar la resistencia última a la flexión de los culmos de guadua utilizando un ensayo de flexión de cuatro puntos, tal como se describe en el capítulo 7.4.5. Ensayo de flexión. Al realizar este ensayo se presentaron fallas por corte longitudinal y fallas por aplastamiento, como se observa en el registro fotográfico (capítulo 8.2.5. Fallas).

Los resultados para el ensayo de flexión en el municipio de Chachagüi son: 25.82 Mpa como esfuerzo último máximo y 19.50 Mpa como esfuerzo último mínimo. Para el municipio de Buesaco, el esfuerzo último máximo es 25.16 y 18.32 como esfuerzo último mínimo, valores registrados en la tabla 135. A partir de esto se concluye que los valores de las dos localidades son similares y se encuentran sobre el rango contemplado en la Norma NSR-10 el cual es de 15 Mpa, estableciendo así, que la guadua de estas dos localidades se puede utilizar como elemento de construcción, en este caso como viga.

La tracción es una propiedad mecánica por medio de la cual se determina la resistencia última a la tracción paralela a las fibras, aplicando una carga gradualmente creciente sobre la probeta a una velocidad constante. En este ensayo se presentaron dos tipos de fallas: una con desprendimiento de fibra y la otra sin desprendimiento de fibra, como se observa en el registro fotográfico (capítulo 8.2.5. Fallas).

Los resultados para el ensayo de tracción en las probetas de guadua del municipio de Chachagüi son: 11.46Mpa como esfuerzo último máximo y 7.07Mpa como esfuerzo último mínimo; para las probetas de guadua del municipio de Buesaco los resultados son: 10.82mpa como esfuerzo último máximo y 6.12 Mpa como esfuerzo último mínimo. A partir de estos datos, se concluye que la guadua de estas dos localidades no cumplen con la Norma sismo-resistente NSR-10 la cual contempla un valor de 18 Mpa, por lo tanto, este material no puede ser utilizado en la construcción de cerchas.

Finalmente al comparar los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de cada una de las probetas de guadua de los municipios de Chachagüi y Buesaco con los resultados obtenidos en otras investigaciones, se concluye que a pesar de que la guadua de estas localidades, cumplen con lo establecido en la norma sismo-resistente NSR-10, dichos valores son inferiores a los encontrados en otros departamentos, sin embargo, no se puede menospreciar este material como elemento constructivo, sino, que por el contrario, se recomienda que las entidades gubernamentales como CORPONARIÑO y el SENA incentiven la tecnificación del cultivo para garantizar mayor calidad en este material.

11. RECOMENDACIONES

Motivar una línea de investigación en la Universidad de Nariño y centros de investigación como el SENA y CORPONARIÑO para evaluar a mediano y largo plazo otros factores como cultivo, producción y cosecha de la guadua teniendo en cuenta condiciones climáticas, características y fertilidad del suelo y de este modo obtener guadua de mejor calidad.

Realizar los diferentes ensayos con un número mayor de probetas a las requeridas por la norma NTC 5525, de este modo se obtendrá un nivel de confiabilidad más alto del requerido.

Divulgar a la sociedad nariñense especialmente en el campo de la construcción que la guadua de este departamento es apta para ser utilizada como elemento constructivo ya que cumple con los requisitos estipulados por la norma sismorresistente NSR-10.

Realizar la calibración de equipos y ejecución de los diferentes ensayos de laboratorio con la supervisión de personal calificado para evitar resultados erróneos.

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS). Manual de construcción sismorresistente de viviendas en bahareque encementado.

CAMACHO, Victor y PAEZ, Humberto. Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, 2002. 300 p.

CASTRILLÓN, Brigitte y MALAVER, Diego. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de la guadua. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, 2004. 180 p.

GONZÁLEZ, Eugenia y DIAZ, Jhon. Propiedades físicas y mecánicas de la Guadua *Angustifolia* Kunth. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1992. 150 p.

INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN. Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo. INBAR. 1999.

LÓPEZ, Luis y SILVA, Mario. Comportamiento sismorresistente de estructuras en Bahareque. Manizales: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería. 2000. 280 p.

MANUAL REFORGUADUA DE COLOMBIA. La Guadua una alternativa de desarrollo sostenible para Nariño. CORONARIÑO. 2008.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua *Angustifolia* Kunth. NTC 5525. 2007. 80 p.

_____. Cosecha y Postcosecha del culmo de Guadua *Angustifolia* Kunth. NTC 5300. 2008.

NORMA SISMORESISTENTE. Estructuras de madera y estructuras de guadua. NSR-10. Capitulo G.

PANTOJA, Nelson y ACUÑA, Diego. Resistencia al corte paralelo a las fibras de la Guadua Angustifolia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, 2005. 220 p.

RODRÍGUEZ, Solmery. Hurtado Andrés. Investigación sobre guadua Angustifolia Kunth realizadas en Colombia (1950-2000). Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Departamento de Bibliotecas. Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ). 2001.

ANEXOS

Anexo A: Municipios de Chachagüi y Buesaco

CHACHAGÜI: Chachagüi se encuentra ubicado entre las coordenadas 1°21'36.72" Norte, 77°17'03.01" Oeste, tiene una altura promedio de 1.950 m.s.n.m., una temperatura media de 20 °C. La cabecera está localizada a una distancia de 28 kilómetros de la ciudad de San Juan de Pasto. Tiene una extensión de 152 km² y está conformado por la cabecera municipal y 6 corregimientos, el gentilicio de sus habitantes es Chachagueños.

Limita al norte con los municipios de Taminango y San Lorenzo, por el sur con el municipio de Pasto, por el oriente con el municipio de Buesaco y al occidente con los municipios de El Tambo y La Florida.

BUESACO: se encuentra ubicado entre las coordenadas 1° 23' de latitud Norte y 77° 8' de Longitud Oeste o del meridiano Greenwich. Se ubica a una altitud de 1.959 mts sobre el nivel del mar, con una temperatura de 18 °C, su área total es de 682 Km², su territorio es montañoso, pero tiene algunas zonas planas, su climatología varía entre los diferentes pisos térmicos entre templados, fríos y páramos, el gentilicio de sus habitantes es Buesaqueños.

Está ubicado a 37 kilómetros al noreste de la capital del departamento de Nariño y limita por el norte con san Lorenzo, Arboleda, Albán y el Tablón; por el oriente con el Tablón y el departamento de putumayo; por el sur con Pasto y el departamento de Putumayo y por el occidente con Chachagüi y Pasto.

Anexo B: Modelos estadísticos para muestras pequeñas

Análisis para determinar el número de muestras

Nivel de confiabilidad 90%

Según estudios realizados anteriormente se toma valores de esfuerzos a compresión:

- $\sigma_{\max} = 662 \text{Kg/cm}^2$
 $\sigma_{\text{prom}} = 438 \text{kg/cm}^2$
 $\sigma_{\min} = 280 \text{kg/cm}^2$
- $\sigma_{\text{prom}} = 343 \text{kg/cm}^2$
- $\sigma_{\max} = 618 \text{kg/cm}^2$
 $\sigma_{\text{prom}} = 504 \text{kg/cm}^2$
 $\sigma_{\min} = 376 \text{kg/cm}^2$

Con estos valores determina la desviación estándar (S) y la media (χ), luego tomamos un rango de máximos y mínimos

$$\sigma_{\max} = 662 \text{kg/cm}^2$$

$\sigma_{\min} = 280 \text{kg/cm}^2$, su rango es (662, 280).

- Determinamos desviación estándar mediante la ecuación:

$$S = \frac{R}{6} \quad [0.1]$$

En donde:

S desviación estándar,

R valor mínimo obtenido de rango de máximos y mínimos, en Kg/cm^2 .

Reemplazando valores se tiene.

$$S = \frac{280}{6} = 46.67$$

$$S = 46.67$$

- Calculamos la media mediante la ecuación:

$$X = \frac{(\mathit{max} + \mathit{min})}{2} \quad [0.2]$$

En donde:

X media aritmética,

σ_{\max} esfuerzo máximo

σ_{\min} esfuerzo mínimo

Reemplazando valores se tiene.

$$X = \frac{(662 + 280)}{2} = 471$$

$$X = 471$$

- Para determinar el número de muestras pequeñas se tiene la siguiente ecuación:

$$n = \left[\frac{Z_2 * S}{e} \right]^2 \quad [0.3]$$

En donde:

n número de muestras pequeñas

Z_2 variable que depende del nivel de confiabilidad:

- Para un nivel de confiabilidad del 99%, $Z_2=2.58$,
- Para un nivel de confiabilidad del 95%, $Z_2=1.96$,

- Para un nivel de confiabilidad del 90%, $Z_2=1.64^*$

Como anteriormente se mencionó nuestra investigación tiene un nivel de confiabilidad del 90%, entonces $Z_2=1.64$.

S desviación estándar,

e valor obtenido de la siguiente ecuación:

$$e = X * 0.05 \quad [0.4]$$

Reemplazando valores tenemos:

$$e=471*0.05=23.55,$$

$e=23.55$, valor que reemplazamos en [0.3], se obtiene.

$$n = \left[\frac{1.64 * 46.67}{23.55} \right]^2 = 10.57$$

$$n= 10.57.$$

Entonces el número de muestras es de $n=11$.

Nota: Al realizar nuestros cálculos se obtuvo 11 muestras pero como la Norma NTC 5525 contempla como mínimo 12 muestras, nos regiremos a ella.

**Anexo C: Corte, Rotulado y Trozado
CUADRO DE MUESTREO POR PARCELA**

CORTE, ROTULADO Y TROZADO

Ubicación: _____ Nombre (Botánico y local): _____

Parcela No: _____ Fecha de corte y despacho: _____

Nota: Antes del corte se debe marcar un anillo a la altura de un metro desde el suelo y se debe verificar los siguientes datos:

Número de culmo	Estado de Madurez *1	Estado Fitosanitario *2	Número de Entrenudos *3	Circunferencia Media *4	Longitud Entrenudo *5

- *1 Renuevo (R), Verde (V), Maduro (M), Seco (S).
- *2 Sano (S), Enfermo (E), Muerto descendente (MD), Seco partido (SP).
- *3 Número de entrenudos entre el suelo y el anillo de pintura
- *4 Circunferencia medida a 1.0 mts desde el suelo.
- *5 Longitud del entrenudo medido a 1.0 mts desde el suelo.

Anexo D: Rotulado y Trozado en probetas según la norma NTC 5525.

ROTULADO Y TROZADO EN PROBETAS

Nombre del ensayo: _____

Lugar de procedencia: _____

Número de envío: _____ Cantidad de culmos: _____

Nombre y dirección del laboratorio: _____

Fecha del ensayo (dd/mm/aa): _____

Temperatura del aire en el laboratorio: _____

Humedad relativa del aire en el laboratorio: _____

- ✓ Además se debe anexar equipo y tipo de montaje utilizado para el desarrollo de este ensayo
- ✓ Resultados de ensayo, siempre se debe incluir valores del contenido de humedad y densidad.

Firma de personal responsable en la ejecución de este Laboratorio:

Laboratorista encargado

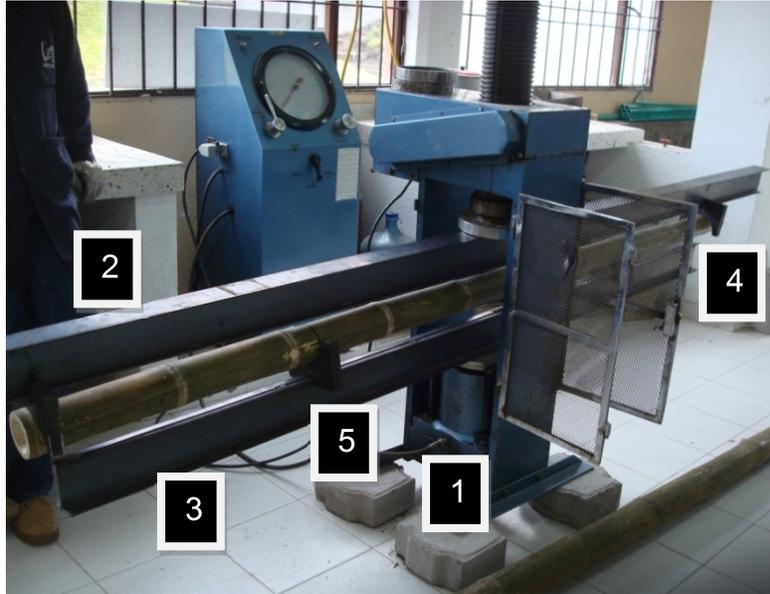
Auxiliar de laboratorio

Est. Fernando Ayala

Est. Jorge Luis Cadena

Anexo E: Montaje inicial para ensayo de Flexión

El ensayo de flexión se lo realizó en un inicio en la prensa hidráulica con la instalación de algunos dispositivos. Ver la siguiente foto



1. Gato Hidráulico
2. Perfil en I, sirve como riel de aplicación de carga.
3. Perfil en I, sirve como riel de soporte.
4. Dispositivo de carga, lámina de acero de una pulgada de espesor, la cual tiene un corte en forma de media luna en un extremo y en el otro un corte adecuado para desplazarse libremente sobre el riel de aplicación de carga.
5. Dispositivo de apoyo, lámina de acero de una pulgada de espesor, la cual tiene un corte en forma de media luna en un extremo y en el otro un corte adecuado para desplazarse libremente sobre el riel de soporte.

Al ejecutar el ensayo se tuvieron algunos inconvenientes como se observa en la siguiente foto:



El espacio entre riel de carga y riel de soporte es pequeña, por lo tanto al aplicar la carga la guadaña toca el riel superior.

El montaje es inestable, debido al tipo de perfil el cual no es tan rígido.

Los extremos del riel inferior están sin apoyo, lo que permite la flexión tanto de la guadaña como del riel.

La altura libre de la prensa hidráulica es muy pequeña para pensar en aumentar las dimensiones del dispositivo de carga.

Para dar solución a estos inconvenientes se realizó un montaje totalmente diferente, del cual se hizo referencia en el capítulo 8.2.4. (MONTAJE PARA ENSAYO DE FLEXIÓN)