

***DISEÑO Y ELABORACION A ESCALA NATURAL DE  
ARMADURAS EN GUADUA ANGUSTIFOLIA***

**JUAN VIDAL GUTIERREZ LOZANO**

**RAUL ANDRES GOMEZ BARRERA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL**

**UNIDAD ACADEMICA DE ESTRUCTURAS**

**SANTAFE DE BOGOTA D. C**

**2.002**

***DISEÑO Y ELABORACION A ESCALA NATURAL DE  
ARMADURAS EN GUADUA ANGUSTIFOLIA***

**JUAN VIDAL GUTIERREZ LOZANO**

**RAUL ANDRES GOMEZ BARRERA**

**Tesis para optar al titulo de  
Ingeniero Civil**

**Director  
CAORI PATRICIA TAKEUCHI TAN  
Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL**

**UNIDAD ACADEMICA DE ESTRUCTURAS**

**SANTAFE DE BOGOTA D. C**

**2.002**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

**Directora del Proyecto**

\_\_\_\_\_  
**Ing. Caori Patricia Takeuchi Tan**

**Jurado**

\_\_\_\_\_  
**Ing. Luz Amanda Salazar**

**Jurado**

\_\_\_\_\_  
**Ing. José Ricardo Martínez**

*A Dios.*

*A mi mamá, mi papá y mi hermana por su apoyo incondicional, su contribución en mi proceso formativo y su amor inagotable.*

*A mis familiares y amigos porque siempre contaré con ellos.*

*JUAN*

*A Dios.*

*A mi padre por su ejemplo de "ser".*

*A mi madre por su enseñanza y dedicación.*

*A Mario, Edna, Familiares y Amigos.*

*En memoria de Mamá Bertha.*

*"Aprender a vivir es aprender a ser alguien, saber ser; para ser, hay que cumplir con las metas"*

*RAUL*

## **AGRADECIMIENTOS**

Extendemos nuestro agradecimiento a:

Caori Patricia Takeuchi Tan, Ingeniera Civil y directora de la investigación, por su guía.

Ricardo Martínez, Ingeniero Civil, por su interés, su inmensa colaboración y su amistad.

Lorena, Jorge, Víctor y Fernando, Ingenieros Civiles.

Guillermo Torres, laboratorista de Ensayos Mecánicos.

Pastor Riaño, laboratorista del Instituto.

Agradecemos a todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la ejecución de este proyecto, las cuales nos brindaron sus conocimientos, su tiempo y su interés en el buen desarrollo de este trabajo.

A nuestros amigos que nos ofrecieron su apoyo incondicional.

## TABLA DE CONTENIDO

	PAGINA
<b>INTRODUCCION</b>	
<b>OBJETIVOS</b>	
<b>1. MARCO TEORICO Y PROPIEDADES MECANICAS DE LA GUADUA</b>	<b>1</b>
1.1. MORFOLOGIA	2
1.2. CULTIVO Y MANEJO	3
1.3. PROPIEDADES MECANICAS DE LA GUADUA	10
1.3.1. Tracción	10
1.3.2. Compresión Paralela A La Fibra	11
1.3.3. Corte Paralelo A La Fibra	14
1.3.3. Otras	14
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>15</b>
2.1. ARMADURAS	16
2.1.1. Formas Y Proporciones	17
2.2. UNIONES	18
2.2.1. Uniones Con Excentricidad	18
2.2.2. Uniones Sin Excentricidad	23
2.3. MÓDULO DE ELASTICIDAD	26
<b>3. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA</b>	<b>29</b>
3.1. DETERMINACIÓN DEL USO DE LA ESTRUCTURA	29
3.2. GEOMETRÍA DE LA ARMADURA	31

3.2.1.	Longitud Del Cordón Superior	31
3.2.2.	Altura De La Armadura	31
3.2.3.	Configuración De Los Nudos	31
3.2.4.	Diámetros Y Espesores De Los Elementos	31
3.2.5.	Longitud De Los Apoyos	32
3.3.	<b>DETERMINACIÓN DE CARGAS</b>	34
3.3.1.	Cargas Muertas	34
3.3.2.	Cargas Sísmicas	34
3.3.3.	Cargas Vivas	34
3.3.4.	Combinaciones De Carga	35
3.4.	<b>DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD</b>	35
3.5.	<b>SISTEMAS DE UNION</b>	36
3.6.	<b>HIPOTESIS DEL MODELO</b>	36
3.7.	<b>ANALISIS ESTRUCTURAL</b>	37
3.7.1.	Armaduras Con Excentricidad	38
3.7.2.	Armaduras Sin Excentricidad	43
3.8.	<b>DISEÑO DE LA ESTRUCTURA</b>	47
3.8.1.	Aplastamiento	48
3.8.2.	Esfuerzos Teóricos	49
3.8.2.1.	Esfuerzos Teóricos En Armaduras Con Excentricidad	49
3.8.2.2.	Esfuerzos Teóricos En Armaduras Sin Excentricidad	49
3.8.3.	Diseño De Elementos Sometidos A Tensión Axial	50
3.8.4.	Diseño De Elementos Sometidos A Compresión Axial	51
3.8.5.	Diseño De Uniones	59
3.8.5.1.	Pasador	59
3.8.5.2.	Pletinas	60
4.	<b>CONSTRUCCION</b>	62

4.1.	<b>DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE MATERIAL</b>	<b>62</b>
4.2.	<b>COMPRA DE MATERIAL</b>	<b>71</b>
4.3.	<b>SELECCIÓN DE LA GUADUA</b>	<b>72</b>
4.3.1.	Clasificación Visual Por Defectos	73
4.3.2.	Clasificación Visual Estructural	74
4.4.	<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>	<b>74</b>
4.4.1.	Selección De La Guadua	74
4.4.2.	Tratamiento	75
4.4.3.	Corte	76
4.4.4.	Metodología	79
4.4.4.1.	Modelo 1: <i>Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Simón Vélez</i>	79
4.4.4.2.	Modelo 2: <i>Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Mecánica Modificada</i>	80
4.4.4.3.	Modelo 3: <i>Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Abrazadera</i>	80
4.4.4.4.	Modelo 4: <i>Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Pletina</i>	81
4.4.4.5.	Modelo 5: <i>Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Anclaje</i>	82
4.4.4.6.	Modelo 6: <i>Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Anclaje Axial</i>	83
4.4.5.	Relleno	83
5.	<b>COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA</b>	<b>85</b>
5.1.	<b>ARMADURAS</b>	<b>85</b>
5.1.1.	Modelo 1. <i>Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Simón Vélez</i>	85
5.1.2.	Modelo 2. <i>Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Mecánica Modificada</i>	86
5.1.3.	Modelo 3. <i>Armadura Tipo Warren Invertido Con</i>	87

	<b>Unión Tipo Abrazadera</b>	
5.1.4.	<b>Modelo 4. Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Pletinas</b>	<b>88</b>
5.1.5.	<b>Modelo 5: Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Anclaje</b>	<b>89</b>
5.1.6.	<b>Modelo 6: Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Anclaje Axial</b>	<b>90</b>
5.2.	<b>PESOS DE LA ARMADURA</b>	<b>91</b>
5.3.	<b>DESCRIPCION DEL MODELO DE ENSAYO</b>	<b>91</b>
5.3.1.	<b>Apoyos</b>	<b>92</b>
5.3.2.	<b>Zona De Carga</b>	<b>94</b>
5.4.	<b>EVOLUCION DEL ENSAYO</b>	<b>95</b>
5.5.	<b>ZONAS DE FALLA</b>	<b>96</b>
6.	<b>ANALISIS DE RESULTADOS</b>	<b>97</b>
6.1.	<b>CARGAS ULTIMAS</b>	<b>97</b>
6.2.	<b>PESOS</b>	<b>98</b>
6.3.	<b>ANALISIS ESTRUCTURAL PARA CARGAS DE FALLA</b>	<b>100</b>
6.3.1.	<b>Armaduras Tipo Warren Invertido Con Excentricidad</b>	<b>103</b>
6.3.2.	<b>Armaduras Tipo Warren Invertido Sin Excentricidad</b>	<b>105</b>
6.4.	<b>REGISTRO DE DEFLEXIONES</b>	<b>108</b>
6.4.1.	<b>Modelo 1. Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Simón Vélez</b>	<b>108</b>
6.4.2.	<b>Modelo 2. Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Mecánica Modificada</b>	<b>110</b>
6.4.3.	<b>Modelo 3. Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Abrazadera</b>	<b>112</b>
6.4.4.	<b>Modelo 4. Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Pletinas</b>	<b>114</b>
6.4.5.	<b>Modelo 5: Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Anclaje</b>	<b>116</b>
6.4.6.	<b>Modelo 6: Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión</b>	<b>118</b>

	<b>Tipo Anclaje Axial</b>	
<b>6.5.</b>	<b>DEFLEXIONES</b>	<b>120</b>
<b>6.6.</b>	<b>REGISTRO DE FALLAS</b>	<b>122</b>
<b>6.6.1.</b>	<b>Modelo 1. Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Simón Vélez</b>	<b>122</b>
<b>6.6.2.</b>	<b>Modelo 2. Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Mecánica Modificada</b>	<b>125</b>
<b>6.6.3.</b>	<b>Modelo 3. Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Abrazadera</b>	<b>127</b>
<b>6.6.4.</b>	<b>Modelo 4. Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Pletinas</b>	<b>128</b>
<b>6.6.5.</b>	<b>Modelo 5: Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Anclaje</b>	<b>130</b>
<b>6.6.6.</b>	<b>Modelo 6: Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Anclaje Axial</b>	<b>131</b>
<b>6.7.</b>	<b>ANALISIS DE FALLAS</b>	<b>132</b>
<b>6.7.1.</b>	<b>Falla Por Rajadura En La Guadua</b>	<b>132</b>
<b>6.7.2.</b>	<b>Falla Por Aplastamiento En La Guadua</b>	<b>132</b>
<b>6.7.3.</b>	<b>Falla Por Flexión Del Pasador</b>	<b>132</b>
<b>6.7.4.</b>	<b>Falla Por Aplastamiento En Las Pletinas</b>	<b>133</b>
<b>6.7.5.</b>	<b>Falla Por Desprendimiento De Los Tornillos</b>	<b>133</b>
<b>6.8.</b>	<b>MOMENTO TORSOR</b>	<b>134</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>135</b>
<b>8.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>138</b>
	<b>ANEXO A</b>	<b>139</b>
	<b>ANEXO B</b>	<b>160</b>
	<b>ANEXO C</b>	<b>168</b>
	<b>ANEXO D</b>	<b>171</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>173</b>

## LISTA DE TABLAS

	PAGINA
<b>TABLA N° 1.</b> Guadua Angustifolia Kunth.	1
<b>TABLA N° 2.</b> Partes de la Guadua Angustifolia Kunth.	2
<b>TABLA N° 3.</b> Características de las distintas formas de la Guadua Angustifolia Kunth.	2
<b>TABLA N° 4.</b> Propagación.	4
<b>TABLA N° 5.</b> Siembra.	6
<b>TABLA N° 6.</b> Limpieza.	6
<b>TABLA N° 7.</b> Fertilización.	6
<b>TABLA N° 8.</b> Aprovechamiento.	7
<b>TABLA N° 9.</b> Corte.	7
<b>TABLA N° 10.</b> Curado.	8
<b>TABLA N° 11.</b> Preservación.	9
<b>TABLA N° 12.</b> Plagas, enfermedades y daños.	10
<b>TABLA N° 13.</b> Esfuerzos Admisibles.	14
<b>TABLA N° 14.</b> Unión tipo Simón Vélez.	18
<b>TABLA N° 15.</b> Unión mecánica.	19
<b>TABLA N° 16.</b> Unión con mortero y maderos o varillas.	20
<b>TABLA N° 17.</b> Unión con abrazadera.	21
<b>TABLA N° 18.</b> Unión mecánica modificada.	22
<b>TABLA N° 19.</b> Unión con pletinas.	23
<b>TABLA N° 20.</b> Unión por anclaje.	24
<b>TABLA N° 21.</b> Unión por anclaje axial.	25
<b>TABLA N° 22.</b> Módulo de elasticidad a compresión con contenido de humedad del 12%	27

<b>TABLA N° 23.</b>	Relación entre el esfuerzo máximo a compresión y el contenido de humedad.	27
<b>TABLA N° 24.</b>	Módulo de elasticidad a flexión en función de la luz libre.	27
<b>TABLA N° 25.</b>	Propiedades geométricas de los elementos.	33
<b>TABLA N° 26.</b>	Factores de modificación para secciones de la Armadura con excentricidad.	40
<b>TABLA N° 27.</b>	Fuerza axial y momento torsor para secciones de la armadura con excentricidad.	43
<b>TABLA N° 28.</b>	Factores de modificación para secciones de la Armadura sin excentricidad.	44
<b>TABLA N° 29.</b>	Fuerza axial para secciones de la armadura sin excentricidad.	46
<b>TABLA N° 30.</b>	Esfuerzos admisibles en la Guadua.	48
<b>TABLA N° 31.</b>	Esfuerzos teóricos en armaduras con excentricidad.	49
<b>TABLA N° 32.</b>	Esfuerzos teóricos en armaduras sin excentricidad.	49
<b>TABLA N° 33.</b>	Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo Simón Vélez.	64
<b>TABLA N° 34.</b>	Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo mecánica modificada.	65
<b>TABLA N° 35.</b>	Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo abrazadera.	66
<b>TABLA N° 36.</b>	Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo pletinas.	67
<b>TABLA N° 37.</b>	Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo anclaje.	68
<b>TABLA N° 38.</b>	Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo anclaje axial.	69
<b>TABLA N° 39.</b>	Cantidades de obra totales.	70
<b>TABLA N° 40.</b>	Equipos y herramientas.	70
<b>TABLA N° 41.</b>	Cantidades de obra necesarias.	71
<b>TABLA N° 42.</b>	Costos de material y equipos de obra.	72

<b>TABLA N° 43.</b>	Pesos de armaduras.	91
<b>TABLA N° 44.</b>	Evolución del ensayo.	95
<b>TABLA N° 45.</b>	Zonas de falla.	96
<b>TABLA N° 46.</b>	Fuerzas axiales y esfuerzos en elementos correspondientes a la armadura tipo Warren invertido con unión tipo Simón Vélez.	100
<b>TABLA N° 47.</b>	Fuerzas axiales y esfuerzos en elementos correspondientes a la armadura tipo Warren invertido con unión tipo mecánica modificada.	101
<b>TABLA N° 48.</b>	Fuerzas axiales y esfuerzos en elementos correspondientes a la armadura tipo Warren invertido con unión tipo abrazadera.	101
<b>TABLA N° 49.</b>	Fuerzas axiales y esfuerzos en elementos correspondientes a la armadura tipo Warren invertido con unión tipo pletinas.	102
<b>TABLA N° 50.</b>	Fuerzas axiales y esfuerzos en elementos correspondientes a la armadura tipo Warren invertido con unión tipo anclaje.	102
<b>TABLA N° 51.</b>	Fuerzas axiales y esfuerzos en elementos correspondientes a la armadura tipo Warren invertido con unión tipo anclaje axial.	103
<b>TABLA N° 52.</b>	Deformación armadura tipo Warren invertido con unión tipo Simón Vélez.	108
<b>TABLA N° 53.</b>	Deformación armadura tipo Warren invertido con unión tipo mecánica modificada.	110
<b>TABLA N° 54.</b>	Deformación armadura tipo Warren invertido con unión tipo abrazadera.	112
<b>TABLA N° 55.</b>	Deformación armadura tipo Warren invertido con unión tipo pletinas.	114
<b>TABLA N° 56.</b>	Deformación armadura tipo Warren invertido con unión tipo anclaje.	116
<b>TABLA N° 57.</b>	Deformación armadura tipo Warren invertido con unión tipo anclaje axial.	118
<b>TABLA N° 58.</b>	Relación Longitud / Deflexión.	121
<b>TABLA N° 59.</b>	Momento torsor en armaduras con excentricidad.	134
<b>TABLA N° 60.</b>	Comparación esfuerzos admisibles - último.	136

<b>TABLA N° 61.</b>	Relación resistencia / peso.	136
<b>TABLA N° 62.</b>	Deflexión (1400 kgf).	137
<b>TABLA N° 63.</b>	Ensayos de tracción convenio AIS-FOREC	139
<b>TABLA N° 64.</b>	Bases de datos ensayos de compresión.	142
<b>TABLA N° 65.</b>	Ensayos de compresión convenio AIS-FOREC	143
<b>TABLA N° 66.</b>	Resumen de resultados a compresión.	153
<b>TABLA N° 67.</b>	Ensayos de corte convenio AIS-FOREC	156
<b>TABLA N° 68.</b>	Datos experimentales para contenido de humedad y módulo de elasticidad.	171
<b>TABLA N° 69.</b>	Datos experimentales para contenido de humedad y esfuerzos.	172

## LISTA DE FIGURAS

	PAGINA
<b>FIGURA N° 1.</b> Cultivo y manejo de la guadua	4
<b>FIGURA N° 2.</b> Tipos de armaduras	16
<b>FIGURA N° 3.</b> Armadura tipo Warren	17
<b>FIGURA N° 4.</b> Alzado, unión Simón Vélez.	18
<b>FIGURA N° 5.</b> Planta, unión Simón Vélez.	18
<b>FIGURA N° 6.</b> Falla esperada, unión Simón Vélez.	18
<b>FIGURA N° 7.</b> Alzado, unión mecánica.	19
<b>FIGURA N° 8.</b> Planta, unión mecánica.	19
<b>FIGURA N° 9.</b> Falla esperada, unión mecánica.	19
<b>FIGURA N° 10.</b> Alzado, unión con mortero y maderos o varillas.	20
<b>FIGURA N° 11.</b> Planta, unión con mortero y maderos o varillas.	20
<b>FIGURA N° 12.</b> Falla esperada, unión con mortero y maderos o varillas.	20
<b>FIGURA N° 13.</b> Alzado, unión con abrazadera.	21
<b>FIGURA N° 14.</b> Planta, unión con abrazadera.	21
<b>FIGURA N° 15.</b> Falla esperada, unión con abrazadera.	21
<b>FIGURA N° 16.</b> Alzado, unión mecánica modificada.	22
<b>FIGURA N° 17.</b> Planta, unión mecánica modificada.	22
<b>FIGURA N° 18.</b> Falla esperada, unión mecánica modificada.	22
<b>FIGURA N° 19.</b> Alzado, unión con pletinas.	23
<b>FIGURA N° 20.</b> Planta, unión con pletinas.	23
<b>FIGURA N° 21.</b> Falla esperada, unión con pletinas.	23
<b>FIGURA N° 22.</b> Alzado, unión por anclaje.	24
<b>FIGURA N° 23.</b> Planta, unión por anclaje.	24
<b>FIGURA N° 24.</b> Falla esperada, unión por anclaje.	24
<b>FIGURA N° 25.</b> Alzado, unión por anclaje axial.	25

<b>FIGURA N° 26.</b>	Planta, unión por anclaje axial.	25
<b>FIGURA N° 27.</b>	Falla esperada, unión por anclaje axial.	25
<b>FIGURA N° 28.</b>	Puente con armaduras tipo Warren Invertido.	30
<b>FIGURA N° 29.</b>	Geometría de la armadura tipo Warren Invertido.	33
<b>FIGURA N° 30.</b>	Numeración de nudos y elementos de la armadura tipo Warren Invertido.	33
<b>FIGURA N° 31.</b>	Modelo armadura con excentricidad para análisis en SAP2000	38
<b>FIGURA N° 32.</b>	Modelo armadura con excentricidad, nudos para análisis en SAP2000.	38
<b>FIGURA N° 33.</b>	Modelo armadura con excentricidad, elementos para análisis en SAP2000.	39
<b>FIGURA N° 34.</b>	Sección GUADUA1.	39
<b>FIGURA N° 35.</b>	Sección GUADUA2.	39
<b>FIGURA N° 36.</b>	Sección PASADOR.	40
<b>FIGURA N° 37.</b>	Carga muerta armaduras con excentricidad.	41
<b>FIGURA N° 38.</b>	Carga viva armaduras con excentricidad.	41
<b>FIGURA N° 39.</b>	Opciones de análisis armadura con excentricidad.	42
<b>FIGURA N° 40.</b>	Fuerzas axiales armadura con excentricidad.	42
<b>FIGURA N° 41.</b>	Torsión armadura con excentricidad.	42
<b>FIGURA N° 42.</b>	Modelo armadura sin excentricidad para análisis en SAP2000	43
<b>FIGURA N° 43.</b>	Modelo armadura sin excentricidad, nudos para análisis en SAP2000	44
<b>FIGURA N° 44.</b>	Modelo armadura sin excentricidad, elementos para análisis en SAP2000	44
<b>FIGURA N° 45.</b>	Carga muerta armaduras sin excentricidad.	45
<b>FIGURA N° 46.</b>	Carga viva armaduras sin excentricidad.	45
<b>FIGURA N° 47.</b>	Opciones de análisis armadura con excentricidad.	46

<b>FIGURA N° 48.</b> Fuerzas axiales armadura sin excentricidad.	46
<b>FIGURA N° 49.</b> Armaduras modelo 1, 2 y 3.	63
<b>FIGURA N° 50.</b> Armaduras modelo 4, 5 y 6.	63
<b>FIGURA N° 51.</b> Detalle unión tipo Simón Vélez.	64
<b>FIGURA N° 52.</b> Detalle unión tipo mecánica modificada.	65
<b>FIGURA N° 53.</b> Detalle unión tipo abrazadera.	66
<b>FIGURA N° 54.</b> Detalle unión tipo pletinas.	67
<b>FIGURA N° 55.</b> Detalle unión tipo anclaje.	68
<b>FIGURA N° 56.</b> Detalle unión tipo anclaje axial.	69
<b>FIGURA N° 57.</b> Detalle elemento diagonal correspondiente a los modelos 1, 2 y 3.	77
<b>FIGURA N° 58.</b> Detalle elemento diagonal correspondiente a los modelos 1, 2 y 3.	78
<b>FIGURA N° 59.</b> Ensayo de corte.	96

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

	PAGINA
<b>FOTOGRAFIA N° 1.</b> Armaduras.	17
<b>FOTOGRAFIA N° 2.</b> Casa Centro Nacional para el estudio de la Guadua.	29
<b>FOTOGRAFIA N° 3.</b> Catedral Pereira.	29
<b>FOTOGRAFIA N° 4.</b> Restaurante Armenia.	29
<b>FOTOGRAFIA N° 5.</b> Puente Panaca.	29
<b>FOTOGRAFIA N° 6.</b> Puente UTP.	30
<b>FOTOGRAFIA N° 7.</b> Mesa.	30
<b>FOTOGRAFIA N° 8.</b> Perforación para inyección del mortero.	84
<b>FOTOGRAFIA N° 9.</b> Perforación para respiración.	84
<b>FOTOGRAFIA N° 10.</b> Armadura tipo Warren invertido con unión tipo Simón Vélez.	85
<b>FOTOGRAFIA N° 11.</b> Detalle unión tipo Simón Vélez.	85
<b>FOTOGRAFIA N° 12.</b> Armadura tipo Warren invertido con unión tipo mecánica modificada.	86
<b>FOTOGRAFIA N° 13.</b> Detalle unión tipo mecánica modificada.	86
<b>FOTOGRAFIA N° 14.</b> Armadura tipo Warren invertido con unión tipo abrazadera.	87
<b>FOTOGRAFIA N° 15.</b> Detalle unión tipo abrazadera.	87
<b>FOTOGRAFIA N° 16.</b> Armadura tipo Warren invertido con unión tipo pletinas.	88
<b>FOTOGRAFIA N° 17.</b> Detalle unión tipo pletina triangular.	88
<b>FOTOGRAFIA N° 18.</b> Detalle unión tipo pletina rectangular.	88
<b>FOTOGRAFIA N° 19.</b> Armadura tipo Warren invertido con unión tipo anclaje.	89
<b>FOTOGRAFIA N° 20.</b> Detalle unión tipo anclaje.	89
<b>FOTOGRAFIA N° 21.</b> Armadura tipo Warren invertido con unión tipo anclaje axial.	90
<b>FOTOGRAFIA N° 22.</b> Detalle unión tipo anclaje axial.	90
<b>FOTOGRAFIA N° 23.</b> Maquina de ensayos y pruebas de carga.	91

<b>FOTOGRAFIA N° 24.</b>	Controles de la maquina.	92
<b>FOTOGRAFIA N° 25.</b>	Columna de apoyo.	92
<b>FOTOGRAFIA N° 26.</b>	Apoyos de concreto.	93
<b>FOTOGRAFIA N° 27.</b>	Alzado apoyo de 1° género.	93
<b>FOTOGRAFIA N° 28.</b>	Planta apoyo de 1° género.	93
<b>FOTOGRAFIA N° 29.</b>	Alzado apoyo de 2° género.	93
<b>FOTOGRAFIA N° 30.</b>	Planta apoyo de 2° género.	93
<b>FOTOGRAFIA N° 31.</b>	Perfil transmisor de carga.	94
<b>FOTOGRAFIA N° 32.</b>	Aplicación de carga a la armadura.	94
<b>FOTOGRAFIA N° 33.</b>	Montaje de la armadura.	95
<b>FOTOGRAFIA N° 34.</b>	Aplastamiento en las paredes de la Guadua en la perforación de relleno del cordón superior.	122
<b>FOTOGRAFIA N° 35.</b>	Rajadura a la altura del pasador y posterior aplastamiento en las paredes de la Guadua en la perforación de relleno del cordón superior.	122
<b>FOTOGRAFIA N° 36.</b>	Aplastamiento en las paredes de la Guadua.	123
<b>FOTOGRAFIA N° 37.</b>	Rajadura en las paredes de la Guadua.	123
<b>FOTOGRAFIA N° 38.</b>	Rajadura en las paredes de la Guadua.	123
<b>FOTOGRAFIA N° 39.</b>	Rajadura en las paredes de la Guadua.	124
<b>FOTOGRAFIA N° 40.</b>	Rajadura y aplastamiento en las paredes de la Guadua.	124
<b>FOTOGRAFIA N° 41.</b>	Desprendimiento de los tornillos de la pared de la Guadua.	125
<b>FOTOGRAFIA N° 42.</b>	Desprendimiento de los tornillos de la pared de la Guadua.	125
<b>FOTOGRAFIA N° 43 y 44.</b>	Rajadura en las paredes de la Guadua.	126
<b>FOTOGRAFIA N° 45.</b>	Flexión del pasador.	126
<b>FOTOGRAFIA N° 46.</b>	Rajadura y posterior aplastamiento en las paredes de la Guadua por el orificio de relleno con mortero.	127

<b>FOTOGRAFIA N° 47.</b>	Rajadura y posterior aplastamiento en las paredes de la Guadua en la perforación de relleno.	127
<b>FOTOGRAFIA N° 48.</b>	Rajadura en las paredes de la Guadua en elemento diagonal.	128
<b>FOTOGRAFIA N° 49.</b>	Aplastamiento en las paredes de la Guadua en apoyo del cordón superior.	128
<b>FOTOGRAFIA N° 50.</b>	Rajadura en las paredes de la Guadua en elemento del cordón superior.	128
<b>FOTOGRAFIA N° 51.</b>	Rajadura y aplastamiento en las paredes de la Guadua en apoyo del cordón superior.	129
<b>FOTOGRAFIA N° 52.</b>	Rajadura y aplastamiento en las paredes de la Guadua en apoyo del cordón superior.	129
<b>FOTOGRAFIA N° 53.</b>	Rajadura en las paredes de elemento diagonal a tensión.	130
<b>FOTOGRAFIA N° 54.</b>	Rajadura en las paredes de la Guadua de elemento diagonal a tensión.	130
<b>FOTOGRAFIA N° 55.</b>	Expulsión del mortero de la diagonal a tensión posterior al desgarramiento de la pared de la Guadua.	130
<b>FOTOGRAFIA N° 56.</b>	Rajadura en las paredes de la Guadua previa a la expulsión del mortero.	131
<b>FOTOGRAFIA N° 57 y 58.</b>	Expulsión del mortero del cordón inferior.	131

## LISTA DE GRAFICAS

	PAGINA
<b>GRAFICA N° 1.</b> Cargas de falla en armaduras tipo Warren invertido.	97
<b>GRAFICA N° 2.</b> Pesos en armaduras tipo Warren invertido.	99
<b>GRAFICA N° 3.</b> Comparación de esfuerzos para elementos 1 y 3 en armaduras con excentricidad.	103
<b>GRAFICA N° 4.</b> Comparación de esfuerzos para elemento 2 en armaduras con excentricidad.	103
<b>GRAFICA N° 5.</b> Comparación de esfuerzos para elementos 4 y 5 en armaduras con excentricidad.	104
<b>GRAFICA N° 6.</b> Comparación de esfuerzos para elemento 6 y 11 en armaduras con excentricidad.	104
<b>GRAFICA N° 7.</b> Comparación de esfuerzos para elementos 7 y 10 en armaduras con excentricidad.	104
<b>GRAFICA N° 8.</b> Comparación de esfuerzos para elemento 8 y 9 en armaduras con excentricidad.	104
<b>GRAFICA N° 9.</b> Comparación de esfuerzos para elementos 1 y 3 en armaduras sin excentricidad.	105
<b>GRAFICA N° 10.</b> Comparación de esfuerzos para elemento 2 en armaduras sin excentricidad.	105
<b>GRAFICA N° 11.</b> Comparación de esfuerzos para elementos 4 y 5 en armaduras sin excentricidad.	106
<b>GRAFICA N° 12.</b> Comparación de esfuerzos para elemento 6 y 11 en armaduras sin excentricidad.	106
<b>GRAFICA N° 13.</b> Comparación de esfuerzos para elementos 7 y 10 en armaduras sin excentricidad.	106
<b>GRAFICA N° 14.</b> Comparación de esfuerzos para elemento 8 y 9 en armaduras sin excentricidad.	106
<b>GRAFICA N° 15.</b> Deflexiones obtenidas para modelo de armadura tipo Warren invertido con unión tipo Simón Vélez.	109
<b>GRAFICA N° 16.</b> Deflexiones obtenidas para modelo de armadura tipo Warren invertido con unión tipo mecánica modificada.	111

<b>GRAFICA N° 17.</b>	Deflexiones obtenidas para modelo de armadura tipo Warren invertido con unión tipo abrazadera.	113
<b>GRAFICA N° 18.</b>	Deflexiones obtenidas para modelo de armadura tipo Warren invertido con unión tipo pletina.	115
<b>GRAFICA N° 19.</b>	Deflexiones obtenidas para modelo de armadura tipo Warren invertido con unión tipo anclaje.	117
<b>GRAFICA N° 20.</b>	Deflexiones obtenidas para modelo de armadura tipo Warren invertido con unión tipo anclaje axial.	119
<b>GRAFICA N° 21.</b>	Deflexiones máximas en armaduras tipo Warren invertido.	120
<b>GRAFICA N° 22.</b>	Relación carga-deflexión en armaduras tipo Warren invertido.	120
<b>GRÁFICA N° 23.</b>	Histograma de resistencia máxima a la tracción.	140
<b>GRÁFICA N° 24.</b>	Diámetro medio vs Esfuerzo máximo de tracción.	140
<b>GRÁFICA N° 25.</b>	Histograma de resistencias máximas a compresión	144
<b>GRÁFICA N° 26.</b>	Longitud Vs Resistencia máxima promedio a compresión	145
<b>GRÁFICA N° 27.</b>	Distribuciones de resistencias máximas a compresión para varias longitudes.	146
<b>GRÁFICA N° 28.</b>	Espesor Vs Carga máxima de compresión	147
<b>GRÁFICA N° 29.</b>	Diámetro exterior Vs Carga máxima de compresión	148
<b>GRÁFICA N° 30.</b>	Diámetro medio Vs Carga máxima de compresión	148
<b>GRÁFICA N° 31.</b>	Área Vs Carga máxima de compresión	149
<b>GRÁFICA N° 32.</b>	Momento de Inercia Vs Carga máxima de compresión	149
<b>GRÁFICA N° 33.</b>	Radio de giro Vs Carga máxima de compresión	150
<b>GRÁFICA N° 34.</b>	Relación Diámetro/espesor Vs Carga máxima de compresión	151

<b>GRÁFICA N° 35.</b> Relación Diámetro/espesor Vs Area	152
<b>GRÁFICA N° 36.</b> Relación de esbeltez Vs Esfuerzos a compresión	152
<b>GRÁFICA N° 37.</b> Frecuencias acumuladas de esfuerzos últimos a compresión	153
<b>GRÁFICA N° 38.</b> Histograma de resistencias máximas al corte	157
<b>GRÁFICA N° 39.</b> Espesor vs Carga máxima de cortante	157
<b>GRÁFICA N° 40.</b> Altura vs Carga máxima de cortante	158
<b>GRÁFICA N° 41.</b> Área vs Carga máxima de cortante	158
<b>GRAFICA N° 42.</b> Relación modulo de elasticidad – contenido de humedad.	171
<b>GRAFICA N° 43.</b> Relación modulo de elasticidad – contenido de humedad.	172

## LISTA DE ANEXOS

PAGINA

- A.1. ENSAYO DE TRACCION
- A.1.1. Pruebas de laboratorio.
- A.1.2. Valor de diseño por esfuerzos admisibles a tracción.
- A.2. ENSAYO DE COMPRESION PARALELA A LA FIBRA
- A.2.1. Ensayos de compresión de columnas.
- A.2.2. Valor de diseño por esfuerzos admisibles a compresión.
- A.3. *CORTE PARALELO A LA FIBRA*
- A.3.1. Pruebas de laboratorio.
- A.3.2. Valor de diseño por esfuerzos admisibles a esfuerzo cortante.
- B.1. TABLA DE ENTRADA ARMADURA CON EXCENTRICIDAD
- B.2. TABLA DE SALIDA ARMADURA CON EXCENTRICIDAD
- B.3. TABLA DE ENTRADA ARMADURA SIN EXCENTRICIDAD
- B.4. TABLA DE SALIDA ARMADURA SIN EXCENTRICIDAD
- C.1. FORMULA PARA EL CÁLCULO DE COLUMNAS CORTAS
- D.1. RELACION MODULO DE ELASTICIDAD – CONTENIDO DE HUMEDAD
- D.2. RELACION ESFUERZO ÚLTIMO – CONTENIDO DE HUMEDAD

## INTRODUCCION

Es notable el interés que se ha creado por la utilización de la guadua en la constitución de elementos estructurales en construcción, por lo que investigaciones preliminares y parte del trabajo se han enfocado al estudio de las características mecánicas y el comportamiento en estructura de este material.

La guadua ha sido el blanco de amplias investigaciones con distintos puntos de vista, como el arquitectónico y el artesanal, pero su estudio en el área de la Ingeniería Estructural es relativamente joven con respecto a los anteriores, su uso en este campo de aplicación ha sido promovido significativamente por la región del eje cafetero aprovechando su alto nivel de disponibilidad y de confiabilidad de la calidad del material.

En este proyecto se analizan algunas características de las armaduras en guadua utilizando modelos con la misma geometría, con diferentes tipos de unión, sometidos a cargas aplicadas puntualmente en los nudos interiores de sus respectivos cordones superiores, con el fin de obtener ordenes de magnitud para cargas de servicio y deflexiones admisibles.

El procedimiento de análisis llevado a cabo en este trabajo puede aplicarse a diferentes utilidades de las armaduras, como puentes y en estructuras de cubierta.

## **OBJETIVOS**

### **GENERALES**

- ❖ Estudiar la Guadua Angustifolia y su aplicabilidad para la construcción de armaduras.
- ❖ Dar recomendaciones de diseño para armaduras fabricadas con Guadua Angustifolia.

### **ESPECÍFICO**

- ❖ Crear el soporte de información acerca de los criterios de diseño y construcción de armaduras con Guadua Angustifolia.

## BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SÍSMICA. Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas en Bahareque Encementado. 2001. Publicado con el auspicio de la Fundación Corona.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SISMICA. Normas Colombinas de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá: AIS., 1998.

CLAVIJO ORTIZ., Sandra Cecilia y TRUJILLO CHEATLE., Jorge David. Evaluación de uniones a tracción en guadua. Santafé de Bogotá, 2000. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de ingeniería civil; p. 125.

C.R.Q. – CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL QUINDÍO. CENTRO NACIONAL PARA EL ESTUDIO DEL BAMBU – GUADUA. Hojas informativas No 1 al 15.

GERE, James M y TIMOSHENKO, Stephen P. Mecánica de materiales. México, D.F: Grupo editorial Iberoamericana S.A. de C.V., 1984.

GOMEZ M., Carlos y RUBIO L, Fabio. Esfuerzos de trabajo para elementos estructurales de guadua (Bambusa Guadua). Trabajo de grado (Ingeniero Civil) Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil. 1990.

GONZALES, Eugenia y DIAZ, Jhon. Propiedades físicas y mecánicas de la guadua. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 1992.

HIDALGO, Oscar. Bambú, su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía, CIBAM, Centro de investigación de Bambú y madera, Universidad Nacional de Colombia. Cali, Colombia. Estudios Técnicos Colombianos – Editores, 1974. 318 p.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de diseño para maderas del grupo Andino. Lima Perú : JUNAC., 1984.

LÓPEZ, Luis Felipe y SILVA, Mario Felipe. Comportamiento sismorresistente de estructuras en bahareque. Manizales, 2000. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Facultad de Ingeniería.

Manual de construcción con bambú. CIBAM, Centro de Investigación de Bambú y Madera, Universidad Nacional de Colombia. Estudios Técnicos Colombianos – Editores, 1981. 71 p.

Manual de construcción con bambú. CIBAM, Centro de Investigación de Bambú y Madera, Universidad Nacional de Colombia. Estudios Técnicos Colombianos – Editores, 1978. 137p.

LONDOÑO PAVA, Ximena. Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del nuevo mundo. En: CESPEDESIA. Vol.19 Nos. 62 – 63 (enero – diciembre 1992). Cali, Colombia. p. 87 – 137.

Estudio Botánico, Ecológico y silvicultural y económico – industrial de las Bambusoideae de Colombia. En : CESPEDESIA. Vol XVII, No. 59 (julio – diciembre 1990). Cali, Colombia. p. 51 – 73.

Estudio Botánico, Ecológico y silvicultural y económico – industrial de las Bambusoideae de Colombia. En : CESPEDESIA. Vol XVIII, No. 60 (enero - julio 1991). Cali, Colombia. p. 51 – 73.

MARTINEZ CÁCERES, Dixon Emmanuelle. Puentes en do mayor (Tesis de grado). En : CONGRESO MUNDIAL DE BAMBÚ / GUADUA. (1° : 1992 : Pereira). Memorias I Congreso Mundial de Bambú / Guadua. Pereira: 1992.

Normas ASTM: D 143 y D 198

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

SALAZAR CONTRERAS, Jaime y DIAZ, Gustavo. Inmunización de la guadua. En: Ingeniería e investigación. No 38 (diciembre 1997). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Santafé de Bogotá. p. 14

THE INTERNATIONAL NETWORK ON BAMBOO AND RATTAN. Inbar standart for determination of physical and mechanical properties of bamboo. INBAR., 1999.

BEER Ferdinand P. y JOHNSTON JR E. Rousell. Mecánica vectorial para ingenieros. Sexta Edición. Mc Graw Hill.

SANCHEZ, Jorge y PRIETO, Edwin. Comportamiento de la guadua angustifolia sometida a flexión. Bogotá 2000. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil.