

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN**

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS  
MADERAS NATIVAS DEL ECUADOR: ALISO, CANELO  
AMARILLO, MANZANO COLORADO, ROBLE PARA EL DISEÑO  
ESTRUCTURAL DEL CONVENTO PARA EL CENTRO PASTORAL  
ESPÍRITU SANTO A UBICARSE EN EL CAMAL  
METROPOLITANO EN LA CIUDAD DE QUITO.**

**Previa a la obtención de Grado Académico o Título de:  
INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR:  
JAVIER MAURICIO CLAVÓN GUALOTO  
FRANCISCO JAVIER ROSERO AMORES**

**DIRECTOR: ING MARIO ARIAS  
COODIRECTOR: ING PABLO GÓMEZ**

**SANGOLQUÍ, Julio de 2013**

## **CERTIFICACION**

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el (los) Sr(s). JAVIER MAURICIO CLAVÓN GUALOTO Y FRANCISCO JAVIER ROSERO AMORES como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO CIVIL.

Sangolquí, 15 de Julio del 2013

---

ING. MARIO ARIAS SANTILLÁN

---

ING. PABLO GÓMEZ ROSERO

REVISADO POR

---

ING. JORGE ZÚÑIGA GALLEGOS

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Javier Mauricio Clavón Gualoto y Francisco Javier Rosero Amores, cuyo título es: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS MADERAS NATIVAS DEL ECUADOR: ALISO, CANELO AMARILLO, MANZANO COLORADO, ROBLE PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL CONVENTO PARA EL CENTRO PASTORAL ESPÍRITU SANTO A UBICARSE EN EL CAMAL METROPOLITANO EN LA CIUDAD DE QUITO.** Es de nuestra autoría, que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

Javier Mauricio Clavón Gualoto

---

Francisco Javier Rosero Amores

## AUTORIZACIÓN

La Escuela Politécnica del Ejército, puede hacer uso de los derechos correspondiente, según la ley de propiedad intelectual y se autoriza la publicación de este proyecto en el repositorio digital de la institución, según ART. 146 de la ley de educación superior.

---

Javier Mauricio Clavón Gualoto

---

Francisco Javier Rosero Amores

## **DEDICATORIA**

A mi madre, porque creyó en mí y porque me sacó adelante, dándome ejemplos dignos de superación, entrega, fortaleza y perseverancia , porque en gran parte gracias a ella, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvo impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que siente por mi, fue lo que me hizo ir hasta el final.

A mis abuelos, tíos, primos, amigos, y personas que se encuentran en mi vida, gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

Finalmente a Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este proceso.

JAVIER MAURICIO CLAVÓN GUALOTO

## **DEDICATORIA**

Este Trabajo es dedicado a Dios por haberme dado la sabiduría, salud y amor.

A mis padres Eduardo y Carmen del Rosario que más que unos padres han sido amigos y maestros que con su amor, disciplina, apoyo incondicional, consejos y enseñanzas han sido la base para la obtención de mis objetivos y metas propuestas en mi vida, los cuales con su fortaleza y tenacidad han sido un pilar fundamental para enfrentar adversidades presentadas a lo largo de mi vida y me han demostrado que no habrá ningún obstáculo más grande que los puestos por mi mente.

FRANCISCO JAVIER ROSERO AMORES

## **AGRADECIMIENTO**

Para poder realizar ésta investigación de la mejor manera fue necesario el apoyo de muchas personas a las cuales quiero agradecer .

En primer lugar mamá, Susana G. que no me alcanzaría el tiempo para agradecerle el apoyo tanto moral y económico que me ha dado. De igual manera a mis abuelos Alberto G. y María P. Tíos Wilfrido G. Mireya B. Marcia G. Edison G. Mónica C. Patricia G. Carlos G y Mónica H, y mis Primos Erick G. Steven C. David G. Kevin G. Daniela G. Fátima G. Martín G. Valentina G. y Matías G. que al mantener una familia unida me han dado aliento en los momentos difíciles que he pasado.

A mis grandes amigos y a una persona que ha enseñado mucho en muy poco tiempo Patricia P. Diego O. José G. Jesús L Jorge P. Edison C. Alejandro E. Darwin B. Karla P. que con su apoyo moral y técnico he logrado finalizar de la mejor manera este objetivo que me he planteado.

A mi director y codirector Ing. Mario A. Ing. Pablo G. que con sus conocimiento han sido la guía perfecta para realizar esta investigación.

Finalmente y no por eso menos importante a Dios por colmarme de bendiciones , motivarme en los momentos buenos y malos que te tenido que vivir y por haberme puesto en mi camino a todas estas personas.

JAVIER MAURICIO CLAVÓN GUALOTO

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mis padres y a toda mi familia en especial mi abuelita Carmen y mi tío Rodrigo por brindarme su confianza, consejos y apoyo en todos los momentos de mi vida.

Además agradezco a la institución que me acogió, la misma que con sus docentes, han sido los formadores de conocimiento necesario para culminar con éxito mi carrera. Agradezco principalmente a los Ingenieros Director y Codirector del proyecto, los mismos que con su conocimiento y consejos nos guiaron en el desarrollo y culminación del presente trabajo.

FRANCISCO JAVIER ROSERO AMORES



## ÍNDICE

<b>1</b>	<b><u>CAPÍTULO I: GENERALIDADES</u></b>	<b>1</b>
1.1	Introducción	1
1.1.1	Antecedentes	1
1.1.2	Área de influencia	1
1.1.3	Objetivo general del estudio	2
1.1.4	Justificación	2
1.2	Generalidades	3
1.2.1	Antecedentes	3
1.2.2	Composición y estructura de la madera	6
1.3	Descripción	12
1.3.1	Aliso	12
1.3.1.1	Familia	12
1.3.1.2	Nombre Científico	12
1.3.1.3	Nombre Común	12
1.3.1.4	Árbol	12
1.3.1.5	Corteza	12
1.3.1.6	Hojas	12
1.3.1.7	Flores	13
1.3.1.8	Fruto	13
1.3.1.9	Distribución	13
1.3.1.10	Utilidad	13
1.3.1.11	Gráficos	14

1.3.2	Canelo Amarillo	15
1.3.2.1	Familia	15
1.3.2.2	Nombre Científico	15
1.3.2.3	Nombres Común	15
1.3.2.4	Árbol	15
1.3.2.5	Corteza	15
1.3.2.6	Hojas	15
1.3.2.7	Flores	16
1.3.2.8	Fruto	16
1.3.2.9	Distribución	16
1.3.2.10	Utilidad	16
1.3.2.11	Gráficos	17
1.3.3	Manzano Colorado	18
1.3.3.1	Familia	18
1.3.3.2	Nombre Científico	18
1.3.3.3	Nombres Común	18
1.3.3.4	Árbol	18
1.3.3.5	Corteza	18
1.3.3.6	Hojas	18
1.3.3.7	Flores	19
1.3.3.8	Fruto	19
1.3.3.9	Distribución	19
1.3.3.10	Utilidad	19
1.3.3.11	Gráficos	20
1.3.4	Roble	21

1.3.4.1	Familia	21
1.3.4.2	Nombre Científico	21
1.3.4.3	Nombres Común	21
1.3.4.4	Árbol	21
1.3.4.5	Corteza	21
1.3.4.6	Hojas	21
1.3.4.7	Flores	22
1.3.4.8	Fruto	22
1.3.4.9	Distribución	22
1.3.4.10	Utilidad	22
1.3.4.11	Gráfico	23
1.4	Proceso para el tratamiento de la madera	24
1.4.1	Etapas de corte	24
1.4.1.1	Aspectos de trabajo	24
1.4.1.2	Aspectos económicos	24
1.4.2	Proceso de Corte	25
1.4.2.1	Apeo	25
1.4.2.2	Desramado	27
1.4.2.3	Despunte	27
1.4.2.4	Trozado	28
1.4.3	Secado	28
1.4.3.1	Secado al aire	29
1.4.3.2	Secado bajo cubierta y con ventilación forzada	30
1.4.3.3	Pre-secado	31

1.4.3.4	Secadores artificiales convencionales	32
1.4.3.5	Deshumidificación	33
1.4.3.6	Secado al vacío	34
1.4.4	Preservación	35
1.4.4.1	Agentes bióticos	36
1.4.4.1.1	Hongos cromógenos	36
1.4.4.1.2	Hongos de pudrición	37
1.4.4.1.3	Mohos	39
1.4.4.1.4	Insectos	40
1.4.4.1.5	Coleópteros	40
1.4.4.1.6	Termitas	42
1.4.4.2	Agentes abióticos	43
1.4.4.2.1	Degradación por la luz	43
1.4.4.2.2	Humedad atmosférica	44
1.4.4.2.3	Fuego	44
1.4.5	Tratamiento de la madera	45
1.4.5.1	Por la acción protectora que realizan	45
1.4.5.2	Por el tipo de preservante	46
1.4.6	Tipos de tratamientos	46
1.4.6.1	Tratamientos superficiales	46
1.4.6.2	Tratamientos en profundidad	47
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO II: PROPIEDADES FÍSICAS</b>	<b>48</b>
2.1	Antecedentes	48
2.1.1	Material anisotrópico	48

2.1.2	Material higroscópico	49
2.2	Cambios estructurales en los estados de madurez	50
2.2.1	Aliso	50
2.2.2	Canelo Amarillo	50
2.2.3	Manzano Colorado	51
2.2.4	Roble	51
2.3	Contenido de humedad	51
2.3.1	Madera verde	52
2.3.2	Madera Seca	53
2.3.3	Madera anhidra	53
2.3.4	Ensayo	53
2.3.4.1	Alcance	53
2.3.4.2	Objetivo	54
2.3.4.3	Instrumentos	54
2.3.4.4	Materiales	54
2.3.4.5	Preparación de la probeta	55
2.3.4.6	Procedimiento	56
2.3.5	Cálculos	56
2.4	Densidad	63
2.4.1	Ensayo	64
2.4.1.1	Alcance	64
2.4.1.2	Objetivo	65
2.4.1.3	Instrumentos	65
2.4.1.4	Materiales	65

2.4.1.5	Preparación de la Probeta	66
2.4.1.6	Procedimiento	66
2.4.2	Cálculos	67
<b>3</b>	<b><u>CAPÍTULO III: PROPIEDADES MECÁNICAS</u></b>	<b>70</b>
3.1	Generalidades	70
3.2	Compresión paralela a la fibra	71
3.2.1	Ensayo	72
3.2.1.1	Alcance	72
3.2.1.2	Objetivo	73
3.2.1.3	Instrumentos	73
3.2.1.4	Materiales	73
3.2.1.5	Preparación de la probeta	74
3.2.1.6	Procedimiento	74
3.2.1.7	Tipos de falla	75
3.2.2	Cálculos	76
3.3	Compresión perpendicular a la fibra	87
3.3.1	Ensayo	87
3.3.1.1	Alcance	87
3.3.1.2	Objetivo	88
3.3.1.3	Instrumentos	88
3.3.1.4	Materiales	88
3.3.1.5	Preparación de la probeta	88
3.3.1.6	Procedimiento	89
3.3.1.7	Tipos de falla	90

3.3.2	Cálculos	90
3.4	Tracción paralela a la fibra	93
3.4.1	Ensayo	93
3.4.1.1	Alcance	93
3.4.1.2	Objetivo	94
3.4.1.3	Instrumentos	94
3.4.1.4	Materiales	94
3.4.1.5	Preparación de la probeta	94
3.4.1.6	Procedimiento	95
3.4.1.7	Tipos de falla	96
3.4.2	Cálculos	96
3.5	Tracción perpendicular a la fibra	106
3.5.1	Ensayo	106
3.5.1.1	Alcance	106
3.5.1.2	Objetivo	107
3.5.1.3	Instrumentos	107
3.5.1.4	Materiales	107
3.5.1.5	Preparación de la probeta	108
3.5.1.6	Procedimiento	108
3.5.1.7	Tipos de falla	109
3.5.2	Cálculos	109
3.6	Corte	111
3.6.1	Ensayo	112
3.6.1.1	Alcance	112

3.6.1.2	Objetivo	113
3.6.1.3	Instrumentos	113
3.6.1.4	Materiales	113
3.6.1.5	Preparación de la probeta	113
3.6.1.6	Procedimiento	114
3.6.1.7	Tipos de falla	115
3.6.2	Cálculos	115
3.7	Flexión estática	118
3.7.1	Ensayo	119
3.7.1.1	Alcance	119
3.7.1.2	Objetivo	119
3.7.1.3	Instrumentos	119
3.7.1.4	Materiales	119
3.7.1.5	Preparación de la probeta	120
3.7.1.6	Procedimiento	120
3.7.2	Tipos de falla	121
3.7.3	Cálculos	121
<b>4</b>	<b><u>CAPITULO IV: ESFUERZOS ADMISIBLES PARA DISEÑO</u></b>	<b>133</b>
4.1	Antecedentes	133
4.2	Esfuerzos admisibles	133
4.3	Factores de seguridad	135
4.3.1	Factor de reducción por calidad (f.c.)	135
4.3.2	Factor de reducción por tamaño (f.t.)	135
4.3.3	factor de servicio y seguridad (f.s.)	135



4.3.4	Factor de duración de la carga (f.d.c.)	136
4.4	Relación humedad – resistencia	138
4.5	Esfuerzos admisible a compresión paralela a la fibra	148
4.6	Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra	151
4.7	Esfuerzo admisible a tracción paralela a la fibra	155
4.8	Esfuerzo admisible a tracción perpendicular a la fibra	159
4.9	Esfuerzo admisible a corte	163
4.10	Esfuerzo admisible a flexión estática	167
<b>5</b>	<b><u>CAPITULO V: DISEÑO</u></b>	<b><u>177</u></b>
5.1	Antecedentes	177
5.2	General	178
5.2.1	Objeto	178
5.2.2	Descripción	179
5.2.3	Ubicación	179
5.3	Criterios generales de diseño	179
5.3.1	Códigos y normas aplicables	179
5.3.2	Métodos de diseño	179
5.3.2.1	Requisitos de resistencia	179
5.3.2.2	Requisitos de rigidez	180
5.3.3	Tipos de carga	180
5.3.3.1	Carga muerta (D)	181
5.3.3.2	Carga viva (L)	181
5.3.3.2.1	Cargas de servicio	181

5.3.3.2.2	Carga de mantenimiento	181
5.3.3.2.3	Carga de ceniza o granizo	181
5.3.3.3	Carga sísmica (e)	182
5.3.3.3.1	Cortante basal de diseño	182
5.3.3.3.2	Factor de peligrosidad sísmica	183
5.3.3.3.3	Factor de Importancia de la estructura (I)	184
5.3.3.3.4	Factor de reducción de respuesta estructural (R)	184
5.3.3.3.5	Coeficientes de configuración estructural en planta ( $\Phi_p$ )	185
5.3.3.3.6	Coeficientes de configuración estructural en elevación ( $\Phi_e$ )	186
5.3.3.3.7	Perfiles de suelo, coeficientes (S y $C_m$ )	186
5.3.3.3.8	Periodo de vibración de la estructura (T)	187
5.3.3.4	Carga de viento (w)	188
5.3.3.4.1	Grado de Exposición	188
5.3.3.4.2	Presiones del viento de diseño	189
5.3.4	Combinaciones de carga	191
5.3.5	Resistencia de diseño	191
5.4	Análisis de la estructura con el programa ETABS	192
5.4.1	Definición de materiales	193
5.4.1.1	Módulo de elasticidad	194
5.4.1.2	Módulo de poisson	195
5.4.1.3	Coeficiente de expansión térmica	195
5.4.1.4	Módulo de corte	196
5.4.1.5	Masa y peso por unidad de volumen	196
5.4.2	Definición de geometría	196
5.4.3	Definición de elementos barra	197

5.4.4	Definición de elementos área	199
5.4.5	Definición de estados de carga	200
5.4.6	Asignación de secciones	202
5.4.7	Asignación de cargas	203
5.5	Diseño estructural	204
5.5.1	Vigas y correas	204
5.5.1.1	Flexión	204
5.5.1.2	Corte	205
5.5.2	Columnas	206
5.5.2.1	Longitud efectiva	206
5.5.2.2	Clasificación de columnas	208
5.5.2.3	Cargas admisibles en elementos a compresión	208
5.5.2.3.1	Columnas cortas	208
5.5.2.3.2	Columnas intermedias	209
5.5.2.3.3	Columnas largas	209
5.5.2.4	Elementos sometidos a flexocompresión	209
5.5.2.5	Elementos sometidos a flexotracción	210
5.5.3	Cimentación	211
5.5.3.1	Criterios de diseño de plintos aislados	211
5.5.3.2	Diseño a corte	213
5.5.3.3	Diseño a punzonamiento	213
5.5.3.4	Diseño a flexión	214
5.5.4	Conexiones	215
5.5.4.1	Conexiones metálicas	215

5.5.4.2	Uniones empernadas	216
5.5.4.2.1	Pernos en cortante	217
5.5.4.2.2	Pernos en tensión	219
5.5.4.3	Espaciamientos mínimos	220
5.5.4.4	Cargas paralelas a la dirección del grano	220
5.5.5	Cargas perpendiculares a la dirección del grano	221
5.5.6	Resumen de resultados.	221
<b>6</b>	<b><u>CAPITULO VI: PRESUPUESTO</u></b>	<b>222</b>
6.1	Introducción	222
6.2	Análisis de precios unitarios	222
6.2.1	Costos indirectos	222
6.2.2	Costos directos	223
6.3	Cronograma de avance de obra	224
6.4	Presupuesto	225
<b>7</b>	<b><u>CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u></b>	<b>226</b>
7.1	Conclusiones	226
7.2	Recomendaciones	228

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1-1 Fotografía satelital de la zona donde se va construir el proyecto.....</i>	<i>2</i>
<i>Ilustración 1-2 Rodela de Secuoya de dos mil años. Se encuentra en Forintek, Vancouver, British Columbia, Canadá.....</i>	<i>3</i>
<i>Ilustración 1-3 Edificio de departamentos multifamiliar de cuatro pisos estructurado en madera en 1998, Calgary, Alberta, Canadá.....</i>	<i>4</i>
<i>Ilustración 1-4 Tendencia a nivel nacional del volumen, superficie y programas autorizados para aprovechamiento 2007-2010.....</i>	<i>6</i>
<i>Ilustración 1-5 Secciones de un árbol: copa, tronco y raíces.....</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 1-6 Sección transversal de un tronco en que se muestra la corteza exterior y la corteza interior o floema.....</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 1-7 En la sección transversal del tronco se muestra el cambium o cambio, que se encuentra adyacente al xilema y hacia la corteza.....</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 1-8 La zona al interior del cambium es la albura.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 1-9 Al interior de la albura se encuentra el duramen.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 1-10 En el centro se ubica la médula.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 1-11 Anillo de crecimiento anual.....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 1-12 Madera de primavera o temprana y madera de verano o tardía.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 1-13 Ampliación del anillo de crecimiento.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 1-14 Dimensión de las células en coníferas y latifoliadas.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 1-15 Aliso.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 1-16 Aliso.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 1-17 Aliso.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 1-18 Canelo amarillo.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 1-19 Canelo amarillo.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 1-20 Canelo amarillo.....</i>	<i>17</i>

<i>Ilustración 1-21 Manzano Colorado.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 1-22 Manzano Colorado.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 1-23 Manzano Colorado.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 1-24 Roble.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 1-25 Roble.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 1-26 .....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 1-27 Apeo con motosierra .....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 1-28 Apeo y procesado con cosechadora.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 1-29 Desramado con motosierra.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 1-30 Secado al aire.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 1-31 Secado bajo cubierta y con ventilación forzada.....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 1-32 Pre-secado.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 1-33 Secadores artificiales convencionales.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 1-34 Deshumidificación.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 1-35 Secado al vacío.....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 1-36 Hongos cromógenos.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 1-37 Hongos cromógenos.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 1-38 Pudrición blanca.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 1-39 Pudrición blanda.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 1-40 Mohos.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 1-41 Anóbido.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 1-42 Líctidos.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 1-43 Líctidos.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 1-44 Termitas.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 1-45 Degradación por la luz.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 1-46 Humedad atmosférica.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 1-47 Madera sometida al fuego.....</i>	<i>44</i>

<i>Ilustración 2-1 ejes en la pieza de madera</i> .....	50
<i>Ilustración 2-2 Muestras colocadas en el horno</i> .....	56
<i>Ilustración 2-3 Instrumentos y materiales para obtener la densidad</i> .....	65
<i>Ilustración 2-4 Probetas con parafina</i> .....	67
<i>Ilustración 3-1 Grafica Tensión Vs Deformación Unitarias</i> .....	72
<i>Ilustración 3-2 Dimensiones de la probeta para el ensayo de compresión paralela a la fibra en (mm)</i> .....	74
<i>Ilustración 3-3 Probeta ensayada (Compresión paralela)</i> .....	75
<i>Ilustración 3-4 Tipos de Falla (Compresión paralela)</i> .....	75
<i>Ilustración 3-5 Grafico carga vs deformación (Aliso)</i> .....	80
<i>Ilustración 3-6 Grafico carga vs deformación (Canelo Amarillo)</i> .....	82
<i>Ilustración 3-7 Grafico carga vs deformación (Manzano Colorado)</i> .....	84
<i>Ilustración 3-8 Grafico carga vs deformación (Roble)</i> .....	86
<i>Ilustración 3-9 Dimensiones de la probeta para el ensayo de compresión perpendicular a la fibra en (mm)</i> .....	89
<i>Ilustración 3-10 Probeta ensayada (Compresión perpendicular )</i> .....	90
<i>Ilustración 3-11 Tipos de Falla (Compresión perpendicular)</i> .....	90
<i>Ilustración 3-12 Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción paralela a la fibra en (mm)</i> .....	95
<i>Ilustración 3-13 Probeta ensayada (Tracción paralela )</i> .....	96
<i>Ilustración 3-14 Tipo de Falla (Tracción paralela)</i> .....	96
<i>Ilustración 3-15 Grafico carga vs deformación (Aliso)</i> .....	100
<i>Ilustración 3-16 Grafico carga vs deformación (Canelo Amarillo)</i> .....	102
<i>Ilustración 3-17 Grafico carga vs deformación (Manzano Colorado)</i> .....	104
<i>Ilustración 3-18 Grafico carga vs deformación (Roble)</i> .....	106

<i>Ilustración 3-19 Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción perpendicular a la fibra en (mm) .....</i>	<i>108</i>
<i>Ilustración 3-20 Probeta ensayada (Tracción perpendicular) .....</i>	<i>109</i>
<i>Ilustración 3-21 Tipo de falla (Tracción perpendicular) .....</i>	<i>109</i>
<i>Ilustración 3-22 Corte .....</i>	<i>112</i>
<i>Ilustración 3-23 Dimensiones de la probeta para el ensayo de corte .....</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 3-24 Probeta ensayada (Corte).....</i>	<i>115</i>
<i>Ilustración 3-25 Tipo de falla (Corte).....</i>	<i>115</i>
<i>Ilustración 3-26 Dimensiones de la probeta para el ensayo de flexión estática .....</i>	<i>120</i>
<i>Ilustración 3-27 Probeta ensayada (Flexión estática).....</i>	<i>121</i>
<i>Ilustración 3-28 Tipos de fallas.....</i>	<i>121</i>
<i>Ilustración 3-29 Grafico carga vs deformación (Aliso).....</i>	<i>127</i>
<i>Ilustración 3-30 Grafico carga vs deformación (Canelo Amarillo).....</i>	<i>128</i>
<i>Ilustración 3-31 Grafico carga vs deformación (Manzano Colorado) .....</i>	<i>130</i>
<i>Ilustración 3-32 Grafico carga vs deformación (Roble) .....</i>	<i>132</i>
<i>Ilustración 4-1Factores de reducción .....</i>	<i>137</i>
<i>Ilustración 4-2Factores de ajuste .....</i>	<i>138</i>
<i>Ilustración 4-3 Efecto del Contenido de humedad en la resistencia de la madera .....</i>	<i>139</i>
<i>Ilustración 4-4 Condiciones de construcción y servicio .....</i>	<i>140</i>
<i>Ilustración 4-5 Variación de las propiedades mecánicas en función de variación unitaria del contenido de humedad (CH).....</i>	<i>141</i>
<i>Ilustración 4-6 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra (Aliso).....</i>	<i>148</i>
<i>Ilustración 4-7 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra (Canelo Amarillo).....</i>	<i>149</i>
<i>Ilustración 4-8 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra (Manzano Colorado).....</i>	<i>150</i>
<i>Ilustración 4-9 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra (Roble).....</i>	<i>151</i>
<i>Ilustración 4-10 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra (Aliso) .....</i>	<i>152</i>
<i>Ilustración 4-11 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra (Canelo Amarillo) .....</i>	<i>153</i>



<i>Ilustración 4-12 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra (Manzano Colorado)</i> .....	154
<i>Ilustración 4-13 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra (Roble)</i> .....	155
<i>Ilustración 4-14 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra (Aliso)</i> .....	156
<i>Ilustración 4-15 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra (Canelo Amarillo)</i> .....	157
<i>Ilustración 4-16 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra (Manzano Colorado)</i> .....	158
<i>Ilustración 4-17 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra (Roble)</i> .....	159
<i>Ilustración 4-18 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra (Aliso)</i> .....	160
<i>Ilustración 4-19 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra (Canelo Amarillo)</i> .....	161
<i>Ilustración 4-20 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra (Manzano Colorado)</i> .....	162
<i>Ilustración 4-21 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra (Roble)</i> .....	163
<i>Ilustración 4-22 Esfuerzos a corte (Aliso)</i> .....	164
<i>Ilustración 4-23 Esfuerzos a corte (Canelo Amarillo)</i> .....	165
<i>Ilustración 4-24 Esfuerzos a corte (Manzano Colorado)</i> .....	166
<i>Ilustración 4-25 Esfuerzos a corte (Roble)</i> .....	167
<i>Ilustración 4-26 Esfuerzos a flexión estática (Aliso)</i> .....	168
<i>Ilustración 4-27 Esfuerzos a flexión estática (Canelo Amarillo)</i> .....	169
<i>Ilustración 4-28 Esfuerzos a flexión estática (Manzano Colorado)</i> .....	170
<i>Ilustración 4-29 Esfuerzos a flexión estática (Roble)</i> .....	171
<i>Ilustración 5-1 Diseño elástico ,(a) controlado por resistencia, (b) controlado por rigidez</i> .....	180
<i>Ilustración 5-2 Zonas sísmicas del Ecuador</i> .....	183
<i>Ilustración 5-3 Definición de propiedades del material</i> .....	195
<i>Ilustración 5-4 Estructura del convento</i> .....	197
<i>Ilustración 5-5 Convención de signos en elementos frame</i> .....	198
<i>Ilustración 5-6 Sección rectangular de una viga</i> .....	199
<i>Ilustración 5-7 Área tipo membrana</i> .....	200
<i>Ilustración 5-8 Coeficientes de sismo</i> .....	201

<i>Ilustración 5-9 Coeficientes de acuerdo al UBC-97.....</i>	<i>201</i>
<i>Ilustración 5-10 Asignación de membrana .....</i>	<i>202</i>
<i>Ilustración 5-11 Asignación carga viva .....</i>	<i>203</i>
<i>Ilustración 5-12 Asignación carga de viento sobre áreas.....</i>	<i>203</i>
<i>Ilustración 5-13 Distribución de esfuerzos normales producidos por flexión.....</i>	<i>205</i>
<i>Ilustración 5-14 Distribución de esfuerzos de corte en una sección rectangular.....</i>	<i>206</i>
<i>Ilustración 5-15 Espaciamientos mínimos entre pernos, cargas paralelas al grano.....</i>	<i>220</i>
<i>Ilustración 5-16 Espaciamiento mínimo entre pernos, cargas perpendiculares al grano.....</i>	<i>221</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2-1CH a Compresión paralela a la fibra (Aliso)</i>	57
<i>Tabla 2-2 CH a Compresión paralela a la fibra (Canelo Amarillo)</i>	57
<i>Tabla 2-3 CH a Compresión paralela a la fibra (Manzano Colorado)</i>	57
<i>Tabla 2-4 CH a Compresión paralela a la fibra (Roble)</i>	58
<i>Tabla 2-5 CH a Compresión perpendicular a la fibra (Aliso)</i>	58
<i>Tabla 2-6 CH a Compresión paralela a la fibra (Canelo Amarillo)</i>	58
<i>Tabla 2-7 CH a Compresión paralela a la fibra (Manzano Colorado)</i>	58
<i>Tabla 2-8 CH a Compresión paralela a la fibra (Roble)</i>	59
<i>Tabla 2-9 CH a Tracción paralela a la fibra (Aliso)</i>	59
<i>Tabla 2-10 CH a Tracción paralela a la fibra (Canelo Amarillo)</i>	59
<i>Tabla 2-11 CH a Tracción paralela a la fibra (Manzano Colorado)</i>	59
<i>Tabla 2-12 CH a Tracción paralela a la fibra (Roble)</i>	60
<i>Tabla 2-13 CH a Tracción perpendicular a la fibra (Aliso)</i>	60
<i>Tabla 2-14 CH a Tracción perpendicular a la fibra (Canelo Amarillo)</i>	60
<i>Tabla 2-15 CH a Tracción perpendicular a la fibra (Manzano Colorado)</i>	60
<i>Tabla 2-16 CH a Tracción perpendicular a la fibra (Roble)</i>	61
<i>Tabla 2-17 CH a Corte (Aliso)</i>	61
<i>Tabla 2-18 CH a Corte (Canelo Amarillo)</i>	61
<i>Tabla 2-19 CH a Corte (Manzano Colorado)</i>	61
<i>Tabla 2-20 CH a Corte (Roble)</i>	62
<i>Tabla 2-21 CH a flexión estática (Aliso)</i>	62
<i>Tabla 2-22 CH a flexión estática (Canelo Amarillo)</i>	62
<i>Tabla 2-23 CH a flexión estática (Manzano Colorado)</i>	62
<i>Tabla 2-24 CH a flexión estática (Roble)</i>	63
<i>Tabla 2-25 Densidad (Aliso)</i>	68

<i>Tabla 2-26 Densidad (Canelo Amarillo)</i>	68
<i>Tabla 2-27 Densidad (Manzano Colorado)</i>	69
<i>Tabla 2-28 Densidad (Roble)</i>	69
<i>Tabla 3-1 Compresión paralela a la fibra (Aliso)</i>	77
<i>Tabla 3-2 Compresión paralela a la fibra (Canelo Amarillo)</i>	77
<i>Tabla 3-3 Compresión paralela a la fibra (Manzano Colorado)</i>	78
<i>Tabla 3-4 Compresión paralela a la fibra (Roble)</i>	78
<i>Tabla 3-5 Módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra (Aliso)</i>	79
<i>Tabla 3-6 Módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra (Canelo Amarillo)</i>	81
<i>Tabla 3-7 Módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra (Manzano Colorado)</i>	83
<i>Tabla 3-8 Módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra (Roble)</i>	85
<i>Tabla 3-9 Compresión perpendicular (Aliso)</i>	91
<i>Tabla 3-10 Compresión perpendicular (Canelo Amarillo)</i>	92
<i>Tabla 3-11 Compresión perpendicular (Manzano Colorado)</i>	92
<i>Tabla 3-12 Compresión perpendicular (Roble)</i>	93
<i>Tabla 3-13 Tracción paralela a la fibra (Aliso)</i>	98
<i>Tabla 3-14 Tracción paralela a la fibra (Canelo Amarillo)</i>	98
<i>Tabla 3-15 Tracción paralela a la fibra (Manzano Colorado)</i>	99
<i>Tabla 3-16 Tracción paralela a la fibra (Roble)</i>	99
<i>Tabla 3-17 Módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra (Aliso)</i>	100
<i>Tabla 3-18 Módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra (Canelo Amarillo)</i>	101
<i>Tabla 3-19 Módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra (Manzano Colorado)</i>	103
<i>Tabla 3-20 Módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra (Roble)</i>	105
<i>Tabla 3-21 Tracción perpendicular a la fibra (Aliso)</i>	110
<i>Tabla 3-22 Tracción perpendicular a la fibra (Canelo Amarillo)</i>	110
<i>Tabla 3-23 Tracción perpendicular a la fibra (Manzano Colorado)</i>	111
<i>Tabla 3-24 Tracción perpendicular a la fibra (Roble)</i>	111

<i>Tabla 3-25 Corte (Aliso)</i>	116
<i>Tabla 3-26 Corte (Canelo Amarillo)</i>	116
<i>Tabla 3-27 Corte (Manzano Colorado)</i>	117
<i>Tabla 3-28 Corte (Roble)</i>	117
<i>Tabla 3-29 Flexión estática (Aliso)</i>	124
<i>Tabla 3-30 Flexión estática (Canelo Amarillo)</i>	124
<i>Tabla 3-31 Flexión estática (Manzano Colorado)</i>	125
<i>Tabla 3-32 Flexión estática (Roble)</i>	125
<i>Tabla 3-33 Módulo de elasticidad a flexión estática (Aliso)</i>	126
<i>Tabla 3-34 Módulo de elasticidad a flexión estática (Canelo Amarillo)</i>	128
<i>Tabla 3-35 Módulo de elasticidad a flexión estática (Manzano Colorado)</i>	129
<i>Tabla 3-36 Módulo de elasticidad a flexión estática (Roble)</i>	131
<i>Tabla 4-1 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra en M.S y M.V (Aliso)</i>	142
<i>Tabla 4-2 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra en M.S y M.V (Canelo Amarillo)</i>	142
<i>Tabla 4-3 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra en M.S y M.V (Manzano Colorado)</i>	142
<i>Tabla 4-4 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra en M.S y M.V (Roble)</i>	142
<i>Tabla 4-5 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Aliso)</i>	143
<i>Tabla 4-6 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Canelo Amarillo)</i>	143
<i>Tabla 4-7 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Manzano Colorado)</i>	143
<i>Tabla 4-8 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Roble)</i>	143
<i>Tabla 4-9 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra en M.S y M.V (Aliso)</i>	144
<i>Tabla 4-10 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra en M.S y M.V (Canelo Amarillo)</i>	144
<i>Tabla 4-11 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra en M.S y M.V (Manzano Colorado)</i>	144
<i>Tabla 4-12 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra en M.S y M.V (Roble)</i>	144
<i>Tabla 4-13 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Aliso)</i>	145
<i>Tabla 4-14 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Canelo Amarillo)</i>	145

<i>Tabla 4-15 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Manzano Colorado)</i>	145
<i>Tabla 4-16 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Roble)</i>	145
<i>Tabla 4-17 Esfuerzos a Corte en M.S y M.V (Aliso)</i>	146
<i>Tabla 4-18 Esfuerzos a Corte en M.S y M.V (Canelo Amarillo)</i>	146
<i>Tabla 4-19 Esfuerzos a Corte en M.S y M.V (Manzano Colorado)</i>	146
<i>Tabla 4-20 Esfuerzos a Corte en M.S y M.V (Roble)</i>	146
<i>Tabla 4-21 Esfuerzos a flexión estática en M.S y M.V (Aliso)</i>	147
<i>Tabla 4-22 Esfuerzos a flexión estática en M.S y M.V (Canelo Amarillo)</i>	147
<i>Tabla 4-23 Esfuerzos a flexión estática en M.S y M.V (Manzano Colorado)</i>	147
<i>Tabla 4-24 Esfuerzos a flexión estática en M.S y M.V (Roble)</i>	147
<i>Tabla 4-25 Resumen de esfuerzos admisibles a compresión paralela a la fibra</i>	172
<i>Tabla 4-26 Resumen de esfuerzos admisibles a compresión perpendicular a la fibra</i>	172
<i>Tabla 4-27 Resumen de esfuerzos admisibles a tracción paralela a la fibra</i>	172
<i>Tabla 4-28 Resumen de esfuerzos admisibles a tracción perpendicular a la fibra</i>	172
<i>Tabla 4-29 Resumen de esfuerzos admisibles a corte</i>	173
<i>Tabla 4-30 Resumen de esfuerzos admisibles a flexión estática</i>	173
<i>Tabla 4-31 Resumen del modulo de elasticidad (Aliso)</i>	174
<i>Tabla 4-32 Resumen del modulo de elasticidad (Canelo Amarillo)</i>	174
<i>Tabla 4-33 Resumen del modulo de elasticidad (Manzano Colorado)</i>	174
<i>Tabla 4-34 Resumen del modulo de elasticidad (Roble)</i>	174
<i>Tabla 4-35 Comparación de resultados con PAT-REFORT y resultados de datos obtenidos de los estudios en ESPE</i>	175
<i>Tabla 4-36 Comparación de resultados con PAT-REFORT y resultados de datos obtenidos de los estudios en ESPE</i>	176
<i>Tabla 5-1 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura</i>	184
<i>Tabla 5-2 Valores del coeficiente de reducción por respuesta estructural</i>	185
<i>Tabla 5-3 Coeficientes de configuración en planta</i>	185

<i>Tabla 5-4 Coeficientes de configuración en elevación</i>	186
<i>Tabla 5-5 Coeficientes de suelo <math>S</math> y <math>C_m</math></i>	187
<i>Tabla 5-6 Coeficiente <math>C_e</math>, combinado de altura, exposición y factor de ráfaga</i>	190
<i>Tabla 5-7 Presiones de remanso del viento (<math>q_s</math>) a la altura estándar 10m.</i>	190
<i>Tabla 5-8 Coeficiente <math>K</math> para calculo de <math>L_{ef}</math> en columnas</i>	207
<i>Tabla 5-9 Resistencia de diseño de sujetadores a la tensión. (NSR-98. Tabla F.2-8).</i>	216
<i>Tabla 5-10 Resistencia de diseño de sujetadores a la cortante. (NSR-98. Tabla F.2-8).</i>	218
<i>Tabla 5-11 Resistencia al corte de los pernos de unos corriente (KN)</i>	218
<i>Tabla 5-12 Resistencia a la tensión de los pernos de unos corriente (KN)</i>	219
<i>Tabla 5-13 Secciones de elementos estructurales de madera</i>	221
<i>Tabla 6-1 Presupuesto</i>	225

## **EXTRACTO**

En el presente proyecto de tesis se ha realizado un estudio de investigación, que consiste en realizar un análisis de las propiedades Físico – Mecánicas de las maderas nativas del Ecuador: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano colorado y Roble. Esta parte de la investigación tiene como objetivo ir aumentando la base de datos sobre las características de las maderas que existen en nuestro país, que se ha realizado con trabajos anteriores y la presente investigación en la Escuela Politécnica de Ejército. Para el diseño estructural del convento del centro pastoral Espíritu Santo a ubicarse en el Camal Metropolitano en la ciudad de Quito, hemos utilizado los resultados obtenidos en el laboratorio y posteriormente procesados. Esta estructura está diseñada con la siguiente disposición: la cimentación está realizada con hormigón armado; los elementos como vigas, viguetas y columnas con uno de los tipos de madera analizada como es el roble; para finalmente en las uniones utilizar placas metálicas y pernos. Cabe mencionar que el mismo se ha realizado tomando en cuenta normativas tanto ecuatorianas como internacionales. Al habernos permitido realizar el diseño del convento a través de un convenio con el Arzobispado de Quito, este proyecto ayudará a brindar un servicio social a la comunidad que habita en los alrededores de la misma.

## **PALABRAS CLAVE**

- Propiedades Físicas
- Propiedades Mecánicas
- Maderas nativas del Ecuador
- Análisis estructural
- Diseño estructural



## **ABSTRACT**

In this thesis project has been carried out a research study, which involves an analysis Physical - Mechanical properties of Ecuador native woods: Alder, Cinnamon Yellow, Red Apple and Oak. This part of the research have as object to gradually increase the database on the characteristics of the woods that exist in our country, which has been made with previous work and in this research in the Escuela Politécnica de Ejército. For the structural design of the convent of Espíritu Santo located in the Camal Metropolitano in the city of Quito, we used the results obtained in the laboratory. This structure is designed with the following provision: the foundation is made with reinforced concrete elements like beams, girders and columns with one of the types of wood analyzed before such as oak, to finally into the joints using metal plates and bolts. It is noteworthy said that the work has been made taking into account both Ecuadorian and international regulations. By allowing us to perform the design of the convent through an agreement with the Archdiocese of Quito, this project will help to provide a social service to the community and the living around it.

# **1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

## **1.1 Introducción**

### **1.1.1 Antecedentes**

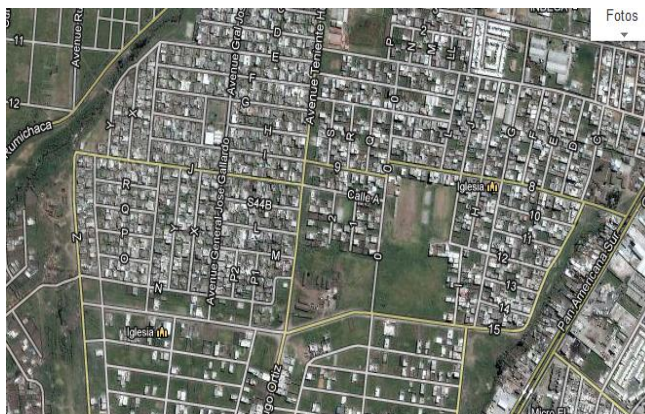
La sociedad ecuatoriana ha creado una idea que con el tiempo que se ha ido consolidando al utilizar materiales convencionales para el uso de la construcción de estructuras, que en este caso es el acero y el hormigón, esto hace que la utilización de la madera como elemento estructural se ha visto afectado negativamente por la desconfianza que ha generado la sociedad. Esto conlleva a que no se haya generado normas técnicas para la el país, una producción industrializada siguiendo los estándares.

La Arquidiócesis de Quito, con su misión evangelizadora junto con el incremento notable de la población en el sector del camal metropolitano en el sur de quito ha visto la necesidad de la construcción de un convento que servirá como vivienda del párroco, oficina y sala de reuniones.

### **1.1.2 Área de influencia**

La población asentada en el área del camal metropolitano en el sur de Quito Ilustración (1.1), cuyo incremento es muy notable hace como consiguiente tener la imperiosa necesidad de la construcción del convento.

Las personas relacionadas con la Ingeniería Civil en el Ecuador, que trabajan con materiales no convencionales a los que usualmente se utilizan para la construcción de obras civiles, será la principal beneficiada con este Proyecto de Grado.



*Ilustración 1-1 Fotografía satelital de la zona donde se va construir el proyecto*

Tomar en cuenta el estudio de maderas nativas no tradicionales que no han sido estudiadas y obtener datos en el laboratorio para tener una guía sobre la resistencia de las mismas.

### **1.1.3 Objetivo general del estudio**

Determinar las propiedades físico – mecánicas de un grupo determinado de las maderas nativas del Ecuador que no han sido estudiadas: ALISO, CANELO AMARILLO, MANZANO COLORADO, ROBLE; y además desarrollar un diseño como aplicación a los resultados obtenidos en laboratorio.

### **1.1.4 Justificación**

Catalogar a un grupo determinado de maderas nativas del Ecuador en los diferentes grupos basándonos en resistencia de la misma, este Proyecto de Grado contribuirá como aporte para la generación de una normativa para maderas que se ha estado llevando a cabo con los diferentes estudios que han realizado anteriormente en la Escuela Politécnica del Ejército.

Hay que puntualizar que las maderas nativas, no son comerciales, sin embargo el presente estudio contempla la investigación general de las maderas ecuatorianas

En la Escuela Politécnica del Ejército, y su imperiosa necesidad de generar proyectos de grado con énfasis en la investigación hemos visto la necesidad de investigar sobre la resistencia de un grupo de terminado de maderas nativas del Ecuador ya que estas son muy poco conocidas y explotadas.

Por otra parte, la arquidiócesis de Quito a planificado construir un lugar donde puedan acoger a las personas para realizar actividades sociales.

## **1.2 Generalidades**

### **1.2.1 Antecedentes**

La madera proviene de los árboles. Este es el hecho más importante a tener presente para entender su naturaleza. El origen de las cualidades o defectos que posee pueden determinarse a partir del árbol de donde proviene.



*Ilustración 1-2 Rodela de Secuoya de dos mil años. Se encuentra en Forintek, Vancouver, British Columbia, Canadá.*

La madera tiene una compleja estructura natural, más que ser un material diseñado para satisfacer necesidades de carpinteros, es un material que puede llegar a convertirse en un elemento estructural.

El conocimiento sobre la naturaleza de la madera, características y comportamiento, es necesario para establecer y efectuar un buen uso de este material.

En este aspecto radica la importancia de que exista información adecuada y estructurada a los actuales requerimientos, ya que permite a los profesionales que intervienen en el diseño, cálculo y ejecución de construcciones en madera, realizar una acertada gestión y correcta utilización del material, con el objeto de cumplir altos estándares de calidad y bienestar, a precios convenientes en el mercado de la vivienda.

La madera es históricamente uno de los materiales más utilizados por el hombre. Actualmente, en la mayoría de los países desarrollados su uso como material estructural alcanza a más del 90% de la construcción habitacional de 1 a 4 pisos.



*Ilustración 1-3 Edificio de departamentos multifamiliar de cuatro pisos estructurado en madera en 1998, Calgary, Alberta, Canadá*

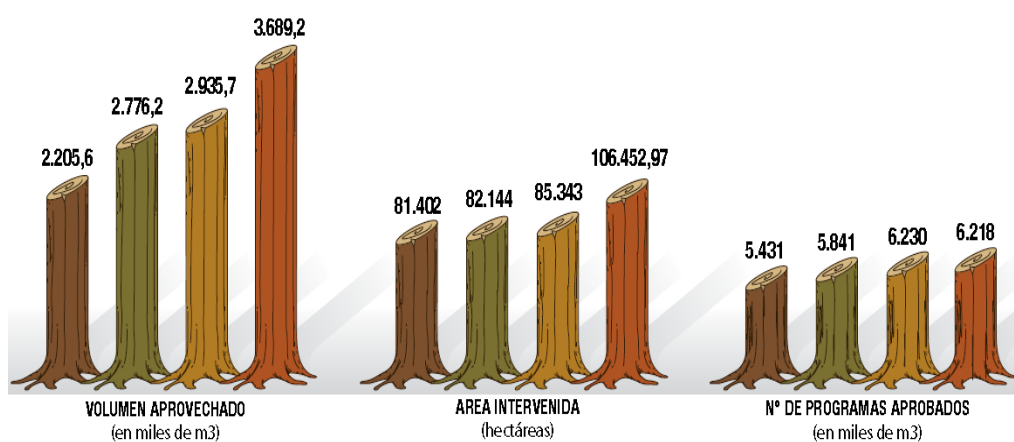
En el año 2010 en el Ecuador se registró la aprobación de 3704338.70 m<sup>3</sup> de madera proveniente de plantaciones forestales, bosques nativos, sistemas agroforestales y regeneración natural. En relación al año 2007, desde que se cuentan estadísticas debidamente sistematizadas se ha reflejado un incremento del 65.95%.

Con relación al volumen autorizado que se registró en el periodo 2009, el volumen de madera tuvo un crecimiento del 26.18%, que significa 768615.15 m<sup>3</sup> de madera (Ilustración 1.4). Este incremento se da principalmente en varias provincias tales como: Esmeraldas, que registró un volumen adicional de 228343.78 m<sup>3</sup> en relación al año 2009; Cotopaxi con un volumen adicional de 174407.41 m<sup>3</sup>; Manabí con un crecimiento significativo de 81839.24 m<sup>3</sup> y Los Ríos que registró un crecimiento de 80734.52 m<sup>3</sup> de madera.

La superficie total autorizada para aprovechar durante el año 2010 fue de 106 543.22 hectáreas, a través de la aprobación de 5108 programas de corta (árboles relictos, formaciones pioneras, plantaciones forestales, árboles plantados y regeneración natural, y zonas de conversión legal) y 1121 programas de aprovechamiento forestal simplificados y sustentables. En relación al 2009, se registró un crecimiento de 20990.15 hectáreas (Ilustración 1.4). Este crecimiento se localizó principalmente en la provincia de Esmeraldas con el 63.35% del total de hectáreas adicionales, el 10.91% se registró en Cotopaxi y, en Santo Domingo de los Tsáchilas se ubicó el 9.14%.

Las hectáreas autorizadas en el 2010 determinaron un crecimiento del 30.88% respecto a las registradas en el año 2007. Al analizar el comportamiento de esta variable durante el periodo 2007-2010 se puede ver un mayor crecimiento para el periodo 2009-2010. A diferencia de lo registrado durante el periodo 2007-2008 y 2008-2009 en el que la dinámica de esta variable es relativamente baja, con un crecimiento de 0.91% y 4.15% respectivamente como se observa en la Ilustración 1.4.

En relación al año 2009, la cantidad de programas aprobados de corta y aprovechamiento forestal se mantiene relativamente constante con apenas un programa menos, mientras que en relación a la emisión de formularios especiales se registra un significativo crecimiento del 65.51% lo que corresponde a 17254 formularios adicionales para la corta de balsa y pigüe.

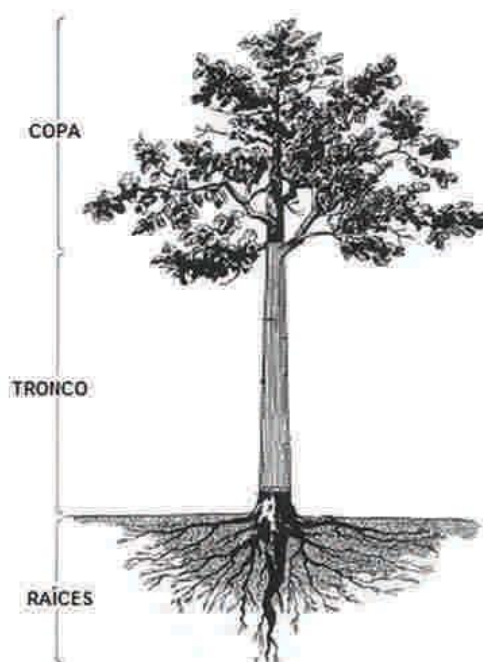


*Ilustración 1-4 Tendencia a nivel nacional del volumen, superficie y programas autorizados para aprovechamiento 2007-2010*

### 1.2.2 Composición y estructura de la madera

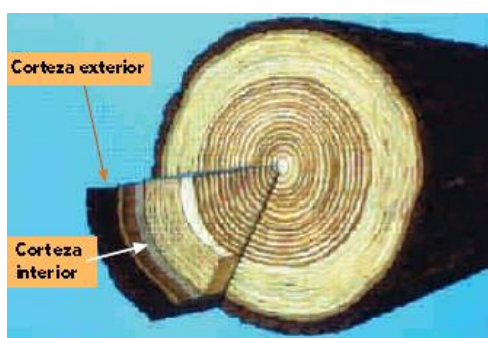
Los árboles están formados por tres partes: la raíz, el tronco y la copa. Los dos primeros elementos son los que diferencian, fundamentalmente, a un

árbol de un arbusto. Los arbustos son más pequeños y no tienen un único tallo sino que están formados por varios.



*Ilustración 1-5 Secciones de un árbol: copa, tronco y raíces.*

Al hacer un corte transversal de un árbol y analizar desde el exterior hacia el interior una sección de éste, se pueden apreciar zonas claramente diferenciadas, las cuales cumplen funciones específicas:



*Ilustración 1-6 Sección transversal de un tronco en que se muestra la corteza exterior y la corteza interior o floema.*



La primera zona apreciable es la corteza, formada por materia muerta, de aspecto resquebrajado, que se divide en corteza exterior y corteza interior (floema). La corteza exterior Ilustración(1.6) está compuesta por células muertas que cumplen la función de proteger la estructura interior frente a agentes climáticos y biológicos.

Siguiendo hacia dentro se encuentra la corteza interior (floema) Ilustración (1.6), compuesta por células que trasladan savia elaborada.

Luego se presenta el cambium o cambio Ilustración (1.7), zona que corresponde al tejido generador de células, es decir, donde se produce el crecimiento del árbol. Hacia el interior forma el xilema y hacia el exterior, forma el floema.



*Ilustración 1-7 En la sección transversal del tronco se muestra el cambium o cambio, que se encuentra adyacente al xilema y hacia la corteza.*

En el xilema podemos distinguir la albura Ilustración (1.8) hacia el exterior, con células que cumplen la función de sostén y traslado de agua y nutrientes.



*Ilustración 1-8 La zona al interior del cambium es la albura.*

Hacia el interior del xilema se forma el duramen Ilustración (1.9), compuesto por células inactivas, pero que mantienen la función de sostén.



*Ilustración 1-9 Al interior de la albura se encuentra el duramen.*

En el centro del árbol se encuentra la médula Ilustración (1.10), tejido inactivo sin función específica.



*Ilustración 1-10 En el centro se ubica la médula.*

Otra de las características relevantes del árbol en su sección transversal son los denominados anillos de crecimiento (concéntricos)

Ilustración (1.11), los cuales son apreciables a simple vista, dependiendo de la especie.

Las especies madereras, como se detallará más adelante, se clasifican en dos grandes grupos: coníferas autóctonas de zonas templadas y latifoliadas autóctonas de bosques tropicales zona ecuatorial. En las primeras, los anillos de crecimiento son perfectamente diferenciables, mientras que en las segundas, no son tan apreciables.



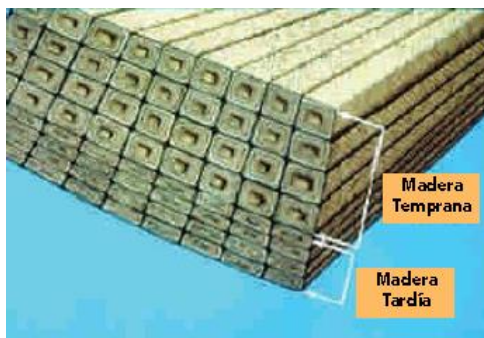
*Ilustración 1-11 Anillo de crecimiento anual.*

En las coníferas se pueden apreciar dos bandas concéntricas, diferenciadas en los anillos de crecimiento. La banda más clara es denominada madera de primavera o temprana Ilustración (1.12). La banda más oscura, más densa que la de primavera, es la madera de verano o tardía Ilustración (1.12). En esta última, al llegar el receso invernal puede observarse la reducción de su crecimiento.



*Ilustración 1-12 Madera de primavera o temprana y madera de verano o tardía.*

Si amplifcamos el anillo de crecimiento Ilustración (1.13), podemos identificar la madera temprana, formada por células de mayor tamaño y la madera tardía, compuesta por células más concentradas.



*Ilustración 1-13 Ampliación del anillo de crecimiento.*

Las células en coníferas pueden medir de 3 a 5 milímetros de largo Ilustración (1.14), dependiendo de la especie. En el caso de latifoliadas, el largo puede llegar a 1 mm Ilustración (1.14).



*Ilustración 1-14 Dimensión de las células en coníferas y latifoliadas.*

## **1.3 Descripción**

### **1.3.1 Aliso**

#### **1.3.1.1 Familia**

Betulaceae

#### **1.3.1.2 Nombre Científico**

*Alnus acuminata*

#### **1.3.1.3 Nombre Común**

Aliso

#### **1.3.1.4 Árbol**

Árbol monoico, inerme, de 6-15 m. de altura, 20-50 cm. de diámetro.

#### **1.3.1.5 Corteza**

Corteza lisa y gris claro en los individuos jóvenes, tornándose gris oscura y rugosa en los adultos.

#### **1.3.1.6 Hojas**

Constituido por hojas simples, alternas, aovadas o elípticas, de 5-18 cm. de largo por 4-9 cm. de ancho, con el ápice agudo o acuminado, base redondeada o aguda, borde irregularmente aserrado, glabras o subglabras al envejecer, nervaduras prominentes en el envés, pecíolo de 2-3 cm. de largo.

#### **1.3.1.7 Flores**

Flores masculinas en amentos cilíndricos erguidos y luego péndulos, de unos 10 cm. de largo por 1 cm. de ancho, con numerosas brácteas que protegen a tres flores. Estas flores poseen un cáliz con 4 sépalos desiguales y 4 estambres con las anteras dorsifijas. Flores femeninas en pseudoestróbilos ovoideos de hasta 25 mm. de largo por 12 mm. de diámetro, con brácteas tectrices que protegen 2 flores, con 2 estilos divergentes.

#### **1.3.1.8 Fruto**

Pseudoestróbilos ovoides de 25 mm de largo por 15 mm de diámetro, escamoso, con numerosas brácteas leñosas, cada una de las cuales cubren 2 semillas (núculas) comprimidas, aladas, de 2 mm de diámetro, color castaño, de estilos persistentes.

#### **1.3.1.9 Distribución**

En el valle de Oyacachi Cantón del Chaco Provincia del Napo, junto a los ríos como en las laderas, entre los 2500 y los 3200 m.s.n.m, particularmente en zonas de grandes deslizamientos de tierra crece abundantemente el Aliso.

#### **1.3.1.10 Utilidad**

- Medicinal
- Mejoramiento de los suelos
- Forrajero
- Construcción

### 1.3.1.11 Gráficos



*Ilustración 1-15 Aliso.*



*Ilustración 1-16 Aliso.*



*Ilustración 1-17 Aliso.*

## **1.3.2 Canelo Amarillo**

### **1.3.2.1 Familia**

Lauraceae

### **1.3.2.2 Nombre Científico**

*Ocotea javitensis*

### **1.3.2.3 Nombres Común**

Canelo Amarillo

### **1.3.2.4 Árbol**

Alcanza hasta 30 m de altura y 100 cm de diámetro; letones 3 a 5, hasta de 1.5 m de altura, 10 cm de grosor y 1 m de ancho en la base. Copa redondeada.

### **1.3.2.5 Corteza**

Superficie del tronco de color amarillo pálido a grisáceo en arboles jóvenes; marrón en arboles adultos. Corteza viva rojiza, fuertemente adherida a la madera. La corteza en total puede tener 1.5 cm de grosor.

### **1.3.2.6 Hojas**

Simples; alternas, dispuestas en espiral; las láminas miden de 15 a 25 cm de longitud y de 6 a 9 cm de ancho, lampiñas por ambas caras. Ramitas jóvenes morenas, más o menos cilíndricas, con lenticelas, lampiñas; el interior es hueco y habitado por hormigas negras. Yemas en forma de punta de lanza, acompañadas de escamitas verdes, caedizas.



### **1.3.2.7 Flores**

Dispuestas en manojos de 2 a 10 cm de longitud, sobre las ramitas jóvenes con ramificaciones laterales hasta de 3 cm de longitud. Especie dioica, o sea que hay plantas con flores masculinas y plantas con flores femeninas (arboles machos y arboles hembras). Flores pequeñas, de 2 a 4 mm de longitud, de color crema, aromáticas.

### **1.3.2.8 Fruto**

Carnoso, de 1.5 a 2.5 cm de longitud, con una sola semilla, asentados sobre un cuerpo parecido a una copita.

### **1.3.2.9 Distribución**

En Ecuador y Perú, a menudo se encuentra, como un elemento muy importante de los bosques entre 600 y 1300 m.s.n.m. donde alcanza su mayor desarrollo. En las zonas bajas, a menos de 600 m.s.n.m. es un árbol pequeño con flores y frutos más cortos, en manojos cortos.

### **1.3.2.10 Utilidad**

- Las caras de tableros contrachapados
- Construcción de casas rurales
- Tablones

### 1.3.2.11 Gráficos



*Ilustración 1-18 Canelo amarillo.*



*Ilustración 1-19 Canelo amarillo.*



*Ilustración 1-20 Canelo amarillo.*

### **1.3.3 Manzano Colorado**

#### **1.3.3.1 Familia**

Meliaceae

#### **1.3.3.2 Nombre Científico**

Guarea kunthiana

#### **1.3.3.3 Nombres Común**

Manzano colorado, Manzano, tucuta.

#### **1.3.3.4 Árbol**

Alcanza hasta los 35 m de altura y 100 cm de diámetro; tronco bien formado; Aletones hasta de 2.5 m de altura, 10 a 18 cm de grosor y 1.8 m ancho de la base. Copa globosa, densa.

#### **1.3.3.5 Corteza**

Superficie de tronco pardo rojiza a marrón, con grietas cortas; a veces con corteza muerta de tejido suave en la base del tronco, que se desprende dejando cicatrices de formas variadas, aisladas. Corteza viva puede tener hasta 2cm de grosor.

#### **1.3.3.6 Hojas**

Compuestas paripinnadas, alternas, agrupadas al final de las ramitas; la hoja mide de 20 a 100 cm de longitud o más; al final del raquis hay una yema de crecimiento continuo, que produce nuevos folíolos, pero la hoja pierde constantemente los folíolos basales hasta aparentar cortas ramitas; folíolos 2 a 16 pares, muy variables en tamaño, de 15 a 30 cm de longitud y

de 4 a 8 cm de ancho. Ramitas jóvenes de color rojizo oscuro; al ser cortadas exudan una resina olorosa, de color crema.

#### **1.3.3.7 Flores**

Dispuestas en mojones erguidos o péndulos de 10 a 30 cm de longitud. especie dioica o sea que hay plantas con flores femeninas (arboles machos y arboles hembras). Flores pequeñas a medianas, de aproximadamente 12 mm de longitud, cremas.

#### **1.3.3.8 Fruto**

Globo o un poco alargado, de 2 a 10 cm de diámetro; se abre mostrando 4 secciones, cada una con 2 semillas rojas.

#### **1.3.3.9 Distribución**

Desde Costa Rica hasta los trópicos de Sudamérica incluyendo la costa atlántica de Brasil. En Ecuador se le encuentra de las zonas bajas hasta 2500 m.s.n.m. con una amplia variación en sus características morfológicas.

#### **1.3.3.10 Utilidad**

- Caras de tableros contrachapados
- Puertas
- Ventanas
- Muebles
- Construcción

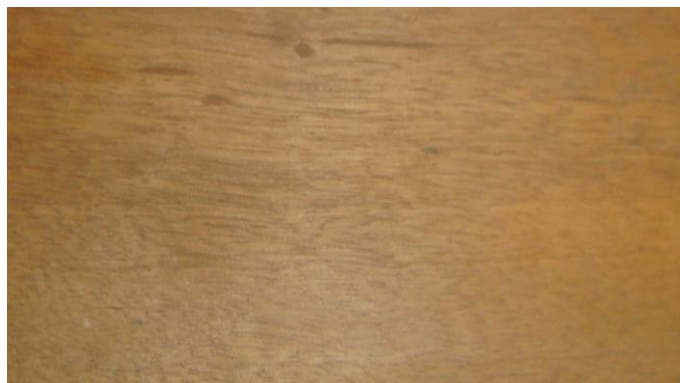
**1.3.3.11 Gráficos**



*Ilustración 1-21 Manzano Colorado.*



*Ilustración 1-22 Manzano Colorado.*



*Ilustración 1-23 Manzano Colorado.*

## **1.3.4 Roble**

### **1.3.4.1 Familia**

Combretaceae

### **1.3.4.2 Nombre Científico**

Terminalia oblonga

### **1.3.4.3 Nombres Común**

Roble, volador, guayabón

### **1.3.4.4 Árbol**

Es un árbol grande de 35 m de alto y 50 cm de diámetro en el tronco, con raíces tablares altas y agudas. La corteza escamosa, tiene muchas fisuras longitudinales de 1 cm, de color café oscuro. angostas.

### **1.3.4.5 Corteza**

La corteza interior es de color amarillo, tornándose, tornándose café, fibrosa y amarga. Las ramitas largas, grises y delgadas tienen entrenudos de 4-8 cm. Las yemas de color café rojizo son de 5 cm, redondeadas, puntiagudas, cubiertas de muchas escamas

### **1.3.4.6 Hojas**

Las hojas alternadas, sin estípulas, tienen peciolo de 1 cm o menos delgados, aplanados encima, de color verde amarillento. Las láminas son elípticas, puntiagudas en ambos extremos de borde liso, poco coriáceas, lampiñas, con puntos diminutos traslúcidos, los pocos nervios laterales curvos, la haz verde lustrosa.

#### **1.3.4.7 Flores**

Los ramales florales nacen cerca del ápice de las ramitas y llevan muchas flores bisexuales sentadas. La flor está compuesta del ovario ínfero angosto de 3mm de largo que parece como un péndulo; el cáliz peludo de 3 mm en forma de campana con 5 lóbulos; son corola; 10 estambres de 5 mm alrededor del disco; y el pistilo con u ovario inferior angosto, de una celda y el estilo delgado de 3 mm.

#### **1.3.4.8 Fruto**

El fruto (Sámara), de color verde claro, tornándose amarillento, tiene un cuerpo central angosto y 2 alas largas y anchas como de 1.5 -2 cm con bordes romos o redondeados, a veces otra ala menor o quilla.

#### **1.3.4.9 Distribución**

Centro América desde Guatemala y El Salvador hasta Panamá y Sudamérica hasta Ecuador, Perú y Brasil.

#### **1.3.4.10 Utilidad**

- Construcciones
- Chapas y chapas decorativas
- Muebles, revestimiento, parquet

1.3.4.11 Gráfico



*Ilustración 1-24 Roble.*



*Ilustración 1-25 Roble.*



*Ilustración 1-26*



## **1.4 Proceso para el tratamiento de la madera**

### **1.4.1 Etapas de corte**

Antes de realizar la explotación de los recursos forestales previo al análisis de las diferentes etapas de corte, se analizarán brevemente algunas generalidades las cuales hay que tomar en cuenta durante la planificación de las operaciones a realizarse, debido a las repercusiones socio-económicas que el mismo tiene.

#### **1.4.1.1 Aspectos de trabajo**

Es necesario evaluar las condiciones de trabajo para elegir los métodos más apropiados. Esta evaluación debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- Características del árbol y de las trozas
- Topografía y condiciones del terreno
- Clima
- Accesibilidad

#### **1.4.1.2 Aspectos económicos**

Dentro de un análisis económico, el costo del equipo a utilizarse y la disponibilidad de capital son importantes consideraciones en el caso de contemplar el uso de recursos mecánicos dentro de un cierto nivel. Debe hacerse cuidadosos cálculos de costos para apreciar las diferentes alternativas.

## **1.4.2 Proceso de Corte**

### **1.4.2.1 Apeo**

El apeo o derribo consiste en cortar transversalmente el árbol de una zona, lo más próximo al suelo que sea posible y voltearlo hasta que se caiga al suelo. Es la única operación que siempre se realiza y el lugar donde realizarlo es siempre a pie de tocón.

Restricciones:

Es importante que el apeo se realice lo más al ras posible del, y no sólo para aprovechar mayor volumen de madera, sino para evitar posibles desarrollos de plagas de perforadores y para evitar obstáculos al paso del tractor.

La caída del árbol debe ser dirigida, dado que si es el caso de árboles maduros sobre árboles maduros produce heridas ya que si la época es propicia penetran y se desarrollan los hongos de pudrición. También estas heridas son causas de debilitamiento del árbol y puede facilitar el ataque de perforadores. Si la caída se produce sobre regenerados, los efectos son mucho menores e incluso nulos.

También se justifica la caída dirigida, para facilitar la relación de las operaciones sucesivas.

Cuando se direcciona de caída de un árbol el apeo se llama dirigido.

Cuando se señala la dirección general de caída de todos los arboles a derribar en el aprovechamiento. Para preparar las fases sucesivas, el apeo se llama planificado. El obrero forestal debe ser un profesional capaz de realizar

apeo dirigido. El técnico encargado de organizar la explotación debe planificar el apeo.

El rendimiento de la fase de apeo es variable según el tipo de medio con que se realice. Si se utiliza la motosierra, el rendimiento depende fundamentalmente del volumen medio del arbolado y en menor medida del tiempo de corta, el número de árboles a derribar por hectárea, la pendiente, escabrosidad, etc. En el caso de apeo con maquinaria automóbil, la productividad depende fundamentalmente del volumen de derribar por hectárea y en menor medida de la pendiente, escabrosidad, volumen medio de arbolado, etc.



*Ilustración 1-27 Apeo con motosierra*



*Ilustración 1-28 Apeo y procesado con cosechadora.*

### 1.4.2.2 Desramado

El desramado consiste en eliminar las ramas del árbol con el objeto de dejar el fuste limpio. La eliminación se realiza desde inserción de una rama con el tronco, de forma que no queden muñones.

Restricciones:

Es importante que el desramado se realice lo más al ras posible de la superficie del fuste para facilitar labores posteriores de descortezado, amarre y apilado.

Indirectamente conviene que el desrame se realice lo más próximo posible al tocón, para evitar empobrecimiento del suelo, como consecuencia de llevarse las ramas y las hojas del lugar.



*Ilustración 1-29 Desramado con motosierra.*

### 1.4.2.3 Despunte

Es despunte es la operación consiste en cortar al árbol la punta delgada (diámetro mínimo a aprovechar) en función del destino posterior de la madera.

Se realiza con la misma máquina utilizada en el desrame, y en el mismo lugar que ésta.

#### **1.4.2.4 Trozado**

El tozado consiste en dividir el fuste abatido en trozos de una longitud prefijada o no, en función del destino de la madera y del medio de transporte que llevará a su destino.

Es importante que el trozado se realice de forma limpia, dejando una cara perfectamente perpendicular al eje del árbol, para poder facilitar el transporte y ofrecer a la industria transformadora el máximo aprovechamiento de la madera.

Ecológicamente, conviene que los fustes se trocen a la mínima longitud posible.

La operación de trazado se realiza prácticamente siempre, salvo en los casos en que la madera tenga como destino la industria de postes.

#### **1.4.3 Secado**

Los buenos resultados del secado de la madera aserrada dependen de muchos factores, se empiezan a verse afectados por circunstancias que ocurren incluso antes de ser aserrados los troncos, durante su almacenamiento, o por la forma de realizar las pilas de la madera una vez aserrada.

Por lo general las industrias almacenan los troncos de coníferas el menor tiempo posible para evitar que la madera se azulee. Con respecto a las

frondosas y las clases más altas de coníferas, llegan a almacenarse semanas e incluso meses antes de su aserrado. En esta situación existe el riesgo de que aparezcan fendas de desecación incluso en invierno, de que en las coníferas aparezcan hongos del azulado cuando la temperatura supera los 10°C o de que la madera sea atacada por insectos, en especial el escarabajo de ambrosía.

#### **1.4.3.1 Secado al aire**

Consiste en exponer la madera a los factores climáticos (temperatura, humedad relativa y aire) de un lugar hasta establecer un higroscópico entre el medio ambiente del lugar donde se encuentra y la madera.

La mayor parte de las coníferas se secan directamente en secaderos artificiales por múltiples razones. Por un lado el secado al aire produce pérdidas excesivas, pero por otro la duración del secado no permite reaccionar rápidamente ante los cambios en el mercado y porque además las inversiones, tanto tiempo inactivas, tienen un alto coste.

Para las frondosas, en especial las de clases superiores, es muy normal el secado al aire en muchas industrias. Sin embargo no es el mejor método porque se producen muchas pérdidas. Cuando se incluyen los costes de la degradación puede resultar mucho más alto el coste del secado al aire que el de otro método. En muchos casos el secado al aire se practica durante 4 a 6 semanas antes del secado artificial, a modo de pre-secado, pero como las mayores degradaciones se producen al principio (cuando el contenido de

humedad es alto), puede resultar que esta práctica sea muy cara en términos de pérdida de calidad.

Para mejorar el secado al aire, especialmente en piezas gruesas, se cubren con redes de plástico. Este material da lentitud al secado por reducir el flujo de aire y consecuentemente mantener humedades relativas altas dentro de la pila. La lentitud del secado evita la aparición de fendas, pero aumenta los riesgos de ataque por hongos cromógenos. El empleo de cobertizos disminuye los daños producidos por el agua.



*Ilustración 1-30 Secado al aire.*

#### **1.4.3.2 Secado bajo cubierta y con ventilación forzada**

El secado bajo cubierta (con ventilación forzada o no) es un antiguo sistema de secado que ha sido redescubierto en la última década. La calidad es mucho mayor que en el secado al aire y el tiempo de secado es menor o como mucho igual.

Se utiliza para secar madera aserrada hasta el 20% de humedad con muy pocas degradaciones. Las pilas son de unos 7 metros de largo con separación longitudinal entre dos pilas de 60 cm, quedando alrededor de 1 m

retranqueadas sobre la vertical del tejado. Si se quiere acelerar el secado pueden cerrarse parcialmente las paredes o pueden cubrirse con mallas de plástico sobre todo en aquellos días más calurosos y secos. Si se evitan el sol y la lluvia se mejora la calidad de la madera, sin alargar apenas el tiempo de secado. Cuando el ancho de las pilas es muy grande se pueden emplear ventiladores para la circulación del aire.



*Ilustración 1-31 Secado bajo cubierta y con ventilación forzada.*

### **1.4.3.3 Pre-secado**

Desde hace más de 35 años se emplea el pre-secado para tener un continuo suministro de madera seca para suministrar a la industria del mueble y evitar las grandes inversiones que supone tener la madera inmovilizada en los secaderos al aire. Un pre-secadero típico mantiene constantes la temperatura entre 25 y 30° C, la humedad relativa entre 55 y 80% y la velocidad del aire entre 22 y 50 metros por minuto.

También estos secaderos han evolucionado mejorando el diseño de la construcción para tener mejor distribución del aire, o bien combinando dos ciclos de pre-secado según la humedad de la madera de forma que en la segunda fase se aumenta la temperatura, con lo que se acorta el proceso sin



tener riesgos de degradación de la madera. Probablemente se seguirá empleando este sistema de secado, mejorando su control para asegurar la más alta calidad del secado.



*Ilustración 1-32 Pre-secado.*

#### **1.4.3.4 Secadores artificiales convencionales**

Se denominan así a los secaderos que emplean temperaturas por debajo de los 100°C. La madera se introduce en la cámara de secado en paquetes sobre carretones o sobre paletas. Para cada especie y grueso se han desarrollado cédulas de secado que definen para cada etapa del secado, la humedad y temperatura de la cámara. La velocidad del aire que pasa a través de la pila puede llegar hasta 100 m por minuto, hasta hace unos años no era frecuente superar los 50 m por minuto.

El control se realiza por ordenadores a los que llega información de testigos repartidos por las pilas. Se controlan la temperatura, la humedad del aire y la madera y la velocidad del aire, pudiéndose variar estos parámetros en pequeños tramos del secado.

La construcción de estas cámaras suele ser de acero inoxidable y más raramente de aluminio. Los gases que se producen al calentar la madera, con el vapor de agua resultan altamente corrosivos por lo que está volviéndose a emplear construcciones de hormigón en lugar de metálicas.

Las futuras mejoras en el proceso irán en la dirección de mejorar el control del secado de forma que la cédula irá acomodándose a la marcha del secado.



*Ilustración 1-33 Secadores artificiales convencionales.*

#### **1.4.3.5 Deshumidificación**

Un horno deshumidificador usa un sistema de bomba de calor para quitar el agua de la madera. Una ventaja primaria de este tipo de sistema es que recicla el calor continuamente, en lugar de expulsarlo a la atmósfera como hace un horno convencional de modo que es energéticamente más eficiente y su costo operativo es usualmente bajo.

Esto es verdad aunque un horno por deshumidificación usa la energía eléctrica para alimentar los ventiladores (el que dirige al aire sobre el radiador del deshumidificador y el compresor de refrigeración), mientras que un sistema convencional que usa combustible es menos caro como gas o madera. La

razón por la que un sistema deshumidificador es de menor costo operativo que un sistema convencional que use fuentes de energía más baratas que las electricidad, reside en la habilidad del deshumidificador para reciclar el calor y conserva la energía, con el calor constantemente reciclado, la cantidad de electricidad requerida por el sistema es pequeña. En un sistema convencional, que puede usar combustible más barato, se necesita renovar constantemente el aire húmedo por aire menos húmedo, sino que también se cambia aire caliente por aire frío.

En un horno deshumidificador, el aire caliente se hace circular a través de la madera evaporando el agua; luego el aire caliente pasa por la unidad enfriadora donde se le quita energía llevándolo a aproximadamente 15°C, capturado y condensando el agua vaporizada.



*Ilustración 1-34 Deshumidificación.*

#### **1.4.3.6 Secado al vacío**

El principio es sencillo, a medida que se aumenta el vacío, el agua de la madera hierve a menor temperatura, por tanto este método es similar que el de alta temperatura, pero a temperaturas bajas puesto que el punto de ebullición se baja a menos de 40°C . Se consigue una calidad muy alta en la

madera secada por este procedimiento y la duración del secado es muy pequeña, en especial es apropiado para la madera muy gruesa (superior a 50mm), pero su coste es muy alto.



*Ilustración 1-35 Secado al vacío.*

Sólo es apropiado para frondosas de alto precio. En algunos casos se ha empleado para una primera fase (pre-secado) que se completa con el secado en cámara convencional. También han aparecido autoclaves que están dotadas de un emparrillado por el que circula aceite térmico sobre el que se coloca la madera. De esta forma puede calentarse ésta, lo que permite la reducción del tiempo de secado.

#### **1.4.4 Preservación**

Antes de realizar el estudio de la preservación de la madera hay que realizar el estudio de la degradación de la madera, La degradación es provocada por un conjunto de efectos producidos por agentes que destruyen la madera de distintas formas y por diferentes motivos. Se dividen en dos grandes grupos. Según hayan sido producidos por organismos vivos, y que

entonces se conocen como Bióticos, mientras que si los que los provocan son agentes de tipo natural e inanimado se denominan Abióticos.

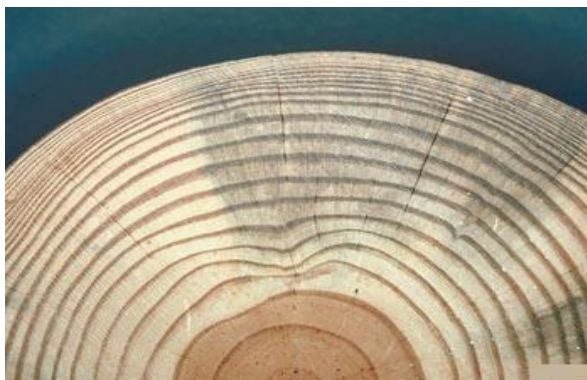
#### **1.4.4.1 Agentes bióticos**

Están contruidos por aquellos organismos vivos que tienen en la madera, como materia organiza, su espacio vital y su base de nutrición. Son los organismos xilófagos, numerosos especies de hongos en insectos que poseen la facultad, cuando encuentran las condiciones favorables, de fraccionar mecánicamente el material y de aprovechar como fuente de alimentación, de los compuestos químicos de la madera y de su contenido celular, la mayoría hidratados de carbono.

##### **1.4.4.1.1 Hongos cromógenos**

Los hongos cromógenos penetran en la madera y se nutren de sustancias que se asimilan muy fácilmente (almidón, proteínas, azúcares). Estas sustancias se encuentran en la albura.

No atacan la pared celular de la madera, por lo tanto, no tienen influjo en las propiedades mecánicas sino que debido a la coloración anómala que las hifas causan en la madera, afectan su valor comercial.



*Ilustración 1-36 Hongos cromógenos.*



*Ilustración 1-37 Hongos cromógenos.*

Los hongos cromógenos se establecen en la madera muy húmeda. Si hacemos referencia a obras de arte pintadas, los hongos se desarrollan más seguido en las uniones de las tablas y en las áreas pintadas, consiguiendo colonias de color verde- amarillo o bien gris-negras, con un tono más o menos intenso. Estos hongos pertenecen a la clase de los hongos imperfectos, genero *aspergillus* y *penicillium*.

#### **1.4.4.1.2 Hongos de pudrición**

Estos hongos producen una degradación mayor, ya que alteran las paredes de las células de la madera (pared celular). Las hifas emiten productos químicos (enzimas) que disuelven los nutrientes de la madera con

los cuales se alimentan y desarrollan. La pudrición no es fácil de reconocer en sus etapas iniciales ya que las hifas permanecen ocultas en su interior. Según va desarrollándose la pudrición se va acentuando el cambio de color rojizas pardas o a veces claras y la madera empieza a perder peso y aumentar su contenido de humedad. En la fase final del proceso se llega a la disgregación total de la estructura de la madera con una pérdida importante de sus características físico-mecánicas. En la práctica la pudrición solo se produce en las maderas húmedas. Aunque la pudrición puede empezar a partir de un contenido de humedad del 22%, la pudrición rápida comienza a partir de contenidos superiores al 26%.



*Ilustración 1-38 Pudrición blanca.*

Una vez que se ha formado el micelio, las hifas pueden formar “ramas o agrupaciones de hifas” capaces de conducir agua y alimentos. La presencia o no de estas ramas permiten identificar a algunos hongos. La clasificación de las pudriciones es fácil ya que no existen parámetros fijos, siendo la más aceptada la que conjuga el color de la madera atacada junto el espaciamiento

que presenta, aunque siguen siendo imperfectas. Los tipos de pudrición se clasifican en pudriciones pardas , pudriciones blancas y pudriciones blandas.



*Ilustración 1-39 Pudrición blanda.*

#### **1.4.4.1.3 Mohos**

Se alimentan de los materiales almacenados en el interior de las células de la madera. Son incapaces de alimentarse de los principales componentes de la pared celular, por lo que no producen pérdidas significativas en la resistencia de la madera.



*Ilustración 1-40Mohos.*

Sus hifas son incoloras y su crecimiento solo se detecta cuando se forman esporas en la superficie de la madera o cuando el cuerpo de fructificación forma sobre la superficie una especie de pelusilla transparente, o con tonalidades que van desde el color blanco al negro. Debido a su



crecimiento superficial son fáciles de eliminar, como un trapo o mediante medios mecánicos, Aunque no resultan peligrosos por su mínima acción degradadora, crean las condiciones para el desarrollo de los hongos de pudrición.

#### **1.4.4.1.4 Insectos**

Los insectos (como otros agentes que participan en la degradación de la madera) necesitan para sobrevivir condiciones edafológicas y ambientales determinadas.

#### **1.4.4.1.5 Coleópteros**

Son insectos que el estudio adulto se caracteriza por un revestimiento exterior muy esclerotizado, esclerotización que comprende también las alas anteriores, que pierden a menudo funcionalidad y sirven solamente para recubrir las alas posteriores, que son las que permiten al insecto desplazarse y ocasionar eventuales infestaciones.

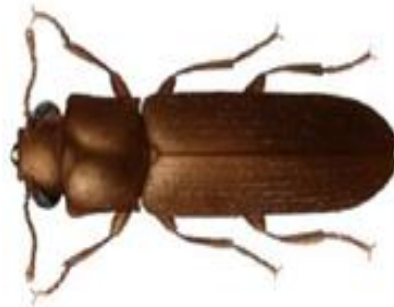
Las especies de coleópteros que viven de la madera puesta en obra son diferentes y se conocen con nombres como carcoma, capricornio, etc. Pertenecen a pocas familias, entre estas anóbidos, líctidos, y cerambícidos.

Anóbidos.-Insectos que atacan a las maderas secas, tanto coníferas como frondosas, y que pertenecen a la familia de los Anóbidos, comúnmente llamados Carcoma, que se alimentan a expensas de la celulosa y lignina.



*Ilustración 1-41 Anóbido.*

Líctidos.- Insectos que atacan maderas parcialmente secas (menos del 18 % de humedad), siendo la albura habitualmente la zona afectada. Que se caracterizan porque las larvas se alimentan del almidón contenido en la pared celular, para lo cual practican galerías de alrededor de 1 mm de diámetro, destruyendo la madera y dejando tras de sí un aserrín muy fino. No atacan a las coníferas, solamente a las frondosas.



*Ilustración 1-42 Líctidos.*

Cerambícidos.- Insectos que requieren un contenido de humedad en la madera mayor al 20%, cuyas larvas se alimentan de almidón, azúcares y sustancias albuminoideas de la madera. La mayoría ataca a los árboles en pie y un número reducido de especies invade la madera que se encuentra encastillada, tanto de coníferas como frondosas.



*Ilustración 1-43 Líctidos.*

#### **1.4.4.1.6 Termitas**

Son los ataques de estos insectos los que pueden causar mayores daños a la estructura de madera de una vivienda.

Son capaces de introducirse entre los cimientos, sobrecimientos y muros de las edificaciones taladrando el hormigón, aprovechando las grietas, las cañerías y ductos que atraviesan estas estructuras o practicando galerías exteriores a base de una argamasa extraordinariamente dura.



*Ilustración 1-44 Termitas.*

Las obreras desarrollan galerías en dirección de la fibra, dejándolas libres de aserrín, dado que todos los días deben volver a su termitero. Las huellas de ataque son tubos de barro, sin embargo, es usual ver el daño sólo cuando la madera falla por falta de resistencia. Estos insectos requieren de

humedad para poder vivir, elementos que se encuentran en el suelo y las áreas húmedas de la estructura, pero atacan maderas secas.

#### **1.4.4.2 Agentes abióticos**

Son aquellas causas de alteración de madera de origen no vivo. Engloban a los agentes atmosféricos (radiación solar, humedad, acción corrosiva de la lluvia y el viento, cambios de temperatura, etc.), y a los agentes mecánicos

##### **1.4.4.2.1 Degradación por la luz**

Sólo una pequeña parte del espectro de la radiación solar llega a la superficie terrestre y produce la foto degradación de la madera.

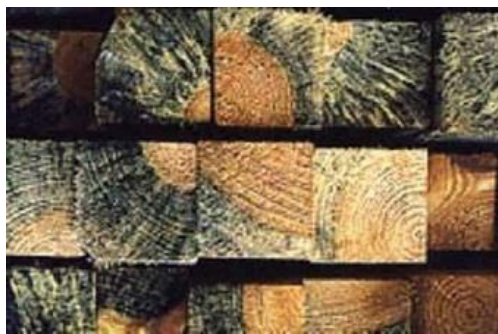
Las lesiones más importantes son producidas por las radiaciones ultravioletas, aunque también inciden negativamente los rayos infrarrojos y hasta los de aspecto visible, dejando a la madera en condiciones de ser por las humedades.



*Ilustración 1-45 Degradación por la luz.*

#### 1.4.4.2.2 Humedad atmosférica

La higroscopicidad, propiedad que tienen algunos materiales para captar vapor de la atmósfera, es muy acentuada en la madera, que posee la capacidad de acumular humedad en la estructura de las paredes celulares, perdiendo su compacidad, su poder de compresión y su resistencia. Así se crea un lugar de cultivo idóneo para la proliferación de hongos.



*Ilustración 1-46 Humedad atmosférica.*

#### 1.4.4.2.3 Fuego

Es uno de los agentes destructores que ningún material puede tolerar indefinidamente sin presentar algún deterioro.



*Ilustración 1-47 Madera sometida al fuego.*

La reacción al fuego de las maderas depende de:

- Espesor de la pieza de madera

- Contenido de agua de la madera
- Densidad de la madera (especie)

#### **1.4.5 Tratamiento de la madera**

Para el tratamiento de la madera se deben definir los requerimientos de durabilidad que son necesarios, esto quiere decir si la madera elegida tiene la capacidad para resistir el ataque de los diferentes agentes de destrucción.

Los productos protectores se clasifican según los siguientes aspectos:

##### **1.4.5.1 Por la acción protectora que realizan**

**Insecticidas:** protegen frente a la acción de los insectos xilófagos, destacan el tipo Piretrinas o Clorpirifos.

**Fungicidas:** protegen frente a la acción de hongos xilófagos. Si es pudrición se emplean productos con contenidos de cromo, cobre y arsénico (CCA); cobre, azoles orgánicos (CA); cobres, azoles orgánicos y boro (CAB); cobre y amonios cuaternarios (ACQ) y boro.

**Ignífugos o retardadores de fuego:** protegen frente a la acción del fuego convirtiendo a la madera desde un material combustible, a uno difícilmente combustible. En este grupo se distinguen los que impiden que llegue oxígeno a la madera durante algunos minutos y los que basan su acción ignífuga en que reaccionan con el calor, emitiendo sustancias que acaparan el oxígeno del aire, impidiendo que la madera se queme.

Protectores de la luz: Pinturas con pigmentos metálicos que sellan la veta de la madera. Se mantiene la veta, oscureciéndola en algún grado.

#### **1.4.5.2 Por el tipo de preservante**

Solventes orgánicos: Son los protectores que con mayor facilidad penetran en la madera, no producen manchas y son compatibles con la mayoría de los barnices de fondo y acabados. Son aplicados a maderas secas por su característica de no otorgar humedad a ésta.

Hidrosolubles: el disolvente es el agua, se utiliza para el tratamiento industrial de maderas húmedas.

Creosotados: Son derivados del petróleo y la hulla, su penetración en la madera es dificultosa y además la mancha, haciendo incompatible la madera tratada con cualquier terminación a la vista.

#### **1.4.6 Tipos de tratamientos**

##### **1.4.6.1 Tratamientos superficiales**

Se caracterizan porque la penetración del protector en la madera apenas supera unos milímetros de profundidad.

Son recomendables en la prevención de ataques superficiales como la mancha azul. No son indicados en los casos de ataques en profundidad, como es el caso de hongos a mediano y largo plazo, cuando vaya a estar expuesta a riesgos de humedades más o menos constantes, o del ataque de termitas, como es el caso de maderas situadas en el interior de la vivienda.

Estos tipos de tratamientos son aplicados mediante brochas, pulverizadores o inmersión rápida de la madera en un producto protector formado a partir de insecticidas y fungicidas.

La penetración de unos milímetros del producto químico es suficiente como para evitar los ataques superficiales. La profundidad del tratamiento va a depender del tipo de producto, fundamentalmente del tipo de disolvente, la mayor o menor penetrabilidad de la madera y de las condiciones de ésta.

#### **1.4.6.2 Tratamientos en profundidad**

Son variados los sistemas, el boucherie o de sustitución de savia, consiste en que se introduce la madera en un depósito por varios minutos para que el producto protector vaya ocupando la savia del árbol. Los productos utilizados son sales, los que con la humedad de la madera y con el movimiento de la savia se introducen al interior por difusión. Este tratamiento se aplica a maderas que se utilizan en cierros y estacas en general.

Otro sistema es el caliente y frío, en el que se introduce la madera en un depósito con agua caliente por algunos minutos para abrir los poros, lo que permite facilitar la entrada del producto protector y luego se introduce la madera por varias horas en otro depósito que contiene las sales protectoras. Este tratamiento es utilizado para postes, vigas y piezas que en general quedarán a la intemperie.



## **2 CAPÍTULO II: PROPIEDADES FÍSICAS**

### **2.1 Antecedentes**

El aprovechamiento de una especie maderera como materia prima de cualquier proceso industrial, depende de factores como las propiedades físicas de la madera.

En las propiedades físicas se incluyen la humedad y la densidad, que su efecto sobre el comportamiento de la madera son los cambios de dimensión y peso de la misma con estos conocimientos permite procesar de manera adecuada para una mejor utilización. Cualquier especie de madera es un material poroso y heterogéneo en su estructura y que presenta un comportamiento anisotrópico e higroscópico, sus propiedades físicas son también variables.

El primer procedimiento al que se somete un tronco luego de su extracción del bosque es el aserrado, aquí se cambia las dimensiones de la madera. Este se realiza mediante sierras de cinta o con sierras circulares de gran dimensión. La madera elaborada a través de un proceso de aserrío se denomina pieza de madera y posee propiedades definidas.

#### **2.1.1 Material anisotrópico**

La madera es un material heterogéneo, muy diferente según el plano o la dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del material, presenta resultados un desigual comportamiento: por ejemplo, la

madera resiste de 20 a 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en el sentido transversal del árbol.

Debido a este comportamiento estructural desigual, se ha definido tres tipos de ejes en un tronco de madera:

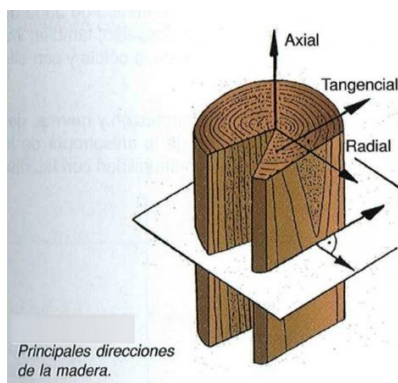
- Eje tangencial
- Eje radial
- Eje axial o longitudinal

### **2.1.2 Material higroscópico**

La madera en el árbol contiene gran cantidad de agua, superando el peso de ésta a la de la madera seca, después de ser talado el tronco, éste empieza a perder agua. Mientras esto sucede, no hay cambios dimensionales en la pieza de madera, pues el agua llena un espacio, esto se produce fácilmente, porque el agua es retenida por fuerzas capilares débiles. Cuando la madera ha perdido la totalidad del agua de las cavidades, se dice que la madera estará en el Punto de Saturación de la Fibra. Este valor depende de la especie de madera, pero oscila entre el 28% y el 32%.

Después de este período, una mayor pérdida de agua de las paredes celulares, implica de una contracción en la madera. En cambio, una ganancia de humedad va acompañada por una dilatación de la pieza de madera. Pero no de la misma forma en todas las direcciones de la madera: el movimiento es máximo en la dirección radial o transversal, aproximadamente la mitad en la dirección tangencial, y despreciable en la longitudinal.

En resumen la madera tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera.



*Ilustración 2-1 ejes en la pieza de madera*

## **2.2 Cambios estructurales en los estados de madurez**

### **2.2.1 Aliso**

Árbol de tamaño mediano de 6 a 15 m de altura, en condiciones favorables alcanza hasta 20 m con DAP de 0,5 m. Presenta un rápido crecimiento en altura durante los primeros años en zonas húmedas, posee poca ramificación lo que mejora la calidad para fines comerciales, mientras que en zonas semisecas es retorcido y arbustivo. Se requiere 20 años en promedio para que logre su altura máxima de unos 15 metros.

### **2.2.2 Canelo Amarillo**

Alcanza hasta 30 m de altura y 100 cm de diámetro, 10 cm de grosor y 1 m de ancho en la base. Copa redondeada.

Un crecimiento en diámetro medio anual de 0,54 cm, produciéndose los máximos crecimientos anuales periódicos (CAP) a los 12 años con 0,92 cm.

Se determinó un desarrollo en altura homogéneo, experimentando un crecimiento anual medio de 0,46 m/año y un crecimiento anual periódico máximo de 0,65 m/año a los 8 años, destacándose dos períodos de tasas crecientes (CAP), uno entre los 2 y 8 años y otro entre los 16 y 18 años.

### **2.2.3 Manzano Colorado**

Son grandes árboles de 20 a 45 m de altura, con tronco de más de 1 m de diámetro, con contrafuertes en la base; Aletones hasta de 2.5 m de altura, 10 a 18 cm de grosor y 1.8 m ancho de la base.

### **2.2.4 Roble**

Es un árbol grande de 35 m de alto y 50 cm de diámetro en el tronco, con raíces tablares altas y agudas. La corteza escamosa, tiene muchas fisuras longitudinales de 1 cm.

## **2.3 Contenido de humedad**

La madera almacena una gran cantidad de humedad. El agua en la madera puede encontrarse en las siguientes formas:

- El agua libre: se encuentra llenando las cavidades celulares y espacios intercelulares.
- El agua higroscópica: se halla contenida en las paredes celulares; y el agua de constitución se encuentra formando parte

integrante de la estructura molecular, está comprendido entre 0% y 30% de contenido de humedad

- El agua de constitución: es la que está adherida a las superficies de las partículas sólidas por atracción molecular, esta solo puede ser eliminada por carbonización y no se la toma en cuenta para determinar el contenido de humedad.

Cuando la madera se expone al medio ambiente, empieza a eliminar agua gracias a que se inicia el proceso de secado. En la duración del secado se pierde primero el agua libre y después el agua higroscópica; el agua de constitución no se puede eliminar utilizando las técnicas normales de secado, para la eliminación de la misma es necesaria una destrucción parcial de la madera por carbonización o combustión.

En función de la cantidad de agua que contenga la madera pueden presentarse tres estados: verde, seco y anhidro.

### **2.3.1 Madera verde**

Cuando ha disipado parte del agua libre. La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por el volumen de poros. Al comenzar el proceso de secado, el agua libre se pierde por evaporación, en este proceso se pierde el agua retenida fácilmente ya que las fuerzas capilares son muy débiles, hasta que ya no contiene más agua de este tipo. Al llegar a este punto la madera presenta un contenido de humedad que varía

entre el 25 al 35%, momento en el cual, la madera presenta paredes celulares totalmente saturadas de agua y cavidades vacías.

### **2.3.2 Madera Seca**

Cuando ha perdido la totalidad del agua libre y parte del agua higroscópica se denomina madera seca, durante el secado de la madera, cuando ha perdido su agua libre, por evaporación, y continúa secándose, la pérdida de agua ocurre con mayor lentitud hasta llegar al estado de equilibrio higroscópico con la humedad relativa de la atmósfera. Para la mayoría de las especies, este equilibrio se encuentra entre un 12 a 18% de contenido de humedad, dependiendo del lugar en donde se realiza el secado.

### **2.3.3 Madera anhidra**

Será cuando ha perdido toda el agua libre e higroscópica. El peso anhidro se consigue mediante el uso de un horno a  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ; también se lo puede llamar peso seco al horno.

Para determinar la humedad en la madera, se establece una relación entre masa de agua libre e higroscópica que contiene en una pieza con relación a la masa de la pieza anhidra, expresada en porcentaje. A este cociente se lo conoce como contenido de humedad.

### **2.3.4 Ensayo**

#### **2.3.4.1 Alcance**

Contenido de humedad para los ensayos mecánicos de maderas nativas del Ecuador anteriormente elegidas:

- Aliso
- Canelo amarillo
- Manzano colorado
- Roble

Cabe recalcar que este ensayo se realiza después de la ejecución de cada ensayo mecánico.

#### **2.3.4.2 Objetivo**

Determinar la pérdida de peso, en porcentaje, de las probetas en pruebas, secadas en horno a masa constante de las maderas: de acuerdo a las Normas Técnicas Panamericanas, COPANT; y Métodos de Ensayo Estándar Americanos, ASTM.

#### **2.3.4.3 Instrumentos**

- Horno eléctrico de temperatura regulable que permita operar a una temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- Termómetro
- Balanza con precisión de 0.1 gramos

#### **2.3.4.4 Materiales**

Maderas nativas del Ecuador tales como :

- Probetas de Aliso
- Probetas de Canelo Amarillo
- Probetas de Manzano Colorado

- Probetas de Roble

#### **2.3.4.5 Preparación de la probeta**

Las piezas de madera para determinar del contenido de humedad deben ser preparadas inmediatamente después de cada prueba mecánica realizadas. La cantidad de probetas debe ser igual al número de ensayos físicos y mecánicos.

Según las normas COPANT y ASTM para maderas, las piezas de prueba deben ser cortadas en una zona próxima a la rotura producida y almacenarlas bajo condiciones, las cuales aseguren que el contenido de humedad permanezca sin cambios. Además se establecen las medidas de las probetas de madera para la determinación del contenido de humedad, dependiendo del ensayo mecánico que se realice en cada probeta, de esta manera se tiene las siguientes medidas:

- Flexión estática: un cubo de 20 mm de arista.
- Corte Paralelo a la fibra: la porción menor separada después del corte.
- Tracción paralela a la fibra: muestra de 76 mm de longitud y sección transversal igual a la sección reducida de la muestra original.
- Tracción perpendicular a la fibra: una pieza sobrante después de la falla de la probeta.
- Compresión paralela a la fibra: un cubo de 50 mm de arista.



- Compresión perpendicular a la fibra: un cubo de 50 mm de arista.

#### 2.3.4.6 Procedimiento

- Una vez finalizado el ensayo mecánico se procede a quitar las astillas de la superficie de cada probeta.
- Se procede a pesar la cada una de las muestras con una confiabilidad del 0.1%.
- Se introducen las muestras en un horno con termo regulador a una temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ .
- Después de 24 horas se retira del horno y se procede a pesar con una confiabilidad de 0.1%.



*Ilustración 2-2 Muestras colocadas en el horno*

#### 2.3.5 Cálculos

El contenido de humedad de cada probeta de prueba se calcula, como la pérdida de masa expresada en porcentaje de la masa seca al horno, mediante la fórmula siguiente:

$$CH(\%) = \frac{(P_i - P_o)}{P_o} \times 100$$

Donde:

CH: Contenido de humedad en porcentaje

Pi: Peso húmedo de la probeta en gramos

Po: Peso en estado anhidro (al horno) de la probeta en gramos

### CONTENIDO DE HUMEDAD DE PROBETAS A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

ALISO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-A I	208.56	183.35	13.75	13.30
P-A II	214.36	189.47	13.14	
P-A III	202.91	178.90	13.42	
P-A IV	210.77	186.13	13.24	
P-A V	210.79	186.61	12.96	

*Tabla 2-1 CH a Compresión paralela a la fibra (Aliso)*

CANELO AMARILLO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-C I	238.25	212.83	11.94	12.36
P-C II	241.71	215.00	12.42	
P-C III	242.49	215.71	12.41	
P-C IV	233.21	207.18	12.56	
P-C V	244.75	217.60	12.48	

*Tabla 2-2 CH a Compresión paralela a la fibra (Canelo Amarillo)*

MANZANO COLORADO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-M I	357.45	316.10	13.08	12.51
P-M II	353.11	315.12	12.06	
P-M III	355.32	317.17	12.03	
P-M IV	360.55	319.59	12.82	
P-M V	344.74	306.31	12.55	

*Tabla 2-3 CH a Compresión paralela a la fibra (Manzano Colorado)*

ROBLE				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-R I	450.37	402.40	11.92	11.46
P-R II	446.14	400.57	11.38	
P-R III	452.55	407.35	11.10	
P-R IV	444.82	399.79	11.26	
P-R V	451.99	404.81	11.65	

*Tabla 2-4 CH a Compresión paralela a la fibra (Roble)*

## CONTENIDO DE HUMEDAD DE PROBETAS A COMPRESIÓN

### PERPENDICULAR A LA FIBRA

ALISO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-A I	161.00	144.08	11.74	12.27
P-A II	159.67	141.98	12.46	
P-A III	170.86	152.05	12.37	
P-A IV	163.72	145.46	12.55	
P-A V	168.21	149.86	12.24	

*Tabla 2-5 CH a Compresión perpendicular a la fibra (Aliso)*

CANELO AMARILLO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-C I	185.10	164.87	12.27	12.18
P-C II	184.24	164.05	12.31	
P-C III	182.19	162.38	12.20	
P-C IV	182.96	163.21	12.10	
P-C V	182.11	162.59	12.01	

*Tabla 2-6 CH a Compresión paralela a la fibra (Canelo Amarillo)*

MANZANO COLORADO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-M I	262.70	233.35	12.58	12.69
P-M II	263.30	233.75	12.64	
P-M III	272.79	242.05	12.70	
P-M IV	262.51	232.71	12.81	
P-M V	262.11	232.51	12.73	

*Tabla 2-7 CH a Compresión paralela a la fibra (Manzano Colorado)*

ROBLE				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-R I	340.04	305.05	11.47	11.75
P-R II	339.94	303.85	11.88	
P-R III	340.53	303.64	12.15	
P-R IV	337.68	300.93	12.21	
P-R V	334.91	301.57	11.06	

*Tabla 2-8 CH a Compresión paralela a la fibra (Roble)*

## CONTENIDO DE HUMEDAD DE PROBETAS A TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

ALISO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-A I	38.34	34.44	11.32	11.33
P-A II	38.53	34.64	11.23	
P-A III	39.86	35.84	11.22	
P-A IV	37.95	33.98	11.68	
P-A V	39.93	35.91	11.19	

*Tabla 2-9 CH a Tracción paralela a la fibra (Aliso)*

CANELO AMARILLO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-C I	42.34	37.56	12.73	12.00
P-C II	41.78	37.32	11.95	
P-C III	41.38	36.98	11.90	
P-C IV	44.74	39.94	12.02	
P-C V	41.23	37.01	11.40	

*Tabla 2-10 CH a Tracción paralela a la fibra (Canelo Amarillo)*

MANZANO COLORADO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-M I	65.08	57.91	12.38	12.38
P-M II	64.56	57.46	12.36	
P-M III	66.10	58.87	12.28	
P-M IV	59.59	53.02	12.39	
P-M V	65.39	58.13	12.49	

*Tabla 2-11 CH a Tracción paralela a la fibra (Manzano Colorado)*

ROBLE				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-R I	80.83	72.32	11.77	11.76
P-R II	79.45	71.54	11.06	
P-R III	78.61	69.82	12.59	
P-R IV	78.68	70.11	12.22	
P-R V	82.43	74.15	11.17	

Tabla 2-12 CH a Tracción paralela a la fibra (Roble)

## CONTENIDO DE HUMEDAD DE PROBETAS A TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

ALISO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-A I	20.94	18.84	11.15	11.14
P-A II	20.58	18.54	11.00	
P-A III	21.92	19.74	11.04	
P-A IV	20.07	18.00	11.50	
P-A V	19.88	17.91	11.00	

Tabla 2-13 CH a Tracción perpendicular a la fibra (Aliso)

CANELO AMARILLO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-C I	24.50	22.01	11.31	11.64
P-C II	23.38	20.89	11.92	
P-C III	23.70	21.21	11.74	
P-C IV	22.11	19.84	11.44	
P-C V	27.08	24.23	11.76	

Tabla 2-14 CH a Tracción perpendicular a la fibra (Canelo Amarillo)

MANZANO COLORADO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-M I	38.36	34.54	11.06	11.58
P-M II	35.17	31.76	10.74	
P-M III	42.10	37.64	11.85	
P-M IV	37.98	33.93	11.94	
P-M V	40.70	36.23	12.34	

Tabla 2-15 CH a Tracción perpendicular a la fibra (Manzano Colorado)

ROBLE				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-R I	44.50	39.74	11.98	11.62
P-R II	43.31	38.76	11.74	
P-R III	43.73	38.95	12.27	
P-R IV	40.80	36.68	11.23	
P-R V	45.38	40.92	10.90	

Tabla 2-16 CH a Tracción perpendicular a la fibra (Roble)

### CONTENIDO DE HUMEDAD DE PROBETAS A CORTE

ALISO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-A I	28.76	25.70	11.91	11.67
P-A II	28.43	25.49	11.53	
P-A III	28.02	25.08	11.72	
P-A IV	26.56	23.79	11.64	
P-A V	29.27	26.24	11.55	

Tabla 2-17 CH a Corte (Aliso)

CANELO AMARILLO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-C I	33.20	29.82	11.33	11.20
P-C II	29.31	26.34	11.28	
P-C III	28.35	25.47	11.31	
P-C IV	28.93	26.04	11.10	
P-C V	28.39	25.58	10.99	

Tabla 2-18 CH a Corte (Canelo Amarillo)

MANZANO COLORADO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-M I	46.37	41.41	11.98	12.01
P-M II	47.89	42.80	11.89	
P-M III	49.31	44.06	11.92	
P-M IV	48.40	43.10	12.30	
P-M V	44.01	39.31	11.96	

Tabla 2-19 CH a Corte (Manzano Colorado)

ROBLE				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-R I	50.97	45.01	13.24	12.90
P-R II	50.96	45.20	12.74	
P-R III	54.45	48.30	12.73	
P-R IV	47.20	41.78	12.97	
P-R V	53.61	47.53	12.79	

*Tabla 2-20 CH a Corte (Roble)*

### CONTENIDO DE HUMEDAD A FLEXIÓN ESTÁTICA

ALISO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-A I	27.88	24.75	12.65	12.27
P-A II	27.35	24.42	12.00	
P-A III	32.55	29.13	11.74	
P-A IV	25.07	22.28	12.52	
P-A V	32.29	28.72	12.43	

*Tabla 2-21 CH a flexión estática (Aliso)*

CANELO AMARILLO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-C I	28.40	25.34	12.08	11.89
P-C II	29.21	26.15	11.70	
P-C III	28.39	25.38	11.86	
P-C IV	27.37	24.48	11.81	
P-C V	31.75	28.35	11.99	

*Tabla 2-22 CH a flexión estática (Canelo Amarillo)*

MANZANO COLORADO				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-M I	51.34	45.82	12.05	12.29
P-M II	52.04	46.26	12.49	
P-M III	49.49	44.10	12.22	
P-M IV	46.62	41.46	12.45	
P-M V	50.32	44.83	12.25	

*Tabla 2-23 CH a flexión estática (Manzano Colorado)*

ROBLE				
PROBETA	Pi(gr)	Po(gr)	CH(%)	Promedio CH(%)
P-R I	55.21	49.15	12.33	11.75
P-R II	53.82	48.15	11.78	
P-R III	47.71	42.89	11.24	
P-R IV	52.84	47.24	11.85	
P-R V	52.26	46.84	11.57	

*Tabla 2-24 CH a flexión estática (Roble)*

## 2.4 Densidad

La densidad, es el cociente que se obtiene al dividir la masa y volumen de un cuerpo, la madera por ser un material higroscópico, la masa y el volumen variaran en su contenido de humedad, entre mayor sea el contenido de humedad mayor será la densidad; por lo que resulta primordial especificar la condición en la que se encuentra la densidad. Esta propiedad es fuertemente ligada con las propiedades mecánicas y con la durabilidad de la madera.

Por la gran cantidad de especies la densidad de la madera es muy variable, los valores de densidad van desde los 300 Kg/m<sup>3</sup> de las especies ligeras como la balsa, hasta los 1200 Kg/m<sup>3</sup> de las maderas pesadas. La densidad efectiva de la madera en la pared celular es constante para todas las especies y alcanza el valor de 1500 Kg/m<sup>3</sup>. Esto significa que la diferencia de densidad normal o aparente, se alcanza con una mayor o menor proporción de huecos en su interior.

Según el contenido de humedad de la madera, se determinara las densidades de estas mismas:



- Densidad Anhidra: Es la relación entre la masa y el volumen de la madera anhidra con la madera completamente seca.
- Densidad Normal: Es la relación entre la masa y el volumen de la madera con un contenido de humedad del 12 %
- Densidad Básica: Es la relación entre la masa anhidra de la madera, y su volumen, con un contenido de humedad igual o superior al 30%
- Densidad Nominal: Es la relación entre la masa anhidra de la madera y su volumen, con un contenido de humedad del 12%
- Densidad Referencial: Es aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera, ambos con similar contenido de humedad.

Para el siguiente caso de estudio se utilizara la Densidad Normal, por la necesidad de conocer las propiedades físicas de las maderas en estudio y conocer su nivel de servicialidad.

## **2.4.1 Ensayo**

### **2.4.1.1 Alcance**

Densidad (Masa por volumen) para los ensayos mecánicos de maderas nativas del Ecuador anteriormente elegidas:

- Aliso
- Canelo amarillo

- Manzano colorado
- Roble

Cabe recalcar que este ensayo se realiza después de la ejecución de cada ensayo mecánico.

#### 2.4.1.2 Objetivo

Determinar la densidad de las maderas: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado y Roble.

#### 2.4.1.3 Instrumentos

- Balanza electrónica: con una precisión de 0.1 g.
- Pinzas



*Ilustración 2-3 Instrumentos y materiales para obtener la densidad*

#### 2.4.1.4 Materiales

- Parafina
- Agua destilada
- Probetas de Aliso

- Probetas de Canelo Amarillo
- Probetas de Manzano Colorado
- Probetas de Roble

#### **2.4.1.5 Preparación de la Probeta**

Las probetas tendrán un contenido de humedad del  $12 \pm 2\%$ ; las dimensiones de las mismas, de acuerdo a lo establecido por las normas COPANT y ASTM , que establecen una probeta prismática de 5 cm por 5 cm por 15 cm, El método que se utilizó en el cálculo del peso específico, es el de inmersión en agua destilada.

#### **2.4.1.6 Procedimiento**

- Se determina el peso inicial de la probeta a ensayar.
- En un recipiente se diluye la parafina.
- Se coloca la parafina diluida sobre toda la probeta.
- Con la probeta totalmente impermeable y cubierta de parafina seca se vuelve a pesar para obtener el peso de la parafina.
- Se sumerge la probeta en un recipiente graduado, la cual contiene un volumen de agua destilada conocido.
- Se establece el nivel del agua luego de haber sumergido completamente la probeta. Con esto se obtendrá el volumen de la muestra más parafina
- Se toma apunte de los datos necesarios.



*Ilustración 2-4 Probetas con parafina*

### 2.4.2 Cálculos

Mediante el peso específico, conocido y constante de la parafina (9.00 gr/cm<sup>3</sup>), se puede obtener el volumen de la parafina adherida a la muestra, restando este volumen del volumen total de la muestra más parafina se obtiene el volumen de la muestra.

La densidad de las probetas se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$sp_{gr} = \frac{KW}{V}$$

Donde:

- $sp_{gr}$  = Densidad, en gr/cm<sup>3</sup>.
- W: peso de la Probeta con el contenido de humedad deseado, en gramos
- V: volumen de la probeta con el contenido de humedad deseado, en cm<sup>3</sup>.
- K: constante igual a 1, cuando W se expresa en gr. y V en cm<sup>3</sup>

### DENSIDAD DE LAS MADERAS

ALISO					
Probeta	P-A I	P-A II	P-A III	P-A IV	P-A V
P. Muestra (gr)	159.16	161.60	161.46	162.05	158.77
P. Muestra + Parafina (gr)	166.37	167.77	193.08	188.95	175.75
Vol. Muestra + Parafina (cm3)	345.00	335.00	365.00	355.00	350.00
Vol. Parafina (cm3)	7.86	6.73	34.47	29.32	18.51
Vol. Muestra (cm3)	337.14	328.27	330.53	325.68	331.49
DENSIDAD (gr/cm3)	0.47	0.49	0.49	0.50	0.48
DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm3)	0.49				

Tabla 2-25 Densidad (Aliso)

CANELO AMARILLO					
Probeta	P-C I	P-C II	P-C III	P-C IV	P-C V
P. Muestra (gr)	180.38	183.16	175.81	181.20	181.16
P. Muestra + Parafina (gr)	191.91	192.28	194.01	204.40	196.67
Vol. Muestra + Parafina (cm3)	350.00	350.00	355.00	360.00	354.00
Vol. Parafina (cm3)	12.57	9.94	19.84	25.29	16.91
Vol. Muestra (cm3)	337.43	340.06	335.16	334.71	337.09
DENSIDAD (gr/cm3)	0.53	0.54	0.52	0.54	0.54
DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm3)	0.54				

Tabla 2-26 Densidad (Canelo Amarillo)

<b>MANZANO COLORADO</b>					
Probeta	P-M I	P-M II	P-M III	P-M IV	P-M V
P. Muestra (gr)	267.19	262.86	268.56	269.62	263.93
P. Muestra + Parafina (gr)	303.12	290.22	310.63	312.78	301.06
Vol. Muestra + Parafina (cm <sup>3</sup> )	370.00	360.00	368.00	368.00	367.00
Vol. Parafina (cm <sup>3</sup> )	39.16	29.82	45.86	47.04	40.47
Vol. Muestra (cm <sup>3</sup> )	330.84	330.18	322.14	320.96	326.53
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	0.81	0.80	0.83	0.84	0.81
DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )	0.82				

*Tabla 2-27 Densidad (Manzano Colorado)*

<b>ROBLE</b>					
Probeta	P-R I	P-R II	P-R III	P-R IV	P-R V
P. Muestra (gr)	337.75	338.65	333.93	344.81	339.32
P. Muestra + Parafina (gr)	360.98	354.57	364.82	371.21	363.43
Vol. Muestra + Parafina (cm <sup>3</sup> )	370.00	365.00	380.00	380.00	375.00
Vol. Parafina (cm <sup>3</sup> )	25.32	17.35	33.67	28.78	26.28
Vol. Muestra (cm <sup>3</sup> )	344.68	347.65	346.33	351.22	348.72
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	0.98	0.97	0.96	0.98	0.97
DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )	0.97				

*Tabla 2-28 Densidad (Roble)*

### **3 CAPÍTULO III: PROPIEDADES MECÁNICAS**

#### **3.1 Generalidades**

La orientación de las fibras que componen la madera dan lugar a la anisotropía de su estructura, por lo que a la hora de definir sus propiedades mecánicas hay que distinguir siempre entre la dirección perpendicular y la dirección paralela a la fibra. En este hecho radica la principal diferencia de comportamiento frente a otros materiales utilizados en estructuras como el acero y el hormigón. Las resistencias y módulos de elasticidad en la dirección paralela a la fibra son mucho más elevados que en la dirección perpendicular.

A modo de introducción podemos ver que los árboles están diseñados por la naturaleza para resistir con eficacia los esfuerzos a los que va a estar sometido en su vida; principalmente los esfuerzos de flexión producidos por la acción del viento y los de compresión producidos por las acciones gravitatorias.

Sobre la madera como material se han realizado muchos estudios e investigaciones mediante ensayos realizados sobre probetas pequeñas libres de defectos o madera limpia, pero la madera estructural comprende piezas de grandes escuadrías en las que aparecen numerosos defectos o particularidades como nudos, gemas, etc. Por eso, la tendencia actual es la de estudiar e investigar piezas de madera comerciales o reales que permiten evaluar mejor la presencia e influencia de dichas particularidades. En los productos estructurales de la madera es importante tener en cuenta que se

trata de productos que han sido clasificados para su uso estructural, y por lo tanto no se pueden utilizar o buscar correlaciones con otro tipo de clasificaciones; por ejemplo en la madera aserrada no se pueden utilizar o correlacionar las clasificaciones decorativas con las estructurales o utilizar los valores obtenidos con probetas pequeñas.

Para referirse a las propiedades mecánicas en madera estructural se suelen dar los valores característicos, que se definen como aquellos que son seguros con un 95 % de probabilidad, y son los que se emplean, por ejemplo, para comprobar la resistencia. Los valores medios son seguros con una probabilidad del 50 %.

### **3.2 Compresión paralela a la fibra**

La resistencia a compresión paralela a la fibra es elevada, tomando valores característicos en la madera clasificada 160 a 230 Kp/cm<sup>2</sup>

La resistencia de una madera ensayada a compresión es máxima cuando se realiza en la dirección paralela a la de las fibras y va siendo menor a medida que nos alejemos de dicha dirección.

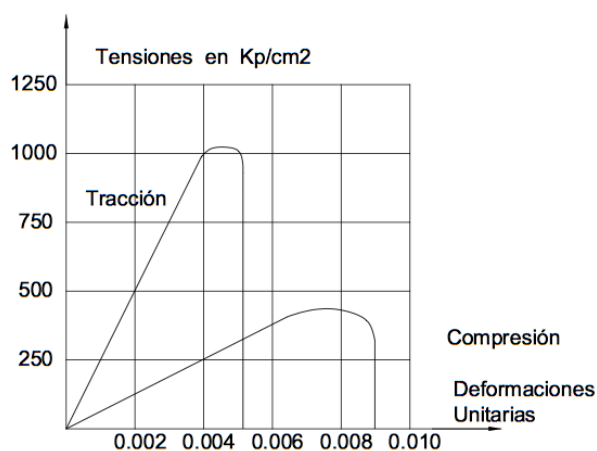
En dirección axial tendremos los valores máximos de resistencia a compresión, pues los haces fibrosos resistentes actúan al modo de columnas. Como promedio general puede decirse que la resistencia a compresión paralela a las fibras entre 15 y 17 veces mayor que en dirección normal a las fibras.

En la gráfica tensión-deformación de un ensayo a compresión paralela a la fibra en madera libre de defectos, se presenta un comportamiento lineal



en la primera parte y no lineal la segunda. Podemos observar que la resistencia a la tracción resulta superior a la resistencia a compresión en la madera libre de defectos, aproximadamente del orden de dos veces y media. Sin embargo, en la madera clasifica esta relación se invierte, debido a la mayor influencia de los defectos en la resistencia a tracción. El módulo de elasticidad en compresión paralela a la fibra es menor que el de tracción paralela a la fibra.

Si sometemos a una probeta a un ensayo veremos que primero las fibras se separan en haces, produciéndose grietas longitudinales que se dan origen a columnistas de madera que quiebran por pandeo deslizándose, en general en un plano cubico.



*Ilustración 3-1 Grafica Tensión Vs Deformación Unitarias*

### 3.2.1 Ensayo

#### 3.2.1.1 Alcance

Obtención del esfuerzo último para compresión paralela a la fibra y módulo de elasticidad que soportan las maderas: Aliso, Canelo Amarillo,

Manzano Colorado, Roble. Controlando factores importantes en su resistencia los cuales son:

- Temperatura ambiental
- Humedad en el ambiente
- Las dimensiones de las probetas.

#### **3.2.1.2 Objetivo**

Realizar los ensayos de laboratorio tomando como referencia las normas COPANT y ASTM para la obtención de datos necesarios y con estos determinar los esfuerzo últimos para compresión paralela a la fibra y módulo de elasticidad de las maderas: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado, Roble.

#### **3.2.1.3 Instrumentos**

- Máquina de ensayos universal
- Calibrador
- Deflectómetro

#### **3.2.1.4 Materiales**

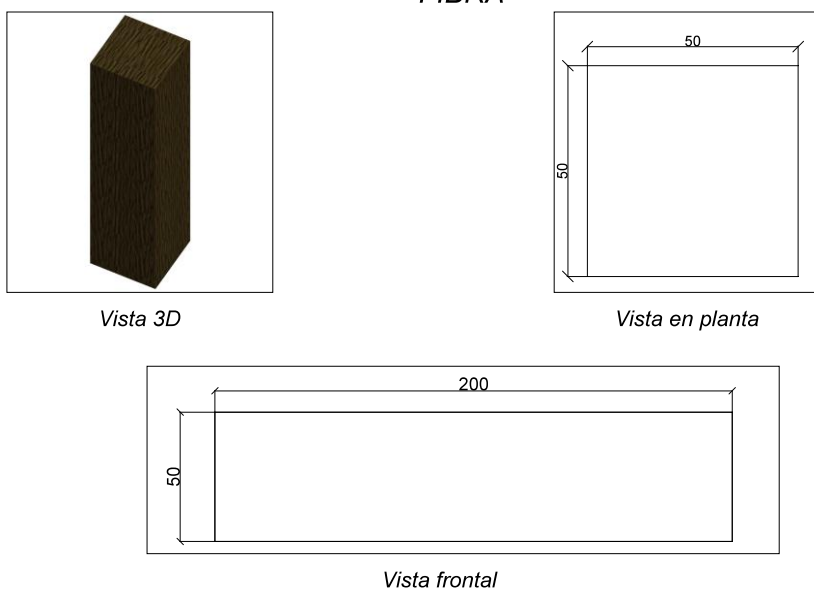
Maderas nativas del Ecuador tales como :

- Probetas de Aliso
- Probetas de Canelo Amarillo
- Probetas de Manzano Colorado
- Probetas de Roble

### 3.2.1.5 Preparación de la probeta

Tomando como guía y referencia las normas ASTM y COPANT para realizar el ensayo de corte paralelo a la fibra. Se debe tomar en cuenta que la humedad debe ser conforme a lo señalado en la presente investigación, además de que se debe revisar que la madera no tenga ninguna anomalía, rajadura o señales de pudrición.

#### *DIMENSIONES DE LA PROBETA PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA*



*Ilustración 3-2 Dimensiones de la probeta para el ensayo de compresión paralela a la fibra en (mm)*

### 3.2.1.6 Procedimiento







- Se observa que no tenga fallas la probeta a ser ensayada.
- Se toma las medidas de las secciones necesarias de la probeta a ensayarse mediante un calibrador.
- Se coloca la probeta en la máquina de ensayos universal las mordazas y la probeta.

- En el caso de las probetas (P-AI, P-CI, P-MI, P-RII) se utiliza defleto metro para obtener la deformación generada en longitudinalmente en la probeta.
- Se encera el deformimetro.
- Se va aplicando carga constante hasta que falle la probeta.
- Se toma nota de la carga máxima que ha soportado.



*Ilustración 3-3 Probeta ensayada (Compresión paralela)*

### 3.2.1.7 Tipos de falla

		
<b>Aplastante</b> : Este término debe ser usado cuando el plano de ruptura es aproximadamente horizontal	<b>Cuña partida</b> : la dirección de la rajadura debe ser anotada así sea radial o tangencial.	<b>Corte</b> : este término debe ser utilizado cuando el plano de ruptura genera un ángulo de más
		
<b>Partición</b> : este tipo de fallas ocurre frecuentemente en probetas que poseen defectos internos previos al ensayo, lo cual debe ser una base para la selección de la muestra.	<b>Compresión y corte paralelo a la fibra</b> : este tipo de fallas ocurre en muestras con secciones transversales en contra fibra.	<b>Astillado</b> : este tipo de falla es asociado con el exceso de humedad en los extremos de las probetas, incorrecto corte de la probeta, o ambos. Este no es un tipo de falla aceptable; se lo asocia con una carga reducida

*Ilustración 3-4 Tipos de Falla (Compresión paralela)*

### 3.2.2 Cálculos

El esfuerzo último se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_u = \frac{Fu}{A}$$

Donde:

- $\sigma_u$ = Esfuerzo último a compresión paralela (Kg/cm<sup>2</sup>)
- $F_u$ = carga de rotura (Kg)
- $A$ = Área de la sección transversal de la probeta (cm<sup>2</sup>)

Para el cálculo del Módulo de Elasticidad, se realiza un cuadro en el que se detalle la carga y la deformación para esta carga, esto se transformará en esfuerzo y deformación unitaria. Con estos parámetros y la ayuda de la Ley de Hooke se calcula el Módulo de Elasticidad. Para la presente investigación se utilizan los valores dentro del rango del 20% y 80% del total de la carga, puesto que en esta zona se presenta la mayor regularidad en los datos del módulo.

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Donde:

- $\sigma$ = Esfuerzo a compresión paralela (Kg/cm<sup>2</sup>)
- $E$ = Módulo de Elasticidad (Kg/cm<sup>2</sup>)
- $\varepsilon$ = Deformación Unitaria

### Resultados del ensayo a compresión paralela a la fibra

COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA					
ALISO					
Muestra	P-A I	P-A II	P-A III	P-A IV	P-A V
Base (mm)	49.61	49.82	49.79	49.52	49.50
Altura (mm)	49.89	49.83	49.52	49.82	49.96
Longitud (mm)	203.50	201.45	200.50	201.70	198.30
Área (cm <sup>2</sup> )	24.75	24.83	24.66	24.67	24.73
Fuerza (Kg)	8970	10400	10700	10950	10900
Fuerza (N)	87995.70	102024.00	104967.00	107419.50	106929.00
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	362.42	418.93	433.97	443.84	440.76
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	35.55	41.10	42.57	43.54	43.24
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	419.98				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	41.20				

Tabla 3-1 Compresión paralela a la fibra (Aliso)

COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA					
CANELO					
Muestra	P-C I	P-C II	P-C III	P-C IV	P-C V
Base (mm)	50.09	50.19	50.20	50.11	49.91
Altura (mm)	49.98	50.03	50.17	50.21	49.92
Longitud (mm)	200.65	202.30	200.80	201.05	200.10
Área (cm <sup>2</sup> )	25.03	25.11	25.19	25.16	24.92
Fuerza (Kg)	10840	9350	9300	9150	10000
Fuerza (N)	106340.40	91723.50	91233.00	89761.50	98100.00
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	432.99	372.36	369.26	363.67	401.36
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	42.48	36.53	36.22	35.68	39.37
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	387.93				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	38.06				

Tabla 3-2 Compresión paralela a la fibra (Canelo Amarillo)

<b>COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>					
<b>MANZANO</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-M I</b>	<b>P-M II</b>	<b>P-M III</b>	<b>P-M IV</b>	<b>P-M V</b>
Base (mm)	50.38	49.66	50.01	50.28	49.40
Altura (mm)	50.25	49.65	50.14	50.05	49.67
Longitud (mm)	201.40	200.40	203.20	201.70	201.10
Área (cm <sup>2</sup> )	25.32	24.66	25.08	25.17	24.54
Fuerza (Kg)	14200	15100	15200	15400	15300
Fuerza (N)	139302.00	148131.00	149112.00	151074.00	150093.00
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	560.91	612.42	606.18	611.96	623.55
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	55.03	60.08	59.47	60.03	61.17
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	603.00				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	59.15				

*Tabla 3-3 Compresión paralela a la fibra (Manzano Colorado)*

<b>COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>					
<b>ROBLE</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-R I</b>	<b>P-R II</b>	<b>P-R III</b>	<b>P-R IV</b>	<b>P-R V</b>
Base (mm)	50.22	50.35	50.16	49.89	50.05
Altura (mm)	50.32	50.28	50.52	50.49	50.42
Longitud (mm)	201.50	201.50	200.60	201.20	203.20
Área (cm <sup>2</sup> )	25.27	25.32	25.34	25.19	25.24
Fuerza (Kg)	17530	19300	19600	18800	19900
Fuerza (N)	171969.30	189333.00	192276.00	184428.00	195219.00
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	693.69	762.36	773.46	746.34	788.58
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	68.05	74.79	75.88	73.22	77.36
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	752.89				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	73.86				

*Tabla 3-4 Compresión paralela a la fibra (Roble)*

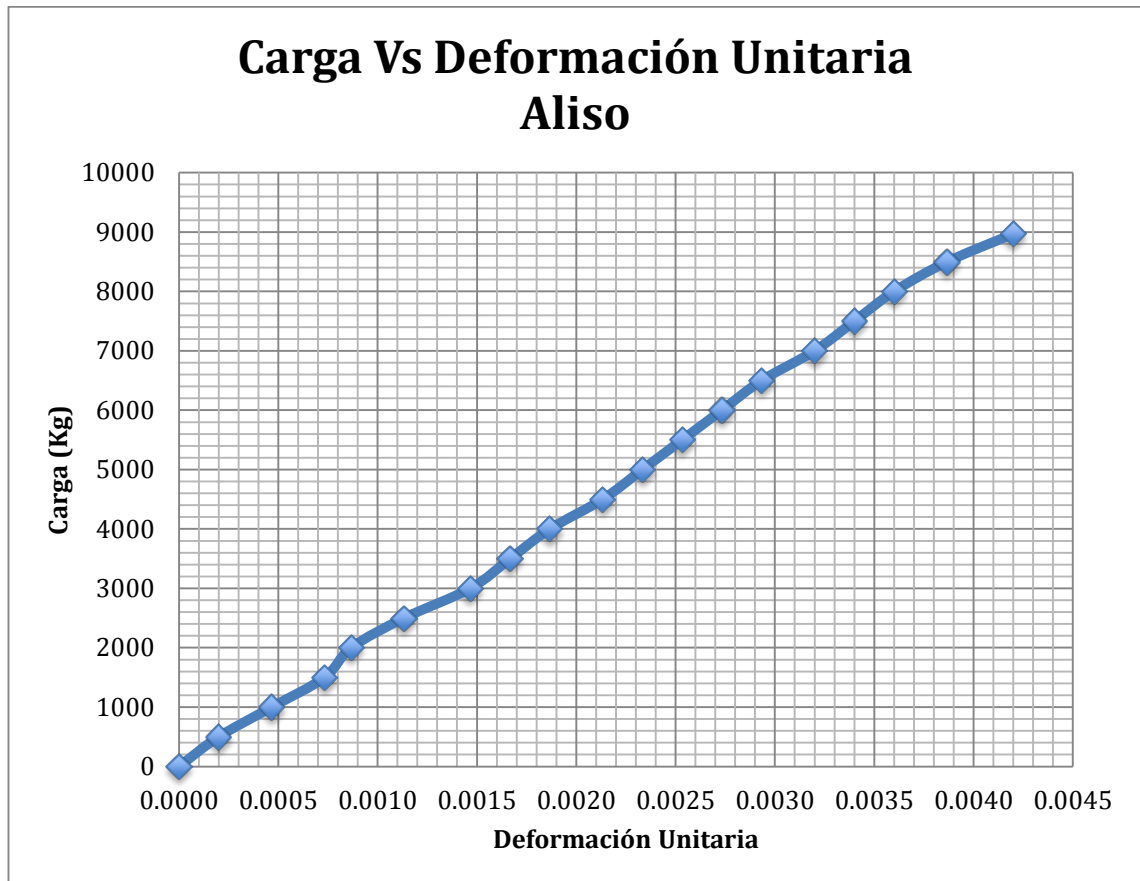
### Módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra

PROBETA P-A I							
P	$\epsilon$	Base	Altura	Área	$\sigma$	E	Carga
(kg)		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0.000000	49.61	49.89	2475.0429	0.00	0.00	0.00
500	0.000200	49.61	49.89	2475.0429	20.20	101008.35	5.57
1000	0.000467	49.61	49.89	2475.0429	40.40	86516.79	11.15
1500	0.000733	49.61	49.89	2475.0429	60.61	82680.78	16.72
2000	0.000867	49.61	49.89	2475.0429	80.81	93202.63	22.30
2500	0.001133	49.61	49.89	2475.0429	101.01	89151.24	27.87
3000	0.001467	49.61	49.89	2475.0429	121.21	82624.42	33.44
3500	0.001667	49.61	49.89	2475.0429	141.41	84830.05	39.02
4000	0.001867	49.61	49.89	2475.0429	161.61	86563.13	44.59
4500	0.002133	49.61	49.89	2475.0429	181.82	85239.11	50.17
5000	0.002333	49.61	49.89	2475.0429	202.02	86590.96	55.74
5500	0.002533	49.61	49.89	2475.0429	222.22	87729.32	61.32
6000	0.002733	49.61	49.89	2475.0429	242.42	88701.08	66.89
6500	0.002933	49.61	49.89	2475.0429	262.62	89540.30	72.46
7000	0.003200	49.61	49.89	2475.0429	282.82	88382.31	78.04
7500	0.003400	49.61	49.89	2475.0429	303.03	89125.01	83.61
8000	0.003600	49.61	49.89	2475.0429	323.23	89785.20	89.19
8500	0.003867	49.61	49.89	2475.0429	343.43	88810.03	94.76
8970	0.004200	49.61	49.89	2475.0429	362.42	86289.99	100.00

Eprom(Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>87504.96</b>
Emin(Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>82624.42</b>

Tabla 3-5 Módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra (Aliso)



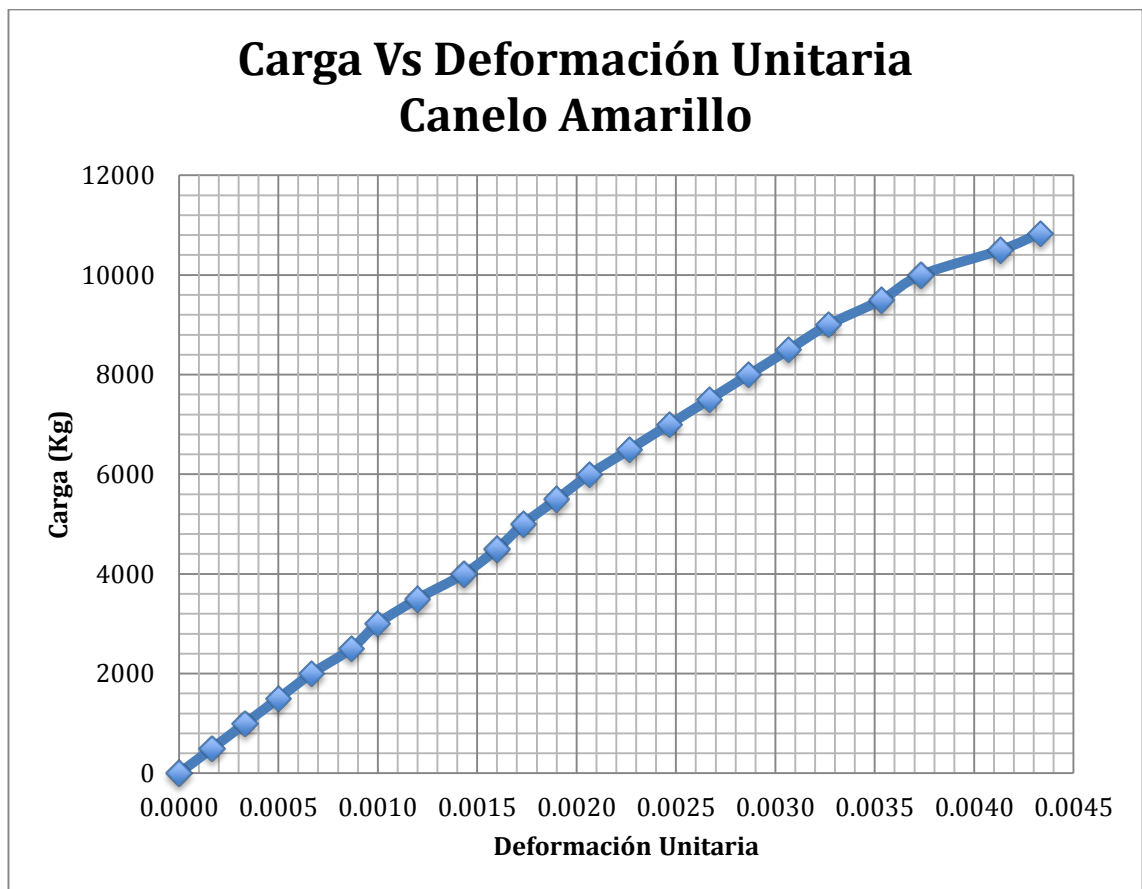


*Ilustración 3-5 Grafico carga vs deformación (Aliso)*

PROBETA P-C I							
P	$\epsilon$	Base	Altura	Área	$\sigma$	E	Carga
(kg)		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0.000000	50.09	49.98	2503.4982	0.00	0.00	0.00
500	0.000167	50.09	49.98	2503.4982	19.97	119593.13	4.61
1000	0.000333	50.09	49.98	2503.4982	39.94	119952.27	9.23
1500	0.000500	50.09	49.98	2503.4982	59.92	119832.32	13.84
2000	0.000667	50.09	49.98	2503.4982	79.89	119772.43	18.45
2500	0.000867	50.09	49.98	2503.4982	99.86	115179.09	23.06
3000	0.001000	50.09	49.98	2503.4982	119.83	119832.32	27.68
3500	0.001200	50.09	49.98	2503.4982	139.80	116503.65	32.29
4000	0.001433	50.09	49.98	2503.4982	159.78	111497.86	36.90
4500	0.001600	50.09	49.98	2503.4982	179.75	112342.80	41.51
5000	0.001733	50.09	49.98	2503.4982	199.72	115245.55	46.13
5500	0.001900	50.09	49.98	2503.4982	219.69	115627.68	50.74
6000	0.002067	50.09	49.98	2503.4982	239.66	115948.06	55.35
6500	0.002267	50.09	49.98	2503.4982	259.64	114528.76	59.96
7000	0.002467	50.09	49.98	2503.4982	279.61	113339.58	64.58
7500	0.002667	50.09	49.98	2503.4982	299.58	112328.76	69.19
8000	0.002867	50.09	49.98	2503.4982	319.55	111458.97	73.80
8500	0.003067	50.09	49.98	2503.4982	339.52	110702.61	78.41
9000	0.003267	50.09	49.98	2503.4982	359.50	110038.86	83.03
9500	0.003533	50.09	49.98	2503.4982	379.47	107407.02	87.64
10000	0.003733	50.09	49.98	2503.4982	399.44	107002.70	92.25
10500	0.004133	50.09	49.98	2503.4982	419.41	101479.10	96.86
10840	0.004333	50.09	49.98	2503.4982	432.99	99929.41	100.00

Eprom(Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>114195.05</b>
Emin(Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>110702.61</b>

Tabla 3-6 Módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra (Canelo Amarillo)

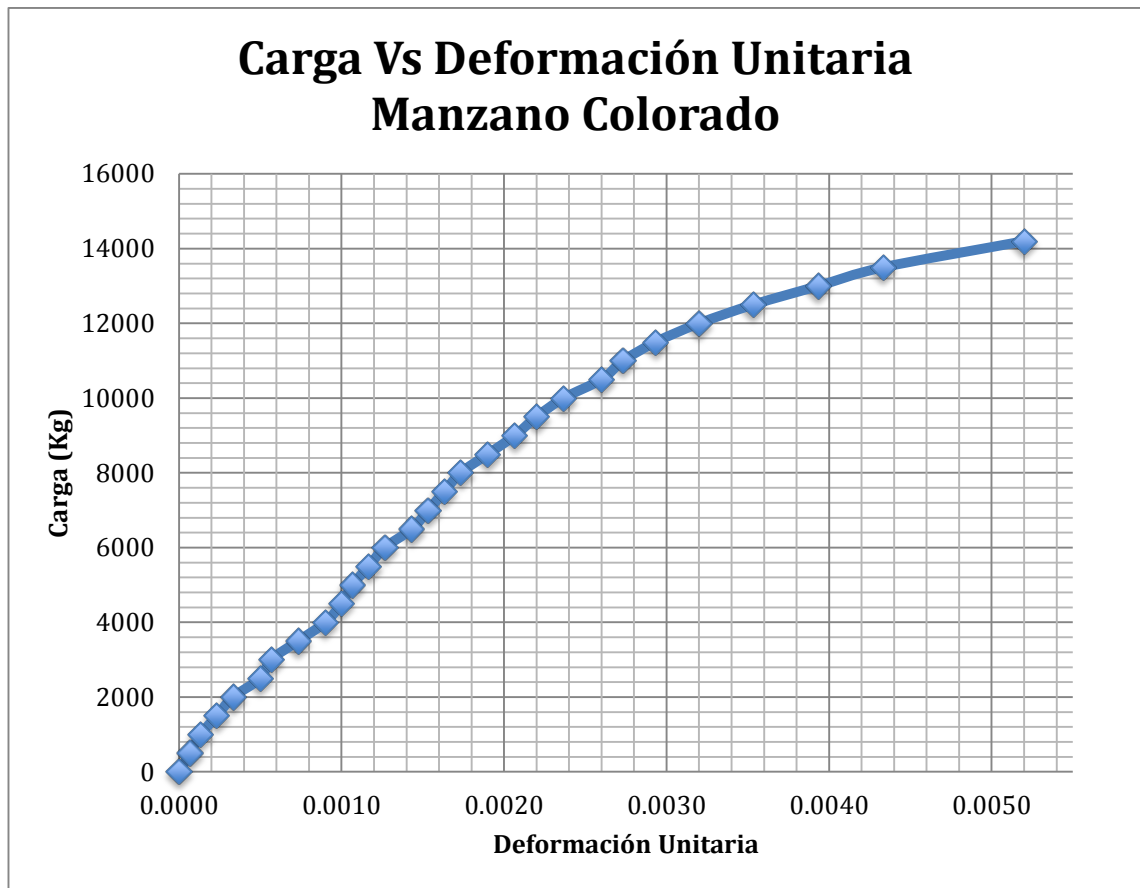


*Ilustración 3-6 Gráfico carga vs deformación (Canelo Amarillo)*

PROBETA P-M I							
P	$\epsilon$	Base	Altura	Área	$\sigma$	E	Carga
(kg)		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0.000000	50.38	50.25	2531.595	0.00	0.00	0.00
500	0.000067	50.38	50.25	2531.595	19.75	294782.01	3.52
1000	0.000133	50.38	50.25	2531.595	39.50	296998.41	7.04
1500	0.000233	50.38	50.25	2531.595	59.25	254296.93	10.56
2000	0.000333	50.38	50.25	2531.595	79.00	237241.98	14.08
2500	0.000500	50.38	50.25	2531.595	98.75	197503.95	17.61
3000	0.000567	50.38	50.25	2531.595	118.50	208998.88	21.13
3500	0.000733	50.38	50.25	2531.595	138.25	188612.23	24.65
4000	0.000900	50.38	50.25	2531.595	158.00	175559.06	28.17
4500	0.001000	50.38	50.25	2531.595	177.75	177753.55	31.69
5000	0.001067	50.38	50.25	2531.595	197.50	185102.10	35.21
5500	0.001167	50.38	50.25	2531.595	217.25	186164.82	38.73
6000	0.001267	50.38	50.25	2531.595	237.00	187059.77	42.25
6500	0.001433	50.38	50.25	2531.595	256.76	179173.15	45.77
7000	0.001533	50.38	50.25	2531.595	276.51	180368.90	49.30
7500	0.001633	50.38	50.25	2531.595	296.26	181418.20	52.82
8000	0.001733	50.38	50.25	2531.595	316.01	182346.40	56.34
8500	0.001900	50.38	50.25	2531.595	335.76	176714.06	59.86
9000	0.002067	50.38	50.25	2531.595	355.51	171991.82	63.38
9500	0.002200	50.38	50.25	2531.595	375.26	170571.59	66.90
10000	0.002367	50.38	50.25	2531.595	395.01	166881.24	70.42
10500	0.002600	50.38	50.25	2531.595	414.76	159522.42	73.94
11000	0.002733	50.38	50.25	2531.595	434.51	158985.98	77.46
11500	0.002933	50.38	50.25	2531.595	454.26	154878.65	80.99
12000	0.003200	50.38	50.25	2531.595	474.01	148127.96	84.51
12500	0.003533	50.38	50.25	2531.595	493.76	139756.54	88.03
13000	0.003933	50.38	50.25	2531.595	513.51	130564.52	91.55
13500	0.004333	50.38	50.25	2531.595	533.26	123069.62	95.07
14200	0.005200	50.38	50.25	2531.595	560.91	107867.54	100.00

Eprom(Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>178660.25</b>
Emin(Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>158985.98</b>

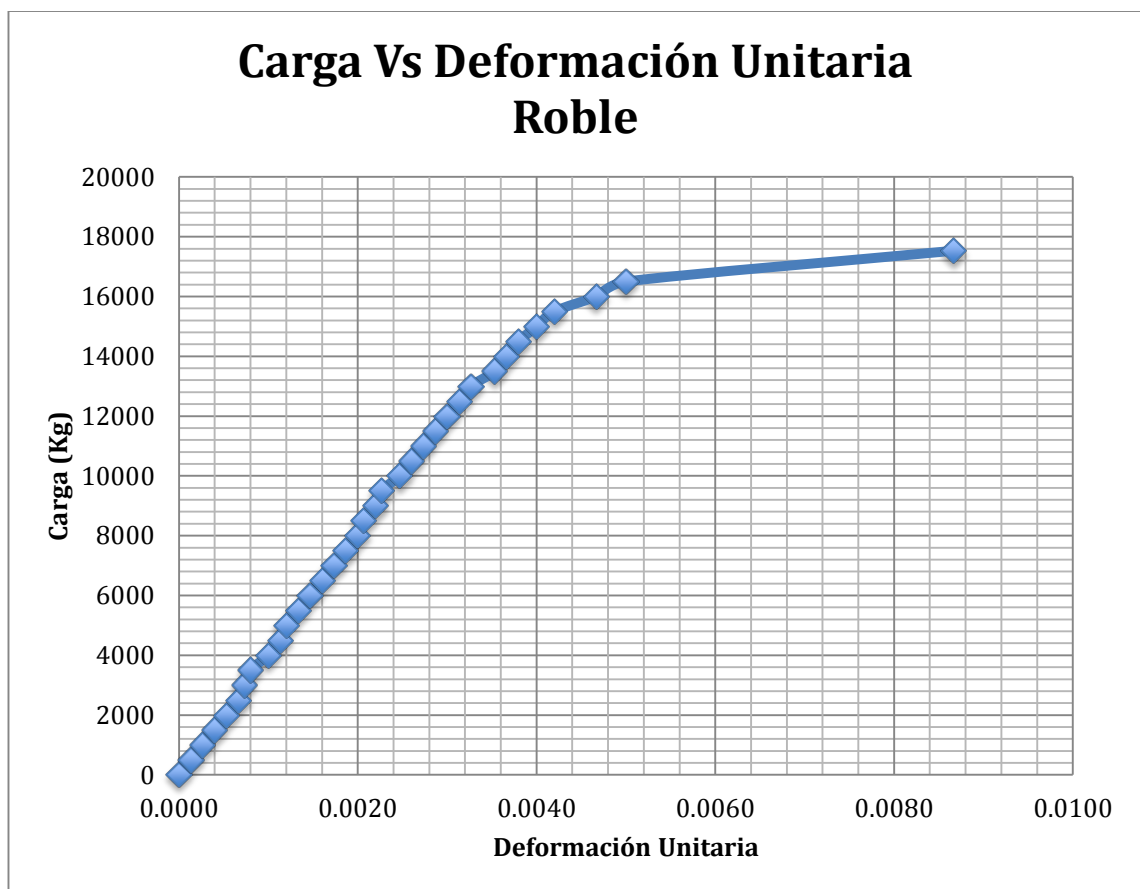
Tabla 3-7 Módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra (Manzano Colorado)



*Ilustración 3-7 Grafico carga vs deformación (Manzano Colorado)*

PROBETA P-R I							
P	$\epsilon$	Base	Altura	Área	$\sigma$	E	Carga
(kg)		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0.000000	50.22	50.32	2527.0704	0.00	0.00	0.00
500	0.000133	50.22	50.32	2527.0704	19.79	148765.09	2.85
1000	0.000267	50.22	50.32	2527.0704	39.57	148207.92	5.70
1500	0.000400	50.22	50.32	2527.0704	59.36	148393.17	8.56
2000	0.000533	50.22	50.32	2527.0704	79.14	148485.98	11.41
2500	0.000667	50.22	50.32	2527.0704	98.93	148319.02	14.26
3000	0.000733	50.22	50.32	2527.0704	118.71	161957.08	17.11
3500	0.000800	50.22	50.32	2527.0704	138.50	173125.37	19.97
4000	0.001000	50.22	50.32	2527.0704	158.29	158286.05	22.82
4500	0.001133	50.22	50.32	2527.0704	178.07	157168.41	25.67
5000	0.001200	50.22	50.32	2527.0704	197.86	164881.31	28.52
5500	0.001333	50.22	50.32	2527.0704	217.64	163273.31	31.37
6000	0.001467	50.22	50.32	2527.0704	237.43	161846.68	34.23
6500	0.001600	50.22	50.32	2527.0704	257.21	160759.27	37.08
7000	0.001733	50.22	50.32	2527.0704	277.00	159838.77	39.93
7500	0.001867	50.22	50.32	2527.0704	296.79	158964.30	42.78
8000	0.002000	50.22	50.32	2527.0704	316.57	158286.05	45.64
8500	0.002067	50.22	50.32	2527.0704	336.36	162727.56	48.49
9000	0.002200	50.22	50.32	2527.0704	356.14	161883.46	51.34
9500	0.002267	50.22	50.32	2527.0704	375.93	165826.81	54.19
10000	0.002467	50.22	50.32	2527.0704	395.72	160403.38	57.05
10500	0.002600	50.22	50.32	2527.0704	415.50	159808.03	59.90
11000	0.002733	50.22	50.32	2527.0704	435.29	159270.64	62.75
11500	0.002867	50.22	50.32	2527.0704	455.07	158727.73	65.60
12000	0.003000	50.22	50.32	2527.0704	474.86	158286.05	68.45
12500	0.003133	50.22	50.32	2527.0704	494.64	157881.88	71.31
13000	0.003267	50.22	50.32	2527.0704	514.43	157462.40	74.16
13500	0.003533	50.22	50.32	2527.0704	534.22	151207.31	77.01
14000	0.003667	50.22	50.32	2527.0704	554.00	151077.50	79.86
14500	0.003800	50.22	50.32	2527.0704	573.79	150996.56	82.72
15000	0.004000	50.22	50.32	2527.0704	593.57	148393.17	85.57
15500	0.004200	50.22	50.32	2527.0704	613.36	146037.73	88.42
16000	0.004667	50.22	50.32	2527.0704	633.14	135664.07	91.27
16500	0.005000	50.22	50.32	2527.0704	652.93	130585.99	94.12
17530	0.008667	50.22	50.32	2527.0704	693.69	80037.92	100.00
Eprom(Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>159839.47</b>		Emin(Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>151077.50</b>			

Tabla 3-8 Módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra (Roble)



*Ilustración 3-8 Grafico carga vs deformación (Roble)*

### **3.3 Compresión perpendicular a la fibra**

Cuando el esfuerzo actúa en dirección a las fibras, la resistencia es mínima pues las fibras, que son huecas, se aplastan bajo la carga.

Influye en los valores de resistencia que se obtengan de los ensayos, en ángulo con que actúe el esfuerzo en relación con los anillos, y difieren también si se trata de coníferas o frondosas por la presencia o ausencia de vasos.

Si sometemos la probeta a un ensayo, primero veremos que las fibras se compactan, luego se produce una gran deformación que continúa aún sin que aumente la carga.

Los valores característicos de resistencia varía de 43 a 57 Kp/cm<sup>2</sup> , lo que representa aproximadamente la cuarta parte de la resistencia en la dirección paralela a las fibras

#### **3.3.1 Ensayo**

##### **3.3.1.1 Alcance**

Obtención de esfuerzo último para compresión perpendicular a la fibra y módulo de elasticidad que soportan las maderas: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado, Roble. Controlando factores importantes en su resistencia los cuales son:

- Temperatura ambiental
- Humedad en el ambiente
- Dimensiones de las probetas



### **3.3.1.2 Objetivo**

Realizar los ensayos de laboratorio tomando como referencia las normas COPANT y ASTM para la obtención de datos necesarios y con estos determinar el esfuerzo último para compresión perpendicular a la fibra de las maderas: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado, Roble.

### **3.3.1.3 Instrumentos**

- Máquina de ensayos universal
- Calibrador
- Deformímetro
- Placa de acero (5cm x 5cm x0.5cm)

### **3.3.1.4 Materiales**

Maderas nativas del Ecuador tales como :

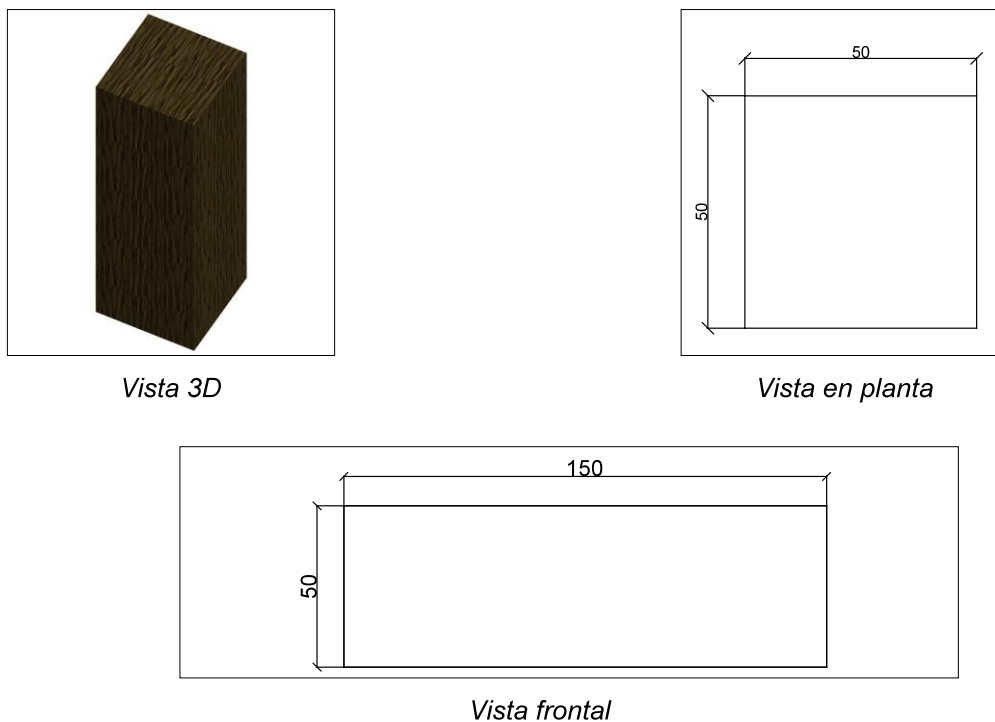
- Probetas de Aliso
- Probetas de Canelo Amarillo
- Probetas de Manzano Colorado
- Probetas de Roble

### **3.3.1.5 Preparación de la probeta**

Tomando como guía y referencia las normas ASTM y COPANT para realizar el ensayo de corte paralelo a la fibra. Se debe tomar en cuenta que la humedad debe ser conforme a lo señalado en la presente investigación,

además de que se debe revisar que la madera no tenga ninguna anomalía, rajadura o señales de pudrición.

***DIMENSIONES DE LA PROBETA PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA***



*Ilustración 3-9 Dimensiones de la probeta para el ensayo de compresión perpendicular a la fibra en (mm)*

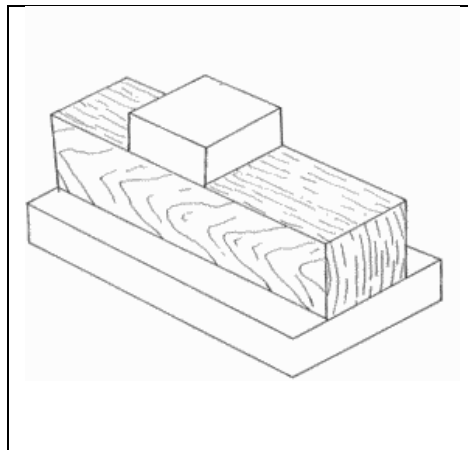
**3.3.1.6 Procedimiento**

- Se observa que no tenga fallas la probeta a ser ensayada.
- Se toma las medidas de las secciones necesarias de la probeta a ensayarse mediante un calibrador.
- Se coloca la probeta en la máquina de ensayos universal.
- Sobre la probeta se coloca la placa de acero.
- Se va aplicando carga constante hasta que falle la probeta.
- Se toma nota de la carga máxima que ha soportado.



*Ilustración 3-10 Probeta ensayada (Compresión perpendicular )*

### 3.3.1.7 Tipos de falla



Este tipo de falla se da cuando la placa de acero que se encuentra colocada en la mitad de la probeta se introduce 2.5mm por causa de la fuerza ejercida por la máquina.

*Ilustración 3-11 Tipos de Falla (Compresión perpendicular)*

### 3.3.2 Cálculos

Para el cálculo de la resistencia al límite proporcional se utilizará la siguiente expresión:

$$RLP = \frac{P}{S}$$

Donde:

- RLP: Resistencia al límite proporcional (Kg/cm<sup>2</sup>)
- P: Carga al límite proporcional (Kg)
- S: Área impresa por la placa de acero sobre la probeta (Cm<sup>2</sup>)
- Para el cálculo de la resistencia unitaria máxima se utilizará la siguiente expresión:

$$RUM = \frac{P}{S}$$

Donde:

- RUM: Resistencia unitaria máxima (Kg/cm<sup>2</sup>)
- P: Carga necesaria obtener la penetración de 2.5 mm (Kg)
- S: Superficie impresa por la placa de acero sobre la probeta (Cm<sup>2</sup>)

### Resultados del ensayo a compresión perpendicular a la fibra

COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA					
ALISO					
Muestra	P-A I	P-A II	P-A III	P-A IV	P-A V
Base (mm)	49.45	49.85	49.24	50.00	49.92
Altura (mm)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Longitud (mm)	148.56	149.12	149.92	150.05	149.82
Área (cm <sup>2</sup> )	24.73	24.93	24.62	25.00	24.96
Fuerza (Kg)	2300	1750	3000	1850	2450
Fuerza (N)	22563.00	17167.50	29430.00	18148.50	24034.50
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	93.02	70.21	121.85	74.00	98.16
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	9.13	6.89	11.95	7.26	9.63
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	8.97				
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	91.45				

Tabla 3-9 Compresión perpendicular (Aliso)

<b>COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA</b>					
<b>CANELO</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-C I</b>	<b>P-C II</b>	<b>P-C III</b>	<b>P-C IV</b>	<b>P-C V</b>
Base (mm)	51.18	51.01	50.87	50.98	51.08
Altura (mm)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Longitud (mm)	149.13	151.57	149.67	150.04	149.95
Área (cm <sup>2</sup> )	25.59	25.51	25.44	25.49	25.54
Fuerza (Kg)	2700	2500	2600	3400	2500
Fuerza (N)	26487.00	24525.00	25506.00	33354.00	24525.00
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	105.51	98.02	102.22	133.39	97.89
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	10.35	9.62	10.03	13.09	9.60
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	10.54				
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	107.40				

*Tabla 3-10 Compresión perpendicular (Canelo Amarillo)*

<b>COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA</b>					
<b>MANZANO</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-M I</b>	<b>P-M II</b>	<b>P-M III</b>	<b>P-M IV</b>	<b>P-M V</b>
Base (mm)	51.23	51.17	51.15	50.70	51.22
Altura (mm)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Longitud (mm)	149.55	150.75	150.55	150.29	149.77
Área (cm <sup>2</sup> )	25.62	25.59	25.58	25.35	25.61
Fuerza (Kg)	4650	5350	5300	4850	5900
Fuerza (N)	45616.50	52483.50	51993.00	47578.50	57879.00
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	181.53	209.11	207.23	191.32	230.38
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	17.81	20.51	20.33	18.77	22.60
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	20.00				
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	203.92				

*Tabla 3-11 Compresión perpendicular (Manzano Colorado)*

<b>COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA</b>					
<b>ROBLE</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-R I</b>	<b>P-R II</b>	<b>P-R III</b>	<b>P-R IV</b>	<b>P-R V</b>
Base (mm)	50.86	50.96	51.68	51.18	50.21
Altura (mm)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Longitud (mm)	150.58	149.72	149.83	149.81	152.00
Área (cm <sup>2</sup> )	25.43	25.48	25.84	25.59	25.11
Fuerza (Kg)	7500	7600	7600	7700	7900
Fuerza (N)	73575.00	74556.00	74556.00	75537.00	77499.00
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	294.93	298.27	294.12	300.90	314.68
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	28.93	29.26	28.85	29.52	30.87
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	29.49				
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	300.58				

*Tabla 3-12 Compresión perpendicular (Roble)*

### 3.4 Tracción paralela a la fibra

La madera tiene una elevada resistencia a la tracción paralela a la fibra. En la madera clasificada los valores característicos oscilan entre 80 y 180 Kp/cm<sup>2</sup> en probetas libres de defectos es valores pueden varias entre 320 y 575 Kp/cm<sup>2</sup>.

#### 3.4.1 Ensayo

##### 3.4.1.1 Alcance

Obtención de esfuerzo último para tracción paralela a la fibra y módulo de elasticidad que soportan las maderas: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado, Roble. Controlando factores importantes en su resistencia los cuales son:

- Temperatura ambiental.
- Humedad en el ambiente.
- Dimensiones de las probetas.

### **3.4.1.2 Objetivo**

Realizar los ensayos de laboratorio tomando como referencia las normas COPANT y ASTM para la obtención de datos necesarios y con estos determinar el esfuerzo último para la tracción paralela a la fibra, y módulo de elasticidad de las maderas: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado, Roble.

### **3.4.1.3 Instrumentos**

- Máquina de ensayos universal
- Calibrador
- Deformímetro
- Mordazas para tracción paralela a la fibra
- Deflectómetro

### **3.4.1.4 Materiales**

Maderas nativas del Ecuador tales como :

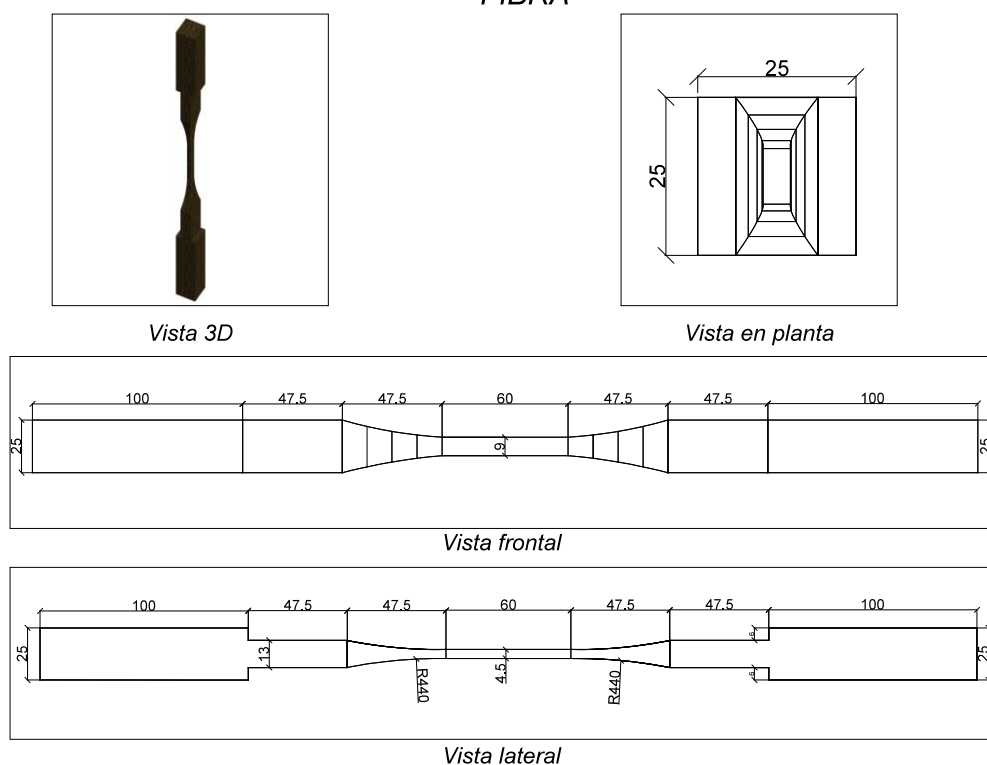
- Probetas de Aliso
- Probetas de Canelo Amarillo
- Probetas de Manzano Colorado
- Probetas de Roble

### **3.4.1.5 Preparación de la probeta**

Tomando como guía y referencia las normas ASTM y COPANT para realizar el ensayo de tracción paralela a la fibra ,La elaboración de estas probetas se debe tomar en cuenta que la dirección de los anillos de

crecimiento en la zona reducida, debe ser perpendicular a la mayor dimensión de dicha sección. Se debe tomar en cuenta que la humedad debe ser conforme a lo señalado en la presente investigación, además se debe revisar que la madera no tenga ninguna anomalía, rajadura o señales de pudrición.

***DIMENSIONES DE LA PROBETA PARA ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA***



*Ilustración 3-12 Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción paralela a la fibra en (mm)*

**3.4.1.6 Procedimiento**

- Se observa que no tenga fallas la probeta a ser ensayada.
- Se toma las medidas de las secciones necesarias de la probeta a ensayarse mediante un calibrador.
- Se coloca la probeta en la máquina de ensayos universal las mordazas y la probeta.

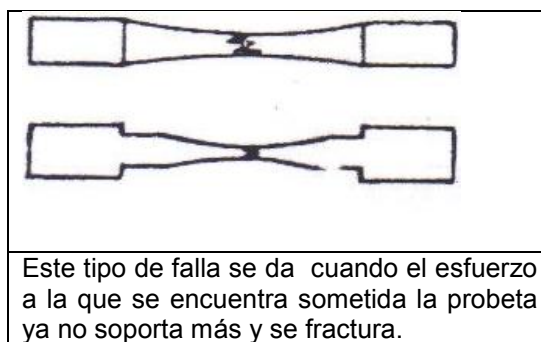


- En el caso de las probetas (P-AI, P-CI, P-MI, P-RI) se coloca un deformimetro cuidadosamente en zona donde va a fallar la probeta.
- Se encera el deformimetro.
- Se va aplicando carga constante hasta que falle la probeta.
- Se toma nota de la carga máxima que ha soportado.



*Ilustración 3-13 Probeta ensayada (Tracción paralela )*

### 3.4.1.7 Tipos de falla



Este tipo de falla se da cuando el esfuerzo a la que se encuentra sometida la probeta ya no soporta más y se fractura.

*Ilustración 3-14 Tipo de Falla (Tracción paralela)*

### 3.4.2 Cálculos

Esfuerzo unitario máximo

Se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$$

Donde:

- $\sigma_{max}$ : Esfuerzo unitario máximo (Kg/cm<sup>2</sup> )
- $P_{max}$ : Carga máxima (Kg)
- $A$ : Área de la sección mínima de la probeta (cm<sup>2</sup>)

Esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A}$$

Donde:

- $\sigma_1$ : Esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad (Kg/cm<sup>2</sup>)
- $P$ : Carga en el límite de proporcionalidad (Kg)
- $A$ : Área de la sección mínima de la probeta (Cm<sup>2</sup> )

Módulo de elasticidad

Se calcula con la siguiente expresión:

$$E = \frac{\sigma_2}{\varepsilon}$$

Donde:

- $E$ : Módulo de elasticidad (Kg/cm<sup>2</sup>)
- $\sigma_2$ : Esfuerzo correspondiente a la deformación (Kg/cm<sup>2</sup>)
- $\varepsilon$ : Deformación unitaria

Para el cálculo del Módulo de Elasticidad, se realiza un cuadro en el que se detalle la carga y la deformación para esta carga, esto se transformará en esfuerzo y deformación unitaria. Con estos parámetros y la ayuda de la Ley de Hooke se calcula el Módulo de Elasticidad. Para la presente investigación se utilizan los valores dentro del rango del 20% y 80% del total

de la carga, puesto que en esta zona se presenta la mayor regularidad en los datos del módulo.

### Resultados del ensayo de tracción paralela a la fibra

TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA					
ALISO					
Muestra	P-A I	P-A II	P-A III	P-A IV	P-A V
Base (mm)	9.56	9.50	7.13	9.46	9.67
Altura (mm)	6.91	7.03	6.70	6.32	6.36
Área (cm <sup>2</sup> )	0.66	0.67	0.48	0.60	0.62
Fuerza (Kg)	490.00	523.00	427.00	342.00	704.00
Fuerza (N)	4806.90	5130.63	4188.87	3355.02	6906.24
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	741.75	783.11	893.85	572.03	1144.69
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	72.77	76.82	87.69	56.12	112.29
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	81.14				
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	827.09				

Tabla 3-13 Tracción paralela a la fibra (Aliso)

TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA					
CANELO AMARILLO					
Muestra	P-C I	P-C II	P-C III	P-C IV	P-C V
Base (mm)	11.12	11.07	11.42	10.87	10.49
Altura (mm)	6.32	6.76	6.61	7.12	7.22
Área (cm <sup>2</sup> )	0.70	0.75	0.75	0.77	0.76
Fuerza (Kg)	740.00	865.00	475.00	469.00	671.00
Fuerza (N)	7259.40	8485.65	4659.75	4600.89	6582.51
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1052.96	1155.90	629.25	605.99	885.95
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	103.29	113.39	61.73	59.45	86.91
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	84.96				
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	866.01				

Tabla 3-14 Tracción paralela a la fibra (Canelo Amarillo)

<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>					
<b>MANZANO COLORADO</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-M I</b>	<b>P-M II</b>	<b>P-M III</b>	<b>P-M IV</b>	<b>P-M V</b>
Base (mm)	9.67	11.01	11.21	10.82	10.95
Altura (mm)	7.44	6.78	7.04	7.01	7.27
Área (cm <sup>2</sup> )	0.72	0.75	0.79	0.76	0.80
Fuerza (Kg)	970.00	590.00	765.00	645.00	625.00
Fuerza (N)	9515.70	5787.90	7504.65	6327.45	6131.25
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1348.26	790.38	969.36	850.38	785.11
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	132.26	77.54	95.09	83.42	77.02
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	93.07				
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	948.70				

*Tabla 3-15 Tracción paralela a la fibra (Manzano Colorado)*

<b>TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA</b>					
<b>ROBLE</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-R I</b>	<b>P-R II</b>	<b>P-R III</b>	<b>P-R IV</b>	<b>P-R V</b>
Base (mm)	9.97	9.21	7.20	9.18	10.47
Altura (mm)	7.12	6.11	7.34	6.82	6.85
Área (cm <sup>2</sup> )	0.71	0.56	0.53	0.63	0.72
Fuerza (Kg)	1040.00	845.00	770.00	951.00	775.00
Fuerza (N)	10202.40	8289.45	7553.70	9329.31	7602.75
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1465.07	1501.61	1457.01	1518.98	1080.60
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	143.72	147.31	142.93	149.01	106.01
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	137.80				
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1404.65				

*Tabla 3-16 Tracción paralela a la fibra (Roble)*

### Módulo de elasticidad para tracción paralela a la fibra

PROBETA P-A I							
P	$\epsilon$	Base	Altura	Área	$\sigma$	E	Carga
(kg)		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0.000000	6.91	9.56	66.0596	0.00	0.00	0.00
100	0.000689	6.91	9.56	66.0596	151.38	219707.48	20.41
200	0.001378	6.91	9.56	66.0596	302.76	219707.48	40.82
300	0.002559	6.91	9.56	66.0596	454.14	177465.95	61.22
400	0.004035	6.91	9.56	66.0596	605.51	150065.38	81.63
490	0.005413	6.91	9.56	66.0596	741.75	137032.04	100.00

E <sub>prom</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>191736.57</b>
E <sub>min</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>150065.38</b>

Tabla 3-17 Módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra (Aliso)

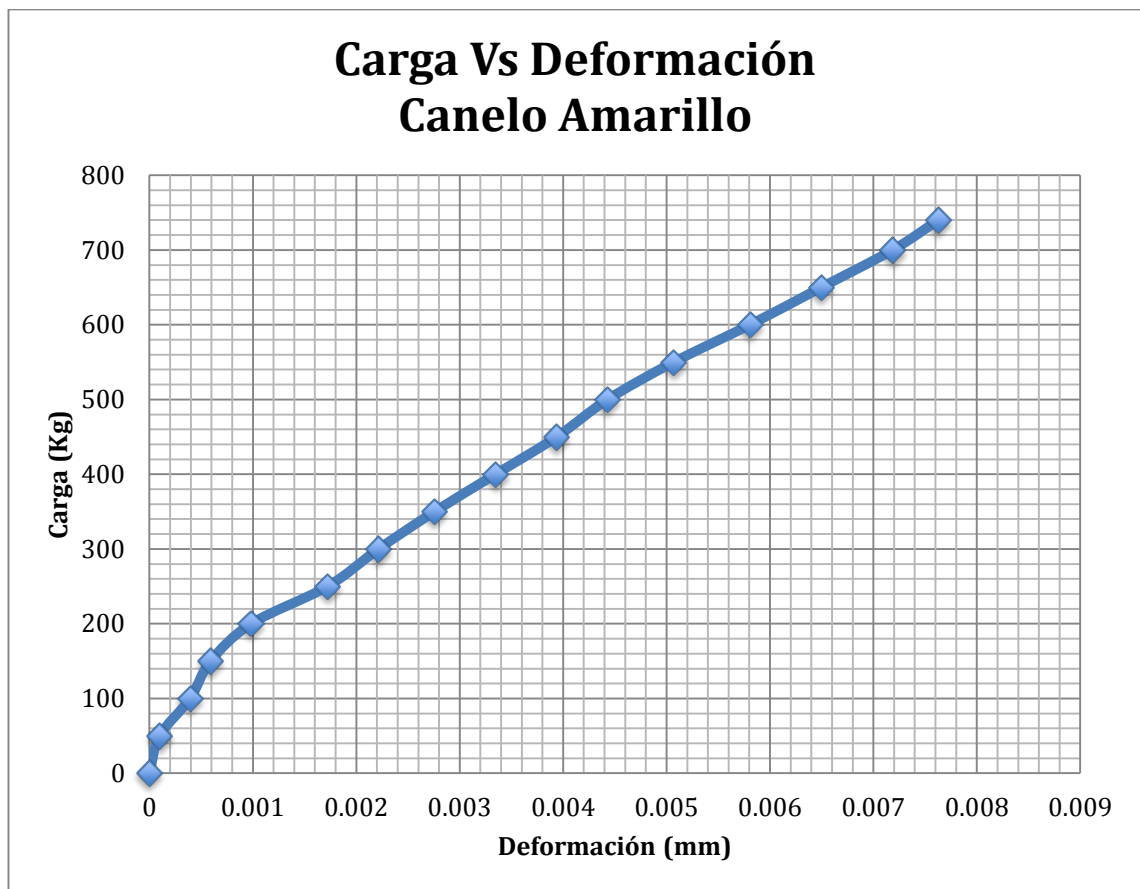


Ilustración 3-15 Grafico carga vs deformación (Aliso)

PROBETA P-C I							
P	$\epsilon$	Base	Altura	Área	$\sigma$	E	Carga
(kg)		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0	11.12	6.32	70.2784	0.00	0.00	0.00
50	0.000098	11.12	6.32	70.2784	71.15	725975.66	6.76
100	0.000394	11.12	6.32	70.2784	142.29	361145.25	13.51
150	0.000591	11.12	6.32	70.2784	213.44	361145.25	20.27
200	0.000984	11.12	6.32	70.2784	284.58	289209.82	27.03
250	0.001722	11.12	6.32	70.2784	355.73	206578.44	33.78
300	0.002215	11.12	6.32	70.2784	426.87	192719.50	40.54
350	0.002756	11.12	6.32	70.2784	498.02	180703.67	47.30
400	0.003346	11.12	6.32	70.2784	569.16	170103.08	54.05
450	0.003937	11.12	6.32	70.2784	640.31	162639.20	60.81
500	0.004429	11.12	6.32	70.2784	711.46	160635.84	67.57
550	0.005069	11.12	6.32	70.2784	782.60	154389.77	74.32
600	0.005807	11.12	6.32	70.2784	853.75	147020.39	81.08
650	0.006496	11.12	6.32	70.2784	924.89	142378.85	87.84
700	0.007185	11.12	6.32	70.2784	996.04	138627.50	94.59
740	0.007628	11.12	6.32	70.2784	1052.96	138038.16	100.00

E <sub>prom</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>208680.51</b>
E <sub>min</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>154389.77</b>

Tabla 3-18 Módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra (Canelo Amarillo)



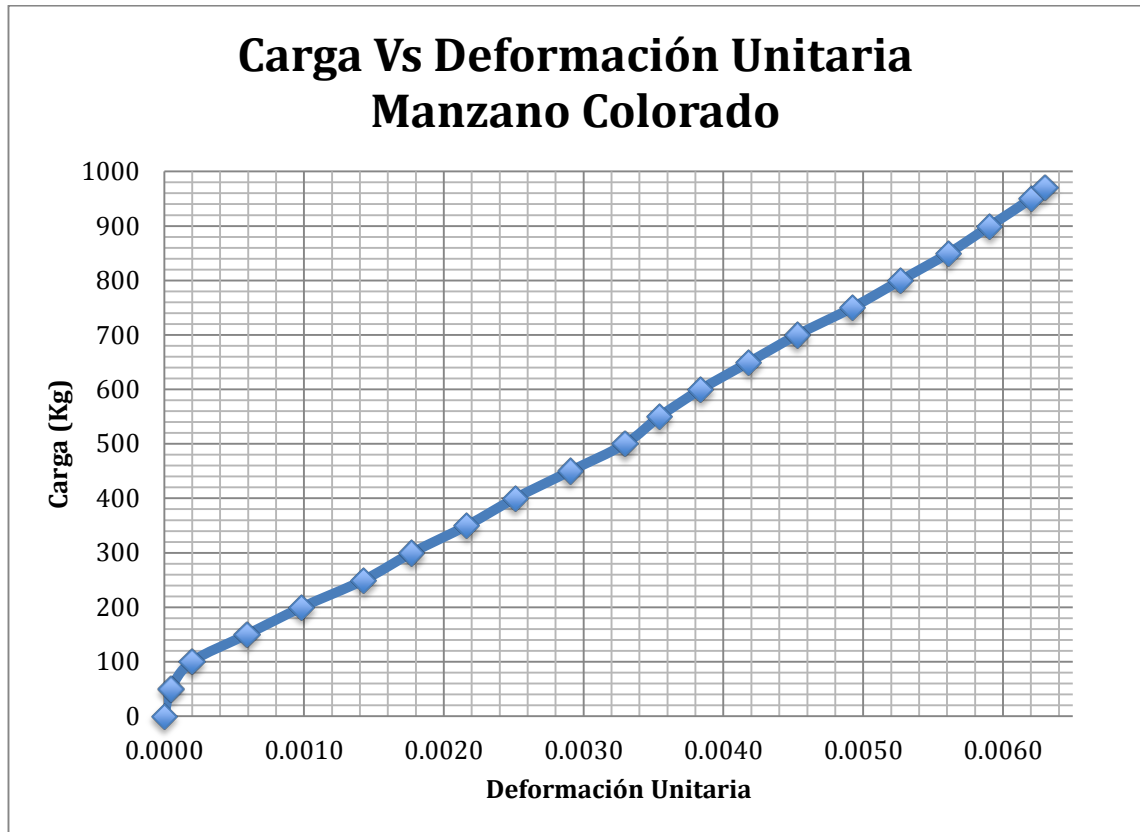
*Ilustración 3-16 Grafico carga vs deformación (Canelo Amarillo)*

PROBETA P-M I							
P	$\epsilon$	Base	Altura	Área	$\sigma$	E	Carga
(kg)		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0	9.67	7.44	71.9448	0.00	0.00	0.00
50	0.000049	9.67	7.44	71.9448	69.50	1418320.94	5.15
100	0.000197	9.67	7.44	71.9448	139.00	705560.67	10.31
150	0.000591	9.67	7.44	71.9448	208.49	352780.34	15.46
200	0.000984	9.67	7.44	71.9448	277.99	282511.08	20.62
250	0.001427	9.67	7.44	71.9448	347.49	243509.90	25.77
300	0.001772	9.67	7.44	71.9448	416.99	235319.61	30.93
350	0.002165	9.67	7.44	71.9448	486.48	224703.96	36.08
400	0.00251	9.67	7.44	71.9448	555.98	221506.70	41.24
450	0.002904	9.67	7.44	71.9448	625.48	215385.51	46.39
500	0.003297	9.67	7.44	71.9448	694.98	210790.80	51.55
550	0.003543	9.67	7.44	71.9448	764.47	215770.53	56.70
600	0.003839	9.67	7.44	71.9448	833.97	217236.97	61.86
650	0.004183	9.67	7.44	71.9448	903.47	215986.24	67.01
700	0.004528	9.67	7.44	71.9448	972.97	214878.13	72.16
750	0.004921	9.67	7.44	71.9448	1042.47	211840.25	77.32
800	0.005266	9.67	7.44	71.9448	1111.96	211159.06	82.47
850	0.00561	9.67	7.44	71.9448	1181.46	210599.17	87.63
900	0.005906	9.67	7.44	71.9448	1250.96	211811.56	92.78
950	0.006201	9.67	7.44	71.9448	1320.46	212942.56	97.94
970	0.006299	9.67	7.44	71.9448	1348.26	214042.85	100.00

E <sub>prom</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>225786.64</b>
E <sub>min</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>210790.80</b>

Tabla 3-19 Módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra (Manzano Colorado)



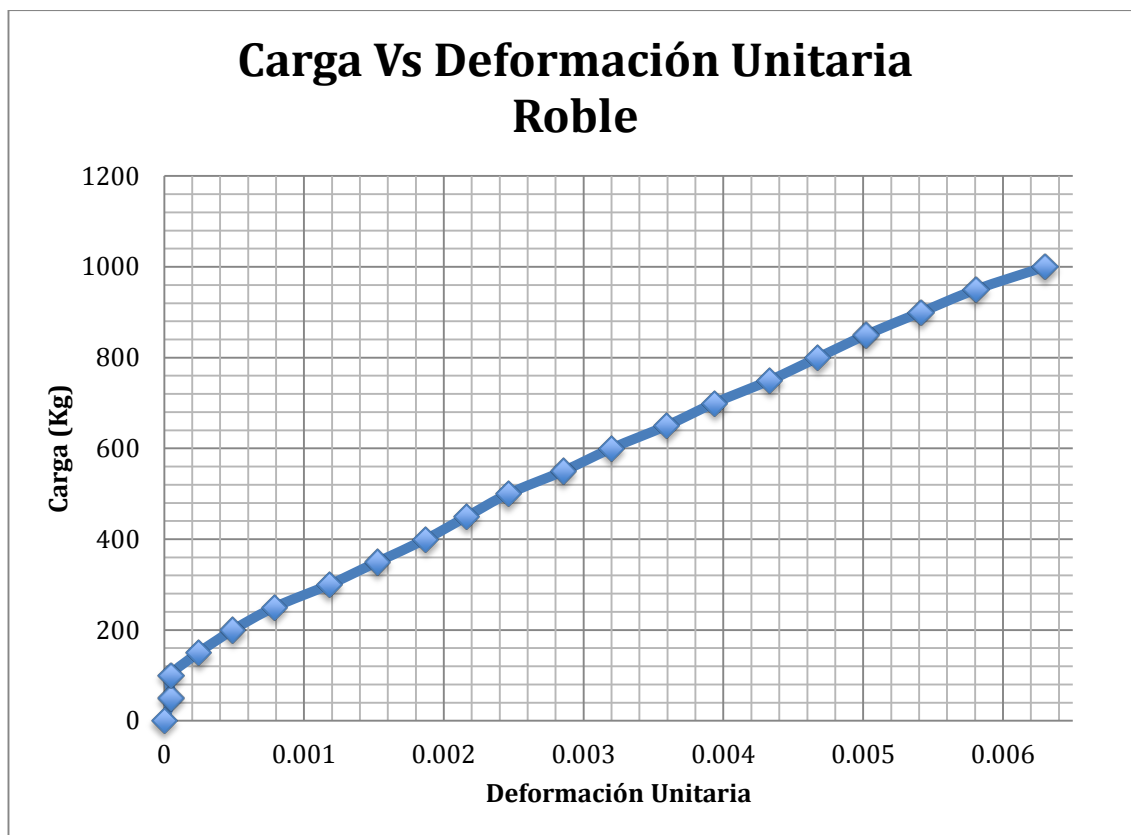


*Ilustración 3-17 Grafico carga vs deformación (Manzano Colorado)*

PROBETA P-R I							
P	$\epsilon$	Base	Altura	Área	$\sigma$	E	Carga
(kg)		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0	9.97	7.12	70.9864	0.00	0.00	0.00
50	0.000049	9.97	7.12	70.9864	70.44	1437469.94	4.81
100	0.000049	9.97	7.12	70.9864	140.87	2874939.89	9.62
150	0.000246	9.97	7.12	70.9864	211.31	858975.94	14.42
200	0.000492	9.97	7.12	70.9864	281.74	572650.63	19.23
250	0.000787	9.97	7.12	70.9864	352.18	447497.00	24.04
300	0.001181	9.97	7.12	70.9864	422.62	357846.03	28.85
350	0.001525	9.97	7.12	70.9864	493.05	323312.91	33.65
400	0.00187	9.97	7.12	70.9864	563.49	301330.60	38.46
450	0.002165	9.97	7.12	70.9864	633.92	292805.66	43.27
500	0.002461	9.97	7.12	70.9864	704.36	286208.97	48.08
550	0.002854	9.97	7.12	70.9864	774.80	271477.33	52.88
600	0.003199	9.97	7.12	70.9864	845.23	264217.67	57.69
650	0.003593	9.97	7.12	70.9864	915.67	254847.86	62.50
700	0.003937	9.97	7.12	70.9864	986.10	250471.01	67.31
750	0.004331	9.97	7.12	70.9864	1056.54	243948.37	72.12
800	0.004675	9.97	7.12	70.9864	1126.98	241064.48	76.92
850	0.00502	9.97	7.12	70.9864	1197.41	238528.38	81.73
900	0.005413	9.97	7.12	70.9864	1267.85	234222.89	86.54
950	0.005807	9.97	7.12	70.9864	1338.28	230460.57	91.35
1000	0.006299	9.97	7.12	70.9864	1408.72	223641.93	96.15
1040	0.006496	9.97	7.12	70.9864	1465.07	225534.08	100.00

E <sub>prom</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>294585.66</b>
E <sub>min</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>241064.48</b>

Tabla 3-20 Módulo de elasticidad a tracción paralela a la fibra (Roble)



*Ilustración 3-18 Grafico carga vs deformación (Roble)*

### 3.5 Tracción perpendicular a la fibra

La resistencia de la madera perpendicular a la fibra es muy baja se encuentra entre un 30 y un 70 veces menos que en la dirección paralela. El valor característico de la resistencia a tracción perpendicular es de 3 a 4 Kp/cm<sup>2</sup>. Ello se debe a las escasas fibras que tiene la madera en la dirección perpendicular al eje del árbol y la falta de trabazón de las fibras longitudinales.

#### 3.5.1 Ensayo

##### 3.5.1.1 Alcance

Obtención de esfuerzo último para tracción perpendicular a la fibra y módulo de elasticidad que soportan las maderas: Aliso, Canelo Amarillo,

Manzano Colorado, Roble. Controlando factores importantes en su resistencia los cuales son:

- Temperatura ambiental.
- Humedad en el ambiente.
- Dimensiones de las probetas.

#### **3.5.1.2 Objetivo**

Realizar los ensayos de laboratorio tomando como referencia las normas COPANT y ASTM para la obtención de datos necesarios y con estos determinar el esfuerzo último para tracción perpendicular a la fibra de las maderas: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado, Roble.

#### **3.5.1.3 Instrumentos**

- Máquina de ensayos universal
- Calibrador
- Mordazas para tracción perpendicular a la fibra

#### **3.5.1.4 Materiales**

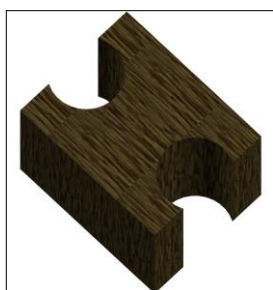
Maderas nativas del Ecuador tales como :

- Probetas de Aliso
- Probetas de Canelo Amarillo
- Probetas de Manzano Colorado
- Probetas de Roble

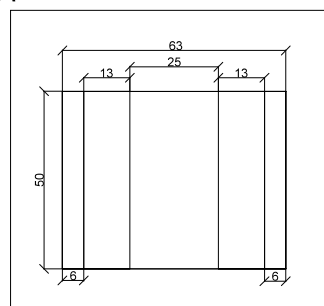
### 3.5.1.5 Preparación de la probeta

Tomando como guía y referencia las normas ASTM y COPANT para realizar el ensayo de tracción perpendicular a la fibra. Se debe tomar en cuenta que la humedad debe ser conforme a lo señalado en la presente investigación, además de que se debe revisar que la madera no tenga ninguna anomalía, rajadura o señales de pudrición.

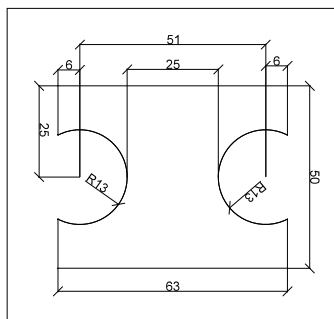
#### *DIMENSIONES DE LA PROBETA PARA ENSAYO DE TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA*



*Vista 3D*



*Vista en planta*



*Vista frontal*

*Ilustración 3-19 Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción perpendicular a la fibra en (mm)*

### 3.5.1.6 Procedimiento

- Se observa que no tenga fallas la probeta a ser ensayada.
- Se toma las medidas de las secciones necesarias de la probeta a ensayarse mediante un calibrador.
- Se colocan las mordazas apropiadas para este ensayo en la

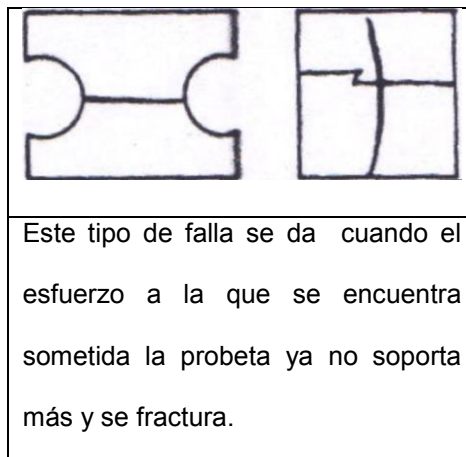
máquina universal.

- Se coloca la probeta en la máquina de ensayos universal.
- Se va aplicando carga constante hasta que falle la probeta.
- Se toma nota de la carga máxima que ha soportado.



*Ilustración 3-20 Probeta ensayada (Tracción perpendicular )*

### 3.5.1.7 Tipos de falla



*Ilustración 3-21 Tipo de falla (Tracción perpendicular)*

### 3.5.2 Cálculos

Para obtener el esfuerzo último aplicamos la siguiente fórmula:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$$

Donde:

$\sigma$  max: Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)

Pmax: Carga máxima de rotura (Kg)

A: Área de la sección mínima de la probeta (cm<sup>2</sup>)

### Resultado del ensayo de tracción perpendicular a la fibra

TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA					
ALISO					
Muestra	P-A I	P-A II	P-A III	P-A IV	P-A V
Base (mm)	25.28	25.65	26.28	25.59	25.97
Altura (mm)	51.15	50.50	50.34	50.58	50.75
Área (cm <sup>2</sup> )	12.93	12.95	13.23	12.94	13.18
Fuerza (Kg)	548.00	460.00	454.00	424.00	408.00
Fuerza (N)	5375.88	4512.60	4453.74	4159.44	4002.48
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	42.38	35.51	34.32	32.76	30.96
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	4.16	3.48	3.37	3.21	3.04
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	35.18				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	3.45				

Tabla 3-21 Tracción perpendicular a la fibra (Aliso)

TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA					
CANELO AMARILLO					
Muestra	P-C I	P-C II	P-C III	P-C IV	P-C V
Base (mm)	26.57	25.95	26.23	26.99	26.26
Altura (mm)	50.83	50.74	50.61	50.87	51.04
Área (cm <sup>2</sup> )	13.51	13.17	13.28	13.73	13.40
Fuerza (Kg)	420.00	372.00	394.00	426.00	456.00
Fuerza (N)	4120.20	3649.32	3865.14	4179.06	4473.36
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	31.10	28.25	29.68	31.03	34.02
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	3.05	2.77	2.91	3.04	3.34
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	30.82				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	3.02				

Tabla 3-22 Tracción perpendicular a la fibra (Canelo Amarillo)

<b>TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA</b>					
<b>MANZANO COLORADO</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-M I</b>	<b>P-M II</b>	<b>P-M III</b>	<b>P-M IV</b>	<b>P-M V</b>
Base (mm)	25.36	25.02	25.60	25.73	25.85
Altura (mm)	51.90	51.61	50.65	50.44	50.46
Área (cm <sup>2</sup> )	13.16	12.91	12.97	12.98	13.04
Fuerza (Kg)	690.00	590.00	396.00	610.00	330.00
Fuerza (N)	6768.90	5787.90	3884.76	5984.10	3237.30
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	52.42	45.69	30.54	47.00	25.30
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	5.14	4.48	3.00	4.61	2.48
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	40.19				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	3.94				

*Tabla 3-23 Tracción perpendicular a la fibra (Manzano Colorado)*

<b>TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA</b>					
<b>ROBLE</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-R I</b>	<b>P-R II</b>	<b>P-R III</b>	<b>P-R IV</b>	<b>P-R V</b>
Base (mm)	26.24	26.04	24.40	25.36	26.93
Altura (mm)	50.69	50.97	50.88	49.96	50.51
Área (cm <sup>2</sup> )	13.30	13.27	12.41	12.67	13.60
Fuerza (Kg)	520.00	462.00	388.00	462.00	432.00
Fuerza (N)	5101.20	4532.22	3806.28	4532.22	4237.92
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	39.09	34.81	31.25	36.46	31.76
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	3.84	3.41	3.07	3.58	3.12
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	34.68				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	3.40				

*Tabla 3-24 Tracción perpendicular a la fibra (Roble)*

### 3.6 Corte

El esfuerzo cortante origina tensiones tangenciales que actúa sobre las fibras de la madera según diversos modos.

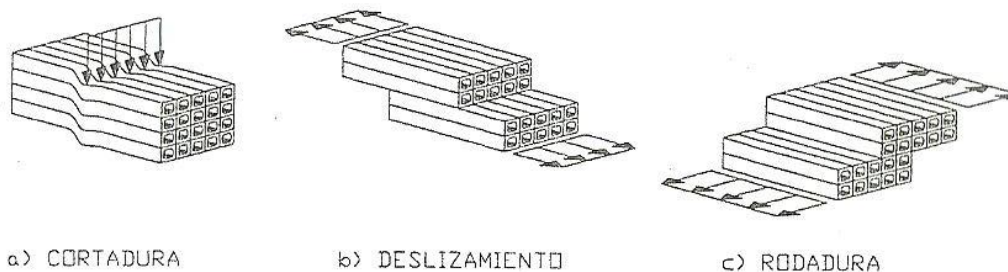
En la figura siguiente, se presentan los diferentes tipos de tensiones tangenciales que pueden darse en la madera en función de la orientación de la fibra en relación al esfuerzo:



Tensiones tangenciales de cortadura: las fibras son cortadas transversales por el esfuerzo. El fallo se produce por aplastamiento.

Tensiones tangenciales de deslizamiento: el fallo se produce por el deslizamiento de unas fibras con respecto a otras en la dirección longitudinal.

Tensiones tangenciales de rodadura: el fallo se produce por rodadura de unas fibras sobre las otras.



*Ilustración 3-22 Corte*

### 3.6.1 Ensayo

#### 3.6.1.1 Alcance

Obtención de esfuerzo último para corte paralelo a la fibra que soportan las maderas: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado, Roble.

Controlando factores importantes en su resistencia los cuales son:

- Temperatura ambiental
- Humedad en el ambiente
- Dimensiones de las probetas

### **3.6.1.2 Objetivo**

Realizar los ensayos de laboratorio tomando como referencia las normas COPANT y ASTM para la obtención de datos necesarios y con estos determinar el esfuerzo último para el corte paralelo a la fibra de las maderas: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado, Roble.

### **3.6.1.3 Instrumentos**

- Máquina de ensayos universal
- Adaptador de la máquina para probetas de corte
- Placa para distribuir la carga sobre la probeta
- Calibrador

### **3.6.1.4 Materiales**

Maderas nativas del Ecuador tales como :

- Probetas de Aliso
- Probetas de Canelo Amarillo
- Probetas de Manzano Colorado
- Probetas de Roble

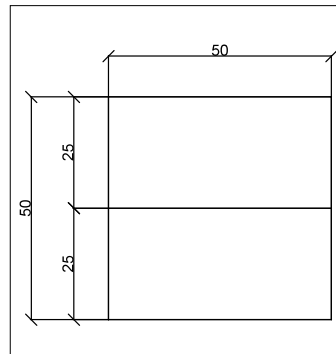
### **3.6.1.5 Preparación de la probeta**

Tomando como guía y referencia las normas ASTM y COPANT para realizar el ensayo de corte paralelo a la fibra. Se debe tomar en cuenta que la humedad debe ser conforme a lo señalado en la presente investigación, además de que se debe revisar que la madera no tenga ninguna anomalía, rajadura o señales de pudrición.

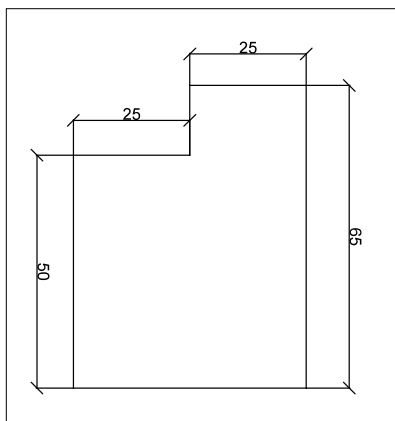
### *DIMENSIONES DE LA PROBETA PARA ENSAYO DE CORTE*



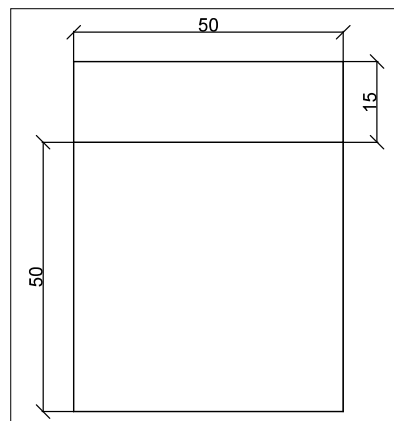
*Vista 3D*



*Vista en planta*



*Vista lateral*



*Vista frontal*

*Ilustración 3-23 Dimensiones de la probeta para el ensayo de corte*

#### **3.6.1.6 Procedimiento**

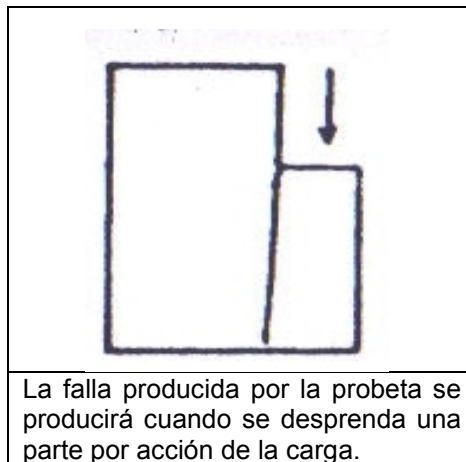
- Se observa que no tenga fallas la probeta a ser ensayada.
- Se toma las medidas de las secciones necesarias de la probeta a ensayarse mediante un calibrador.
- Se colocan los implementos necesarios para este ensayo en la máquina universal y en la probeta.
- Se coloca la probeta en la máquina de ensayos universal .
- Se va aplicando carga constante hasta que falle la probeta.

- Se toma nota de la carga máxima que ha soportado.



*Ilustración 3-24 Probeta ensayada (Corte)*

### 3.6.1.7 Tipos de falla



La falla producida por la probeta se producirá cuando se desprenda una parte por acción de la carga.

*Ilustración 3-25 Tipo de falla (Corte)*

### 3.6.2 Cálculos

Para el cálculo del esfuerzo máximo cortante se utilizará la siguiente expresión:

$$\tau_{ult} = \frac{V_{ult}}{A}$$

Donde:

$\tau_{ult}$ : Esfuerzo último cortante (Kg/cm<sup>2</sup> )

$V_{ult}$ : Carga última cortante (Kg)

A: Superficie de la sección que falla por corte (Cm<sup>2</sup>)

### Resultados del ensayo de corte

CORTE					
ALISO					
Muestra	P-A I	P-A II	P-A III	P-A IV	P-A V
Base (mm)	50.48	50.50	50.63	49.90	50.00
Altura (mm)	49.06	50.44	50.51	51.46	51.01
Área (cm <sup>2</sup> )	24.77	25.47	25.57	25.68	25.51
Fuerza (Kg)	1215.00	1805.00	1995.00	1725.00	2105.00
Fuerza (N)	11919.15	17707.05	19570.95	16922.25	20650.05
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	49.06	70.86	78.01	67.18	82.53
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	4.81	6.95	7.65	6.59	8.10
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	69.53				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	6.82				

Tabla 3-25 Corte (Aliso)

CORTE					
CANELO AMARILLO					
Muestra	P-C I	P-C II	P-C III	P-C IV	P-C V
Base (mm)	50.37	50.73	50.48	50.55	50.46
Altura (mm)	51.66	50.78	50.54	50.68	50.40
Área (cm <sup>2</sup> )	26.02	25.76	25.51	25.62	25.43
Fuerza (Kg)	1945.00	1665.00	1925.00	2075.00	2185.00
Fuerza (N)	19080.45	16333.65	18884.25	20355.75	21434.85
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	74.75	64.63	75.45	81.00	85.92
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	7.33	6.34	7.40	7.95	8.43
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	76.35				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	7.49				

Tabla 3-26 Corte (Canelo Amarillo)

<b>CORTE</b>					
<b>MANZANO COLORADO</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-M I</b>	<b>P-M II</b>	<b>P-M III</b>	<b>P-M IV</b>	<b>P-M V</b>
Base (mm)	50.54	50.61	50.45	50.02	51.32
Altura (mm)	50.56	50.42	52.42	52.14	51.08
Área (cm <sup>2</sup> )	25.55	25.52	26.45	26.08	26.21
Fuerza (Kg)	2165.00	2515.00	2315.00	1915.00	2345.00
Fuerza (N)	21238.65	24672.15	22710.15	18786.15	23004.45
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	84.73	98.56	87.54	73.43	89.46
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	8.31	9.67	8.59	7.20	8.78
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	86.74				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	8.51				

*Tabla 3-27 Corte (Manzano Colorado)*

<b>CORTE</b>					
<b>ROBLE</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-R I</b>	<b>P-R II</b>	<b>P-R III</b>	<b>P-R IV</b>	<b>P-R V</b>
Base (mm)	49.90	50.15	50.42	50.16	50.31
Altura (mm)	51.31	50.88	52.23	51.19	50.70
Área (cm <sup>2</sup> )	25.60	25.52	26.33	25.68	25.51
Fuerza (Kg)	2845.00	3145.00	3065.00	3105.00	2935.00
Fuerza (N)	27909.45	30852.45	30067.65	30460.05	28792.35
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	111.12	123.25	116.39	120.93	115.07
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	10.90	12.09	11.42	11.86	11.29
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	117.35				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	11.51				

*Tabla 3-28 Corte (Roble)*

### 3.7 Flexión estática

La resistencia a flexión es muy elevada, sobre todo comparada con su densidad. Los valores característicos de la resistencia a flexión de las coníferas, que utilizan habitualmente es estructuras, varían entre 30 y 100 Kp/cm<sup>2</sup>.

En la madera es muy importante hablar de la resistencia a flexión, ya que al producir un bloque de madera traccionando y otro comprimiendo, siendo el comportamiento mecánico de ambas propiedades muy diferente, resulta práctico referirse al efecto conjunto de ambas.

Cuando un elemento estructural trabaja a flexión, las fibras superiores están trabajando a compresión y las fibras inferiores trabajan a tracción, para transmitir la carga de los apoyos.

En la zona media no se producirá ni esfuerzo de compresión ni de tracción. Es una zona en que estos esfuerzos tienen cero, es la zona neutra, donde aparece el esfuerzo de corte.

La rotura puede producirse por los siguientes efectos :

Por aplastamiento de la madera en la zona superior, debido a las compresiones.

Por rotura de la madera en la zona inferior debido a las tracciones.

Por un efecto de deslizamiento entre las capas horizontales, debido al esfuerzo tangencial.

### **3.7.1 Ensayo**

#### **3.7.1.1 Alcance**

Obtención de esfuerzo último para flexión estática y el módulo de elasticidad de que soportan las maderas: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado, Roble. Controlando factores importantes en su resistencia los cuales son:

- Temperatura ambiental
- Humedad en el ambiente
- Dimensiones de las probetas

#### **3.7.1.2 Objetivo**

Realizar los ensayos de laboratorio tomando como referencia las normas COPANT y ASTM para la obtención de datos necesarios y con estos determinar el esfuerzo último para el corte paralelo a la fibra de las maderas: Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado, Roble.

#### **3.7.1.3 Instrumentos**

- Máquina de ensayos universal
- Adaptador de la máquina para probetas de corte
- Deflectómetro

#### **3.7.1.4 Materiales**

Maderas nativas del Ecuador tales como :

- Probetas de Aliso

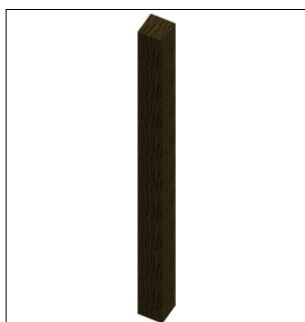


- Probetas de Canelo Amarillo
- Probetas de Manzano Colorado
- Probetas de Roble

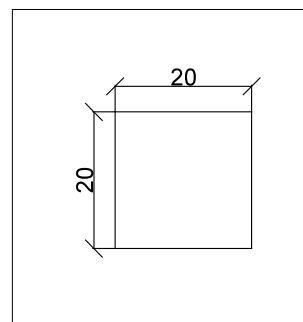
### 3.7.1.5 Preparación de la probeta

Tomando como guía y referencia las normas ASTM y COPANT para realizar el ensayo de corte paralelo a la fibra. Se debe tomar en cuenta que la humedad debe ser conforme a lo señalado en la presente investigación, además de que se debe revisar que la madera no tenga ninguna anomalía, rajadura o señales de pudrición.

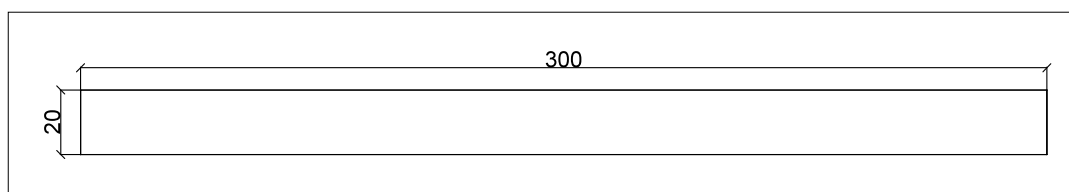
#### *DIMENSIONES DE LA PROBETA PARA ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA*



*Vista 3D*



*Vista en planta*



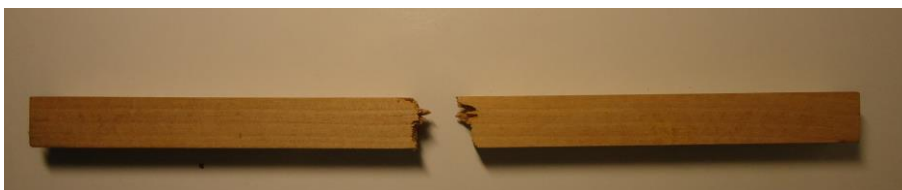
*Vista frontal*

*Ilustración 3-26 Dimensiones de la probeta para el ensayo de flexión estática*

### 3.7.1.6 Procedimiento

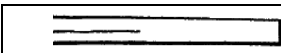
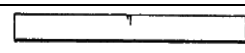
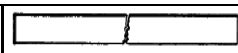


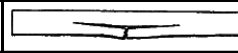
- Se observa que no tenga fallas la probeta a ser ensayada.

- Se toma las medidas de las secciones necesarias de la probeta a ensayarse mediante un calibrador.
- Se colocan los implementos necesarios para este ensayo en la máquina universal.
- En el caso de las probetas (P-AI, P-CI, P-MI, P-RII) se utiliza deflector para obtener la deformación generada en el centro de la probeta.
- Se coloca la probeta en la máquina de ensayos universal.
- Se va aplicando carga constante hasta que falle la probeta.
- Se toma nota de la carga máxima que ha soportado.



*Ilustración 3-27 Probeta ensayada (Flexión estática)*

### 3.7.2 Tipos de falla

		
Tracción simple	Tracción cruzada a la fibra	Tracción astillada
		
Tracción rígida	Compresión	Corte horizontal

*Ilustración 3-28 Tipos de fallas*

### 3.7.3 Cálculos

Cálculo del esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad

Se aplica la siguiente expresión:

$$ELPf = \frac{3 * P_2 * L}{2 * b * h^2}$$

Donde:

- ELPf: Esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad (Kg/cm<sup>2</sup> )
- P2: Carga en el límite de proporcionalidad (Kg)
- L: Luz libre de la probeta (Sep. entre apoyos) (cm)
- b: Base de la probeta (cm)
- h: Altura de la probeta (cm)

Cálculo del esfuerzo unitario máximo

Se lo obtiene aplicando la siguiente expresión:

$$EMf = \frac{3 * P_m * L}{2 * b * h^2}$$

Donde:

- EMf: Esfuerzo unitario máximo (Kg/cm<sup>2</sup> )
- Pm: Carga máxima obtenida (Kg)
- L: Luz libre de la probeta (Sep. entre apoyos) (cm)
- b: Base de la probeta (cm)
- h: Altura de la probeta (cm)

Cálculo del módulo de elasticidad

Para este cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$MOEf = \frac{P_2 * L^3}{4 * d_1 * b * h^3}$$

Donde:

- MOEf: Módulo de elasticidad (Kg/cm<sup>2</sup> )
- P2: Carga en el límite de proporcionalidad (Kg)
- L: Luz libre de la probeta (Sep. entre apoyos) (cm)
- d1: Deformación (Flecha) de la probeta en el límite de proporcionalidad (cm)
- b: Base de la probeta (cm)
- h: Altura de la probeta (m)

Módulo de elasticidad

Se calcula con la siguiente expresión:

$$E = \frac{\sigma_2}{\varepsilon}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_2$ : Esfuerzo correspondiente a la deformación (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$ : Deformación unitaria

Para el cálculo del Módulo de Elasticidad, se realiza un cuadro en el que se detalle la carga y la deformación para esta carga, esto se transformará en esfuerzo y deformación unitaria. Con estos parámetros y la ayuda de la Ley de Hooke se calcula el Módulo de Elasticidad. Para la presente investigación se utilizan los valores dentro del rango del 20% y 80% del total de la carga, puesto que en esta zona se presenta la mayor regularidad en los datos del módulo.

## RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA

<b>ENSAYO DE FLEXIÓN</b>					
<b>ALISO</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-A I</b>	<b>P-A II</b>	<b>P-A III</b>	<b>P-A IV</b>	<b>P-A V</b>
Base (mm)	20.1	20.18	19.87	19.89	20.03
Altura (mm)	20.02	20.08	19.97	19.99	20.03
Área (cm <sup>2</sup> )	4.02	4.05	3.97	3.98	4.01
Longitud (mm)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Distancia entre apoyos (mm)	280	280	280	280	280
Fuerza (Kg)	138	151	134	130	130
Fuerza (N)	1353.78	1481.31	1314.54	1275.3	1275.3
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1605.74	1656.94	1611.27	1585.30	1567.93
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	70.58	76.46	69.67	67.39	66.65
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1605.44				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	70.15				

*Tabla 3-29 Flexión estática (Aliso)*

<b>ENSAYO DE FLEXIÓN</b>					
<b>CANELO AMARILLO</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-C I</b>	<b>P-C II</b>	<b>P-C III</b>	<b>P-C IV</b>	<b>P-C V</b>
Base (mm)	20.18	20.17	20.26	20.16	20.15
Altura (mm)	20.19	20.23	20.1	20.08	20.17
Área (cm <sup>2</sup> )	4.07	4.08	4.07	4.05	4.06
Longitud (mm)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Distancia entre apoyos (mm)	280	280	280	280	280
Fuerza (Kg)	155	158	159	138	154
Fuerza (N)	1520.55	1549.98	1559.79	1353.78	1510.74
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1659.35	1668.88	1688.16	1591.41	1660.00
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	77.63	78.86	80.04	69.95	77.40
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1653.56				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	76.78				

*Tabla 3-30 Flexión estática (Canelo Amarillo)*

<b>ENSAYO DE FLEXIÓN</b>					
<b>MANZANO COLORADO</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-M I</b>	<b>P-M II</b>	<b>P-M III</b>	<b>P-M IV</b>	<b>P-M V</b>
Base (mm)	20.34	20.25	20.18	20.01	20.18
Altura (mm)	20.12	20.22	20.23	20.09	20.36
Área (cm <sup>2</sup> )	4.09	4.09	4.08	4.02	4.11
Longitud (mm)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Distancia entre apoyos (mm)	280	280	280	280	280
Fuerza (Kg)	236	180	205	232	198
Fuerza (N)	2315.16	1765.8	2011.05	2275.92	1942.38
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	2070.94	1775.54	1907.07	2090.59	1847.65
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	118.09	89.58	102.27	118.36	97.52
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1938.36				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	105.17				

Tabla 3-31 Flexión estática (Manzano Colorado)

<b>ENSAYO DE FLEXIÓN</b>					
<b>ROBLE</b>					
<b>Muestra</b>	<b>P-R I</b>	<b>P-R II</b>	<b>P-R III</b>	<b>P-R IV</b>	<b>P-R V</b>
Base (mm)	20.29	20.1	20.33	20.13	20.2
Altura (mm)	20.26	20.26	20.23	20.28	20.22
Área (cm <sup>2</sup> )	4.11	4.07	4.11	4.08	4.08
Longitud (mm)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Distancia entre apoyos (mm)	280	280	280	280	280
Fuerza (kg)	282	291	260	277	301
Fuerza (N)	2766.42	2854.71	2550.6	2717.37	2952.81
<b>Esfuerzo máximo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	2279.43	2346.80	2170.64	2267.66	2395.28
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	139.51	145.32	128.75	137.85	150.17
<b>Esfuerzo promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	2291.96				
<b>Esfuerzo promedio (MPa)</b>	140.32				

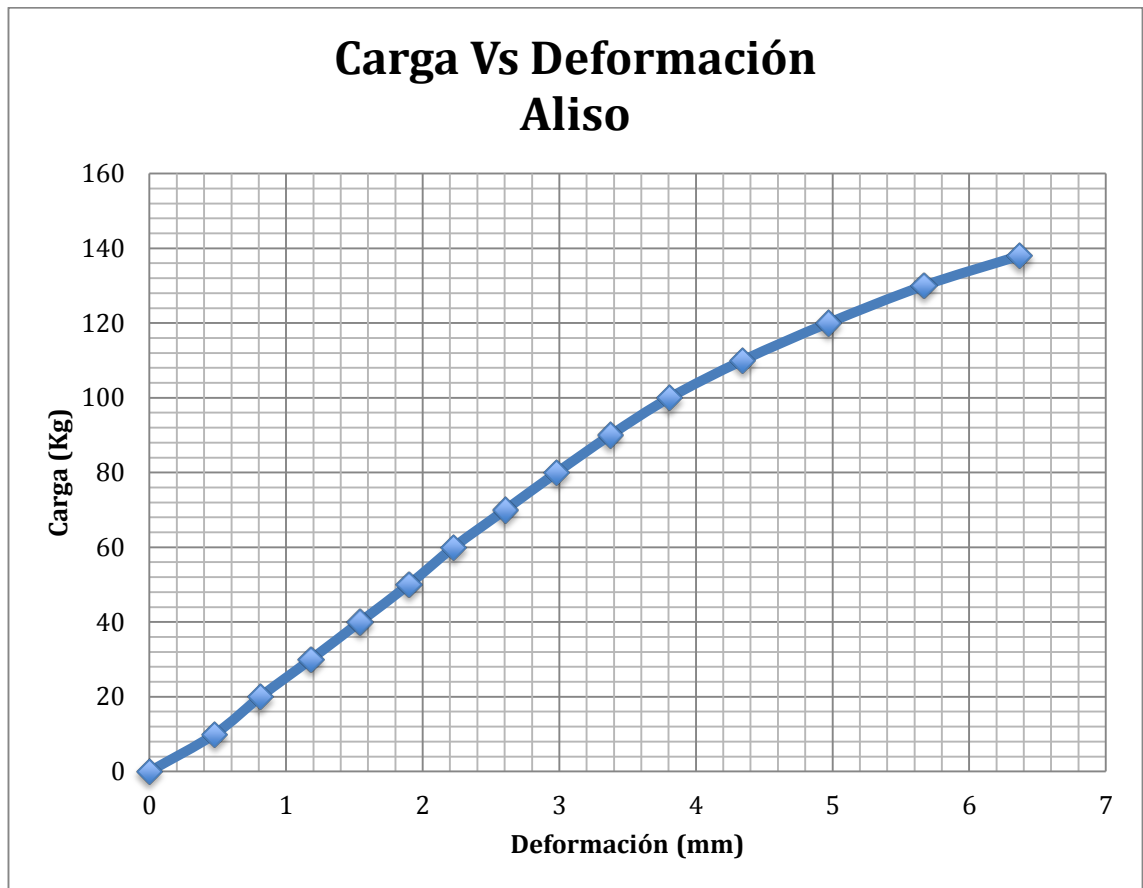
Tabla 3-32 Flexión estática (Roble)

### Módulo de elasticidad para flexión estática

PROBETA P-A I							
P	$\delta$	Base	Altura	Long.	$\sigma$	E	Carga
(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0.00	20.1	20.02	280	0.00	0.00	0.00
10	0.48	20.1	20.02	280	52.13	71317.84	7.25
20	0.81	20.1	20.02	280	104.27	83843.80	14.49
30	1.18	20.1	20.02	280	156.40	86404.31	21.74
40	1.54	20.1	20.02	280	208.54	88396.03	28.99
50	1.90	20.1	20.02	280	260.67	89635.76	36.23
60	2.23	20.1	20.02	280	312.81	91704.26	43.48
70	2.60	20.1	20.02	280	364.94	91484.94	50.72
80	2.98	20.1	20.02	280	417.08	91313.79	57.97
90	3.37	20.1	20.02	280	469.21	90770.32	65.22
100	3.81	20.1	20.02	280	521.34	89392.75	72.46
110	4.34	20.1	20.02	280	573.48	86194.72	79.71
120	4.97	20.1	20.02	280	625.61	82193.88	86.96
130	5.67	20.1	20.02	280	677.75	78027.45	94.20
138	6.37	20.1	20.02	280	719.46	73736.08	100.00

<b>E<sub>prom</sub>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	89477.43
<b>E<sub>min</sub>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	86194.72

Tabla 3-33 Módulo de elasticidad a flexión estática (Aliso)



*Ilustración 3-29 Grafico carga vs deformación (Aliso)*



PROBETA P-C I							
P	$\delta$	Base	Altura	Long.	$\sigma$	E	Carga
(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0.00	20.18	20.19	280	0.00	0.00	0.00
20	0.81	20.18	20.19	280	102.11	81171.62	12.90
40	1.50	20.18	20.19	280	204.23	88285.09	25.81
60	2.21	20.18	20.19	280	306.34	89664.99	38.71
80	2.91	20.18	20.19	280	408.46	90853.30	51.61
100	3.69	20.18	20.19	280	510.57	89563.89	64.52
120	4.61	20.18	20.19	280	612.68	86071.29	77.42
140	5.78	20.18	20.19	280	714.80	80076.79	90.32
155	7.14	20.18	20.19	280	791.38	71697.40	100.00

<b>Eprom(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	84654.61
<b>Emin(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	71697.40

Tabla 3-34 Módulo de elasticidad a flexión estática (Canelo Amarillo)

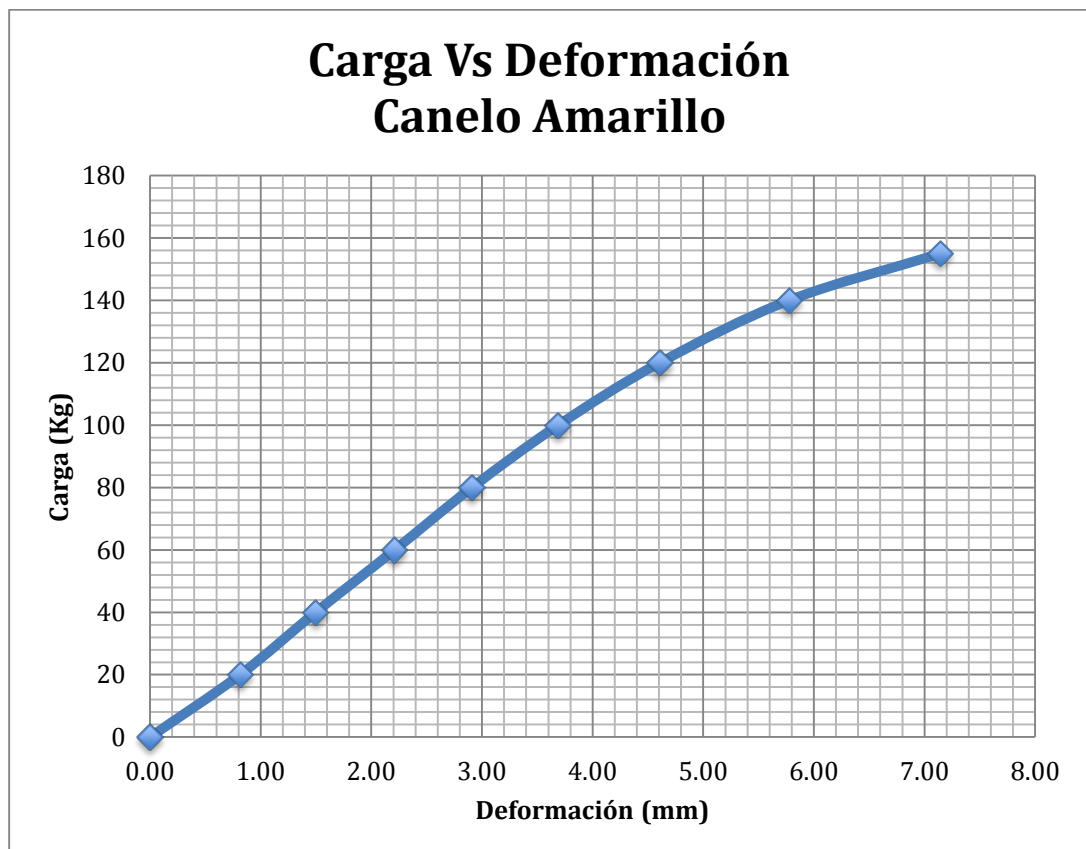
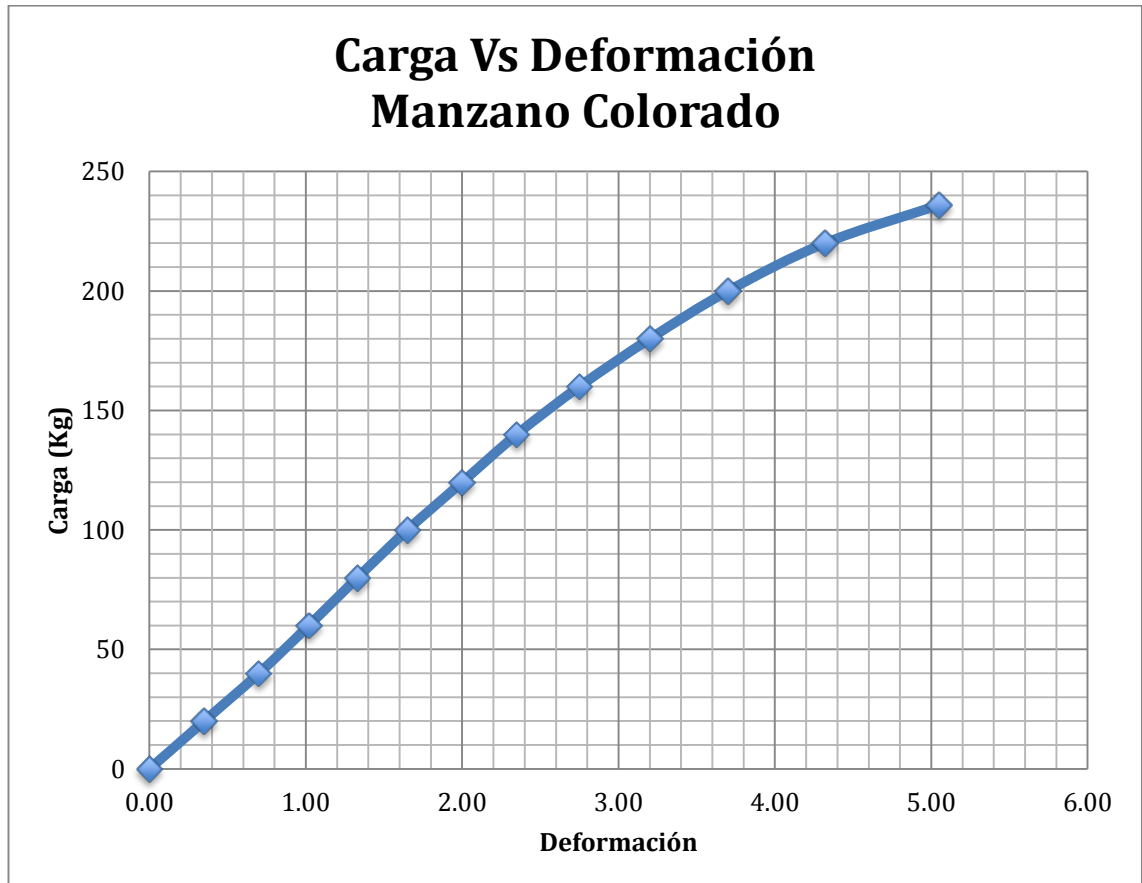


Ilustración 3-30 Gráfico carga vs deformación (Canelo Amarillo)

PROBETA P-M I							
P	$\delta$	Base	Altura	Long.	$\sigma$	E	Carga
(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0.00	20.34	20.12	280	0.00	0.00	0.00
20	0.35	20.34	20.12	280	102.02	189295.89	8.47
40	0.70	20.34	20.12	280	204.03	189295.89	16.95
60	1.02	20.34	20.12	280	306.05	194863.41	25.42
80	1.33	20.34	20.12	280	408.07	199258.83	33.90
100	1.65	20.34	20.12	280	510.08	200768.36	42.37
120	2.00	20.34	20.12	280	612.10	198760.68	50.85
140	2.35	20.34	20.12	280	714.12	197351.03	59.32
160	2.75	20.34	20.12	280	816.14	192737.63	67.80
180	3.20	20.34	20.12	280	918.15	186338.14	76.27
200	3.70	20.34	20.12	280	1020.17	179063.68	84.75
220	4.32	20.34	20.12	280	1122.19	168701.20	93.22
236	5.05	20.34	20.12	280	1203.80	154810.30	100.00

<b>Eprom(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	195725.44
<b>Emin(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	186338.14

*Tabla 3-35 Módulo de elasticidad a flexión estática (Manzano Colorado)*

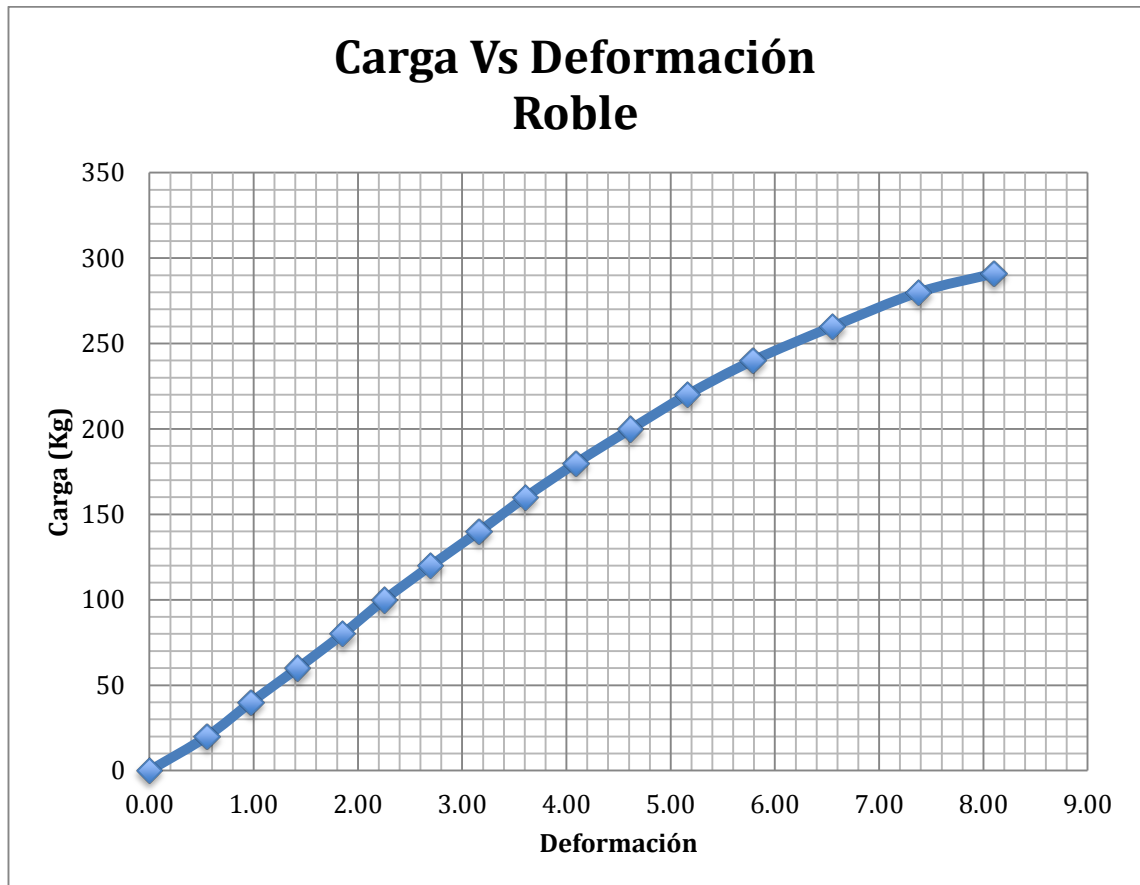


*Ilustración 3-31 Grafico carga vs deformación (Manzano Colorado)*

PROBETA P-R II							
P	$\delta$	Base	Altura	Long.	$\sigma$	E	Carga
(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	%
0	0.00	20.10	20.26	280	0.00	0.00	0.00
20	0.55	20.10	20.26	280	101.81	119268.31	6.87
40	0.97	20.10	20.26	280	203.63	134856.57	13.75
60	1.42	20.10	20.26	280	305.44	138485.66	20.62
80	1.85	20.10	20.26	280	407.25	141652.34	27.49
100	2.25	20.10	20.26	280	509.07	145692.87	34.36
120	2.70	20.10	20.26	280	610.88	146020.31	41.24
140	3.16	20.10	20.26	280	712.69	145389.09	48.11
160	3.61	20.10	20.26	280	814.51	145690.93	54.98
180	4.09	20.10	20.26	280	916.32	144434.37	61.86
200	4.62	20.10	20.26	280	1018.13	142209.45	68.73
220	5.16	20.10	20.26	280	1119.95	140008.21	75.60
240	5.79	20.10	20.26	280	1221.76	136125.79	82.47
260	6.56	20.10	20.26	280	1323.57	130219.65	89.35
280	7.38	20.10	20.26	280	1425.39	124553.04	96.22
291	8.10	20.10	20.26	280	1481.38	117921.20	100.00

<b>Eprom(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	143287.03
<b>Emin(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	138485.66

Tabla 3-36 Módulo de elasticidad a flexión estática (Roble)



*Ilustración 3-32 Grafico carga vs deformación (Roble)*

## **4 CAPITULO IV: ESFUERZOS ADMISIBLES PARA DISEÑO**

### **4.1 Antecedentes**

Para el diseño en base a los esfuerzos admisibles se utiliza relaciones básicas derivadas de teórica clásica del comportamiento elásticos; la adecuación o seguridad de los diseños se miden al comparar dos límites principales: un aceptable para el esfuerzo máximo y un nivel tolerable para el alcance de la deformación. Estos límites se calculan tal como se presentan en respuestas a las cargas de servicio; es decir a las cargas producidas por las condiciones de uso normal de la estructura, los movimientos tolerables se llamaban deflexiones admisibles, alargamiento admisible, etc. En esencia el método de los esfuerzo de trabajo consiste en diseñar una estructura para trabajar a algún porcentaje apropiado establecido de su capacidad total. Sin embargo lo que es verdaderamente apropiado como una condición de trabajo tiene mucho de especulación teórica.

Con el objetivo de establecer resultados más acordes a la realidad para los límites de esfuerzo y deformación, fue necesario ejecutar ensayos con probetas siguiendo normas establecidas.

### **4.2 Esfuerzos admisibles**

Los esfuerzos admisibles se determinan en base a los resultados de los ensayos . Estos ensayos se realizaron en base a las normas COPAN y ASTM.

- Flexión: Esfuerzo de rotura.
- Tracción paralela a las fibras: Esfuerzo de rotura.

- Tracción perpendicular a las fibras: Esfuerzo de rotura.
- Compresión paralela a las fibras: Esfuerzo de aplastamiento.
- Compresión perpendicular a las fibras: Esfuerzo en el límite de proporcionalidad.
- Corte paralelo a las fibras: Esfuerzo de rotura.

Cabe recalcar que la madera presenta una variabilidad natural, esto se debe las condiciones climáticas y las características de crecimiento del árbol.

Los estudios efectuados han determinado generalmente que el esfuerzo resistente en condiciones últimas es aquel que corresponde al límite de exclusión del 5%, es decir que se deberá esperar que el 5% de la población existente tenga una resistencia menor al mencionado valor.

Para la obtención de los esfuerzos admisible se modificaran las resistencias últimas mínimas con la siguiente expresión:

$$Esfuerzo\ Admisible = \frac{F.C. * F.T.}{F.S. * F.D.C.} * Esfuerzo\ último$$

Donde:

F.C.: Factor de reducción por calidad.

F.T.: Factor de reducción por tamaño.

F.S.: Factor de servicio y seguridad.

F.D.C.: Factor de duración de la carga.

### **4.3 Factores de seguridad**

#### **4.3.1 Factor de reducción por calidad (f.c.)**

Este factor relaciona defectos en la norma COPANT de la clasificación visual y por tamaños de las mismas. Por comparación realizada por las normas COPANT entre la resistencia obtenida en vigas y en probetas pequeñas libres de defectos, se obtuvieron valores del factor de calidad, se recomienda un factor de 0.8 igual para todos los grupos de madera.

#### **4.3.2 Factor de reducción por tamaño (f.t.)**

En elementos de madera se obtiene una disminución del esfuerzo de rotura en flexión a medida que va aumentando su tamaño. El tamaño también influye en los esfuerzos de rotura en tracción paralela a las fibras y en menor grado en la resistencia a otros tipos de sollicitación.

#### **4.3.3 factor de servicio y seguridad (f.s.)**

El diseño se debe realizar para condiciones de servicio, por lo tanto los esfuerzos últimos también deben ser reducidos a condiciones por debajo del límite de proporcionalidad. Esto nos asegura un comportamiento adecuado de las estructuras en condiciones normales.

Los esfuerzos en condiciones de servicio se obtienen dividiendo los correspondientes esfuerzos últimos entre un factor de seguridad y servicio que considera las incertidumbres respecto a:

- Conocimiento de las propiedades del material y su variabilidad.
- La confiabilidad de los ensayos para evaluar



adecuadamente las características resistentes del material.

- La presencia de defectos no detectados al momento de la clasificación visual.
- El tipo de falla, frágil o dúctil, que pueda presentarse al sobre esforzar el material.
- La evaluación de las cargas aplicadas y la determinación de los esfuerzos internos producidos por estas cargas en los elementos estructurales.
- Dimensiones reales de los elementos con respecto a las supuestas en el análisis y el diseño.
- Calidad de la mano de obra para una construcción adecuada.
- Deterioro del material con el uso.
- El riesgo de falla en función de la importancia del elemento o de la edificación y su relación con las vidas humanas.
- El aumento de las cargas por posibles cambios en el destino o uso de la edificación.

#### **4.3.4 Factor de duración de la carga (f.d.c.)**

Los esfuerzos de rotura de la madera disminuyen con la duración de la aplicación de la carga. Normalmente se han considerado factores de reducción altos, sin embargo, investigaciones recientes han puesto en duda la influencia de la duración de carga en los esfuerzos admisibles. Para niveles de esfuerzos correspondientes al límite de exclusión del 5%, la reducción

encontrada es del orden del 14%. Para esfuerzos del orden de los esfuerzos admisibles es razonable esperar reducciones aun menores, de ahí que algunos investigadores propongan su eliminación definitiva.

	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Tracción paralela	Tracción perpendicular	Corte	Flexión
F.C.	1	1	1	1	1	0.8
F.T.	1	1	1	1	1	0.9
F.S.	1.6	1.6	2	2	4	2
F.D.C.	1.25	1	1.15	1.15	1	1.15

*Ilustración 4-1 Factores de reducción*

Los factores de la tabla anterior se los utiliza para la disminución de los esfuerzos últimos por duración de la carga, aplican para condiciones normales de carga. La aplicación normal de cargas, contempla elementos estructurales resistiendo los esfuerzos admisibles en su totalidad debido a la aplicación de la máxima carga admisible de diseño, por un período de duración aproximado de 10 años, de manera continua o acumulativa, o por la aplicación del 90% de la máxima carga admisible por el tiempo restante de vida de la estructura; o por la acción de ambas.

Los esfuerzos admisibles deberán ser incrementados en un 100% para elementos que soportan cargas de impacto ocasional, brindando de igual forma seguridad para las cargas estáticas. Por otro lado, las normas ASTM proponen que las propiedades mecánicas deben ser divididas para los factores dados en la siguiente tabla, lo cual proporciona a los esfuerzos la condición de admisibles o se servicio para maderas. Estos incluyen ajustes por duración normal de carga y de seguridad.

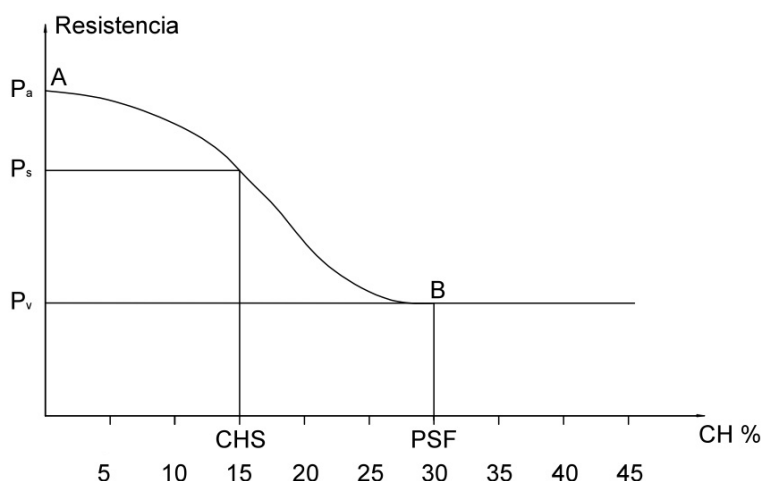
ADJUSTMENT FACTORS TO BE APPLIED TO THE CLEAR WOOD PROPERTIES						
	Bending Strength	Modulus of Elasticity in Bending	Tensile Strength Parallel to Grain	Compressive Strength Parallel to Grain	Horizontal Shear Strength	Proportional Limit and Stress at Deformation in Compression Perpendicular to Grain
Softwoods	2.10	0.94	2.10	1.90	2.10	1.67
Hardwoods	2.30	0.94	2.30	2.10	2.30	1.67

*Ilustración 4-2 Factores de ajuste*

Al realizar una comparación entre las tablas podemos observar claramente que son muy similares, con excepción del corte, el cual no se considera la disminución por efecto de concentración de esfuerzos, que tiene un valor de 2.

#### **4.4 Relación humedad – resistencia**

El contenido de humedad tiene una relación directa con la resistencia y rigidez de la madera, por lo que la mayoría de autores escogen el 30% de humedad para la obtención de esfuerzos admisibles y demás propiedades, esto debido a que es el punto de saturación de las fibras, la resistencia de la madera se mantiene constante; mientras que al 12% de contenido de humedad, las propiedades mecánicas son mayores, el cual se obtiene debido al contenido de humedad del ambiente y condiciones de servicio.



*Ilustración 4-3 Efecto del Contenido de humedad en la resistencia de la madera*

Los esfuerzos de rotura o últimos obtenidos en el capítulo anterior de la presente investigación, deberán ser afectados por los respectivos factores de seguridad ya que en el texto en el cual se guía esta investigación, Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, esta diferencia entre los resultados de esfuerzos tiene una razón fundamental que se basa en la diferencia del contenido de humedad.

En el Manual de diseño para maderas del grupo andino nos habla sobre los esfuerzos de admisibles y módulos de elasticidad para una gran variedad de especies de maderas a través de probetas con un contenido de humedad (CH=30%), es decir con madera en estado verde. Al realizar los ensayos con probetas con un contenido de humedad mucho menor al (CH=30%), se obtendrán resultados de resistencias mayores. Por lo tanto, al construir con madera seca (Ch = 12%) tenemos un factor de seguridad adicional a los anteriormente mencionados.

Algunas normas de diseño y construcción en madera en Latinoamérica manejan consideraciones específicas con respecto al contenido de humedad al momento de construcción y en condiciones de servicialidad. Por esta razón se muestra la tabla que se puede considerar al momento de determinar las tensiones admisibles y módulo de elasticidad, durante la construcción y en servicio de la estructura.

Ítem	Condición de Humedad de la madera		Condición considerada para la madera en la determinación de su(s):	
	Durante la Construcción	En servicio	Tensiones admisibles	Módulo de elasticidad
1	$H_c \geq 20\%$	$H_s \geq 20\%$	Verde	Verde
2	$H_c \geq 20\%$	$H_c \geq 12\%$	Seca (H = 12%)	Seca (H = 12%)
3	$H_c \geq 12\%$	$H_c \geq 12\%$	Seca (H = 12%)	Seca (H = 12%)
4	$H_c \geq 12\%$	$H_s \geq 20\%$	Verde	Seca (H = 12%)
Hc: Humedad de construcción				
Hs: Humedad de servicio				

*Ilustración 4-4 Condiciones de construcción y servicio*

Al revisar esta tabla podemos darnos cuenta que los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad calculados al 12% son los que predominan en su mayoría. Tomando en cuenta escenarios dados se debe utilizar los esfuerzos y módulo de elasticidad determinados en madera verde, para así obtener esfuerzos más conservadores.

El Manual de diseño en madera del Grupo Andino, al esfuerzos admisibles calculados con madera verde, sugiere que dichos esfuerzos sean utilizados para el diseño con madera seca.

Para relacionar los esfuerzos y módulos de elasticidad, con diferentes contenidos de humedad bajo el punto de saturación de las fibras (CH=30%

que es el valor mediante el cual trabaja el Manual del Grupo Andino). A continuación se detallara el método.

Este método se basa en porcentajes de reducción de resistencia por unidad de contenido de humedad dependiendo del tipo de esfuerzo, es decir que por cada unidad de contenido de humedad que se dese aumentar la resistencia deberá ser reducida un porcentaje de su total.

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de reducción de esfuerzos en función de la variación unitaria del CH, para cada sollicitación.

	% DE VARIACIÓN
PROPIEDAD	
COMPRESIÓN PARALELA	4-6
TRACCIÓN PARALELA	3
CORTE	3
FLEXIÓN	4
MODULO DE ELASTICIDAD	2

*Ilustración 4-5 Variación de las propiedades mecánicas en función de variación unitaria del contenido de humedad (CH)*

De esta manera se estimarán los esfuerzos de las maderas nativas del Ecuador : Aliso, Canelo Amarillo, Manzano Colorado, Roble para la humedad del 30%, a partir de los resultados obtenidos en laboratorio con probetas de madera seca, con un contenido aproximado del 12%. Y estos valores serán comparables con los esfuerzos presentados en el Manual de diseño para maderas del grupo Andino.

### Esfuerzos en madera seca y verde para compresión paralela a la fibra

ALISO		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	<b>P-A I</b>	-
<b>% Variación</b>	4	4
<b>CH (%)</b>	13.75	11.73
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	362.42	419.98
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	126.85	113.06

Tabla 4-1 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra en M.S y M.V (Aliso)

CANELO AMARILLO		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	<b>P-C IV</b>	-
<b>% Variación</b>	4	4
<b>CH (%)</b>	12.56	12.36
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	363.67	387.93
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	109.97	114.21

Tabla 4-2 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra en M.S y M.V (Canelo Amarillo)

MANZANO COLORADO		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	<b>P-M I</b>	-
<b>% Variación</b>	4	4
<b>CH (%)</b>	13.08	12.51
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	560.91	603.00
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	181.29	181.14

Tabla 4-3 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra en M.S y M.V (Manzano Colorado)

ROBLE		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	<b>P-R I</b>	-
<b>% Variación</b>	4	4
<b>CH (%)</b>	11.92	11.46
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	693.69	752.89
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	192.01	194.55

Tabla 4-4 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra en M.S y M.V (Roble)

**Esfuerzos en madera seca y verde para compresión perpendicular a la  
fibra**

<b>ALISO</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-A II</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	12.46	12.27
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	70.21	91.45
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	33.27	42.81

*Tabla 4-5 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Aliso)*

<b>CANELO AMARILLO</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-C V</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	12.01	12.18
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	97.89	107.40
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	45.06	49.99

*Tabla 4-6 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Canelo Amarillo)*

<b>MANZANO COLORADO</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-M I</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	12.58	12.69
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	181.53	203.92
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	86.66	98.02

*Tabla 4-7 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Manzano Colorado)*

<b>ROBLE</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-R III</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	12.15	11.75
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	294.12	300.58
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	136.62	136.01

*Tabla 4-8 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Roble)*



### Esfuerzos en madera seca y verde para tracción paralela a la fibra

ALISO		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	<b>P-A IV</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	11.68	11.33
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	572.03	827.09
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	257.64	363.84

Tabla 4-9 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra en M.S y M.V (Aliso)

CANELO AMARILLO		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	<b>P-C IV</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	12.02	12
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	605.99	866.01
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	279.12	398.36

Tabla 4-10 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra en M.S y M.V (Canelo Amarillo)

MANZANO COLORADO		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	<b>P-M V</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	12.49	12.38
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	785.11	948.70
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	372.69	447.22

Tabla 4-11 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra en M.S y M.V (Manzano Colorado)

ROBLE		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	<b>P-R V</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	11.17	11.76
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1080.60	1404.65
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	470.17	636.03

Tabla 4-12 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra en M.S y M.V (Roble)

**Esfuerzos en madera seca y verde para tracción perpendicular a la  
fibra**

<b>ALISO</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-A V</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	11	11.14
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	30.96	35.18
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	13.31	15.28

*Tabla 4-13 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Aliso)*

<b>CANELO AMARILLO</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-C II</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	11.92	11.64
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	28.25	30.82
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	12.93	13.84

*Tabla 4-14 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Canelo Amarillo)*

<b>MANZANO COLORADO</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-M V</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	12.34	11.58
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	25.30	40.19
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	11.90	17.98

*Tabla 4-15 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Manzano Colorado)*

<b>ROBLE</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-R III</b>	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	12.27	11.62
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	31.25	34.68
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	14.63	15.56

*Tabla 4-16 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra en M.S y M.V (Roble)*

### Esfuerzos en madera seca y verde para corte

ALISO		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	P-A I	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	11.91	11.67
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	49.06	69.53
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	22.44	31.29

Tabla 4-17 Esfuerzos a Corte en M.S y M.V (Aliso)

CANELO AMARILLO		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	P-C II	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	11.28	11.20
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	64.63	76.35
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	28.34	33.29

Tabla 4-18 Esfuerzos a Corte en M.S y M.V (Canelo Amarillo)

MANZANO COLORADO		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	P-M IV	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	12.30	12.01
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	73.43	86.74
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	34.44	39.93

Tabla 4-19 Esfuerzos a Corte en M.S y M.V (Manzano Colorado)

ROBLE		
	Esfuerzo Ultimo Mínimo	Esfuerzo Ultimo Promedio
<b>Muestra</b>	P-R I	-
<b>% Variación</b>	3	3
<b>CH (%)</b>	13.24	12.90
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	111.12	117.35
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	55.25	57.15

Tabla 4-20 Esfuerzos a Corte en M.S y M.V (Roble)

### Esfuerzos en madera seca y verde para flexión estática

<b>ALISO</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-A V</b>	-
<b>% Variación</b>	4	4
<b>CH (%)</b>	12.43	12.27
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1567.93	1605.44
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	465.99	466.86

Tabla 4-21 Esfuerzos a flexión estática en M.S y M.V (Aliso)

<b>CANELO AMARILLO</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-C IV</b>	-
<b>% Variación</b>	4	4
<b>CH (%)</b>	11.81	11.89
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1591.41	1653.56
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	433.50	455.72

Tabla 4-22 Esfuerzos a flexión estática en M.S y M.V (Canelo Amarillo)

<b>MANZANO COLORADO</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-M II</b>	-
<b>% Variación</b>	4	4
<b>CH (%)</b>	12.49	12.29
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1775.54	1938.36
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	531.95	565.23

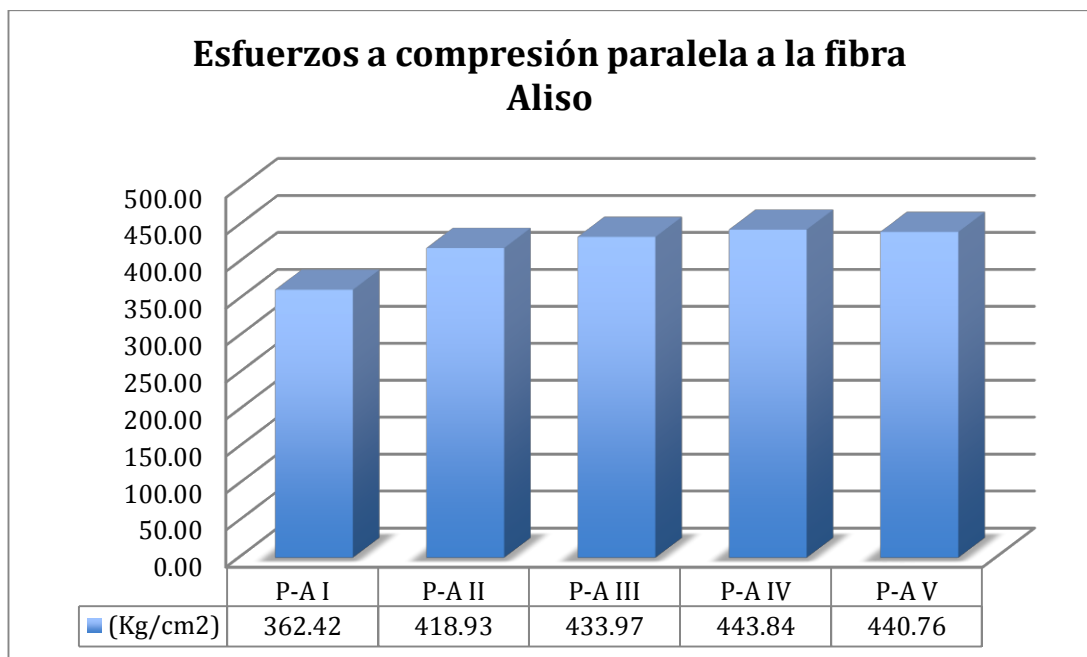
Tabla 4-23 Esfuerzos a flexión estática en M.S y M.V (Manzano Colorado)

<b>ROBLE</b>		
	<b>Esfuerzo Ultimo Mínimo</b>	<b>Esfuerzo Ultimo Promedio</b>
<b>Muestra</b>	<b>P-R III</b>	-
<b>% Variación</b>	4	4
<b>CH (%)</b>	11.24	11.75
<b>Esfuerzo M.S (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	2170.64	2291.96
<b>Esfuerzo M.V(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	541.79	618.83

Tabla 4-24 Esfuerzos a flexión estática en M.S y M.V (Roble)

#### 4.5 Esfuerzos admisible a compresión paralela a la fibra

Basándonos en los esfuerzos últimos obtenidos anteriormente en esta presente investigación, proseguimos a determinar el esfuerzo mínimo para cada tipo de madera anteriormente elegida, el cual será afectado por los correspondientes factores de reducción.



*Ilustración 4-6 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra (Aliso)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	1.60
F.D.C.=	1.25

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{1.60 * 1.25} * 362.42$$

$$\sigma_{adm} = 181.21 \text{ Kg/cm}^2$$

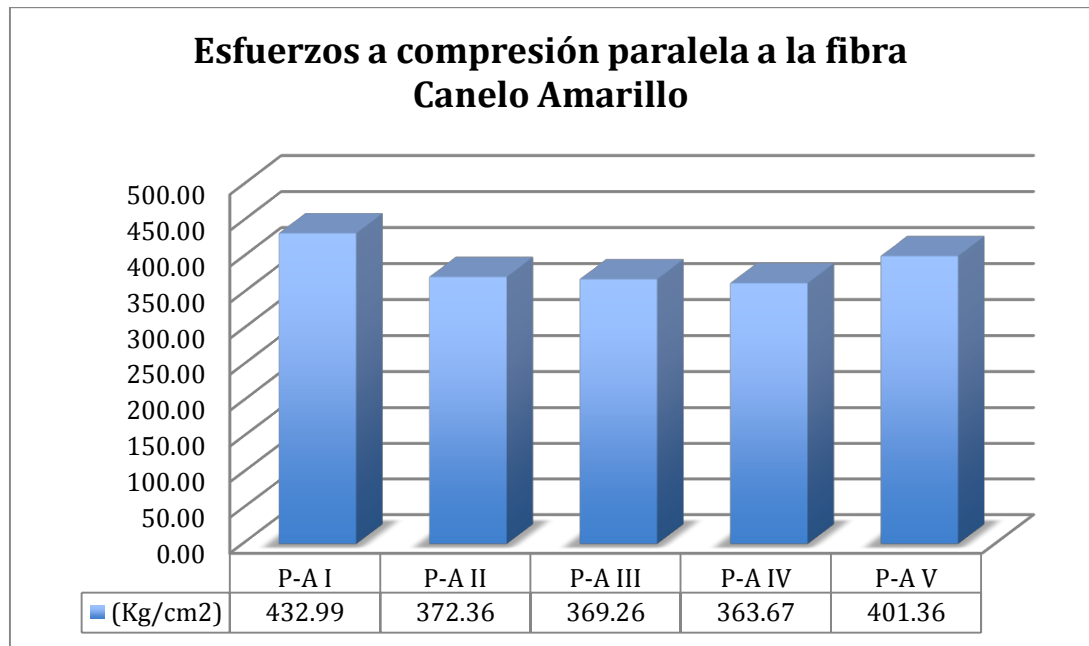


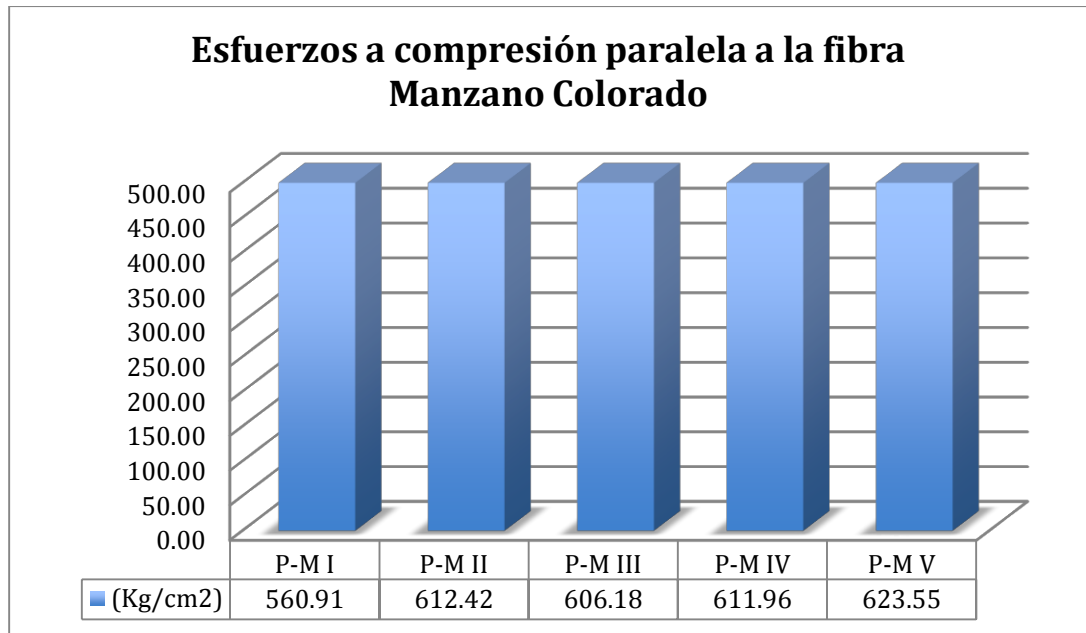
Ilustración 4-7 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra (Canelo Amarillo)

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	1.60
F.D.C.=	1.25

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{1.60 * 1.25} * 363.67$$

$$\sigma_{adm} = 181.83 \text{ Kg/cm}^2$$



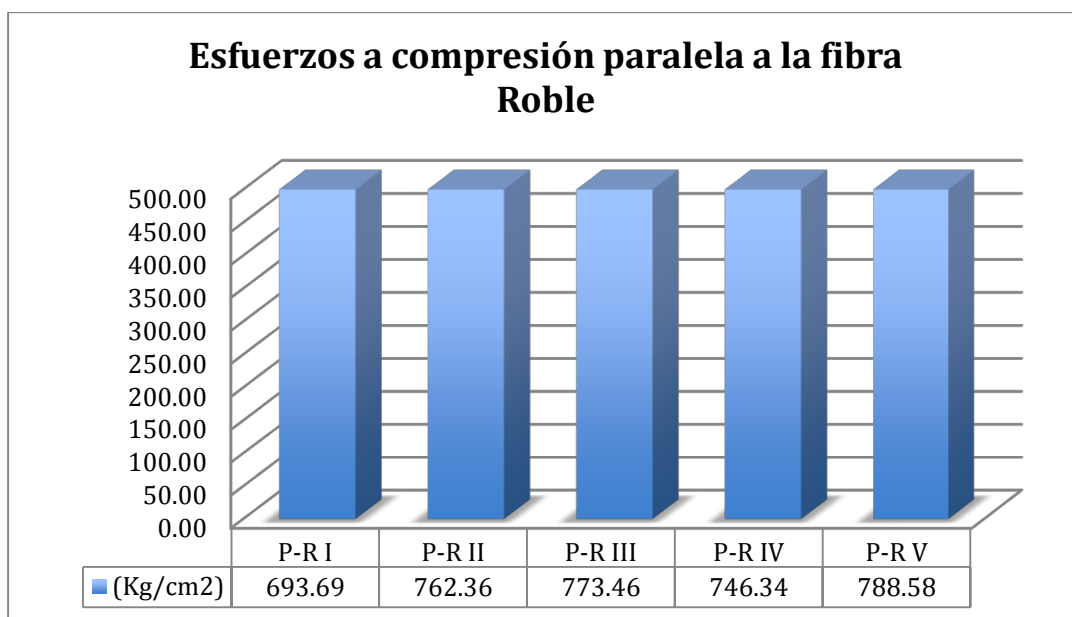
*Ilustración 4-8 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra (Manzano Colorado)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	1.60
F.D.C.=	1.25

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C. * F.T.}{F.S. * F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{1.60 * 1.25} * 560.91$$

$$\sigma_{adm} = 280.46 \text{ Kg/cm}^2$$



*Ilustración 4-9 Esfuerzos a compresión paralela a la fibra (Roble)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	1.60
F.D.C.=	1.25

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

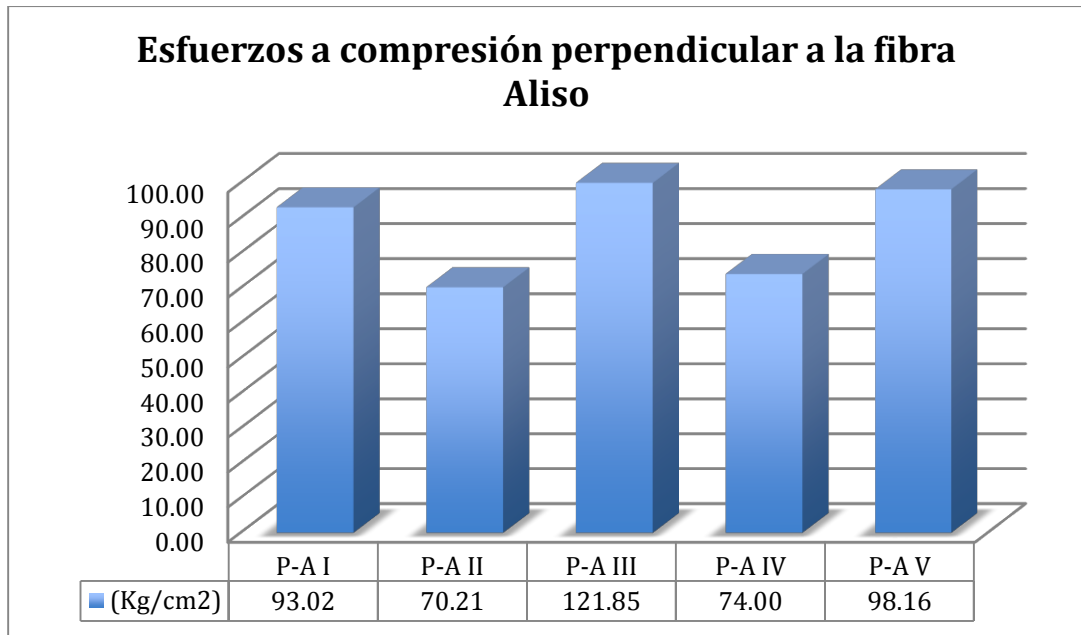
$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{1.60 * 1.25} * 693.69$$

$$\sigma_{adm} = 346.84 \text{ Kg/cm}^2$$

#### 4.6 Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra

Basándonos en los esfuerzos últimos obtenidos anteriormente en esta presente investigación, proseguimos a determinar el esfuerzo mínimo para cada tipo de madera anteriormente elegida, el cual será afectado por los correspondientes factores de reducción.





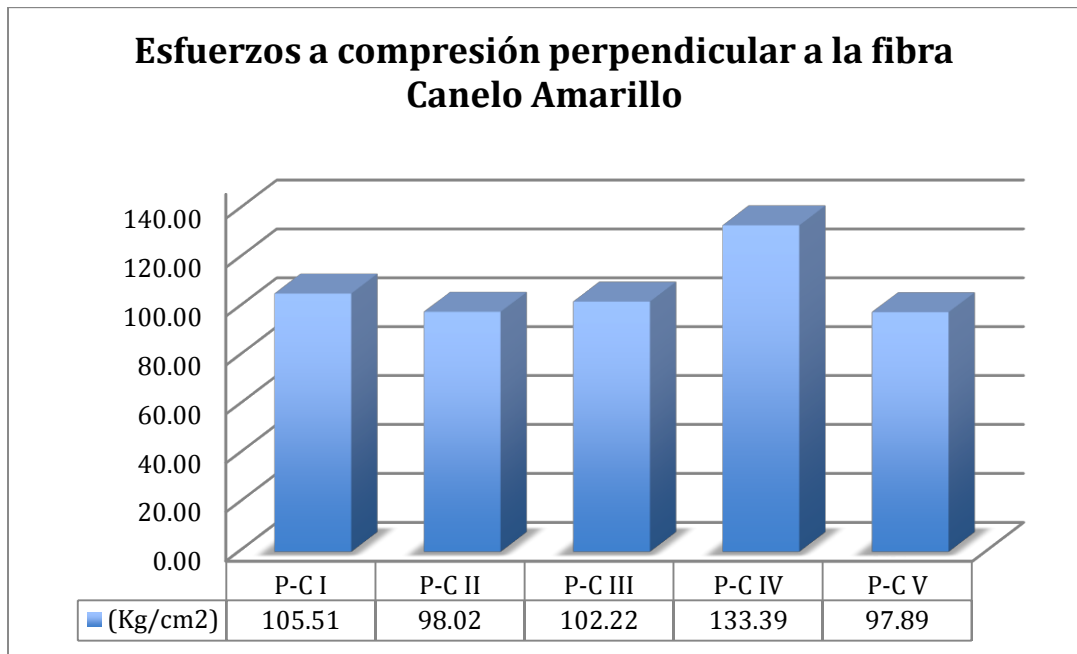
*Ilustración 4-10 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra (Aliso)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	1.60
F.D.C.=	1.00

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{1.60 * 1} * 70.21$$

$$\sigma_{adm} = 43.88 \text{ Kg/cm}^2$$



*Ilustración 4-11 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra (Canelo Amarillo)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	1.60
F.D.C.=	1.00

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{1.60 * 1} * 97.89$$

$$\sigma_{adm} = 61.18 \text{ Kg/cm}^2$$

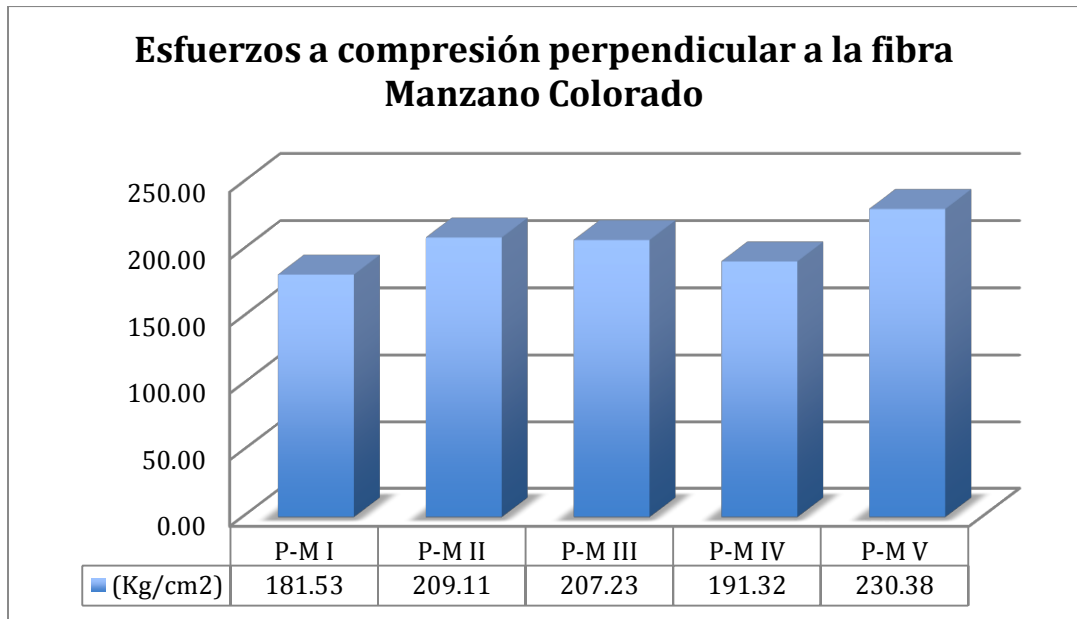


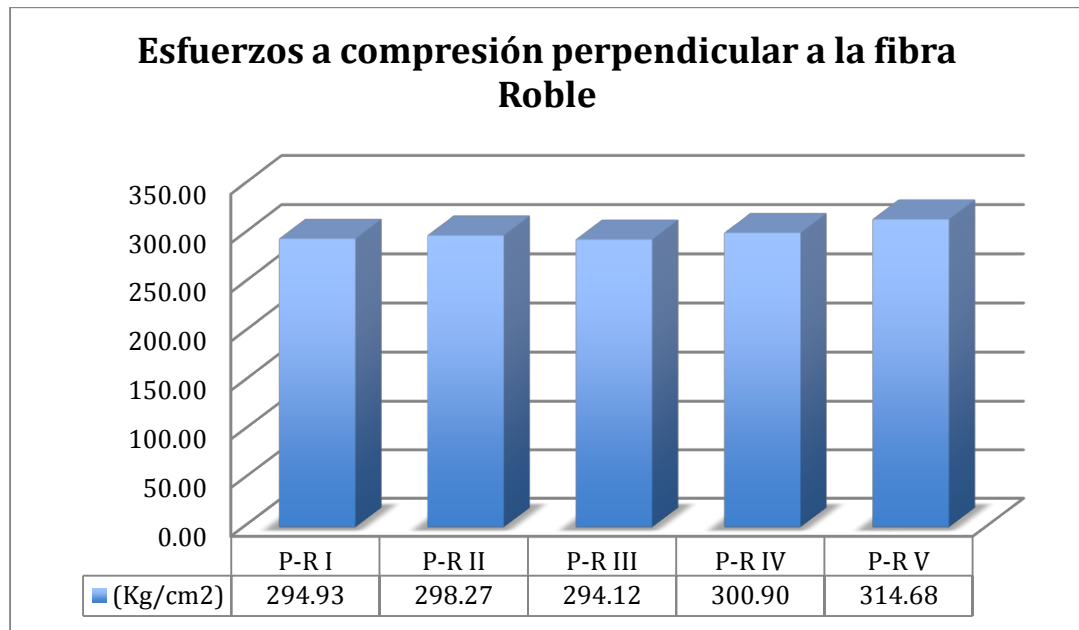
Ilustración 4-12 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra (Manzano Colorado)

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	1.60
F.D.C.=	1.00

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{1.60 * 1} * 181.53$$

$$\sigma_{adm} = 113.46 \text{ Kg/cm}^2$$



*Ilustración 4-13 Esfuerzos a compresión perpendicular a la fibra (Roble)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	1.60
F.D.C.=	1.00

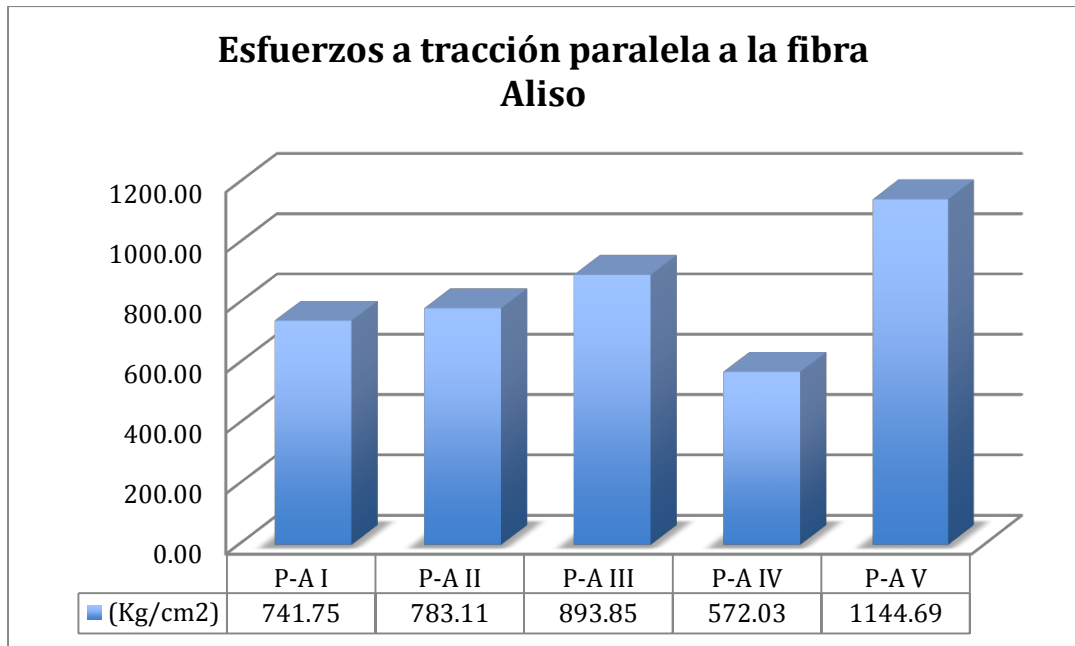
$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{1.60 * 1} * 294.12$$

$$\sigma_{adm} = 183.82 \text{ Kg/cm}^2$$

#### 4.7 Esfuerzo admisible a tracción paralela a la fibra

Basándonos en los esfuerzos últimos obtenidos anteriormente en esta presente investigación, proseguimos a determinar el esfuerzo mínimo para cada tipo de madera anteriormente elegida, el cual será afectado por los correspondientes factores de reducción.



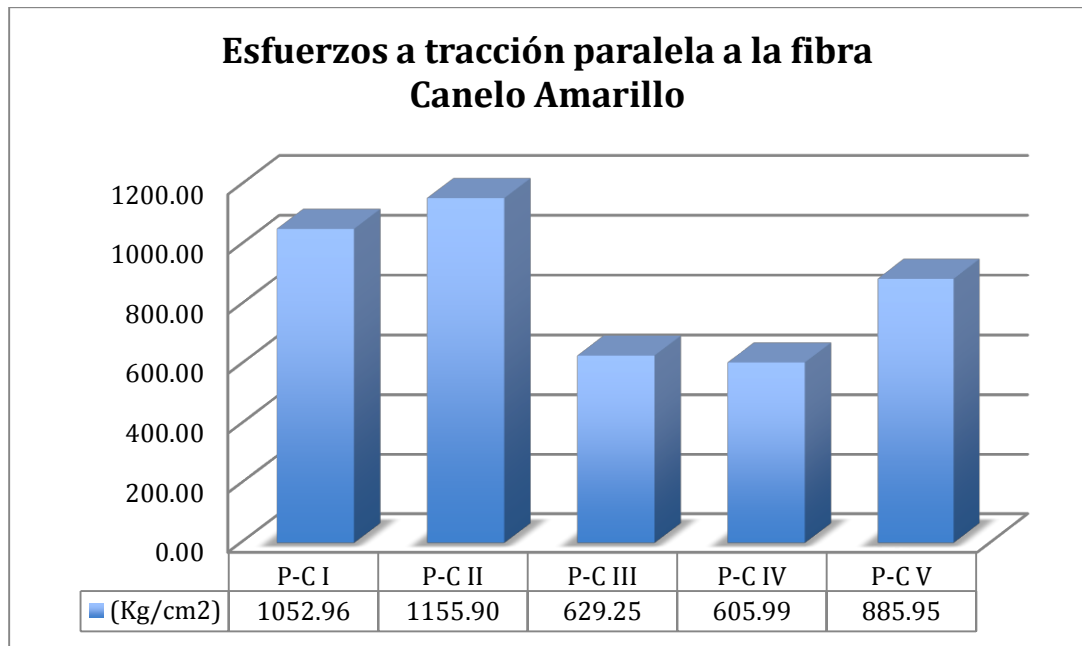
*Ilustración 4-14 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra (Aliso)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{2 * 1.15} * 572.03$$

$$\sigma_{adm} = 248.71 \text{ Kg/cm}^2$$



*Ilustración 4-15 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra (Canelo Amarillo)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C. * F.T.}{F.S. * F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{2 * 1.15} * 605.99$$

$$\sigma_{adm} = 263.47 \text{ Kg/cm}^2$$

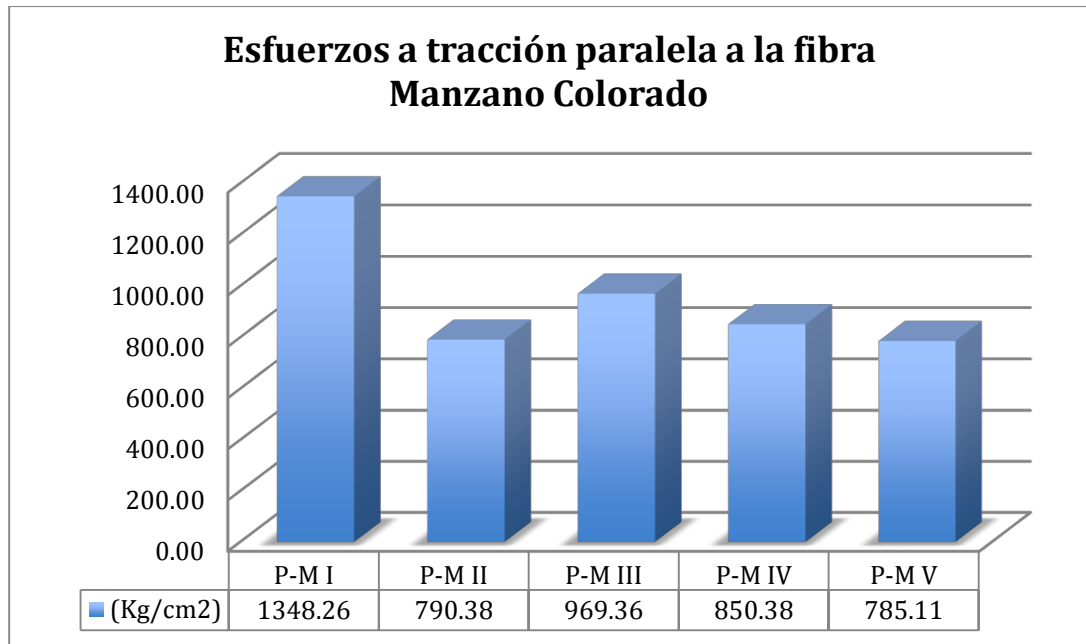


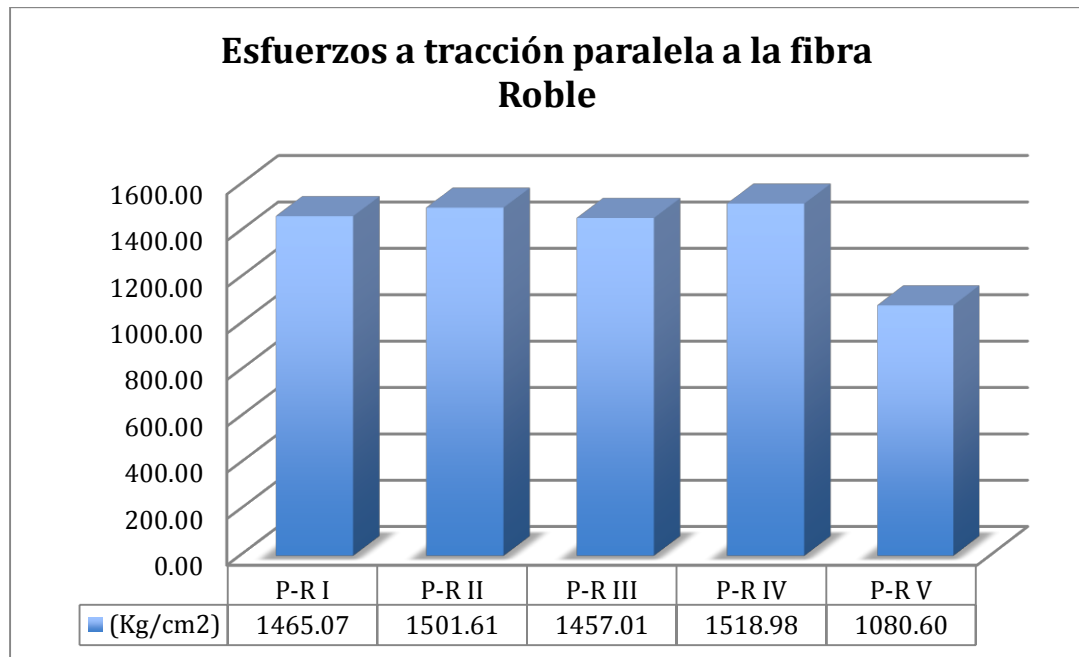
Ilustración 4-16 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra (Manzano Colorado)

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{2 * 1.15} * 785.11$$

$$\sigma_{adm} = 341.35 \text{ Kg/cm}^2$$



*Ilustración 4-17 Esfuerzos a tracción paralela a la fibra (Roble)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

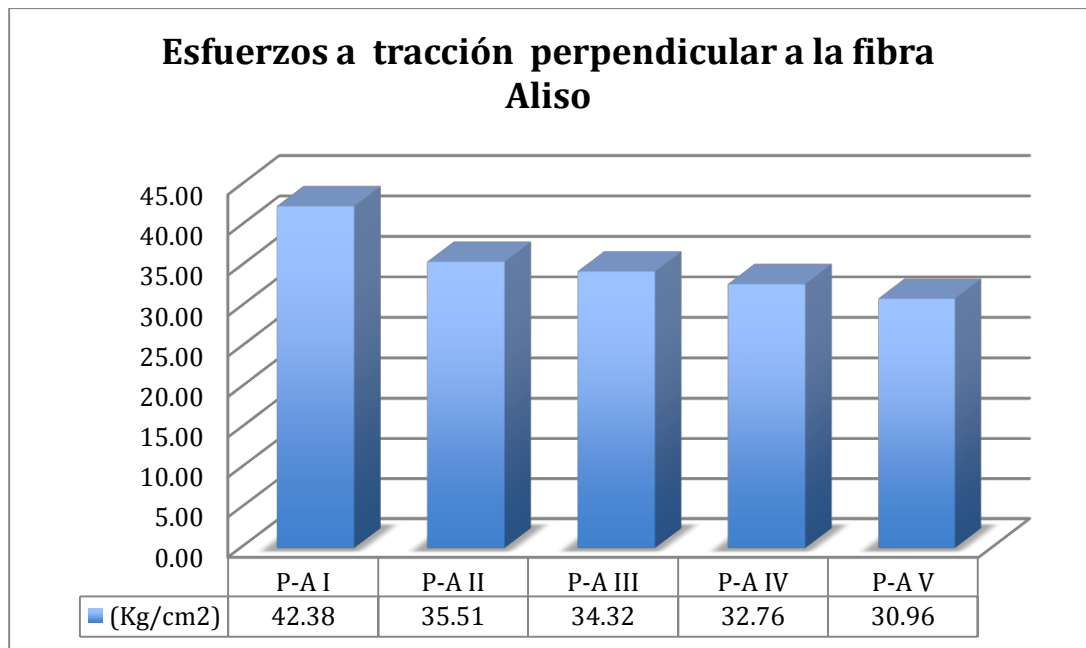
$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{2 * 1.15} * 1080.60$$

$$\sigma_{adm} = 469.83 \text{ Kg/cm}^2$$

#### 4.8 Esfuerzo admisible a tracción perpendicular a la fibra

Basándonos en los esfuerzos últimos obtenidos anteriormente en esta presente investigación, proseguimos a determinar el esfuerzo mínimo para cada tipo de madera anteriormente elegida, el cual será afectado por los correspondientes factores de reducción.





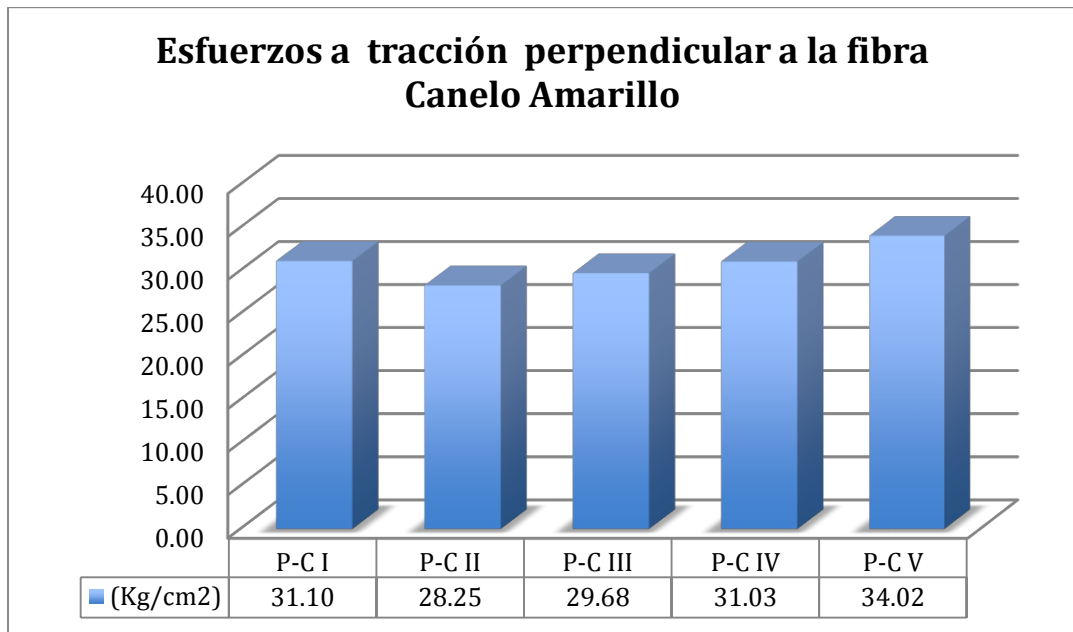
*Ilustración 4-18 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra (Aliso)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{2 * 1.15} * 30.96$$

$$\sigma_{adm} = 13.46 \text{ Kg/cm}^2$$



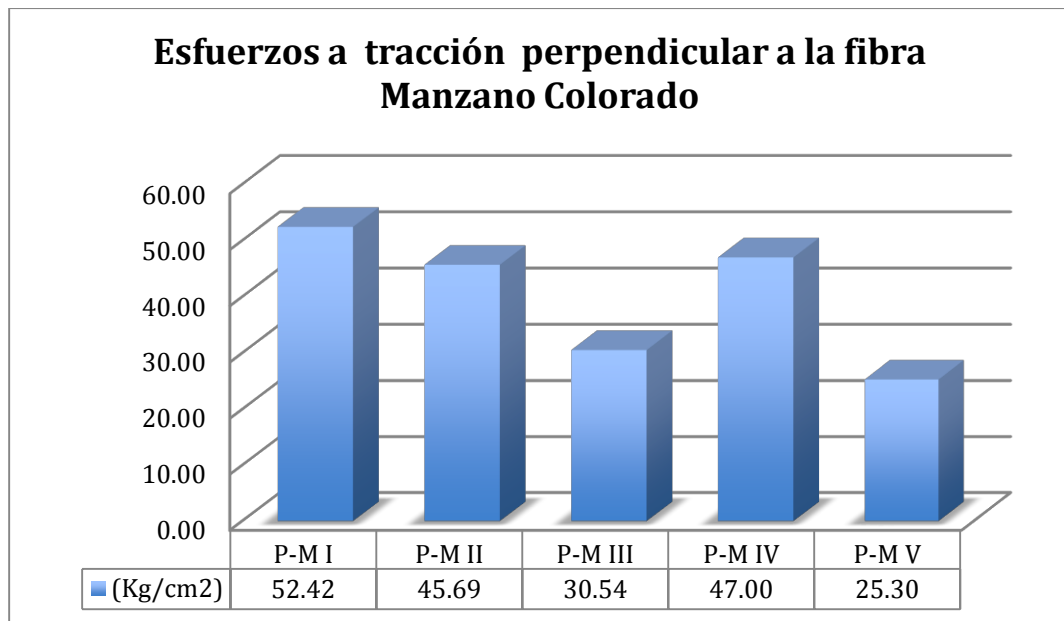
*Ilustración 4-19 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra (Canelo Amarillo)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{2 * 1.15} * 28.25$$

$$\sigma_{adm} = 12.28 \text{ Kg/cm}^2$$



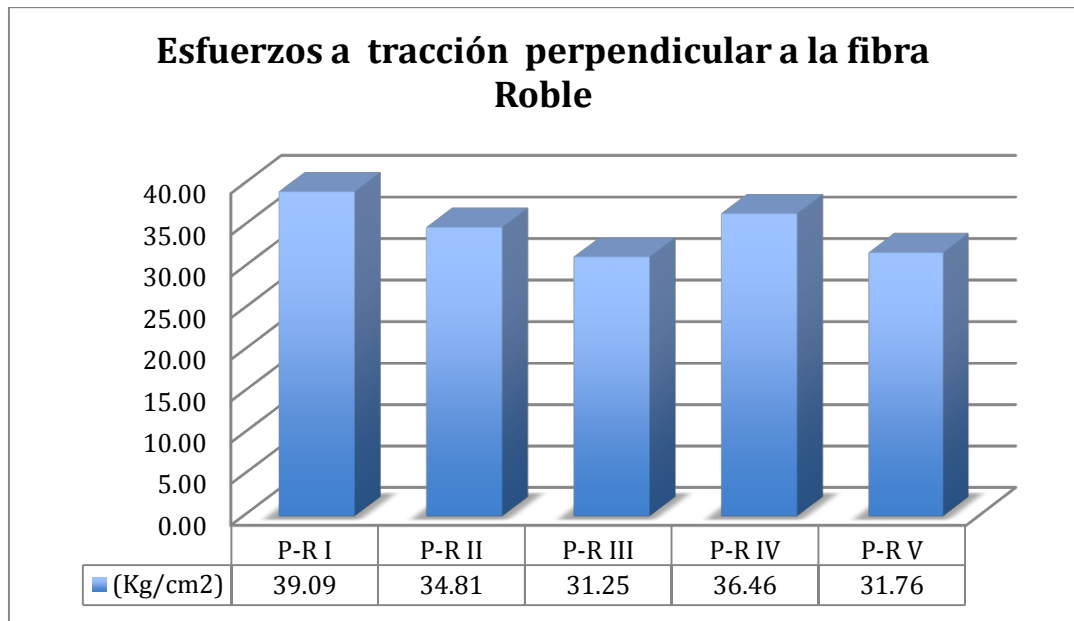
*Ilustración 4-20 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra (Manzano Colorado)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{2 * 1.15} * 25.30$$

$$\sigma_{adm} = 11 \text{ Kg/cm}^2$$



*Ilustración 4-21 Esfuerzos a tracción perpendicular a la fibra (Roble)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

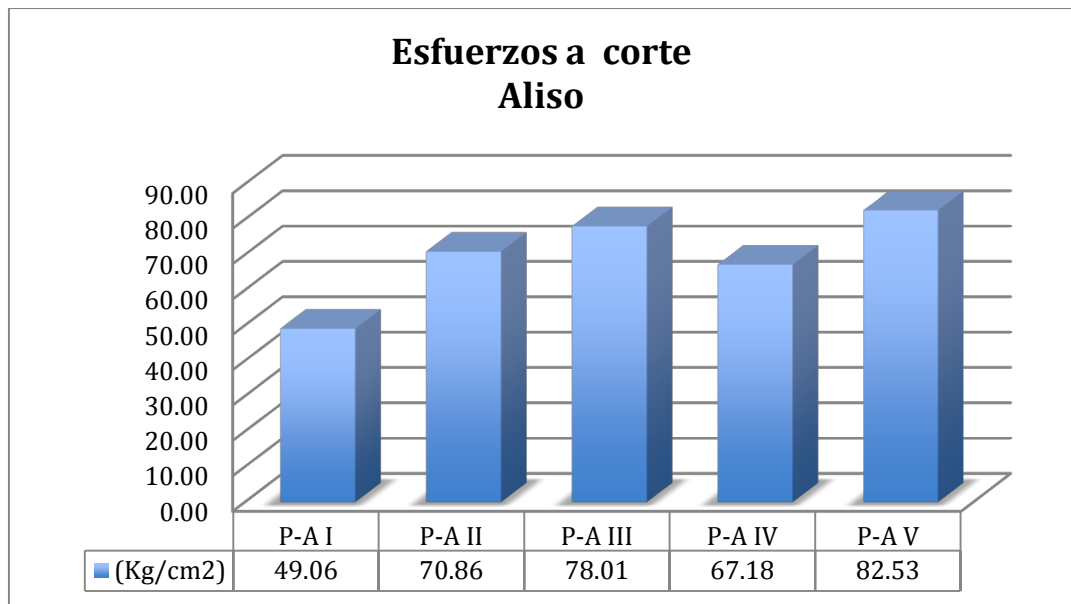
$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{2 * 1.15} * 31.25$$

$$\sigma_{adm} = 13.59 \text{ Kg/cm}^2$$

#### 4.9 Esfuerzo admisible a corte

Basándonos en los esfuerzos últimos obtenidos anteriormente en esta presente investigación, proseguimos a determinar el esfuerzo mínimo para cada tipo de madera anteriormente elegida, el cual será afectado por los correspondientes factores de reducción.



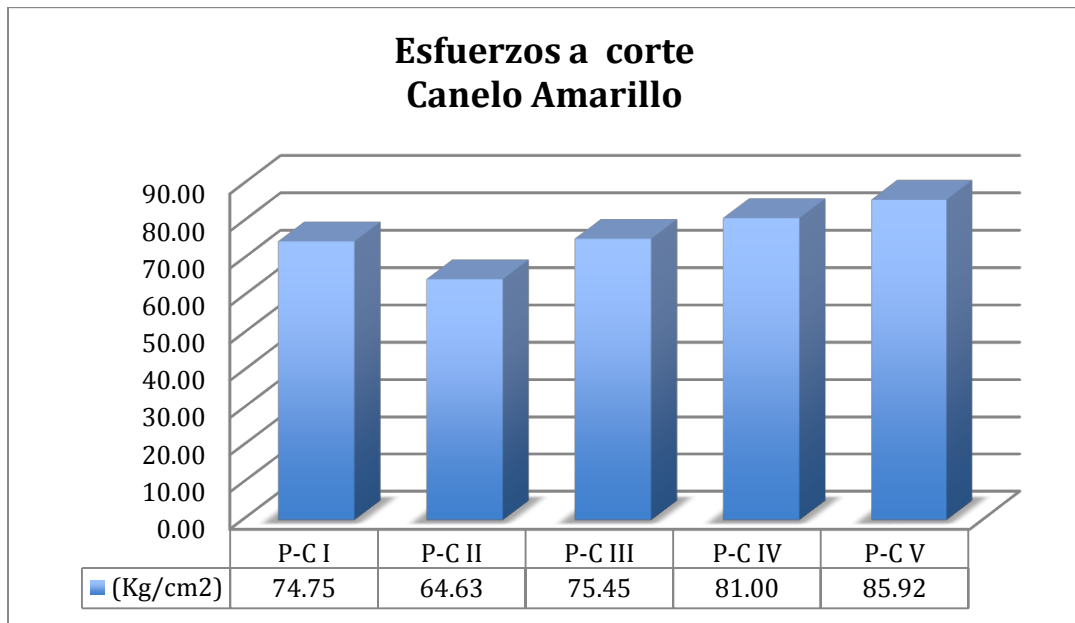
*Ilustración 4-22 Esfuerzos a corte (Aliso)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	4.00
F.D.C.=	1.00

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{4 * 1} * 49.06$$

$$\sigma_{adm} = 12.27 \text{ Kg/cm}^2$$



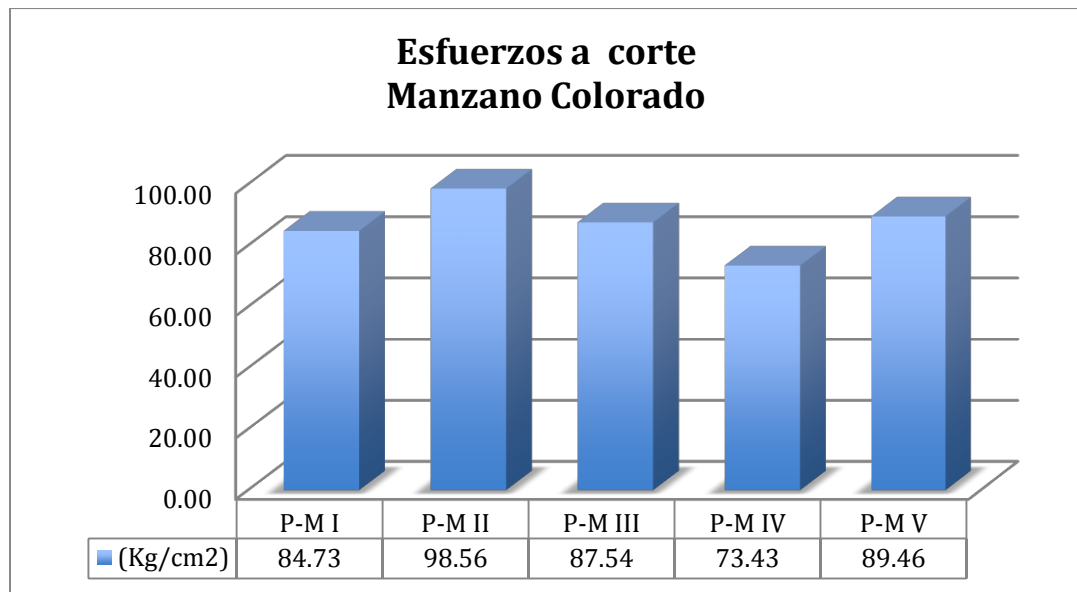
*Ilustración 4-23 Esfuerzos a corte (Canelo Amarillo)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	4.00
F.D.C.=	1.00

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{4 * 1} * 64.63$$

$$\sigma_{adm} = 16.16 \text{ Kg/cm}^2$$



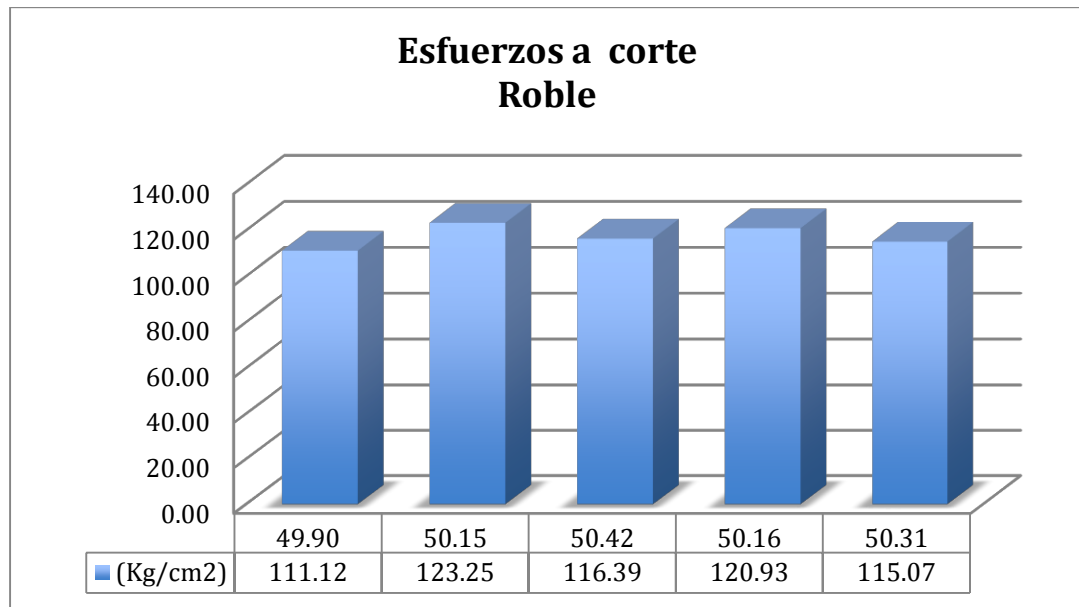
*Ilustración 4-24 Esfuerzos a corte (Manzano Colorado)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	4.00
F.D.C.=	1.00

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{4 * 1} * 73.43$$

$$\sigma_{adm} = 18.36 \text{ Kg/cm}^2$$



*Ilustración 4-25 Esfuerzos a corte (Roble)*

F.C.=	1.00
F.T.=	1.00
F.S.=	4.00
F.D.C.=	1.00

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

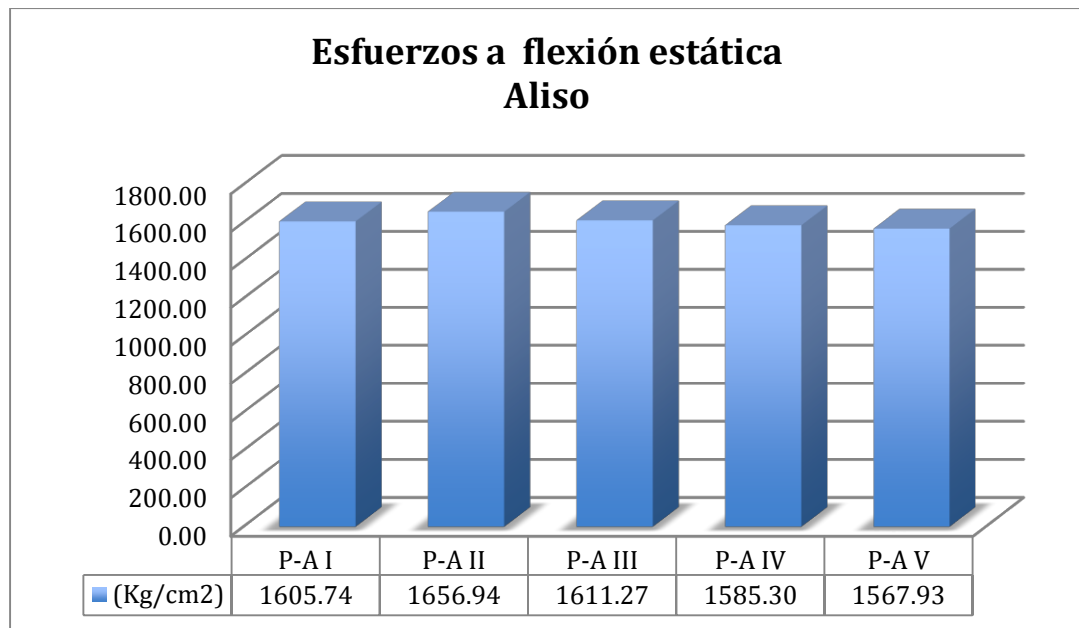
$$\sigma_{adm} = \frac{1 * 1}{4 * 1} * 111.12$$

$$\sigma_{adm} = 27.78 \text{ Kg/cm}^2$$

#### 4.10 Esfuerzo admisible a flexión estática

Basándonos en los esfuerzos últimos obtenidos anteriormente en esta presente investigación, proseguimos a determinar el esfuerzo mínimo para cada tipo de madera anteriormente elegida, el cual será afectado por los correspondientes factores de reducción.





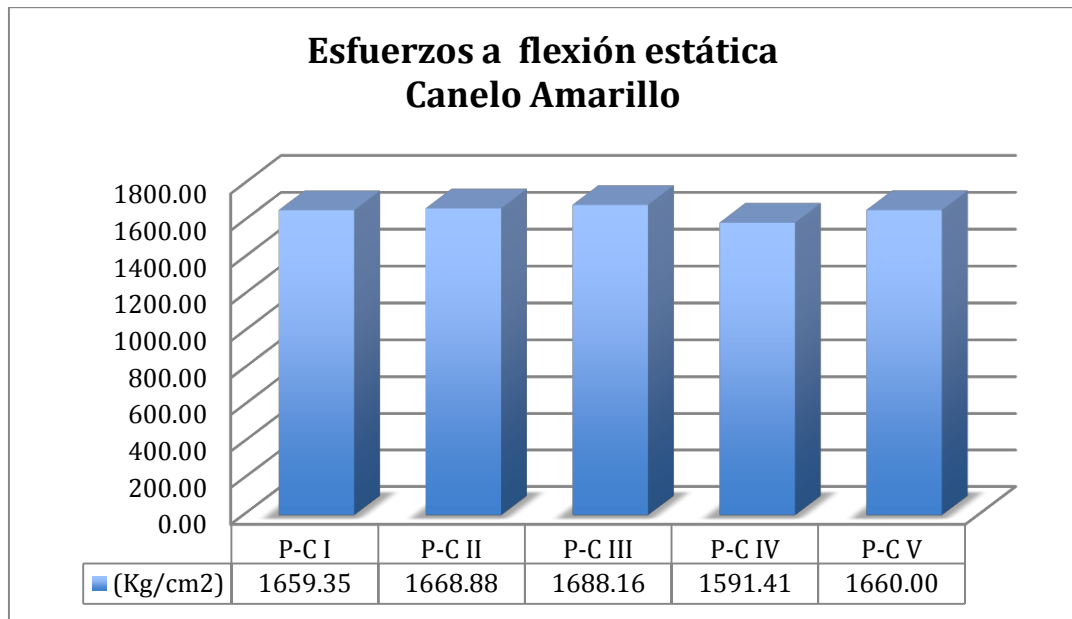
*Ilustración 4-26 Esfuerzos a flexión estática (Aliso)*

F.C.=	0.80
F.T.=	0.90
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{0.80 * 0.90}{2 * 1.15} * 1567.93$$

$$\sigma_{adm} = 490.83 \text{ Kg/cm}^2$$



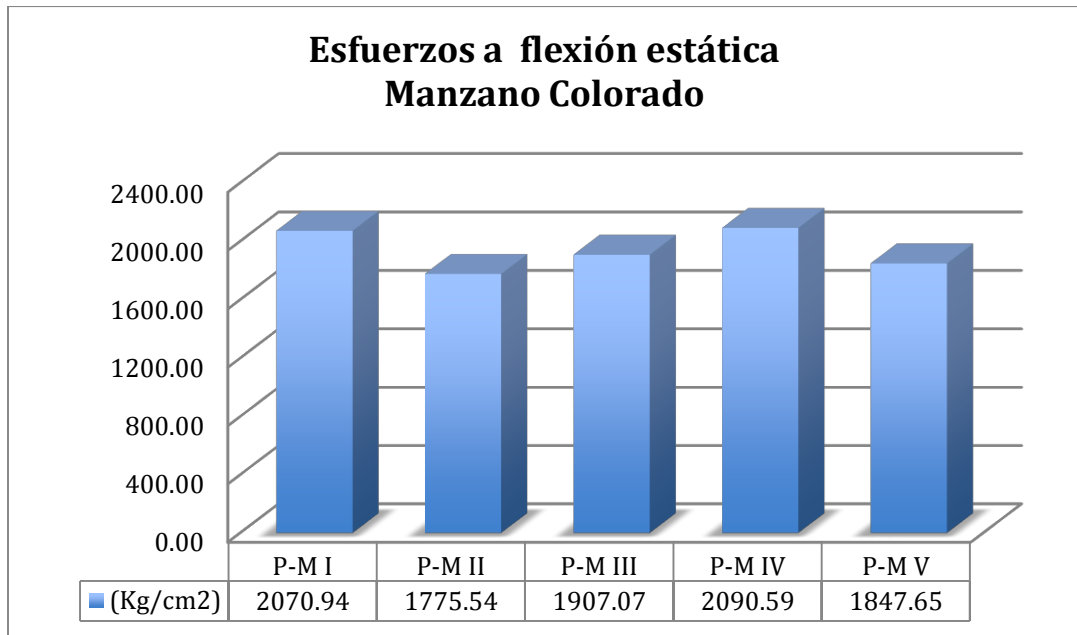
*Ilustración 4-27 Esfuerzos a flexión estática (Canelo Amarillo)*

F.C.=	0.80
F.T.=	0.90
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{0.80 * 0.90}{2 * 1.15} * 1591.41$$

$$\sigma_{adm} = 498.18 \text{ Kg/cm}^2$$



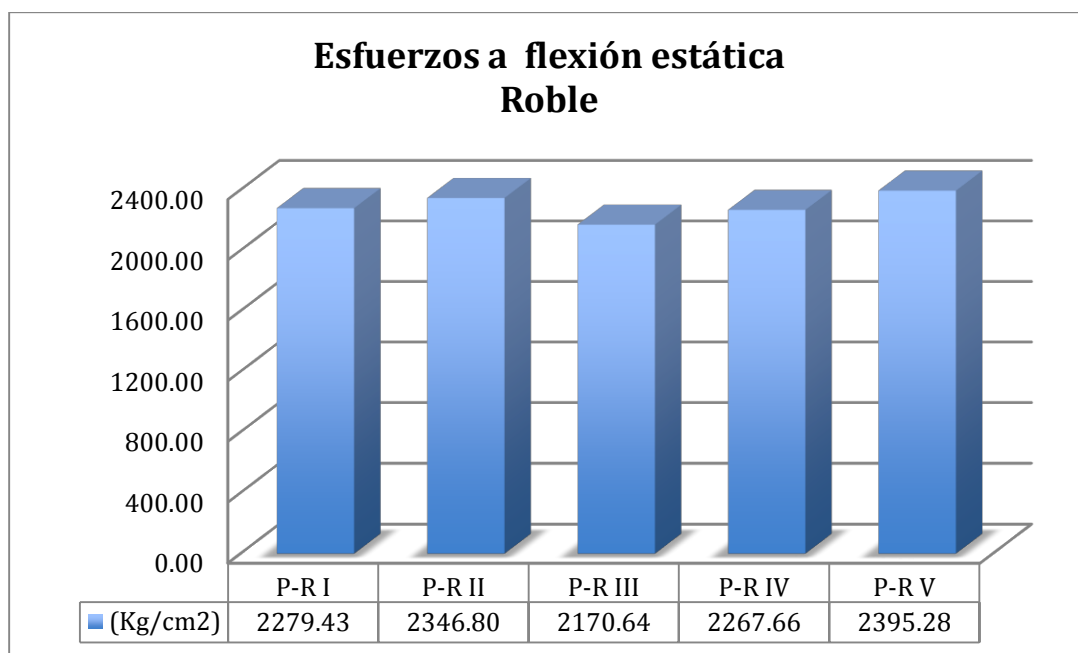
*Ilustración 4-28 Esfuerzos a flexión estática (Manzano Colorado)*

F.C.=	0.80
F.T.=	0.90
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{0.80 * 0.90}{2 * 1.15} * 1775.54$$

$$\sigma_{adm} = 555.82 \text{ Kg/cm}^2$$



*Ilustración 4-29 Esfuerzos a flexión estática (Roble)*

F.C.=	0.80
F.T.=	0.90
F.S.=	2.00
F.D.C.=	1.15

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma_u$$

$$\sigma_{adm} = \frac{0.80 * 0.90}{2 * 1.15} * 2170.64$$

$$\sigma_{adm} = 679.51 \text{ Kg/cm}^2$$

## TABLAS DE RESUMEN

Al realizar los cálculos necesarios, a continuación se presentara el resumen de los esfuerzos admisibles de las maderas navitas del Ecuador:

- Aliso
- Canelo amarillo
- Manzano Colorado
- Roble

<b>Compresión Paralela</b>				
<b>Tipo de esfuerzo</b>	<b>MADERA SECA</b>		<b>MADERA VERDE</b>	
	Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mínimo(Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Aliso</b>	181.21	209.99	63.42	56.53
<b>Canelo Amarillo</b>	181.83	193.96	54.99	57.10
<b>Manzano Colorado</b>	280.46	301.50	90.64	90.57
<b>Roble</b>	346.84	376.44	96.01	97.27

*Tabla 4-25 Resumen de esfuerzos admisibles a compresión paralela a la fibra*

<b>Compresión Perpendicular</b>				
<b>Tipo de esfuerzo</b>	<b>MADERA SECA</b>		<b>MADERA VERDE</b>	
	Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mínimo(Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Aliso</b>	43.88	57.16	20.79	26.75
<b>Canelo Amarillo</b>	61.18	67.13	28.16	31.24
<b>Manzano Colorado</b>	113.46	127.45	54.17	61.26
<b>Roble</b>	183.82	187.86	85.39	85.01

*Tabla 4-26 Resumen de esfuerzos admisibles a compresión perpendicular a la fibra*

<b>Tracción Paralela</b>				
<b>Tipo de esfuerzo</b>	<b>MADERA SECA</b>		<b>MADERA VERDE</b>	
	Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mínimo(Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Aliso</b>	248.71	359.60	112.02	158.19
<b>Canelo Amarillo</b>	263.47	376.53	121.36	173.20
<b>Manzano Colorado</b>	341.35	412.48	162.04	194.44
<b>Roble</b>	469.83	610.72	204.42	276.53

*Tabla 4-27 Resumen de esfuerzos admisibles a tracción paralela a la fibra*

<b>Tracción Perpendicular</b>				
<b>Tipo de esfuerzo</b>	<b>MADERA SECA</b>		<b>MADERA VERDE</b>	
	Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mínimo(Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Aliso</b>	13.46	15.30	5.79	6.64
<b>Canelo Amarillo</b>	12.28	13.40	5.62	6.02
<b>Manzano Colorado</b>	11.00	17.47	5.17	7.82
<b>Roble</b>	13.59	15.08	6.36	6.76

*Tabla 4-28 Resumen de esfuerzos admisibles a tracción perpendicular a la fibra*

<b>Corte</b>				
<b>Tipo de esfuerzo</b>	<b>MADERA SECA</b>		<b>MADERA VERDE</b>	
	Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mínimo(Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Aliso</b>	12.27	17.38	5.61	7.82
<b>Canelo Amarillo</b>	16.16	19.09	7.08	8.32
<b>Manzano Colorado</b>	18.36	21.69	8.61	9.98
<b>Roble</b>	27.78	29.34	13.81	14.29

*Tabla 4-29 Resumen de esfuerzos admisibles a corte*

<b>Flexión Estática</b>				
<b>Tipo de esfuerzo</b>	<b>MADERA SECA</b>		<b>MADERA VERDE</b>	
	Mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mínimo(Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Aliso</b>	490.83	502.57	145.88	146.15
<b>Canelo Amarillo</b>	498.18	517.64	135.70	142.66
<b>Manzano Colorado</b>	555.82	606.79	166.52	176.94
<b>Roble</b>	679.51	717.48	169.60	193.72

*Tabla 4-30 Resumen de esfuerzos admisibles a flexión estática*

Con los módulos de elasticidad se realizó el mismo análisis que se realizó con los esfuerzos, ya que la madera es un material ortotrópico, esa tiene módulos de elasticidad en dirección paralela y perpendicular a la fibra. Por lo tanto se realizara un promedio entre el módulo de elasticidad paralela a la fibra y el módulo de elasticidad perpendicular a la fibra.

En la siguiente tabla se detalla de manera resumida los módulos de elasticidad.

<b>ALISO</b>				
<b>Módulo de Elasticidad</b>	<b>MADERA SECA</b>		<b>MADERA VERDE</b>	
	Mínimo (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Mínimo (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>E Compresión</b>	82624.42	87504.96	55771.48	58278.30
<b>E Tracción</b>	150065.38	191736.57	94000.95	120142.14
<b>E Promedio</b>	116344.90	139620.76	74886.22	89210.22
<b>E Flexión</b>	86194.72	89477.43	56285.15	57748.73

Tabla 4-31 Resumen del módulo de elasticidad (Aliso)

<b>CANELO AMARILLO</b>				
<b>Módulo de Elasticidad</b>	<b>MADERA SECA</b>		<b>MADERA VERDE</b>	
	Mínimo (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Mínimo (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>E Compresión</b>	110702.61	114195.05	70716.83	73907.04
<b>E Tracción</b>	154389.77	208680.51	101063.55	133555.53
<b>E Promedio</b>	132546.19	161437.78	85890.19	103731.28
<b>E Flexión</b>	71697.40	84654.61	46001.05	53992.71

Tabla 4-32 Resumen del módulo de elasticidad (Canelo Amarillo)

<b>MANZANO COLORADO</b>				
<b>Módulo de Elasticidad</b>	<b>MADERA SECA</b>		<b>MADERA VERDE</b>	
	Mínimo (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Mínimo (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>E Compresión</b>	158985.98	178660.25	105185.12	116164.89
<b>E Tracción</b>	210790.80	225786.64	136508.12	146219.43
<b>E Promedio</b>	184888.39	202223.44	120846.62	131192.16
<b>E Flexión</b>	186338.14	195725.44	119442.75	126399.49

Tabla 4-33 Resumen del módulo de elasticidad (Manzano Colorado)

<b>ROBLE</b>				
<b>Módulo de Elasticidad</b>	<b>MADERA SECA</b>		<b>MADERA VERDE</b>	
	Mínimo (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Mínimo (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>E Compresión</b>	151077.50	159839.47	96447.87	100570.99
<b>E Tracción</b>	241064.48	294585.66	153172.37	186944.06
<b>E Promedio</b>	196070.99	227212.56	124810.12	143757.53
<b>E Flexión</b>	138485.66	143287.03	88021.49	90987.26

Tabla 4-34 Resumen del módulo de elasticidad (Roble)

Finalmente en las tablas siguientes se indicará una comparación entre los valores de los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad estimados en madera verde, y los que se muestran en el Manual de diseño de maderas del Grupo Andino.

Clasificación  PADT-REFORT	Nombre común	Esfuerzos admisibles en Kg/cm <sup>2</sup>			
		Compresión		Tracción	
		Paralela <i>a</i>	Perpendicular <i>r</i>	Paralela <i>a</i>	Perpendicular <i>r</i>
C	Sande	79.12	26.88	167.14	8.04
-	Seique	51.31	19.77	140.8	6.15
B	Moral fino	116.56	40.73	150.84	6.26
B	Pituca	73.89	23.59	82.98	5.38
B	Eucalipto Glóbulos	55.64	19.83	339.5	8.53
B	Eucalipto Grandis	45.93	16.81	179.52	9.03
C	Mascarey	81.11	33.33	192.77	7.82
B	Chanul	109.31	112.89	216.98	7.41
A	Guayacán Pechiche	105.81	70.13	472.07	9.84
B	Colorado	56.11	22.28	144.99	7.65
-	Caoba	101.26	33.97	177.53	6.08
C	Fernan Sánchez	63.14	23.59	139.5	5.21
-	Caña Guadua	132.65	-	363.57	-
-	Bambú gigante	427	-	413	-
C	Aliso	63.42	20.79	112.02	5.79
C	Colorado Manzano	54.99	28.16	121.36	5.62
B	Manzano Amarillo	90.64	54.17	162.04	5.17
B	Roble	96.01	85.39	204.42	6.36

°  PADT-REFORT	Esfuerzos admisibles en kg/cm <sup>2</sup>			
	Compresión		Tracción	
	Paralela	Perpendicular	Paralela	Perpendicular
A	145	40	145	-
B	110	28	105	-
C	80	15	75	-

Tabla 4-35 Comparación de resultados con PAT-REFORT y resultados de datos obtenidos de los estudios en ESPE



Clasificación	Nombre común	Esfuerzos admisibles en kg/cm <sup>2</sup>			
		Corte	Flexión	Emin	E prom
C	Sande	8.54	60.73	54732	70414
-	Seique	6.07	55.33	26304	27597
B	Moral fino	7.96	83.92	91035	93103
B	Pituca	6.28	78.27	83416	86866
B	Eucalipto Glóbulos	10.35	80.4	80867	113594
B	Eucalipto Grandis	5.46	51.66	49189	62154
C	Mascarey	11.65	122.46	70303	85578
B	Chanul	28.24	115.39	109278	130690
A	Guayacán Pechiche	13.24	152.81	86984	108919
B	Colorado	9.43	41.29	60350	69432
-	Caoba	6.65	85.89	84480	87594
C	Fernan Sánchez	5.63	105.09	79809	90090
-	Caña Guadua	13.27	112.25	101020	121429
-	Bambú gigante	-	47	190379	203680
C	Aliso	5.61	145.88	56285.15	57748.73
C	Colorado Manzano	7.08	135.70	46001.05	53992.71
B	Manzano Amarillo	8.61	166.52	119442.75	126399.49
B	Roble	13.81	169.60	88021.49	90987.26

Clasificación	Esfuerzos admisibles en kg/cm <sup>2</sup>			
	Corte	Flexión	Emin	E prom
A	15	210	95000	130000
B	12	150	75000	100000
C	8	100	55000	90000

Tabla 4-36 Comparación de resultados con PAT-REFORT y resultados de datos obtenidos de los estudios en ESPE

## **5 CAPITULO V: DISEÑO**

### **5.1 Antecedentes**

Al realizar los ensayos experimentales, explicados anteriormente obtuvimos los datos necesarios para continuar con el diseño estructural del convento, para el centro pastoral espíritu santo, a ubicarse en el camal metropolitano en la ciudad de Quito, y que ayudara a brindar un servicio a la población de sus alrededores.

En este capítulo se presenta el procedimiento completo para el calculo del diseño estructural del convento anteriormente mencionado. Se realizara una descripción geográfica de la ubicación de la estructura, los materiales a emplearse para el diseño, análisis de sus diferentes cargas, combinaciones , y para culminar se realizará detalladamente una descripción del proceso para el diseño estructural realizado con normativas ecuatorianas e internacionales, con esto nos aseguraremos que los cálculos efectuado cumplan normativas y estándares.

Para el análisis de la estructura se utilizara el programa computacional ETABS, es un sistema completamente integrado. Detrás de una interfaz intuitiva y simple, se encajan poderosos métodos numéricos, procedimientos de diseño y códigos internacionales de diseño, que funcionan juntos desde una base de datos comprensiva. Esta integración significa que usted crea solo un sistema de modelo de piso y sistemas de barras verticales y laterales para analizar y diseñar el edificio completo. Las convenciones de entrada y de salida usadas corresponden a la terminología común de edificaciones. Con

ETABS, los modelos se definen de forma lógica: piso por piso, viga por viga, columna por columna, tramo por tramo, muro por muro y no como corrientes de puntos y elementos no descritos como lo hacen la mayoría de los programas para fines generales. Así la definición estructural es simple, ordenada y significativa.

Además se ha utilizado, complementariamente, la plataforma de herramientas matemáticas de Microsoft Office, Excel 2011 para la plataforma iOS y Excel 2010 para la plataforma Windows. Este programa brinda una gran variedad de ventajas para la organización, cálculos numéricos y diseño de la estructura. De esta forma se ahorra tiempo, lo cual es fundamental al momento de ingresar datos, interpretar resultados y de esta manera obtener un diseño eficiente.

## **5.2 General**

### **5.2.1 Objeto**

En el presente capítulo se realizará el cálculo estructural en base a los resultados de laboratorio obtenidos de la madera que conforma la estructura de la edificación del convento, para el centro pastoral espíritu santo a ubicarse en el camal metropolitano en la ciudad de Quito

### **5.2.2 Descripción**

La estructura del convento está dispuesto de tal manera que los elementos estructurales son de madera. El convento posee 2 plantas cada una tiene 123.75 m<sup>2</sup>.

### **5.2.3 Ubicación**

La estructura estará ubicada en el camal metropolitano, al sur occidente de la ciudad de Quito.

## **5.3 Criterios generales de diseño**

### **5.3.1 Códigos y normas aplicables**

Para este En el Ecuador las normativas de vigentes para el diseño de estructuras y elementos en obras civiles son:

- CEC 2001 (Código Ecuatoriano de la Construcción).
- Manual de diseño para maderas del Grupo Andino.
- Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD 1993

### **5.3.2 Métodos de diseño**

Todos los elementos estructurales de madera serán diseñados para cargas de servicio con el MÉTODOS DE ESFUERZO ADMISIBLE.

#### **5.3.2.1 Requisitos de resistencia**

Los elementos estructurales deben diseñarse para que los esfuerzos producidos por las cargas de servicio, sean menores o iguales que los esfuerzos admisibles del material

## ESFUERZOS DE SERVICIO < ESFUERZOS ADMISIBLES

### 5.3.2.2 Requisitos de rigidez

Las deformaciones deben considerarse para las cargas de servicio tomando en cuenta las deformaciones permanentes producidas con el tiempo debido a cargas aplicadas de forma continua.

Las deformaciones de los elementos estructurales y de la estructura en conjunto deben ser menores a las deformaciones admisibles de los elementos.

### DEFORMACIONES < DEFOMACIONES ADMISIBLES

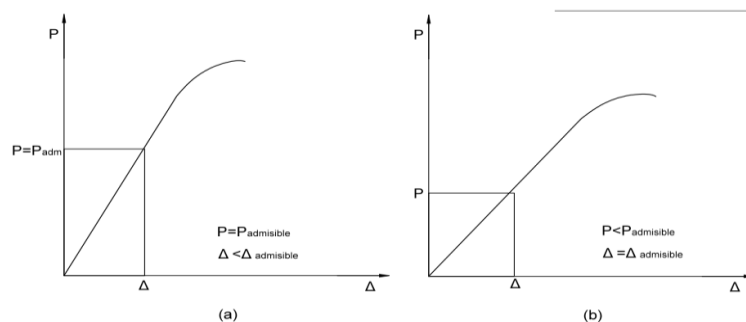


Ilustración 5-1 Diseño elástico, (a) controlado por resistencia, (b) controlado por rigidez

### 5.3.3 Tipos de carga

Para la estructura propuesta se deben analizar los siguientes tipos de cargas:

- Carga Muerta (D)
- Carga Viva o Sobrecarga (L)
- Carga Sísmica (E)
- Carga de Viento (W)

### **5.3.3.1 Carga muerta (D)**

Son aquellas que actúan durante toda la vida de la estructura. Incluyen todos los elementos estructurales como vigas, columnas, techos, losas. Y los elementos arquitectónicos como ventanas, acabados, divisiones permanentes, mampostería.

Para la presente investigación el peso propio viene dado por el peso de los materiales con los cuales se diseñara la edificación. Cabe mencionar que la carga muerta será calculado por el programa ETABS al definir los materiales para el diseño.

### **5.3.3.2 Carga viva (L)**

#### **5.3.3.2.1 Cargas de servicio**

Al ser una cubierta inclinada con teja de arcilla e inaccesible vamos a suponer que tiene una carga de servicio nula y para el primer piso de 200 Kg/m<sup>2</sup>.

#### **5.3.3.2.2 Carga de mantenimiento**

Debido a que la cubierta es sometida a mantenimiento continuo, se considera el peso promedio de una persona para que realice la limpieza y el mantenimiento, es decir 130 Kg/m<sup>2</sup>.

#### **5.3.3.2.3 Carga de ceniza o granizo**

Se considera solamente la más crítica de estas dos cargas, puesto que es improbable la superposición de ambas cargas. Por la ubicación del proyecto, el caso más crítico es el de la ceniza, por la cercanía de la

edificación al volcán Guagua Pichincha, pero al tratarse de una cubierta con pendiente del 30%, se considera solamente una capa de 0.7 a 0.8 cm de ceniza, la cual posee un peso específico de 2.47 T/m<sup>3</sup>.

### 5.3.3.3 Carga sísmica (e)

La carga sísmica se calculará mediante los modelos matemáticos y tablas del Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC), puesto que es la normativa vigente en la actualidad en el Ecuador.

#### 5.3.3.3.1 Cortante basal de diseño

El cortante basal se define como la fuerza total de diseño por cargas laterales, que actúan en la base de la estructura por efecto del sismo de diseño especificado por el Código Ecuatoriano de la Construcción. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e} * W$$

$$C = \frac{1.25 * S^s}{T}$$

Donde:

- V: Cortante Basal de diseño
- Z: Factor de peligrosidad sísmica de la zona
- I: Factor de importancia de la estructura
- C: No debe exceder el valor de Cm dado por las tablas del CEC que se presentan más adelante, ni debe ser menor a 0.5
- R: Factor de reducción de respuesta estructural

- $\Phi_p$ : Coeficientes de configuración estructural en planta
- $\Phi_e$ : Coeficientes de configuración estructural en elevación
- S: Coeficiente relacionado al tipo de suelo dado por el CEC
- T: Periodo de vibración de la estructura

### 5.3.3.2 Factor de peligrosidad sísmica

Depende exclusivamente de la zona en donde se construirá la estructura, representa la aceleración efectiva máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresado como aceleración de la gravedad. La Provincia de Pichincha se encuentra en una zona IV por lo tanto  $Z=0.4$

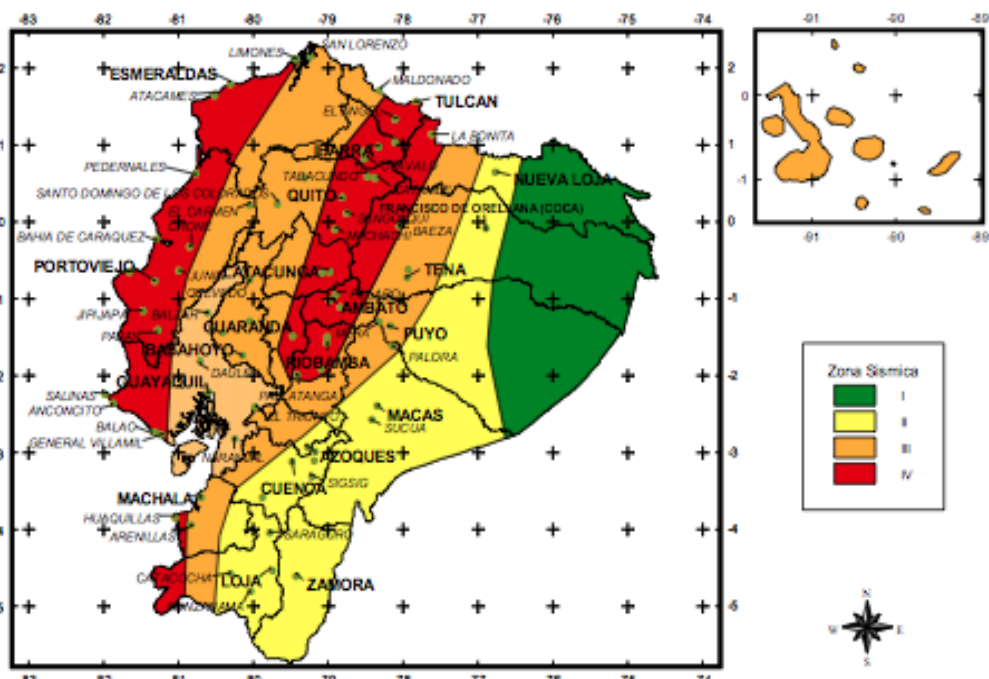


Ilustración 5-2 Zonas sísmicas del Ecuador



### 5.3.3.3.3 Factor de Importancia de la estructura (I)

Según el uso que se le dará a la estructura, para la presente investigación  $I=1$ . Puesto que se la debe calificar dentro de los tipos establecidos en el CEC que se presentan a continuación:

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor
1. Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación, transmisión y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1,3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1,0

*Tabla 5-1 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura*

### 5.3.3.3.4 Factor de reducción de respuesta estructural (R)

El factor de reducción por respuesta estructural varía en función del tipo de estructura. El factor R a utilizarse en el cálculo del cortante basal aplicado a una estructura de edificación, en cualquiera de las direcciones de cálculo adoptadas, se escogerá de la Tabla dada por el CEC, para el caso del convento se tiene que  $R=7$

<b>Sistema estructural</b>	<b>R</b>
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado(sistemas duales).	12
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente.	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado(sistemas duales).	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras.*	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras. *.	9
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio.	7
Estructuras de madera	7
Estructura de mampostería reforzada o confinada	5
Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada	3

Tabla 5-2 Valores del coeficiente de reducción por respuesta estructural

### 5.3.3.3.5 Coeficientes de configuración estructural en planta ( $\Phi_p$ )

El código ecuatoriano obliga a magnificar el cortante basal por las irregularidades estructurales en planta, a continuación se muestra la tabla con los coeficientes respectivos. Para la estructura, al no presentar irregularidades en planta se considera un  $\Phi_p=1$

<b>Tipo</b>	<b>Descripción de la irregularidad en planta</b>	<b><math>\Phi_p</math></b>
<b>1</b>	<b><i>Irregularidad torsional</i></b>	<b>0.9</b>
	Existe irregularidad por torsión cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1.2 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el apartado 4.4 del presente reglamento.	
<b>2</b>	<b><i>Retrososos excesivos en las esquinas</i></b>	<b>0.9</b>
	La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta retrososos excesivos en sus esquinas. Un retroceso en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del retroceso, son mayores que el 15 por ciento de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del retroceso.	
<b>3</b>	<b><i>Discontinuidades en el sistema de piso</i></b> La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entradas, retrososos o huecos, con áreas mayores al 50 % del área total del piso o con cambios en la rigidez efectiva del piso de más del 50 %, entre niveles consecutivos.	<b>0.9</b>
<b>4</b>	<b><i>Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales</i></b> Una estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.	<b>0.8</b>
<b>5</b>	<b><i>Ejes estructurales no paralelos</i></b> La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura	<b>0.9</b>

Tabla 5-3 Coeficientes de configuración en planta

### 5.3.3.3.6 Coeficientes de configuración estructural en elevación ( $\Phi_e$ )

De igual manera el código ecuatoriano obliga a magnificar el cortante basal por las irregularidades estructurales en elevación, a continuación se muestra la tabla con los coeficientes respectivos. Para la estructura, al no presentar irregularidades en elevación se considera un  $\Phi_e=1$

Tipo	Descripción de la irregularidad en altura	$\Phi_e$
1	<b><i>Piso flexible (irregularidad en rigidez)</i></b>	0.9
	La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70 por ciento de la rigidez lateral del piso superior, o menor que el 80 por ciento del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.	
2	<b><i>Irregularidad en la distribución de las masas</i></b>	0.9
	La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, exceptuando el caso de cubiertas que sean más livianas que el piso inferior.	
3	<b><i>Irregularidad geométrica</i></b>	0.9
	La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.	
4	<b><i>Desalineamientos de ejes verticales</i></b>	0.8
	La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Se exceptúa la aplicabilidad de este requisito cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos.	
5	<b><i>Piso débil Discontinuidad en la resistencia</i></b>	0.8
	La estructura se considera irregular cuando la resistencia del piso es menor del 70 por ciento de la del piso inmediatamente superior, (entendiéndose la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada)	

Tabla 5-4 Coeficientes de configuración en elevación

### 5.3.3.3.7 Perfiles de suelo, coeficientes (S y Cm)

De acuerdo a las condiciones geotécnicas del sitio, se clasifican los suelos de acuerdo a sus propiedades mecánicas. Según el CEC y estudios realizados en la zona de emplazamiento del convento el suelo de la zona es suelo intermedio S2, para el cual los coeficientes son: S=1.2 y Cm=3. A continuación se presenta la tabla del CEC para estos coeficientes.

Perfil tipo	Descripción	S	Cm
S1	Roca o suelo firme	1,0	2,5
S2	Suelos intermedios	1,2	3,0
S3	Suelos blandos y estrato profundo	1,5	2,8
S4	Condiciones especiales de suelo	2,0*	2,5

Tabla 5-5 Coeficientes de suelo S y Cm

### 5.3.3.3.8 Periodo de vibración de la estructura (T)

Es el periodo fundamental de vibración de cada estructura, para el cálculo se utilizará la forma simplificada recomendada por el CEC 2001, que resulta útil para el cálculo sísmico estático.

$$T = Ct * Hn^{3/4}$$

Donde:

- Hn: altura máxima de la edificación.
- Ct: 0.06 para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales y para otras estructuras.

Bajo estos parámetros el cálculo del cortante basal, que se ingresará al programa ETABS, para la estructura de la investigación se presenta a continuación:

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e} * W \quad C = \frac{1.25 * S^s}{T}$$

$$T = Ct * Hn^{3/4} \rightarrow T = 0.06 * 6.96^{3/4} \rightarrow T = \mathbf{0.26s}$$

$$C = \frac{1.25 * S^s}{T} \rightarrow C = \frac{1.25 * 1.2^{1.2}}{0.26} \rightarrow C = 5.98 > 3 \rightarrow C = \mathbf{3.00}$$

Con estos datos se calcula el cortante basal a ingresar en el ETABS:

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e} * W \rightarrow V = \frac{0.4 * 1 * 3}{7 * 1 * 1} * W$$

$$V = \mathbf{0.17 * W}$$

#### **5.3.3.4 Carga de viento (w)**

En el código ecuatoriano de la construcción vigente no dispone de una normativa propia para el diseño de carga por viento, por esta razón se debe utilizar normas internacionales, tratando de acoplarlas al Ecuador.

El viento es una carga ocasional que por su naturaleza son dinámicas pero para facilitar los cálculos del diseño utilizaremos aproximaciones con cargas estáticas.

La circulación del viento sobre la cubierta de la estructura, se traduce en presiones

- Positivas en la cara de barlovento
- Negativas en la cara de sotavento

Para determinar la presión que ejerce el viento en la estructura, a partir del código UBC 97, es necesario determinar parámetros particulares de la estructura, que se detallan a continuación:

##### **5.3.3.4.1 Grado de Exposición**

Determinado exclusivamente, por el entorno donde la estructura será edificada.

- Exposición B: Tiene suelo con edificaciones, bosques o irregularidades superficiales que cubre por lo menos el 20% del área a nivel del suelo, extendiéndose 1 milla (1.61 km) o más del lugar.
- Exposición C: Tiene suelo que es plano y generalmente abierto,

extendiéndose 0.5 milla (0.81 km) o más desde el lugar.

- Exposición D: Representa la exposición más crítica en áreas con velocidades del viento superiores a 129 km/h y tienen un terreno plano y sin obstrucciones frente a grandes cuerpos de agua de 1.61 km o mayores en ancho relativo a cualquier cuadrante del lugar de la edificación. La exposición D se extiende al interior desde la costa 400 m o a veces la altura de la edificación, lo que resulte mayor.

Para la estructura a diseñarse, después de realizar una inspección detallada concluimos que las condiciones geográficas del terreno y sus alrededores tiene un grado de Exposición B

#### **5.3.3.4.2 Presiones del viento de diseño**

Las presiones de diseño de viento para edificaciones y elementos de las mismas se deben determinar para cualquier altura de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$P = C_e * C_q * q_s * I_w$$

Donde:

- $C_e$ : Altura combinada, coeficiente de exposición y de factor de ráfaga (Tabla 5.6)
- $C_q$ : Coeficiente de presión para la estructura o la parte de la misma bajo consideración
- $I_w$ : factor de importancia de la edificación
- $q_s$ : presión del viento a la altura estándar de 10m (Tabla 5.7)

Método de diseño (Método de Fuerza Normal): Este método se utiliza para el diseño de estructuras rígidas con techos a dos aguas y puede utilizarse para cualquier tipo de estructura. En este método debe asumirse que la presión del viento actúa simultáneamente en dirección perpendicular a todas las superficies exteriores. Para las presiones en los techos y muros en sotavento, deben evaluarse  $C_e$  a la altura promedio del techo.

Altura sobre el nivel promedio del terreno colindante (h) en m	Exposición D	Exposición C	Exposición B
0 - 4.58	1.39	1.06	0.62
6.10	1.45	1.13	0.67
7.62	1.50	1.19	0.72
9.14	1.54	1.23	0.76
12.19	1.62	1.31	0.84
18.29	1.73	1.43	0.95
24.38	1.81	1.53	1.04
30.48	1.88	1.61	1.13
36.58	1.93	1.67	1.20
48.77	2.02	1.79	1.31
60.96	2.10	1.87	1.42
91.44	2.23	2.05	1.63
121.92	2.34	2.19	1.80

Tabla 5-6 Coeficiente  $C_e$ , combinado de altura, exposición y factor de ráfaga

Velocidad básica del viento (Km/h)	112.70	128.80	144.90	161.00	177.10	193.20	209.30
Presión del viento $q_s$ (Kg/m <sup>2</sup> )	61.49	80.03	101.50	124.93	151.28	180.07	211.30

Tabla 5-7 Presiones de remanso del viento ( $q_s$ ) a la altura estándar 10m.

En resumen los datos a ingresar en el programa ETABS son los siguientes:

- Grado de exposición B
- Coeficiente  $C_q$ : 0.3 a barlovento – 0.7 a sotavento

- $I_w$ : 1.0 (estructuras para destino estándar)
- Velocidad básica del viento: 100 km/h

#### 5.3.4 Combinaciones de carga

- A continuación se indicaran las combinaciones de carga que se usarán en el presente diseño, las mismas que son las propuestas por el CEC-2001. Se usará las cargas de servicio.
- $1.4 D + 1.7 L$
- $0.75 * (1.4 D + 1.7 L \pm 1.87 E)$
- $0.75 * (1.4 D + 1.7 L) \pm 1.43 W$
- $0.9 D \pm 1.43 E$
- $0.9 D \pm 1.43 W$
- $0.75 * (1.4 D + 1.7 L) \pm 1.43 E$

Donde:

- D: Carga muerta
- L: Carga viva
- E: Carga de sismo
- W: Carga de viento

Como se puede observar en las combinaciones propuestas, la carga de sismo y la carga de viento no actúan simultáneamente.

#### 5.3.5 Resistencia de diseño

Los elementos serán seleccionados dependiendo de las propiedades de la sección transversal, como su momento de inercia, estas propiedades



deberán ser lo suficientemente resistentes para que las cargas que sean aplicadas no excedan los valores permisibles, como:

- Cargas axiales
- Cargas de corte
- Cargas de momento flector

El valor admisible se lo obtendrá a partir de la relación entre el valor nominal de la fuerza y el factor de seguridad respectivo, como se indica a continuación:

Fuerza requerida  $\leq$  Fuerza permitida

$$\text{Fuerza permitida} = \frac{\text{Fuerza nominal}}{\text{Factor de seguridad}}$$

Este diseño también conocido como diseño elástico, porque su diseño se lo realizará en el rango elástico del material de cada elemento de la estructura.

#### **5.4 Análisis de la estructura con el programa ETABS**

El diseño estructural del convento espíritu santo, a ubicarse en el Cantón Quito, ha sido realizado por medio del programa ETABS. Se respetaron las siguientes hipótesis.

La modelación de la estructura se ha realizado de manera tridimensional, tomando en cuenta todas las características geométricas, y los diferentes estados de carga.

Todos los elementos estructurales fueron considerados empotrados.

Se tomó los elementos más esforzados para verificar que su capacidad este dentro de un rango aceptable, tomando en cuenta que se está trabajando con el criterio de cargas admisibles.

En el programa ETABS seguiremos un procedimiento determinado de definición de materiales, asignación de cargas y chequeo.

#### **5.4.1 Definición de materiales**

Es primordial que el primer paso dentro de la creación del modelo matemático sea definir los materiales con los cuales se va a trabajar. En nuestra estructura usaremos dos tipos de materiales:

Roble: Cuyas propiedades físico – mecánicas ya fueron determinadas en los capítulos anteriores del presente proyecto de grado.

Cubierta de triplex: las propiedades de esta se las determino según el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. La cubierta y sus propiedades se definirán como elemento área.

Otro aspecto muy importante en la creación del modelo matemático dentro del programa ETABS, es establecer las unidades correspondientes para el ingreso de datos.

#### 5.4.1.1 Módulo de elasticidad

Las características elásticas de un material se definen por el módulo de elasticidad, módulo de corte y el módulo de Poisson, estas características en la madera por ser un material ortotrópico cada una tiene tres propiedades, como se indica en la siguiente ilustración 5-3.

Desde el punto de vista de ingeniería se puede suponer que el material es homogéneo, hipótesis que se utiliza debido a que el diseño en madera se realiza dentro del rango elástico.

Al realizar los ensayos mecánicos de laboratorio a compresión paralela a la fibra y flexión estática obtuvimos los datos obtenidos podemos calcular los módulos de elasticidad. En el programa ETABS se coloca el módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra que corresponde al eje longitudinal y el módulo de elasticidad a flexión estática que corresponde a eje tangencial y radial. La madera como material no posee la misma rigidez en todas sus direcciones, por lo que las deflexiones obtenidas serán más reales en los elementos sometidos a flexión, criterio básico en su dimensionamiento. Se deberá trabajar con los mínimos valores que se obtuvieron de los módulos de elasticidad anteriormente mencionados, en el caso del Roble serán:

Módulo de elasticidad longitudinal mínimo:	964478.794 T/m <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad tangencial y radial:	880214.851 T/m <sup>2</sup>

*Ilustración 5-3 Definición de propiedades del material*

#### 5.4.1.2 Módulo de poisson

Es la relación que se da entre la deformación lateral y la deformación longitudinal. La madera presenta diferentes valores según las direcciones que sean consideradas; el rango de valores varía entre 0.325 a 0.40. Para nuestro análisis estructural hemos considerado un valor medio de 0.35.

#### 5.4.1.3 Coeficiente de expansión térmica

Con el constante cambio de temperatura podemos asegurar que la madera sufre cambio de sus dimensiones. Al ser esta un material anisotrópico posee valores diferentes de dilatación térmica en cada una de sus tres direcciones. Tanto la dilatación tangencial como la dilatación radial aumentan según la densidad de la madera, siendo así la dilatación radial menor a la dilatación tangencial. La dilatación longitudinal no depende de la densidad. Y los valores a ser utilizados son:

- Dilatación longitudinal:  $5.0 \times 10E-06 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$
- Dilatación tangencial:  $4.0 \times 10E-06 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$

- Dilatación radial:  $3.0 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$

#### 5.4.1.4 Módulo de corte

Este relaciona las deformaciones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen. Los valores reportados para esta propiedad varían entre  $1/16$  y  $1/25$  del módulo de elasticidad lineal. En el presente Proyecto de Grado se usó el  $1/25$  ya que es el más crítico.

#### 5.4.1.5 Masa y peso por unidad de volumen

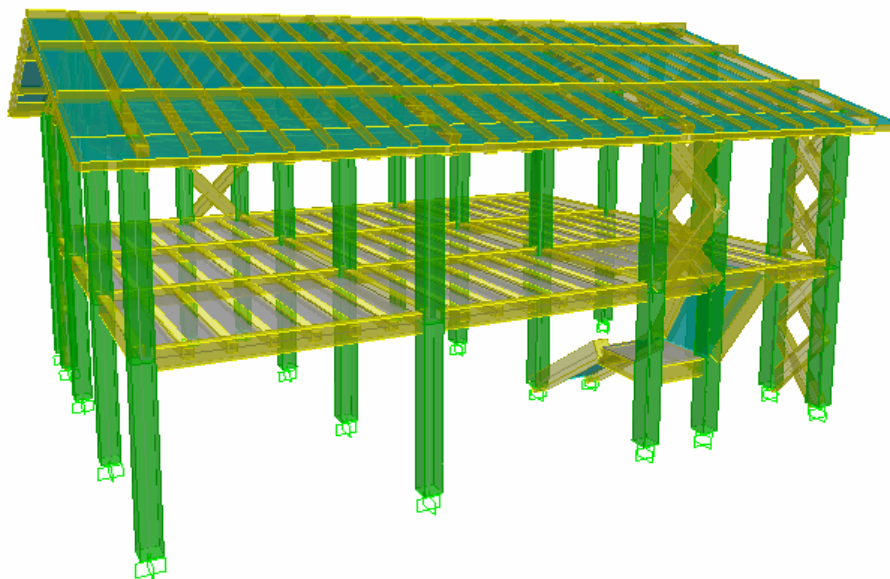
La masa se utilizará para calcular la inercia dinámica y para todas las cargas causadas por la aceleración del suelo, mientras que el peso será la fuerza que se aplicará como cualquier fuerza de carga. Las unidades de fuerza se especifica valores de peso, las unidades de masa (fuerza- $\text{sec}^2/\text{longitud}$ ) al especificar valores de masa.

En nuestro caso estos valores serán:

- Peso por unidad de volumen:  $0.97 \text{ g/cm}^3$
- Masa por unidad de volumen:  $0.97/9.81 = 0.0988 \text{ g*s}^2/\text{m}$

#### 5.4.2 Definición de geometría

El convento para el centro pastoral espíritu santo, a ubicarse en el camal metropolitano en el Cantón Quito, ha sido modelado directamente en el programa ETABS, tomando en cuenta las dimensiones, en planta y elevación, obtenidas en base a el plano arquitectónico.

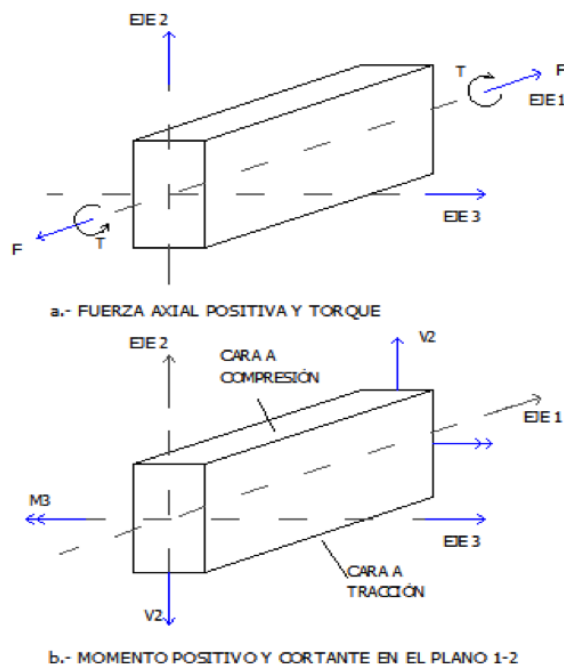


*Ilustración 5-4 Estructura del convento*

Los elementos estructurales han sido definidos inicialmente como elementos nulos, es decir que posteriormente se podrá modificar sus propiedades de sección respectivamente.

#### **5.4.3 Definición de elementos barra**

Los elementos lineales definirán como elementos barra, los que serán utilizados para modelar vigas, viguetas, columnas, columnetas. A cada una de estas secciones se les asignará las propiedades del material correspondiente al Roble, estos elementos tienen su propia convención de signos, indicada a continuación:



*Ilustración 5-5 Convención de signos en elementos frame.*

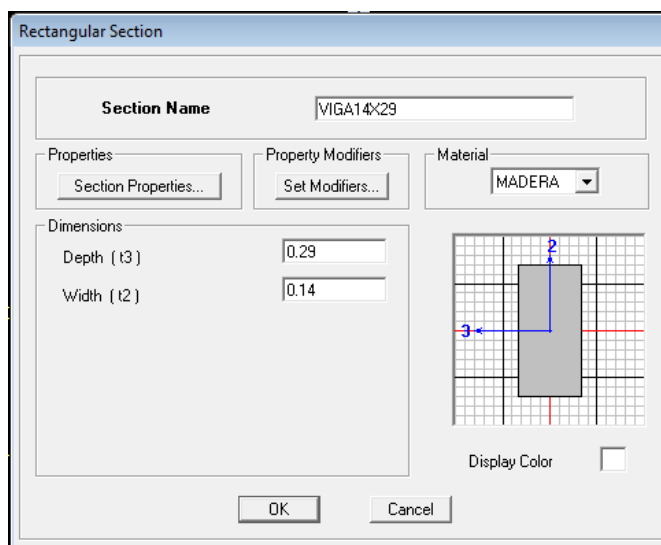
Los elementos considerados como frame se encuentran determinados espacialmente a través de ejes locales que determinan sus características y los planos en que puede ser cargado. Los tres ejes locales determinan el comportamiento de los elementos barra, y estos son:

- Eje local 1: Eje que se encuentra a lo largo del elemento barra
- Eje local 2: Eje perpendicular al eje longitudinal del elemento barra
- Eje local 3: Producto vectorial de los dos ejes locales antes mencionados

Las conexiones que unirán los elementos estructurales se las ha determinado de tal forma que no absorban momento, y por tanto se libera de la acción de los momentos alrededor del eje 3-3 a todos los elementos

lineales de la estructura. De este modo nos aseguramos de evitar la transferencia de los momentos de los elementos estructurales hacia los nudos.

Las características de la sección de madera serán definidas como se indica a continuación:



*Ilustración 5-6 Sección rectangular de una viga*

Como se puede observar en la anterior figura, se debe nombrar a cada elemento estructural, según el material correspondiente del elemento y a su vez las medidas del elemento.

#### **5.4.4 Definición de elementos área**

Para modelar la cubierta de tabla triplex y teja de barro, se define a la tabla triplex como una sección de área. La tabla triplex es un elemento área tipo Membrana, que transmite sus acciones por ancho tributario a sus elementos de apoyo. Las características se las indica a continuación:



*Ilustración 5-7 Área tipo membrana.*

#### **5.4.5 Definición de estados de carga**

Según lo establecido en las combinaciones de carga, se definieron los siguientes casos de cargas:

- Carga muerta: Definida por Programa
- Carga viva: 200 Kg/m<sup>2</sup> de servicio y para cubierta 130 Kg/m<sup>2</sup> de mantenimiento
- Carga sísmica: para X & Y, tanto para positivos y negativos, se usa un cortante basal de 0.17W.

**User Defined Seismic Loading**

**Direction and Eccentricity**

Dir  
 Dir + Eccen Y  
 Dir - Eccen Y  
 Y Dir  
 Y Dir + Eccen X  
 Y Dir - Eccen X

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

**Factors**

Base Shear Coefficient, C

Building Height Exp., K

**Story Range**

Top Story

Bottom Story

*Ilustración 5-8 Coeficientes de sismo.*

En la figura podemos observar las condiciones para el estado de carga de SISMO X, en el cual se debe determinar la excentricidad en la dirección Y positiva, el porcentaje de incertidumbre de la excentricidad accidental (5%) y el cortante basal.

Carga de viento: En base al Código UBC-97, se ha definido las cargas de viento a ser aplicadas por áreas, en este caso se trabajo con una velocidad de 100 km/h (70 mph). Se las define en las direcciones X & Y, y al igual que el sismo tanto positivas como negativas.

**UBC 97 Wind Loading**

**Exposure and Pressure Coefficients**

Exposure from Extents of Rigid Diaphragms  
 Exposure from Area Objects

**Wind Coefficients**

Wind Speed (mph)

Exposure Type

Importance Factor

**Wind Exposure Parameters**

Wind Direction Angle

Windward Coeff, Cq

Leeward Coeff, Cq

**Exposure Height**

Top Story

Bottom Story

Include Parapet  
Parapet Height

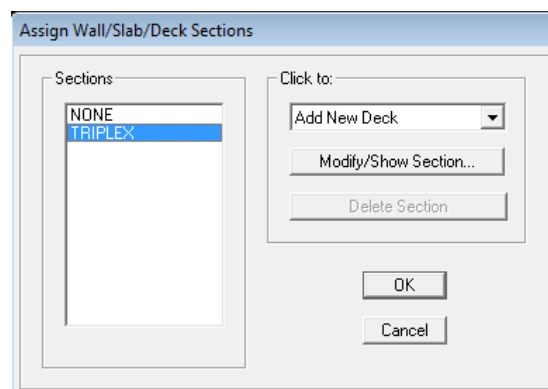
*Ilustración 5-9 Coeficientes de acuerdo al UBC-97*

En la figura anterior se indica las condiciones del estado de carga de viento. Aquí se ingresa la velocidad del viento en mph, el grado de exposición de la estructura para nuestro caso B y el factor de importancia. Los coeficientes de presión ( $C_p$ ) de acuerdo a las condiciones en barlovento y sotavento se los ingresara al momento de asignar las cargas de viento sobre las áreas respectivamente.

#### 5.4.6 Asignación de secciones

Según la geometría ya definida y las secciones de vigas, viguetas, columnas y correas, se ha definido cada uno de los elementos estructurales. Seleccionando el elemento requerido y asignando la propiedad correspondiente se debe establecer para cada elemento. Igual procedimiento se aplicara a las áreas nulas, asignando el área TRIPLEX.

De tal manera que cada elemento estructural tenga sus características correspondientes, lo que es fundamental para la asignación de cargas.

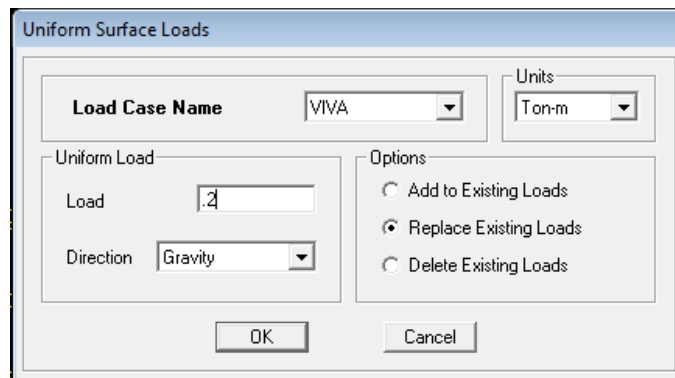


*Ilustración 5-10 Asignación de membrana*

#### 5.4.7 Asignación de cargas

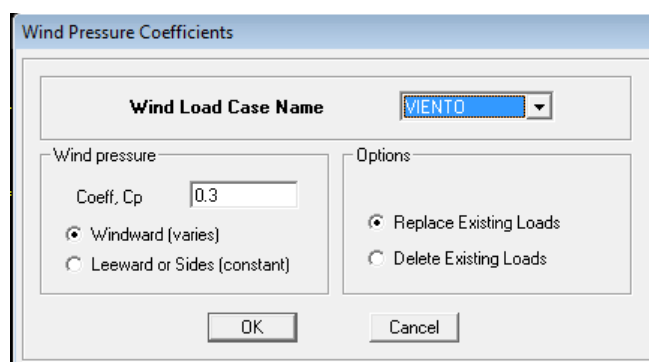
Carga muerta: En la carga muerta se consideró el peso de las tejas de arcilla y de las tiras de madera para la colocación de las mismas. El peso de la tabla triplex será considerado en el peso propio por el programa ETABS.

Carga viva y de ceniza: Esta carga es asignada directamente sobre la cubierta de la estructura.



*Ilustración 5-11 Asignación carga viva*

Carga de viento: Estas cargas serán asignadas sobre la cubierta de acuerdo a los requerimientos de barlovento y sotavento, cada uno con sus coeficientes respectivos.



*Ilustración 5-12 Asignación carga de viento sobre áreas.*

Carga sísmica: de acuerdo con la distribución de masas que el programa ETABS realiza, se aplicarán las cargas sísmicas estáticas y dinámicas.

## 5.5 Diseño estructural

### 5.5.1 Vigas y correas

#### 5.5.1.1 Flexión

Los esfuerzos de compresión o tracción producidos por flexión, no deben exceder el esfuerzo admisible, para el grupo de madera especificado.

Con las hipótesis mencionadas anteriormente, el máximo esfuerzo normal se produce en la fibra más alejada del plano neutro. Para elementos cargados en la dirección de uno de los ejes principales de la sección.

$$\sigma_m = \frac{M * c}{I} = \frac{M}{Z} < f_m$$

Donde:

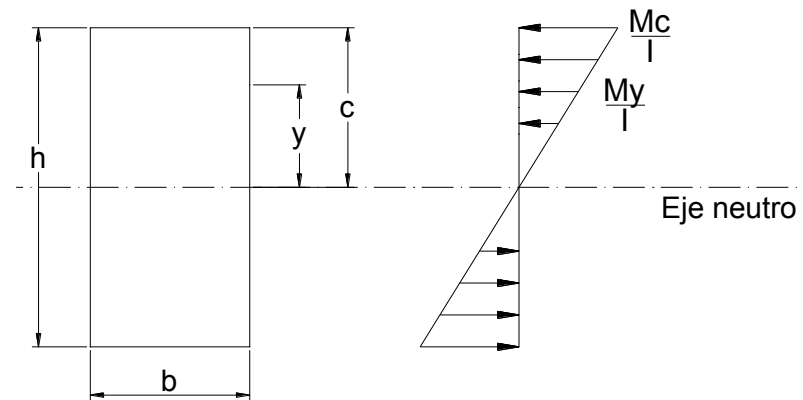
- M: Momento aplicado
- I: Momento de inercia de la sección transversal con relación al eje alrededor del cual se produce la flexión.
- c: Distancia del plano neutro a la fibra más alejada
- Z: Módulo de sección

$$I = \frac{b * h^3}{12}; \quad c = \frac{h}{2}; \quad Z = \frac{b * h^2}{6}$$

$$\sigma_m = \frac{6 * M}{b * h^2} < f_m$$

Donde:

- b: base de la sección transversal
- h: altura de la sección transversal



*Ilustración 5-13 Distribución de esfuerzos normales producidos por flexión*

### 5.5.1.2 Corte

Los esfuerzos cortantes no deben superar el esfuerzo máximo admisible para corte paralelo a las fibras. La resistencia al corte perpendicular al grano es mucho mayor y por lo tanto no requiere verificación alguna.

El esfuerzo de corte en una sección transversal de un elemento sometido a flexión y a una cierta distancia del eje neutro se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{V * S}{b * I}$$

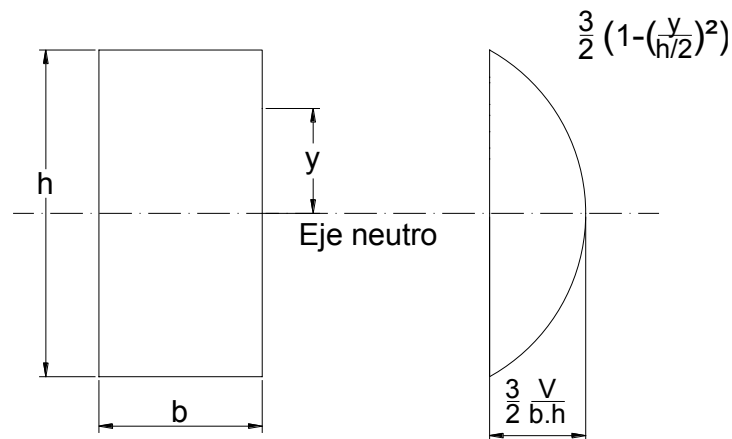
Donde:

- V: Fuerza cortante de la sección
- S: Momento estático de la parte de la sección transversal por encima de las fibras para las que  $\tau$  se está determinando

- b: Ancho de la sección a la altura de estas fibras
- I: Momento de inercia de la sección

Si b es constante el máximo esfuerzo de corte ocurre en el plano neutro. Para una viga de sección rectangular el máximo esfuerzo de corte resulta:

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{V}{b * h} < f_v$$



*Ilustración 5-14 Distribución de esfuerzos de corte en una sección rectangular*

## 5.5.2 Columnas

### 5.5.2.1 Longitud efectiva

El diseño de elementos sometidos a compresión o flexo – compresión deben hacerse tomando en cuenta la longitud efectiva  $L_{ef}$ . La cual es la longitud teórica de una columna equivalente con articulaciones en sus extremos. Esta longitud de la columna doblemente articulada es la que interviene en la determinación de la carga máxima de pandeo que puede soportar una columna. La longitud efectiva se obtiene multiplicando la longitud

no arriostrada,  $L$ , por un factor de longitud efectiva,  $K$ , que considera las restricciones o el grado de empotramiento que sus apoyos extremos le proporcionan.

$$L_{ef} = K * L$$

Es recomendable que en ningún caso se tome una longitud efectiva menor a la longitud real no arriostrada.

En la siguiente tabla se presentan algunos casos que se pueden presentar en columnas de una estructura.

CONDICIÓN DE APOYO	K	Lef
Articulado en ambos extremos	1	L
Empotrado en un extremo (prevención del desplazamiento y rotación) y el otro impedido de rotar pero libre de desplazarse	1.2	1.2*L
Empotrado en un extremo y el otro parcialmente impedido de rotar pero libre de desplazarse	1.5	1.5*L
Empotrado en un extremo y libre en el otro	2	2*L
Articulado en un extremo y el otro impedido de rotar, pero libre de desplazarse	2	2*L
Articulado en un extremo y libre en el otro	$\alpha$	$\alpha$

*Tabla 5-8 Coeficiente K para cálculo de Lef en columnas*

Para una sección rectangular, el radio de giro mínimo es directamente proporcional a la dimensión menor:

$$i = \frac{d}{\sqrt{12}}$$

Como medida de esbeltez se adopta la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{L_{ef}}{d}$$

Donde:



- d: es la dimensión de la sección transversal en la dirección considerada.

### 5.5.2.2 Clasificación de columnas

Las columnas se clasifican en función de su esbeltez:

- Columnas cortas  $\lambda < 10$
- Columnas intermedias  $10 < \lambda < Ck$   $Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$
- Columnas largas  $Ck < \lambda < 50$

### 5.5.2.3 Cargas admisibles en elementos a compresión

Los elementos sometidos a compresión axial pueden ser diseñados sin considerar una excentricidad mínima, si se utilizan las siguientes expresiones:

#### 5.5.2.3.1 Columnas cortas

Las columnas cortas ( $\lambda < 10$ ) fallan por compresión o aplastamiento. Su carga admisible puede calcularse con la siguiente expresión:

$$N_{adm} = f_c * A$$

Donde:

- A: Area de la sección transversal
- $f_c$ : Esfuerzo máximo admisible de compresión paralela a las fibras
- $N_{adm}$ : Carga axial máxima admisible

### 5.5.2.3.2 Columnas intermedias

Las columnas intermedias ( $10 < \lambda < Ck$ ) fallan por una combinación de aplastamiento e inestabilidad lateral. Su carga admisible puede estimarse como:

$$N_{adm} = f_c * A * \left[ 1 - \frac{1}{3} * \left( \frac{\lambda}{Ck} \right)^4 \right]$$

Donde:

- $\lambda$ : Relación de esbeltez (considerar solo la mayor)
- $Ck$ :  $0.7025 * \sqrt{\frac{E}{f_c}}$ ; para secciones rectangulares
- $E$ : Módulo de elasticidad

### 5.5.2.3.3 Columnas largas

Las columnas largas ( $Ck < \lambda < 50$ ) fallan por inestabilidad lateral. Su carga admisible puede considerarse, con una adecuada seguridad al pandeo, la carga crítica  $N_{cr}$ , que según la teoría de Euler se tiene:

$$N_{adm} = 0.329 * \frac{E * A}{\lambda^2}$$

### 5.5.2.4 Elementos sometidos a flexocompresión

Los elementos deben diseñarse para satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{k_m * M}{Z * f_m} < 1$$

Donde:

- $f_m$ : Esfuerzo admisible en flexión
- $M$ : Momento flector máximo en el elemento

- Z: Módulo de sección transversal respecto al eje que se produce flexión
- Nadm: carga axial admisible calculada.
- km: Factor de magnificación de momentos debido a carga axial

$$km = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{N}{Ncr}}$$

- N: Carga axial aplicada
- Ncr: Carga crítica de Euler para pandeo en la dirección de los momentos

$$Ncr = \frac{\pi^2 * E * I}{Lef^2}$$

#### 5.5.2.5 Elementos sometidos a flexotracción

Para estos elementos, el diseño debe satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{N}{A * ft} + \frac{M}{Z * fm} < 1$$

Donde:

- M: Momento flector máximo en el elemento
- N: Carga de tracción axial aplicada
- A: Área de la sección transversal
- ft: Esfuerzo admisible a tracción
- Z: Módulo de sección respecto al eje alrededor del que existe flexión.

### 5.5.3 Cimentación

La cimentación para la estructura del convento, será diseñado de acuerdo a las características del suelo, y las esfuerzos transferidas desde la estructura a la cimentación

A falta de un estudio de suelos sobre el lugar de construcción de la estructura, las características el suelo se han tomado de estructuras de la Arquidiócesis de Quito que se encuentran junto a al sitio donde se va a construir, se han definido las siguientes características del suelo:

- Tipo de suelo: Limo-arcilloso
- Capacidad portante ( $q_a$ ): 8.00 T/m<sup>2</sup>
- Nivel de cimentación: -1.10 m

Según estas características se recomienda una reposición de suelo de 0.50 m, por debajo del nivel de cimentación, con esto se asegura mayor seguridad en el diseño. Se recomienda un mejoramiento de Sub Base Clase II compactada al 95% del proctor modificado. Tomando en cuenta estas características, y las esfuerzos que transmite la estructura, se optó por una cimentación de plintos aislados, unidos entre sí por medio de cadenas de amarre.

#### 5.5.3.1 Criterios de diseño de plintos aislados

Se los utiliza como soporte en las columnas, esto hace que se constituya un elemento integrador. Las zapatas deberán tener un peralte mínimo de 30 cm para estructuras livianas, con el fin de poder brindar una rigidez mínima a flexión. Los criterios de diseño son:

- Los esfuerzos en el suelo no deben sobrepasar los esfuerzos admisibles bajo condiciones de carga sin mayoración.
- Si se supone que el suelo tiene un comportamiento elástico, y debido a que la carga se encuentra en el tercio medio de la cimentación para garantizar estabilidad de la cimentación, se utilizará la siguiente expresión derivada de Resistencia de Materiales para poder calcular el esfuerzo máximo:

$$q_{max} = \frac{P}{A} \left( 1 + \frac{6e_x}{B} + \frac{6e_y}{L} \right)$$

$$e_x = \frac{My}{P} \qquad e_y = \frac{Mx}{P}$$

- Cuando las combinaciones de carga incluyen el efecto de solicitaciones eventuales como sismos y viento, los esfuerzos admisibles pueden incrementarse un 33.33%
- El recubrimiento mínimo para el acero de refuerzo, cuando el hormigón es fundido en obra en contacto con el terreno es de 7 cm
- El dimensionamiento de la superficie de contacto entre el plinto y el suelo de soporte depende de la reacción entre la carga puntual admisible aplicada sobre el plinto y la resistencia admisible del suelo.
- Los plintos deberán diseñarse para soportar fuerzas cortantes en cada dirección independientemente, tomando como sección

crítica a una distancia “d” desde la cara de las columnas o elementos verticales.

- Los plintos deberán diseñarse para resistir fuerzas cortantes de punzonamiento en las dos direcciones simultáneamente, tomando como sección crítica a aquella que se ubica a una distancia “d/2” alrededor de la columna.
- La sección crítica a flexión en una dirección se ubicará en las caras de los elementos verticales de carga.

### 5.5.3.2 Diseño a corte

El peralte de los plintos está definido por su capacidad resistente a cortante tipo viga y a cortante por punzonamiento. Para ambos casos se utiliza los estados de carga últimos. La capacidad resistente a cortante tipo viga del hormigón se calcula con la siguiente expresión:

$$v_c = 0.53\sqrt{f'c}$$

Donde:

- $v_c$  = Esfuerzo último de cortante
- $f'c$  = Resistencia a la compresión simple del hormigón

### 5.5.3.3 Diseño a punzonamiento

La resistencia al cortante por punzonamiento que puede desarrollar el hormigón se calcula con la siguiente expresión empírica:

$$v_c = 1.06\sqrt{f'c}$$

Donde:

- $v_c$  = Esfuerzo último de cortante
- $f'_c$  = Resistencia a la compresión simple del hormigón

#### 5.5.3.4 Diseño a flexión

Las secciones críticas de diseño a flexión en las dos direcciones principales se ubican en las caras de la columna. Para el cálculo de la armadura del plinto se determina el momento flector en la zona crítica, y con la siguiente expresión se establece la armadura:

$$A_s = \frac{0.85f'_c * b * d}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_u}{0.85\phi * f'_c * b * d^2}} \right)$$

Además, se requiere realizar el chequeo de cuantía mínima a flexión:

$$\rho_{min} = \frac{14}{F_y}$$

El diseño de plinto con los esfuerzos resultantes de la combinación de cargas más desfavorable para cada una de las columnas. Estas solicitaciones han sido obtenidas del programa ETABS.

De acuerdo a los esfuerzos transferidos de la estructura a la cimentación para cada columna, se ha determinado que las placas base se diseñan tomando en cuenta la carga axial y un momentos, por tanto se asume que el momento será soportado por la placa de apoyo .

La fijación entre columnas y placas base se ha determinado a partir de dos placas laterales, que se unen con un elemento de madera por medio de

dos pernos. Las placas de fijación lateral de la columna se colocaran para soportar el mayor momento de la estructura.

#### **5.5.4 Conexiones**

Las estructuras de madera se realizan uniendo dos o más elementos independientes, que concurren en un mismo punto. Estas intersecciones de elementos estructurales dan origen a nudos, los cuales son los sectores más vulnerables estructuralmente.

En general, todos los elementos estructurales, deben ser capaces de soportar, la totalidad de las cargas y otras sollicitaciones, que se esperan pueda tener la estructura.

##### **5.5.4.1 Conexiones metálicas**

Son elementos metálicos, generalmente cilíndricos y de acero que se hincan, insertan o atornillan en las piezas de madera que constituyen la unión. El mecanismo de traspaso de fuerzas se materializa por medio de un trabajo en flexión, aplastamiento o cizalle del medio de unión y del aplastamiento, cizalle y hendimiento de la madera.

Las fijaciones deben ser sencillas, obtenerse con la mínima pérdida de material, dar una seguridad suficiente para su uso y ser de rápida ejecución.

Las fijaciones más utilizadas que cumplen con los requisitos antes mencionados y que permitirán obtener una estructura segura son: clavos, tornillos, tirafondos, pasadores, pernos, placas dentadas y conectores.



### 5.5.4.2 Uniones empernadas

Las uniones empernadas son en general las más económicas, particularmente comparadas con las uniones soldadas en campo. Los pernos son piezas compuestas por un vástago roscado en parte de su longitud, para recibir una tuerca, y una cabeza normalmente de forma hexagonal.

De acuerdo con ASTM, los pernos usados en juntas estructurales están incluidos en una de las siguientes tres calidades: A307, A325 y A490. En Colombia estas calidades no son de uso frecuente, se usan unos pernos clasificados de acuerdo con la norma ISO como Grado 2, Grado 5 y Grado 8, los cuales, si bien tienen una resistencia al corte similar a los ASTM A307, A325 y A490, respectivamente, no tienen las mismas dimensiones de cabeza y tuerca, y por lo tanto no deben usarse reemplazando a los ASTM, salvo que la única sollicitación en ellos sea una fuerza cortante, pero no en juntas por deslizamiento crítico.

Descripción del sujetador	Coefficiente de resistencia	Resistencia Nominal MPa
Pernos A307	0.75	310 (a)
Pernos A325		620 (b)
Pernos A490		780 (b)
Barras roscadas		0.75-F. (acá)
Remaches Gr 1, ASTM A502		310 (a)
Remaches Gr 2 y 3 ASTM A502		415(a)

Notas (a) Únicamente para cargas estáticas.

(b) Para cargas de fatiga véase NSR-98 f.2.20 2

(c) Para barras ensanchadas hay requisitos especiales.

*Tabla 5-9 Resistencia de diseño de sujetadores a la tensión. (NSR-98. Tabla F.2-8).*

Los pernos A307 son los más usados. Los A325 y A490 se denominan de alta resistencia, y se fabrican bajo pedido. Los pernos A307, normalmente no se aprietan con un torque específico, simplemente, apretando la tuerca hasta que se sienta una resistencia al giro alta cuando se usa una llave de apriete corriente. Por su parte, los pernos de alta resistencia si suelen apretarse induciendo en los mismos una carga de tensión alta, que es en general igual al 70% de la carga de falla.

#### 5.5.4.2.1 Pernos en cortante

De acuerdo con las NSR-98, un perno solicitado por fuerza cortante tiene una resistencia de diseño:

$$V = \phi * R_n = \phi * F_n * A_b$$

Donde:

- $\phi$  =Factor de resistencia, igual a 0.75.
- $F_n$ =Resistencia nominal a la tensión
- $A_b$ =Área nominal del vástago sin roscas

En este caso, el área  $A_b$  podría corresponder al área del vástago si no hay roscas en el plano de corte, o al área efectiva donde hay roscas, si el plano de corte pasa por estas, sin embargo, para efectos de diseño, las NSR-98 proponen usar el área nominal del vástago sin roscas, y para compensar, en el caso en que haya roscas en el plano de corte, el esfuerzo el diseño especificado es menor que el aceptado si en el plano de corte no hay roscas.

Descripción del sujetador	Coefficiente de resistencia	Resistencia Nominal, MPa
Pernos A307	0.75	165 (b. d)
Pernos A325, si hay roscas en el plano de corte		330 (d)
Pernos A325, si no hay roscas en el plano de corte		415 (d)
Pernos A490Q, si hay roscas en el plano de corte		415 (d)
Pernos A490, si no hay roscas en el plano de corte		520 (d)
Barras roscadas si hay roscas en plano de corte		0.40-F,
Barras roscadas si no hay roscas en plano de corte		0,50 F. (a.c)
Remaches Gr 1, ASTM A502		170 (d)
Remaches Gr 2 y 3 AST A502		225 (d)

Notas (a) Únicamente para cargas estáticas.

(b) So aceptan roscas en el plano ' corte.

(c) En este caso hay comprobaciones adicionales, véase NSR-98 Tabla F.2-8

(d) Cuando en una conexión tipo aplastamiento miembros en tensión, la distancia medida en dirección de la fuerza entre los pernos más alejados, sea mayor a 1.250 mm. la capacidad dada debe reducirse 20%

Tabla 5-10 Resistencia de diseño de sujetadores a la cortante. (NSR-98. Tabla F.2-8).

Diam	A (mm)	Roscas	A307		A325		A490	
			Simple	Doble	Simple	Doble	Simple	Doble
3/8	71	N	8.8	17.6	17.6	35.1	22.1	44.2
		X			22.1	44.2	27.7	55.4
1/2	127	N	15.7	31.4	31.4	62.9	39.5	79.1
		X			39.5	79.1	49.5	99.1
5/8	198	N	24.5	49	49	98.0	61.6	123.3
		X			61.6	123.3	77.2	154.4
3/4	285	N	35.3	70.5	70.5	141.1	88.7	177.4
		X			88.7	177.4	111.2	222.3
7/8	388	N	48	96	96	192.1	120.8	241.5
		X			120.8	241.5	151.3	302.6
1	504	N	62.4	124.7	124.7	249.5	156.9	313.7
		X			156.9	313.7	196.6	393.1

Tabla 5-11 Resistencia al corte de los pernos de unos corriente (KN)

### 5.5.4.2.2 Pernos en tensión

De acuerdo con las NSR-98, un perno en tensión tiene una resistencia de diseño:

$$T = \phi * R_n = \phi * F_n * A_b$$

Donde:

- $\phi$  =Factor de resistencia, igual a 0.75.
- $F_n$ =Resistencia nominal a la tensión
- $A_b$ =Área nominal del vástago sin roscas

El área crítica a través de la cual se transmite la carga del perno a la tuerca, es menor que el área nominal del vástago debido a la presencia de la rosca. La rosca es helicoidal, por lo cual el área efectiva en tensión no se mide en la raíz de la rosca, pero en todo caso si se ve disminuida por esa rosca. Las NSR-98 permiten trabajar con el área nominal del vástago, sin reducciones por la presencia de la rosca, pero para compensar, fija un valor de esfuerzo de diseño menor que el de falla real, de suerte que los dos efectos se compensan y la resistencia de diseño calculada resulta confiable.

Diámetro	A (mm <sup>2</sup> )	A 307	A325	A 490
3/8	71	16.5	33	41.5
1/2	127	29.5	59.1	74.3
5/8	198	45.9	92.1	115.8
3/4	285	66.1	132.5	166.7
7/8	388	90	180.4	227
1	504	116.9	234.4	294.8

Tabla 5-12 Resistencia a la tensión de los pernos de unos corriente (KN)

### 5.5.4.3 Espaciamientos mínimos

El espaciamiento entre pernos y las distancias entre estos y los bordes de los elementos de madera deben ser suficientes para permitir que cada perno desarrolle toda su capacidad resistente.

En uniones constituidas por elementos de madera orientados en direcciones diferentes, se deben verificar por separado los requisitos de espaciamiento en cada uno de ellos, resultando para la unión los que sean mayores en cada dirección.

### 5.5.4.4 Cargas paralelas a la dirección del grano

En los elementos en los que las fuerzas aplicadas siguen la dirección del grano, la distancia entre pernos, separación entre filas y las distancias a los bordes y extremos deben ser mayores o iguales que las indicadas en la siguiente figura. Todas estas distancias deben ser medidas a partir del eje del perno.

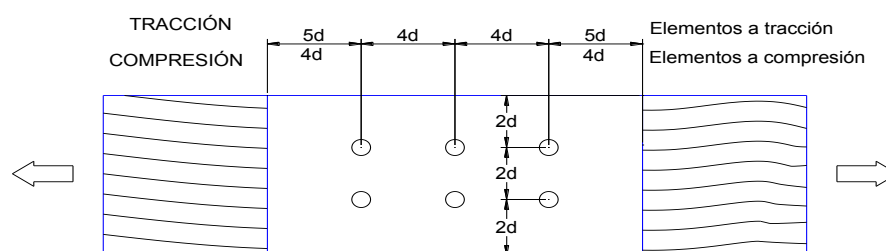


Ilustración 5-15 Espaciamientos mínimos entre pernos, cargas paralelas al grano

### 5.5.5 Cargas perpendiculares a la dirección del grano

Para los elementos cargados perpendicularmente a la dirección del grano, los espaciamientos mínimos y distancias entre filas y a los extremos se presentan también en la siguiente figura.

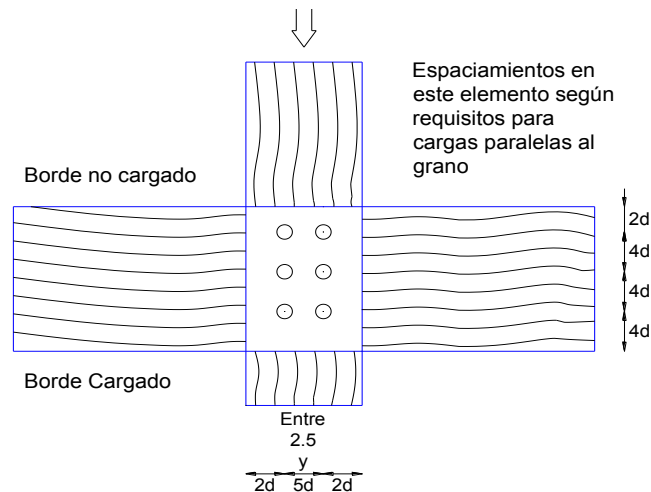


Ilustración 5-16 Espaciamiento mínimo entre pernos, cargas perpendiculares al grano

### 5.5.6 Resumen de resultados.

Con la ayuda del programa ETABS se determinaron los esfuerzos para cada uno de los elementos de la estructura calculada. Con estos resultados se realizó el diseño en madera para cada uno de los mencionados elementos estructurales, además de las juntas de amarre, utilizando el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

Bajo estos parámetros se ha determinado que las secciones para los diferentes elementos estructurales son:

ELEMENTO	MATERIAL	SECCIÓN (cm)
Columnas	Roble	29 x 29
Vigas	Roble	14 x 29
Correas	Roble	10 x 14

Tabla 5-13 Secciones de elementos estructurales de madera

## **6 CAPITULO VI: PRESUPUESTO**

### **6.1 Introducción**

Se entiende por presupuesto de una obra o proyecto, la determinación previa de la cantidad de dinero necesaria para realizarla, se tomó como base la experiencia adquirida en otras construcciones de índole semejante.

Cuando se trata únicamente de determinar si el costo de una obra guarda la debida relación con los beneficios que de ella se espera obtener, o bien si las disponibilidades existentes bastan para su ejecución, es suficiente hacer un presupuesto aproximado, tomando como base unidades mensurables en números redondos y precios unitarios que no estén muy detallados. Por el contrario, este presupuesto aproximado no basta cuando el estudio se hace como base para financiar la obra, o cuando el constructor la estudia al preparar su proposición, entonces hay que detallar mucho en las unidades de medida y precios unitarios, tomando en cuenta para estos últimos no sólo el precio de los materiales y mano de obra, sino también las circunstancias especiales en que se haya de realizar la obra. Esto obliga a penetrar en todos los detalles y a formar precios unitarios partiendo de sus componentes.

### **6.2 Análisis de precios unitarios**

#### **6.2.1 Costos indirectos**

El costo indirecto, relacionado específicamente en las empresas constructoras, es el costo adicional al costo directo, esto es, es la suma total

de los gastos y beneficios que se agregan al costo directo, no contenido en éste, hasta integrar el precio total.

Cuando el costo indirecto se refiere a la administración de campo, cualquier error y omisión afectará únicamente a la obra en particular.

En cambio, cuando el costo indirecto se refiere a la administración central, el efecto cubrirá a todos los contratos de la empresa constructora.

Durante el cálculo de los costos indirectos, se presenta la necesidad de evaluar, en especial, dos de los costos indirectos ya mencionados que se derivan de la organización propia de cada empresa y de cada proyecto por realizar.

Para poder determinar con mayor precisión los gastos que se generan por concepto de administración central y de campo, es primordial conocer la estructura de organización de las oficinas generales y la de cada obra en particular.

### 6.2.2 Costos directos

El costo directo se define como: "la suma de materiales, mano de obra y equipo necesario para la realización de un proceso productivo". El Costo Directo puede representarse por medio de una fórmula general como sigue:

$$(ax + by + cz + \dots + \lambda d) = C.D.$$

Donde se consideran variables: x, y, z, ...

Siendo variables condicionadas: a, b, c, ...



Como variables se considera el valor de los materiales, el valor de la mano de obra y el valor de los equipos; como variables condicionadas se considera las cantidades que se consumen de cada uno de estos integrantes, esto es, la parte que representan dentro de un Costo Directo.

También se puede aceptar que, las variables condicionadas pueden convertirse en constantes para una obra específica, o para un rango de obras promedio. Las variables de cantidades de materiales, de mano de obra y de equipo, también pueden ser constantes para un tiempo determinado. En resumen: "Las variables lo serán en función del tiempo de aplicación", y "Las variables condicionadas, lo serán en función del método constructivo, tipo de construcción y de la tendencia estadística".

### **6.3 Cronograma de avance de obra**

Para la realización del cronograma del avance de obra nos ayudaremos de una herramienta indispensable como lo es el diagramas de Gantt. En gestión de proyectos, muestra el origen y el final de las diferentes unidades mínimas de trabajo y los grupos de tareas o las dependencias entre unidades mínimas de trabajo.

Desde su introducción los diagramas de Gantt se han convertido en una herramienta básica en la gestión de proyectos de todo tipo, con la finalidad de representar las diferentes fases, tareas y actividades programadas como parte de un proyecto o para mostrar una línea de tiempo en las diferentes actividades haciendo el método más eficiente.

Básicamente el diagrama está compuesto por un eje vertical donde se establecen las actividades que constituyen el trabajo que se va a ejecutar, y un eje horizontal que muestra en un calendario la duración de cada una de ellas.

## 6.4 Presupuesto

### PRESUPUESTO

PROYECTO: Convento Centro Pastoral Espiritu Santo  
 FECHA: Jueves 4 de Julio 2013  
 UBICACIÓN: Camal Metropolitano, Quito  
 PROPONENTE Clavón Javier /Rosero Fracisco

COL.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
<b>1</b>	<b>1.MOVIMIENTOS DE TIERRAS</b>				
1.1	Limpieza manual de terreno	m2	124.00	0.77	95.48
1.2	Desalojo de material escombros	m3	18.60	5.29	98.39
1.3	Replanteo con equipo topográfico	m2	124.00	2.55	316.20
1.4	Excavación de plintos y cimientos	m3	100.00	14.31	1,431.00
<b>2</b>	<b>2.CIMENTOS</b>				
2.1	Relleno con subbase	m3	30.00	6.23	186.90
2.2	Hormigón simple c=210 kg/cm2, adenas	m3	7.00	175.95	1,231.65
2.3	Hormigón simple c=140 kg/cm2, en el plantillo	m3	3.03	108.84	329.79
2.4	Hormigón simple c=210 kg/cm2, en plintos	m3	24.28	133.19	3,233.85
<b>3</b>	<b>3.HIERRO ESTRUCTURAL</b>				
3.1	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg	2,289.50	2.09	4,785.06
3.2	Malla electro soldada	m2	113.00	5.91	667.83
<b>4</b>	<b>4.CONTRAPISO</b>				
4.1	Contrapiso	m3	11.30	133.80	1,511.94
<b>5</b>	<b>5. ESTRUCTURA</b>				
5.1	Columna de madera	m	104.00	13.09	1,361.36
5.2	Viga de madera	m	357.23	20.76	7,416.09
5.3	Viguetas de madera	m	512.70	16.01	8,208.33
5.4	Preservación de madera por dispersión	m	1,512.00	2.91	4,399.92
5.5	Lacado 2 manos	m	1,512.00	6.38	9,646.56
5.6	Perno 1/2", 50mm	u	468.00	4.09	1,914.12
5.7	Pernos de 1/2", 20CM	u	756.00	5.77	4,362.12
5.8	Pernos de 1/2", 25	u	288.00	6.67	1,920.96
5.9	Platina	kg	3,716.56	2.42	8,994.08
<b>6</b>	<b>6.MAMPOSTERÍA</b>				
6.1	Mampostería de ladrillo	m2	334.00	24.69	8,246.46
<b>7</b>	<b>7.CUBIERTA</b>				
7.1	Cubierta de triplex	m2	391.26	20.24	7,919.10
7.2	Cubierta de teja de barro	m2	143.76	60.25	8,661.54
<b>8</b>	<b>8.LIMPIEZA</b>				
8.1	Limpieza de obra	m2	248.00	3.00	744.00
		TOTAL:			87,682.73

Tabla 6-1 Presupuesto

## **7 CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 Conclusiones**

La obtención de datos referentes a lugares, cantidades y procesos de producción es muy limitada ya que el Ministerio del Ambiente a través de la dirección nacional forestal con sus publicaciones no brinda información de las especies de nuestra investigación.

Dentro de nuestra investigación el Aliso es una especie en peligro de extinción esto se debe a que las instancias pertinentes no están cumpliendo con los controles que deben realizar controles de la tala indiscriminada.

Al realizar los ensayos propuestos por la COPAN y ASTM para determinar las propiedades Físico-Mecánicas en los laboratorios de la ESPE, hemos cumplido a cabalidad con las normas y tolerancias, por esta razón concluimos que la confiabilidad de los datos para la el cálculo de los esfuerzos admisibles son los más ajustados a la realidad.

Al realizar los cálculos para la obtención de los esfuerzos admisibles previo a los ajustes de relación humedad-resistencia hemos propuesto una categorización que se basa en la clasificación que realiza el Manual de diseño para maderas con investigaciones anteriores y nuestra investigación.

Grupo	Nombre común
A	Caimitillo
	Guayacán Pechice
B	Roble
	Chanul
	Moral fino
	Manzano Colorado
	Pituca
	Eucalipto
	Colorado
C	Fernansánchez
	Aliso
	Canelo Amarillo
	Mascarey
	Sande

Al realizar el análisis de la estructura con el programa ETABS se tomó en cuenta los siguientes puntos:

1. Las secciones obtenidas del pre-diseño realizado con el método de diseño de esfuerzos admisibles
2. Al introducir los datos en el caso específico de las combinaciones de carga se introdujo combinaciones de carga mayoradas esto quiere decir que el análisis de la estructura se lo realizó con el método de última resistencia, ya que tanto cimentación como las conexiones decidimos realizar con este método
3. En la modelación de la estructura las uniones son empotradas.
4. Al revisar los modos de vibración y las derivas de piso observamos que en las dimensiones realizadas en el pre'-diseño no cumplían, por lo tanto decidimos aumentar secciones hasta que se cumplan derivas de

piso como modos de vibración

Finalizado el análisis con el programa ETABS realizamos el cálculo de los elementos estructurales con la siguiente disposición:

1. Los elementos de madera tanto columnas, vigas y viguetas se diseñó con el método de esfuerzos admisibles.
2. Las conexiones metálicas como son pernos y placas con el método de última resistencia. En el caso de conexiones columnas-vigas los pernos trabajan a tracción y a corte, en las Conexiones de vigas-viguetas y cubierta los pernos trabajan únicamente a corte.
3. El cálculo de los elementos de la cimentación se realizó con el método de última resistencia.

El monto para la construcción de la estructura es de 87682.73 dólares, por lo que el m<sup>2</sup> de construcción de las dos plantas aproximadamente es de 353.60 dólares.

## **7.2 Recomendaciones**

En el Ecuador se tiene una gran deficiencia en materia ambiental y específicamente en recursos madereros, esto se debe a que existe poco control de la explotación de este recurso, y al no ser realizada de manera técnica y responsable se ha llegado a las siguientes recomendaciones.

Se recomienda a las autoridades correspondientes que se generen normas para la explotación de la madera y tecnificar la producción de la misma.

Es recomendable que los estudiantes continúen realizando investigaciones sobre las propiedades físicas y mecánicas de maderas para continuar recopilando información de las especies que se encuentran en nuestro país y que sirva como referencia para la realización de una normativa netamente ecuatoriana.

Para los ensayos Físicos y Mecánicos se recomienda verificar de manera minuciosa las dimensiones de probetas a ser ensayadas y que se encuentren en los rangos tolerables de las mismas. También hay que verificar q los equipos se encuentren calibrados, encerados y se encuentren en pleno funcionamiento.

Para el diseño de la estructura se recomienda tener en cuenta cual va a ser la modelación y como se va calcular, en nuestro caso cambiamos y generamos otro modelo matemático para el cálculo de las conexiones.

Para el diseño hemos elegido el tipo de madera más resistente que nosotros analizamos en este caso el Roble. En la cual con la investigación que hicimos logramos categorizarle como madera tipo B, esto conlleva a tener una mayor dimensión en las columnas vigas y viguetas. Para el diseño se recomienda utilizar una madera tipo A de bajo costo que abaratará los costos del presupuesto.

## BIBLIOGRAFÍA

- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA 4<sup>ta</sup> EDICIÓN PRELIMINAR. (1984). *Manual de diseño para maderas del Grupo Andino PADT – REFORT*. Lima: Perú.
- INEN. (2002). *Código Ecuatoriano de la Construcción*.
- CORMA. *Manual de la Construcción de Viviendas en Madera*. Chile.
- ASTM D 143 – 94. (2000). *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*.
- ASTM D 2395 – 93. (2000). *Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood Based Materials*.
- ASTM D 245 – 00. (2000). *Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber*.
- COPANT 464 – 1972. (1972). *Métodos de ensayo de la compresión axial o paralela al grano*.
- COPANT 466 – 1972. (1972). *Métodos de determinación de la compresión perpendicular al grano*.
- COPANT 742 – 1972. (1972). *Métodos de ensayo de tracción paralela al grano*.
- COPANT 743 – 1972 (1972). *Métodos de ensayo de tracción perpendicular al grano*.
- COPANT 463 – 1972. (1972). *Métodos de determinación de cizallamiento paralelo al grano*.
- COPANT 555 – 1972. (1972). *Métodos de ensayo de flexión estática*.
- (1997). *Código Uniforme de la Edificación UBC – 1997*
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN INN (2006). *Madera – Norma Chilena NCh 1198*. Chile.

- ASOCIACIÓN DE INVESTIGACIÓN TÉCNICA DE LAS INDUSTRIAS DE LA MADERA Y CORCHO- AITIM. SEGUNDA EDICIÓN, (2000). *Estructuras de Madera – Diseño y Cálculo*.
- Arias, M.; Cobos, J.; León, X. (2007). *Propiedades físicas mecánicas de la guadua angustifolia kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del IASA II*. Sangolquí: ESPE.
- Arias, M.; martínez, J.; siza, J. (2009). *Propiedades físico-mecánicas del eucalipto y aplicación al diseño estructural de una vivienda parte de una granja integral, ubicada en el IASA 1*.Sangolquí: ESPE.
- Arias, M.; Armijos, S.; Medina, J.(2010). *Propiedades Físico-mecánicas de las maderas tipo A: Guayacan Pechiche, Colorado, Sande y Mascarey: aplicación al diseño del paradero en el IASA II*. Sangolquí: ESPE.
- Arias, M.; Barba, D.; Cueva, E. (2010). *Propiedades físico-mecánicas de las maderas Tipo B y Tipo C: Chanul, Moral fino, Pituca, Fernansánchez, Seique y Caoba; y aplicación al diseño estructural del refugio turístico en Chilcapamba del Cantón Mocha*. Sangolquí: ESPE
- Arias, M.; Espinosa, A.; Salazar, A. (2011). *Propiedades físico-mecánicas de uniones clavadas y empernadas, sometidas a comprensión, con madera tipo A, tipo B y tipo C: guayacán, eucalipto y fernansánchez; para el diseño estructural de la cubierta del Proyecto Casa Montúfar 623 (Fonsal)*. Sangolquí: ESPE
- Tamayo, D.; Gaibor, J. (2012). *Diseño estructural del nuevo Auditorio del Campus Sangolquí de la Escuela Politécnica del Ejército*. Sangolquí: ESPE
- Tandazo, J; Flores, G. (2012). *Proceso de industrialización de la caña guadua como material alternativo para la construcción y diseño de vivienda tipo de una y dos plantas, empleando caña guadua en sus elementos estructurales*. Sangolquí: ESPE