

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL EUCALIPTO Y APLICACIÓN AL
DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA PARTE DE UNA GRANJA
INTEGRAL, UBICADA EN EL IASA I”**

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

**JUAN CARLOS SIZA SIMBAÑA
JORGE ESTEBAN MARTÍNEZ ESCOBAR**

SANGOLQUÍ, MARZO 2009

EXTRACTO / ABSTRACT

En la actualidad, la construcción de obras civiles ha tomado nuevas vías en lo referente a procesos constructivos y materiales a ser utilizados, por el alza de los costos en los materiales de construcción convencional. Una de estos caminos ha sido la construcción de estructuras con madera por su facilidad de construcción y rapidez de ejecución. En nuestro país se ha podido observar este fenómeno hace muchos años, especialmente en zonas rurales, aunque ahora se extiende además a las zonas urbanas. Es por esto y por muchas otras razones que el presente proyecto coloca al Eucalipto como una alternativa para elementos estructurales, por sus características físicas y mecánicas que serán detalladas con profundidad.

Actually, the construction of civil Works has taken new alternatives as far as construction process and materials, because the prizes of those are increased. One of them is the construction of wood's structures cause those are of easy and quick construction. In our country, we can see it a lot of years ago, specially in rural zones, but now, we can see it in urban zones. That's why the elaboration of this investigation, we show that the Eucalyptus is an alternative structural element for construction, and that's for its physical and mechanical properties that will be described with details.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los señores:
JORGE ESTEBAN MARTÍNEZ ESCOBAR, JUAN CARLOS SIZA SIMBAÑA,
como requerimiento parcial para la obtención del título de **INGENIERO CIVIL.**

Sangolquí, Marzo 2009

Ing. Mario Arias Santillán

DIRECTOR

Ing. Ernesto Pro Zambrano

CODIRECTOR

REVISADO POR

Ing. Jorge Zúñiga

RESPONDABLE ACADEMICO

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mis padres Ángel Martínez y Dora Escobar, además de la persona que me ha dado su apoyo incondicional, mi hermana, Katty Martínez. Los mismos que han sido el soporte y la fortaleza necesaria para cumplir con mis objetivos y metas propuestas en mi vida.

Ellos que con sus consejos y enseñanzas han logrado ser el apoyo incondicional necesarios con el cual he podido salir adelante en todas las dificultades que se han presentado a lo largo de mi vida.

Dedico además a toda mi familia que ha puesto su confianza y corazón para mi desarrollo profesional y personal.

Jorge

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis principalmente a mis padres Humberto M. y Nieves M., quienes con su amor, fortaleza y consejos fueron la base de apoyo en mi superación académica.

A mis abuelos quienes fueron fuente constante de ejemplo de superación y dedicación.

A mis hermanos menores que siempre estuvieron acompañándome en todo el camino de mi vida estudiantil universitaria y a quienes ven en mí un ejemplo a seguir.

Juan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis padres, mi hermana y a toda mi familia por haberme dado la posibilidad de formarme como una persona de bien, además de brindarme su apoyo y comprensión en todos los momentos de mi vida. Además agradezco a la institución que me acogió, la misma que con sus docentes, han sido los generadores 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 exitoso fin del presente trabajo.

Jorge Martínez E.

Agradezco principalmente a Dios, por concederme la dicha de existir y disfrutar de esta vida. A mis padres que con su amor constante me enseñaron a aprovechar el tiempo en mi superación personal. A mis profesores que con paciencia y dedicación me supieron transmitir sus conocimientos de una manera desinteresada. A mi Universidad, la E.S.P.E que me supo acoger y brindarme la oportunidad de convertirme en un profesional al servicio de mi país.

Juan Carlos Siza S.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pag.
RESUMEN	1
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES DEL EUCALIPTO	
1.1. DEFINICIÓN	2
1.2. MORFOLOGÍA DEL EUCALIPTO	4
1.2.1. RAICES	5
1.2.2. CORTEZA	5
1.2.3. HOJAS	7
1.2.4. FLOR	9
1.2.5. FRUTO	10
1.2.6. SEMILLA	11
1.3. EL EUCALIPTO EN EL ECUADOR	11
1.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES DE EUCALIPTO INTRODUCIDAS EN EL ECUADOR	13
1.4. CULTIVO	18
1.4.1. PLANIFICACIÓN DEL CULTIVO	18
1.4.2. PRODUCCIÓN DE LA PLANTA	20
1.4.3. TRABAJOS PREVIOS A LA PLANTACIÓN	22
1.4.3.1. INFRAESTRUCTURA, LIMPIEZA Y PREPARACIÓN	22
1.4.3.2. DESBROCE	23
1.4.3.3. PREPARACIÓN DEL TERRENO	25

1.4.3.4. PLANTACIÓN	28
1.4.3.5. COSTOS DE LA PLANTACIÓN	29
1.5. ETAPAS DE CORTE	30
1.5.1. CONDICIONES GENERALES	30
1.5.1.1. CONDICIONES DE TRABAJO	30
1.5.1.2. PARÁMETROS ECONÓMICOS	30
1.5.1.3. PROBLEMAS DE EMPLEO	30
1.5.2. OPERACIONES DE CORTE	31
1.5.2.1. APEO	31
1.5.2.2. PODA Y DESMOCHE	32
1.5.2.3. DESCORTEZADO	32
1.5.2.4. TROCEADO	33
1.6. SECADO	34
1.6.1. DESARROLLO DEL PROCESO DE SECADO DEL EUCALIPTO	34
1.6.2. TIPOS DE SECADO	36
1.6.2.1. SECADO AL AIRE	36
1.6.2.2. SECADO AL HORNO	38
1.7. PRESERVACIÓN	39
1.7.1. PRESERVANTES ACEPTABLES	40
1.7.2. PRESERVANTES PROHIBIDOS	43

CAPÍTULO II

PROPIEDADES FÍSICAS DEL EUCALIPTO

2.1. ANTECEDENTES	45
-------------------	----

2.2. PARTES COMERCIALES DEL EUCALIPTO	46
2.3. ESTADOS DE MADUREZ DEL EUCALIPTO	47
2.4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL EUCALIPTO	48
2.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL EUCALIPTO GRANDIS	48
2.4.2. CARACTERÍSTICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS	49
2.5. CONTENIDO DE HUMEDAD	49
2.5.1. AGUA LIBRE	50
2.5.2. AGUA DE SATURACIÓN	50
2.5.3. AGUA DE CONSTITUCIÓN	51
2.5.4 ENSAYO	51
2.5.4.1. ALCANCE	51
2.5.4.2. OBJETIVO	51
2.5.4.3. APARATOS	51
2.5.4.4. PREPARACIÓN DE LA PROBETA DE PRUEBA	51
2.5.4.5. PROCEDIMIENTO	52
2.5.4.6. CÁLCULO DE RESULTADOS	52
2.5.4.7. REPORTE DE PRUEBAS	53
2.6. MASA POR VOLUMEN	54
2.6.1. ALCANCE	54
2.6.2. OBJETIVO	54
2.6.3. APARATOS	54
2.6.4. MATERIALES	54
2.6.5. PREPARACIÓN DE LA PROBETA	54
2.6.6. PROCEDIMIENTO	54
2.6.7. CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS	55

2.6.8. REPORTE DE RESULTADOS	56
2.7. PESO ESPECÍFICO	57
2.7.1. REPORTE DE RESULTADOS	58

CAPÍTULO III

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL EUCALIPTO

3.1. ANTECEDENTES	59
3.2. ENSAYOS MECÁNICOS	60
3.2.1. FLEXIÓN	60
3.2.1.1. ALCANCE	60
3.2.1.2. OBJETIVO	60
3.2.1.3. APARATOS	60
3.2.1.4. PREPARACIÓN DE LA PROBETA	60
3.2.1.5. PROCEDIMIENTO	60
3.2.1.6. CÁLCULOS Y RESULTADOS	63
3.2.1.7. RESULTADOS OBTENIDOS	64
3.2.2. TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	69
3.2.2.1. ALCANCE	69
3.2.2.2. OBJETIVO	69
3.2.2.3. APARATOS	69
3.2.2.4. PREPARACIÓN DE LA PROBETA	69
3.2.2.5. PROCEDIMIENTO	69
3.2.2.6. CÁLCULOS Y RESULTADOS	72
3.2.2.7. RESULTADOS OBTENIDOS	73
3.2.3. TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA	77

3.2.3.1.	ALCANCE	77
3.2.3.2.	OBJETIVO	77
3.2.3.3.	APARATOS	77
3.2.3.4.	PREPARACIÓN DE LA PROBETA	78
3.2.3.5.	PROCEDIMIENTO	78
3.2.3.6.	CÁLCULOS Y RESULTADOS	79
3.2.3.7.	RESULTADOS OBTENIDOS	80
3.2.4.	COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA	81
3.2.4.1.	ALCANCE	81
3.2.4.2.	OBJETIVO	81
3.2.4.3.	APARATOS	81
3.2.4.4.	PREPARACIÓN DE LA PROBETA	82
3.2.4.5.	PROCEDIMIENTO	82
3.2.4.6.	CÁLCULOS Y RESULTADOS	83
3.2.4.7.	RESULTADOS OBTENIDOS	85
3.2.5.	COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA	89
3.2.5.1.	ALCANCE	89
3.2.5.2.	OBJETIVO	89
3.2.5.3.	APARATOS	89
3.2.5.4.	PREPARACIÓN DE LA PROBETA	89
3.2.5.5.	PROCEDIMIENTO	89
3.2.5.6.	CÁLCULOS Y RESULTADOS	91
3.2.5.7.	RESULTADOS OBTENIDOS	92
3.2.6.	CORTE	93
3.2.6.1.	ALCANCE	93

3.2.6.2.	OBJETIVO	93
3.2.6.3.	APARATOS	93
3.2.6.4.	PREPARACIÓN DE LA PROBETA	94
3.2.6.5.	PROCEDIMIENTO	94
3.2.6.6.	CÁLCULOS Y RESULTADOS	95
3.2.6.7.	RESULTADOS OBTENIDOS	96
3.2.7.	TORSIÓN	97
3.2.7.1.	ALCANCE	97
3.2.7.2.	OBJETIVO	97
3.2.7.3.	APARATOS	97
3.2.7.4.	PREPARACIÓN DE LA PROBETA	97
3.2.7.5.	PROCEDIMIENTO	98
3.2.7.6.	CÁLCULOS Y RESULTADOS	99
3.2.7.7.	RESULTADOS OBTENIDOS	100

CAPÍTULO IV

ESFUERZOS ADMISIBLES

4.1.	ANTECEDENTES	101
4.2.	ESFUERZOS ADMISIBLES	102
4.2.1.	COEFICIENTES DE REDUCCIÓN	102
4.2.1.1.	FACTOR DE REDUCCIÓN POR CALIDAD	102
4.2.1.2.	FACTOR DE SERVICIO Y SEGURIDAD	102
4.2.1.3.	FACTOR DE REDUCCIÓN POR TAMAÑO	103
4.2.1.4.	FACTOR DE DURACIÓN DE CARGA	103
4.2.2.	ESFUERZO ADMISIBLE A FLEXIÓN	104

4.2.3. ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESIÓN PARALELA	104
4.2.4. ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESIÓN PERPEND.	106
4.2.5. ESFUERZO ADMISIBLE A TRACCIÓN PARALELA	107
4.2.6. ESFUERZO ADMISIBLE A TRACCIÓN PERPENDIC.	107
4.2.7. ESFUERZO ADMISIBLE A CORTE	108
4.2.8. ESFUERZO ADMISIBLE A TORSIÓN	109
4.2.9. RESUMEN DE ESFUERZOS ADMISIBLES	110
4.3. MÓDULO DE ELASTICIDAD	110
4.3.1. RESULTADOS OBTENIDOS	112

CAPÍTULO V

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

5.1. ANTECEDENTES	113
5.2. MÉTODOS DE DISEÑO	114
5.2.1. REQUISITOS DE RESISTENCIA	114
5.2.2. REQUISITOS DE RIGIDEZ	114
5.3. TIPOS DE CARGA	115
5.3.1. CARGA MUERTA	115
5.3.1.1. PESO PROPIO	115
5.3.1.2. CARGAS PERMANENTES	116
5.3.2. CARGA VIVA	116
5.3.2.1. CARGA DE SERVICIO	116
5.3.2.2. CARGA DE MANTENIMIENTO	116
5.3.2.3. CARGA DEBIDA A LA ACUMULACION DE CENIZA	116
5.3.3. FUERZA SÍSMICA	116

5.3.3.1. COEFICIENTES DE FUERZA SÍSMICA	117
5.3.3.2. CORTANTE BASAL	118
5.3.4. FUERZA DE VIENTO	119
5.4. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA UTILIZANDO EL SOFTWARE SAP 2000 v11.04	120
5.4.1. PROPIEDADES ELÁSTICAS DEL EUCALIPTO	123
5.4.1.1. MÓDULO DE ELASTICIDAD	123
5.4.1.2. MÓDULO DE CORTE	123
5.4.1.3. MÓDULO DE POISSON	124
5.4.1.4. COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA	124
5.4.2. DEFINICIÓN DE SECCIONES	125
5.4.3. ASIGNACIÓN DE SECCIONES	128
5.4.4. DEFINICIÓN DE ESTADOS DE CARGA	130
5.4.5. ASIGNAR CARGAS	131
5.4.6. COMBINACIONES DE CARGA	132
5.5. DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN	134
5.5.1. BASES DE CÁLCULO	134
5.5.1.1. CARGAS A CONSIDERARSE	134
5.5.1.2. DEFINICIÓN DE LA LONGITUD EFECTIVA	134
5.5.1.3. ESBELTEZ	135
5.5.1.4. CLASIFICACIÓN DE COLUMNAS Y CARGAS ADMISIBLES	136
5.5.1.4.1. COLUMNAS CORTAS	136
5.5.1.4.2. COLUMNAS INTERMEDIAS	137
5.5.1.4.3. COLUMNAS LARGAS	137

5.6. DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXO-COMP.	137
5.7. DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN	138
5.7.1. BASES DE CÁLCULO	139
5.7.1.1. GRUPO DE MADERA A UTILIZARSE	139
5.7.1.2. CARGAS A CONSIDERARSE EN EL DISEÑO	139
5.7.1.3. DEFLEXIONES ADMISIBLES	139
5.7.1.4. EFECTOS MÁXIMOS	140
5.7.1.5. ESFUERZOS ADM. Y MÓDULOS DE ELASTIC.	140
5.7.1.6. MOMENTO DE INERCIA NECESARIO	140
5.7.1.7. MÓDULO DE SECCIÓN NECESARIO	141
5.7.1.8. CÁLCULO DEL MOMENTO DE INERCIA Y MÓDULO DE SECCIÓN	142
5.7.1.9. VERIFICACIÓN A CORTANTE	142
5.7.1.10. ESTABILIDAD	143
5.8. DISEÑO DE PERNOS DE UNION	143
5.9. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA EN HORMIGÓN ARMADO	144
5.9.1. ANTECEDENTES	144
5.9.2. MÉTODOS DE DISEÑO	144
5.9.3. TIPOS DE CARGA	145
5.9.3.1. CARGA VIVA	145
5.9.3.2. CARGA SÍSMICA	145
5.9.4. CÁLCULO ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL SOFTWARE SAP 2000	146
5.9.4.1. ANTECEDENTES	146
5.9.4.2. DEFINICIÓN DEL MATERIAL	147

5.9.4.3.	SECCIONES ANALIZADAS	147
5.9.4.4.	COMBINACIONES DE CARGA	148
5.9.5.	DISEÑO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO	149
5.9.5.1.	DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN	149
5.9.5.1.1.	CRITERIOS DE DISEÑO	149
5.9.5.2.	DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXO-COMPRESIÓN	150
5.9.5.2.1.	CRITERIOS DE DISEÑO	150
5.10.	DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN EN HORMIGÓN ARMADO	152
5.10.1.	ANTECEDENTES	152
5.10.2.	CRITERIOS DE DISEÑO	152
5.11.	DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES TANTO EN EUCALIPTO COMO EN HORMIGÓN ARMADO	156
5.12.	PLANOS	156
5.13.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS DOS ALTERNATIVAS	156

CAPÍTULO VI

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1.	ANTECEDENTES	157
6.2.	IMPACTO AMBIENTAL EN EL ECOSISTEMA DEBIDO A LA PRESENCIA DEL EUCALIPTO	157
6.2.1.	INTRODUCCIÓN	157
6.2.2.	FERTILIDAD EN LOS SUELOS	158
6.2.3.	PROTECCIÓN DE LOS SUELOS	159

6.2.4. AGUA E HIDROLOGÍA	160
6.2.5. VEGETACIÓN, FLORA Y FAUNA	161
6.2.6. ASPECTOS SOCIALES Y PAISAJÍSTICOS	161
6.3. IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO A CAUSA DE LA TALA DE EUCALIPTARES PARA SUS DIFERENTES USOS	162
6.3.1. INTRODUCCIÓN	162
6.3.2. DISTRIBUCIÓN DE PLANTACIONES Y BOSQUES EN EL ECUADOR	162
6.3.2.1. PLANTACIONES Y BOSQUES EN GENERAL	162
6.3.2.2. CAUSAS DE LA DEFORESTACIÓN	162
6.3.2.3. PLANTACIONES DE EUCALIPTO EN ECUADOR	165
6.3.3. CONSECUENCIAS DE LA DEFORESTACIÓN	166
6.4. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	167
6.4.1. INTRODUCCIÓN	167
6.4.2. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA INTRODUC. DE PLANTACIONES DE EUCALIPTO COMO PLANTAC. EXÓTICAS	168
6.4.3. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA TALA DE EUCALIPTARES	169

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENTACIONES

7.1. CONCLUSIONES	173
7.2. RECOMENDACIONES	178
BIBLIOGRAFIA	179

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL EUCALIPTO

Tabla 1.1: Especies de Eucalipto encontradas en el Ecuador

Tabla 1.2: Superficies plantadas con diversas especies de eucaliptos en el Ecuador

Tabla 1.3: Tamaño, número, superficie y edad de las plantaciones de eucalipto en el Ecuador

Tabla 1.4: Características de la planta ideal

CAPÍTULO II

PROPIEDADES FÍSICAS DEL EUCALIPTO

Tabla 2.1. Resultados obtenidos en contenido de humedad del Eucalipto Globulus

Tabla 2.2. Resultados obtenidos en contenido de humedad del Eucalipto Grandis

Tabla 2.3. Resultados obtenidos en masa por volumen del Eucalipto Globulus

Tabla 2.4. Resultados obtenidos en masa por volumen del Eucalipto Grandis

Tabla 2.5. Resultados obtenidos en peso específico del Eucalipto Globulus

Tabla 2.6. Resultados obtenidos en peso específico del Eucalipto Grandis

CAPÍTULO III

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL EUCALIPTO

Tabla 3.1. Resultados obtenidos en el ensayo de flexión en Eucalipto Globulus

Tabla 3.2. Resultados para determinar el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en la probeta C1

Tabla 3.3. Resultados obtenidos en el ensayo de flexión en Eucalipto Grandis

Tabla 3.4. Resultados para determinar el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en la probeta IF

Tabla 3.5. Resultados obtenidos en el ensayo de tracción paralela a la fibra en Eucalipto Globulus

Tabla 3.6. Resultados para determinar el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en la probeta D1

Tabla 3.7. Resultados obtenidos en el ensayo de tracción paralela a la fibra en Eucalipto Grandis

Tabla 3.8. Resultados para determinar el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en la probeta I E

Tabla 3.9. Resultados obtenidos en el ensayo de tracción perpendicular a la fibra en Eucalipto Globulus

Tabla 3.10. Resultados obtenidos en el ensayo de tracción perpendicular a la fibra en Eucalipto Grandis

Tabla 3.11. Resultados obtenidos en el ensayo de compresión paralela a la fibra en Eucalipto Globulus

Tabla 3.12. Cálculo del Módulo de Elasticidad de la Probeta # 1 en Compresión Paralela en Eucalipto Globulus

Tabla 3.13. Cálculo del Módulo de Elasticidad de la Probeta # 7 en Compresión Paralela en Eucalipto Globulus

Tabla 3.14. Resultados obtenidos en el ensayo de compresión paralela a la fibra en Eucalipto Grandis

Tabla 3.15. Resultados obtenidos en el ensayo de compresión perpendicular a la fibra en Eucalipto Globulus

Tabla 3.16. Resultados obtenidos en el ensayo de compresión perpendicular a la fibra en Eucalipto Grandis

Tabla 3.17. Resultados obtenidos en el ensayo de corte paralelo a la fibra en Eucalipto Globulus

Tabla 3.18. Resultados obtenidos en el ensayo de corte paralelo a la fibra en Eucalipto Grandis

Tabla 3.19. Resultados obtenidos en el ensayo de torsión a la fibra en Eucalipto Globulus

Tabla 3.20. Resultados obtenidos en el ensayo de torsión a la fibra en Eucalipto Grandis

CAPÍTULO IV

ESFUERZOS ADMISIBLES

Tabla 4.1: Propiedades mecánicas

Tabla 4.2: Factores de reducción

Tabla 4.3. Esfuerzos Admisibles del Eucalipto Globulus

Tabla 4.4. Esfuerzos Admisibles del Eucalipto Grandis

Tabla 4.5. Módulo de Elasticidad Mínimo en E. Globulus

Tabla 4.6. Módulo de Elasticidad Promedio en E. Globulus

Tabla 4.7. Módulo de Elasticidad Mínimo en E. Grandis

Tabla 4.8. Módulo de Elasticidad Promedio en E. Grandis

Tabla 4.9. Esfuerzos admisibles del E. Globulus y E. Grandis en comparación con los grupos de Maderas

Tabla 4.10. Módulos de Elasticidad del E. Globulus y E. Grandis en comparación con los grupos de Maderas

CAPÍTULO V

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Tabla 5.1. Coeficientes de fuerza sísmica

Tabla 5.2. Coeficiente de fuerzas de viento

Tabla 5.3. Deflexiones admisibles (L/k)

Tabla 5.4. Requisitos de arriostramiento para elementos de sección rectangular

CAPÍTULO VI

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Tabla 6.1. Cuantificación del recurso forestal

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO III

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL EUCALIPTO

Gráfico 3.1. Esfuerzo vs. Deformación de la muestra 1 en Eucalipto Globulus

Gráfico 3.2. Esfuerzo vs. Deformación de la muestra 1 en Eucalipto Grandis

Gráfico 3.3. Esfuerzo vs. Deformación de la muestra 1 en tracción del Eucalipto Glóbulus

Gráfico 3.4. Esfuerzo vs. Deformación de la muestra 1 en tracción del Eucalipto Grandis

CAPÍTULO IV

ESFUERZOS ADMISIBLES

Gráfico 4.1. Esfuerzos últimos a flexión

Gráfico 4.2. Esfuerzos últimos a compresión paralela a la fibra

Gráfico 4.3. Esfuerzos últimos a compresión perpendicular a la fibra

Gráfico 4.4. Esfuerzos últimos a tracción paralela a la fibra

Gráfico 4.5. Esfuerzos últimos a tracción perpendicular a la fibra

Gráfico 4.6. Esfuerzos últimos a corte

Gráfico 4.7. Esfuerzos últimos a torsión

CAPÍTULO VI

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Gráfico 6.1. Destino de la madera

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL EUCALIPTO

Figura 1.1. Corteza del Eucalipto Globulus

Figura 1.2. Partes de la corteza del Eucalipto

Figura 1.3. Hojas jóvenes del Eucalipto

Figura 1.4. Hojas adultas del Eucalipto

Figura 1.5. Tipos de nervadura en hojas de eucalipto maduras. *Arriba:* pinnada;

al centro: oblicua; *abajo:* longitudinal

Figura 1.6. Flor del eucalipto y sus partes: (*a* receptáculo; *b* anillo calicino; *c* anillo estaminal; *d*, ovario y base del estilo; *e*, filamentos del estambre.)

Figura 1.7. Plantas idóneas y no idóneas para sembrar

Figura 1.8. Limpieza mecánica

Figura 1.9. Preparación del terreno

Figura 1.10. Plantación del eucalipto

Figura 1.11. Costos de plantación

Figura 1.12. Apeo de las trozas de eucalipto

Figura 1.13. Curva teórica de secado del Eucalipto

Figura 1.14. Horno de secado

CAPÍTULO II

PROPIEDADES FÍSICAS DEL EUCALIPTO

Figura 2.1. Clasificación de las partes comerciales del Eucalipto

Figura 2.2. Textura del eucalipto grandis

Figura 2.3. Estructura transversal del tronco de Eucalipto

Figura 2.4. Textura del Eucalipto glóbulos

CAPÍTULO III

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL EUCALIPTO

Figura 3.1. Máquina de ensayos universal con dispositivo para flexión

Figura 3.2. Probeta para ensayo de flexión, en mm.

Figura 3.3. Deflectómetro para medir la flecha

Figura 3.4. Muestra ensayada

Figura 3.5. Probeta para ensayo de tracción paralela, en mm.

Figura 3.6. Extensómetro para medir deformaciones

Figura 3.7. Probeta en proceso de carga

Figura 3.8. Probeta ensayada

Figura 3.9. Máquina universal de tracción y mordazas para sostener a la probeta

Figura 3.10. Probeta para ensayo de tracción perpendicular, en mm.

Figura 3.11. Probeta ensayada

Figura 3.12. Máquina universal de ensayos con dispositivo para aplicar cargas axiales de compresión

Figura 3.13. Probeta para ensayo de compresión con deformímetro

Figura 3.14. Probeta ensayada

Figura 3.15. Probeta para ensayo de compresión perpendicular con placa

Figura 3.16. Probeta ensayada

Figura 3.17. Máquina universal de ensayos con dispositivo para corte

Figura 3.18. Probeta para ensayo de corte

Figura 3.19. Probeta ensayada

Figura 3.20. Torquímetro y copas de agarre

Figura 3.21. Probeta de prueba para torsión, en pulgadas.

Figura 3.22. Probeta ensayada

CAPÍTULO IV

ESFUERZOS ADMISIBLES

Figura 4.1. Viga simplemente apoyada con carga puntual a L/2

CAPÍTULO V

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Figura 5.1. Vista en planta del área techada

Figura 5.2. Vista en elevación

Figura 5.3. Diseño elástico, (a) controlado por resistencia (limitación de esfuerzos), (b) controlado por rigidez (limitación de los esfuerzos)

Figura 5.4. Área para el cálculo de fuerza cortante por sismo

Figura 5.5. Área para el cálculo de fuerza cortante por viento

Figura 5.6. Unidades

Figura 5.7. Grilla usada para realizar el modelo estructural

Figura 5.8. Definición del material

Figura 5.9. Propiedades del material

Figura 5.10. Propiedades del material de cubierta (teja)

Figura 5.11. Propiedades de las secciones

Figura 5.12 Datos de la Sección

Figura 5.13 Geometría de la Sección

Figura 5.14. Definición de la cubierta y elementos Shell

Figura 5.15. Datos del Shell

Figura 5.16. Propiedades del elemento Frame

Figura 5.17. Propiedades del elemento Shell

Figura 5.17. Definición de los casos de carga

Figura 5.18. Coeficiente del Cortante Basal

Figura 5.19. Asignación de cargas para elementos Shell

Figura 5.20. Definición de las masas de la estructura

Figura 5.21. Combinaciones de Carga

Figura 5.22. Esbelteces de una columna de sección rectangular

Figura 5.23. Definición del material (Hormigón $f_c=210$ Kg./cm²)

Figura 5.24. Definición de la sección de la columna

Figura 5.25. Definición de la sección de la viga banda

Figura 5.26. Modelo de cimentación

CAPÍTULO VI

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Figura 6.1. Consumo maderero en el Ecuador

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Cálculos

ANEXO B. Presupuesto

ANEXO C. Planos

RESUMEN

El trabajo desarrollado a continuación corresponde a una investigación de tipo práctica que pretende dar una novedosa alternativa en Tipología de Construcción, la misma que consiste en el uso de la Madera Pesada Estructural, específicamente en el Eucalipto existente en nuestro país; que posee muchas especies, pero se analizarán las más importantes encontradas en la Costa y Sierra Ecuatoriana, y son: el Eucalipto Grandis y el Eucalipto Glóbulo respectivamente.

Una de las metas principales del proyecto es obtener datos de las Propiedades Físico-Mecánicas de cada una de las especies y poder comparar sus resultados, para finalmente obtener los esfuerzos admisibles que son la base del cálculo estructural en madera.

Se realizará además una aplicación real que será construida en el IASA I, la misma que es una edificación de 231 m², la que se diseñará de dos maneras: con elementos estructurales de madera y con elementos estructurales de hormigón armado, para obtener el ahorro conseguido con el Eucalipto.

Además se analiza el Impacto Ambiental producido por el Eucalipto en el Suelo, ya que es una especie introducida en nuestro medio; así como también el Impacto que se produce por su tala indiscriminada

CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL EUCALIPTO

1.1 DEFINICIÓN

El Eucalipto es una planta leñosa perenne que pertenece a la familia de las *Myrtaceae*. El género *Eucalyptus* comprende unas 500 especies de árboles, la mayoría de los cuales se encuentran en Australia, aunque, en menor número se pueden hallar en Indonesia y Guinea. El género *Eucalyptus* fue descrito, dándole el nombre, por el botánico francés L'Héritier en 1788, después de haber examinado muestras de Cook.

Hacia 1800, se había dado un nombre a 19 eucaliptos, y en 1820 a 28 más, recogidos especialmente por parte de exploradores marinos cerca de las costas australianas. Alrededor de 1840, se había dado un nombre a 71 eucaliptos y había aún abundante material de nuevos eucaliptos entre la masa de muestras de plantas traídas por las diferentes expediciones al regresar a Europa.

Después de algunos años y además muchos estudios realizados, entre estos podemos nombrar: El trabajo de Bentham (1860), Ferdinand von Mueller (1879-1884), Maiden y Blakely (1904-1931), de los cuales se pudo saber que existen alrededor de 500 especies y 138 variedades. Posteriormente, en el año 1965, gracias al trabajo de Prior y Jonson, se comprobó que se pueden realizar híbridos o mezclas que concluyó con la aparición de nuevas especies, y fueron reconocidas en Metro en el año 1955.

Son árboles muy resistentes a la sequía por su capacidad de almacenar agua en las raíces. También resulta muy característico en ellos su rapidez de crecimiento. Todo ello ha llevado a plantarlos en muchas regiones del mundo,

pero especialmente en aquellas zonas tropicales o subtropicales provistas de una aridez considerable, de manera que los habitantes de estas zonas pueden obtener de estos árboles madera para quemar, para sus construcciones y sombra contra el tórrido sol.

La India y Sudamérica son las zonas geográficas donde se han producido plantaciones más cuantiosas, lo que por otra parte, según criterios conservacionistas, estos árboles han realizado una profunda transformación del suelo, tanto por su capacidad para resecarlo en mayor grado como por su habilidad para eliminar especies competidoras.

Pero investigaciones realizadas comprueban todo lo contrario, el suelo no sufre degradación. Por ejemplo, en Australia los bosques vírgenes de eucalipto, que son autóctonos de allí, se asocian también a los mejores suelos existentes posibles, también estos adquieren fertilidades llamativas.

Una prueba de esto es que si el eucalipto empobreciera los suelos, no podrían sobrevivir allí aquellos bosques de árboles imponentes en su porte y aspecto general.

En el Ecuador contamos con un sin-número de plantaciones de Eucalipto, las mismas que se encuentran divididas en las costeñas o de clima tropical y las serranas o de clima frío; las de zonas tropicales se concentran especialmente en Esmeraldas, y las que se encuentran en zonas frías se concentran principalmente en la provincia del Carchi, Pichincha y Azuay. A continuación se presenta una tabla donde se describen las especies encontradas en el Ecuador:

Tabla 2.1: Especies de Eucalipto encontradas en el Ecuador

Nombre vulgar	Nombre Científico
1. Eucalipto	Eucalyptus Saligna
2. Eucalipto Glóbulos	Eucalyptus Globulus
3. Eucalipto Grandis	Eucalyptus Grandis
4. Eucalipto Terericornis	Eucalyptus Tereticornis
5. Eucalipto	Eucalyptus Robusta
6. Eucalipto	Eucalyptus Citriodora
7. Eucalipto	Eucalyptus Botryoides

1.2 MORFOLOGÍA DEL EUCALIPTO

Cada eucalipto se distingue por las características generales y dimensiones; su corteza en el estado adulto; hojas en plántulas juveniles y adultas y, a veces, hojas de transición entre estas dos últimas fases, conocidas como hojas intermedias; ramas jóvenes; inflorescencias; forma de las yemas; estambres; frutos y semillas.

1.2.1 RAÍCES

Tiene una raíz muy poderosa y agresiva, que cuida muy bien al árbol frente a los agentes atmosféricos. No obstante, el árbol puede resultar poco resistente frente al viento si la planta de la que procede se ha repicado deficientemente en vivero, de aquí la conveniencia de utilizar siempre en sus plantaciones la planta adecuada, y también la necesidad de cultivarla en los envases más

apropiados. La conservación de su capacidad natural para rehacer el eje central pivotante de la raíz principal resulta en este sentido fundamental.

1.2.2 CORTEZA

Dado que la corteza, como el comportamiento del árbol, es una característica que llama rápidamente la atención, su descripción es particularmente necesaria para el reconocimiento de muchas especies de eucaliptos que, por lo demás, son similares



Figura 1.1. Corteza del Eucalipto Globulus

Siempre que la capa súbero-felodérmica (ver figura 1.2) sobre las ramas juveniles y sus ramitas funcione sin interrupción, la corteza primaria es, por lo general, lisa y continua. Cuando esta capa cesa de funcionar, se forma una nueva capa profunda inferior, que es retenida durante un año o varios años más. Más tarde, otras capas más profundas pueden aparecer a varios intervalos de tiempo. Estas capas sucesivas se distinguen unas de otras en toda la superficie, o sobre parte del tronco y las ramas. Además, el ritidoma,

que es la masa compleja externa de las sucesivas capas generadoras, puede variar de color, textura y persistencia o desprendimiento después de la renovación de la capa súbero-felodérmica.

Hablando en general, la corteza sobre las ramas jóvenes de un árbol maduro es lisa, mientras que en la parte inferior del tronco, hasta unos pocos metros del suelo, el ritidoma (ver figura 1.2) se vuelve más o menos persistente y profundamente surcado. Por lo tanto, cuando se describe el tipo de corteza, no deben tenerse en cuenta ni la de la base del tronco ni la de las ramitas.

Al envejecer la corteza, su superficie se oxida, se oscurece, se vuelve más o menos pulverulenta, y pierde sus caracteres específicos. Estas características pueden determinarse solamente examinando la corteza madura, no a la base del tronco, sino a un tercio de la altura del árbol.

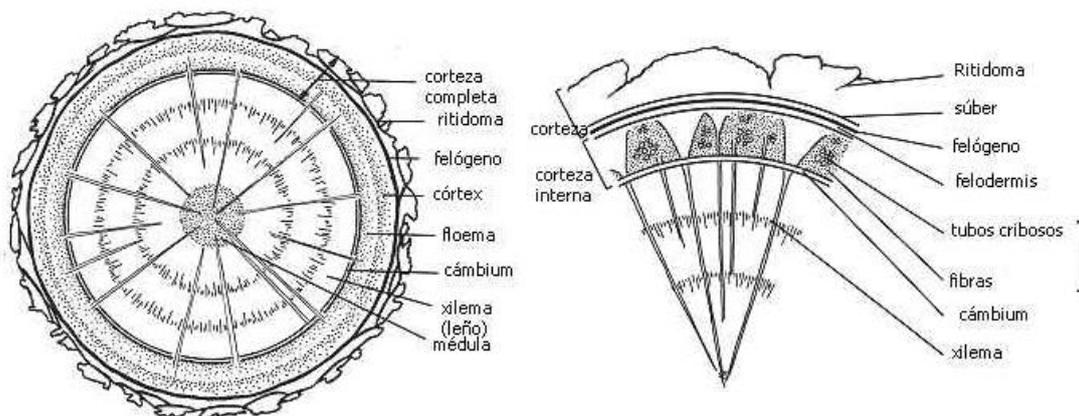


Figura 1.2. Partes de la corteza del Eucalipto

1.2.3 HOJAS

Las hojas, simples y persistentes, suelen presentar un heteromorfismo de gran importancia sistemática.

Las jóvenes suelen ser opuestas por más o menos pares, y sentadas. Su coloración suele diferenciarse de la de las hojas adultas debido a distinta coloración. Su consistencia es más tenue.



Figura 1.3. Hojas jóvenes del Eucalipto

Las hojas adultas presentan gran variabilidad, aunque generalmente son alternas, de bordes enteros, sin diferenciación entre el haz y el envés, y de recubrimiento y coloración muy variable. Las hojas suelen contener gran cantidad de cámaras con aceites característicos.

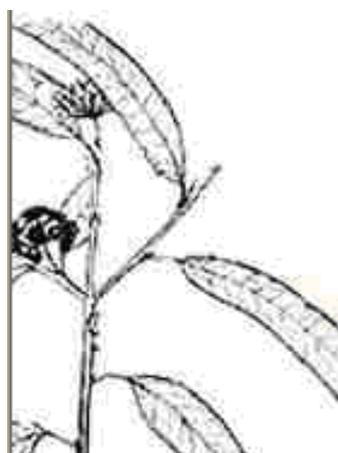


Figura 1.4. Hojas adultas del Eucalipto

◆ **Nervaduras:**

Las nervaduras de las hojas son una guía útil para la identificación de los eucaliptos. Las hojas de la mayor parte de las especies tienen una nervadura central que se reconoce fácilmente, desde la cual divergen las sucesivas nervaduras laterales y cruzan la hoja hasta unirse con la nervadura intramarginal, que sigue el contorno del borde de la hoja. Las nervaduras laterales conservan un ángulo de nervadura bastante regular con respecto a la nervadura central, especialmente en la parte central de la hoja. Se reconocen los siguientes tipos de nervaduras:

- ◆ **Nervadura pinnada.** Las nervaduras laterales son bastante abundantes, paralelas, y forman un ángulo de 60° o más con la nervadura central. El nervio intramarginal es corrientemente más fino y está cerca del borde de la hoja.
- ◆ **Nervadura oblicua.** Las nervaduras laterales forman con la nervadura central un ángulo inferior a 60° , y son menos numerosas que en el tipo penninervado, siendo frecuentemente anastomosadas y con la nervadura intramarginal algo sinuosa y relativamente distante del borde de la hoja.
- ◆ **Nervadura longitudinal.** Las nervaduras laterales forman un ángulo de 30° , o menos, con la nervadura central y son a veces casi paralelas.



Figura 1.5. Tipos de nervadura en hojas de eucalipto maduras. *Arriba:* pinnada; *al centro:* oblicua; *abajo:* longitudinal

1.2.4 FLOR

El género *Eucalyptus* se caracteriza por la falta de diferenciación de cáliz y corola, estando sus piezas soldadas y formando un receptáculo con opérculo caedizo en la floración. La caída del opérculo permite la expansión de los estambres que, inicialmente, se encuentran doblados hacia adentro. Las flores aparecen generalmente en racimos o cimas, rara vez aisladas o en pequeños grupos.

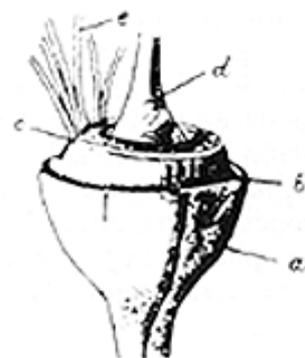


Figura 1.6. Flor del eucalipto y sus partes: (a) receptáculo; (b) anillo calicino; (c) anillo estaminal; (d) ovario y base del estilo; (e) filamentos del estambre.)

1.2.5 FRUTO

El fruto, por fin, es también muy variable tanto en forma y tamaño de la cápsula, como en la forma de abrirse, posición de las valvas y del disco circundante, etc.

La producción de semillas es abundante, tanto fértiles como abortadas. Las primeras suelen ser poliédricas, más gruesas y de diferente coloración, aunque a veces adquieren formas redondeadas o aladas. Suelen ser de tamaño pequeño.

1.2.6 SEMILLA

Las semillas de *Eucalyptus* varían mucho en tamaño, desde menos de 1 mm en hasta más de 2 cm; en el color, desde negras en *E. tereticornis* hasta amarillas en *E. camaldulensis*; en la forma, desde casi esféricas a cuboides; y en su relieve, desde superficialmente reticuladas a profundamente alveoladas.

1.3 EL EUCALIPTO EN EL ECUADOR

Ecuador es un país ecuatorial en la costa occidental de América del Sur, situado entre las latitudes 1°38'N a 4°50'S. El país se eleva desde el nivel del mar hasta una fértil meseta alta y luego hasta algunos de los altos picos de los Andes, siendo el más alto, en el Ecuador, el volcán Chimborazo, con 6 272 m.

La principal especie de eucalipto plantada, *E. globulus*, fue inicialmente introducida en 1865 y bastamente plantada sobre la meseta central entre las alturas de 1 800 y 3 300 m. El mejor crecimiento se presenta en localidades entre 2 000 y 2 900 m, donde la precipitación anual es de 1 000 a 2 000 mm, correspondiendo a la designación de Holdridge, zona de bosque húmedo montano bajo (Holdridge, 1967). Se han hecho otras plantaciones de eucaliptos en la zona de bosque seco montano bajo, con una lluvia de 500–1 000 mm. Los principales eucaliptos cultivados, aparte de *E. globulus*, son *E. saligna*, *E. camaldulensis* y pocos *E. robusta*, pero también se están ensayando las siguientes especies (Ecuador, 1973): *E. citriodora*, *E. grandis*, *E. propinqua*, *E. resinifera*, *E. tereticornis* y *E. umbra*.

Hasta 1975, se había plantado un total de 17 716 ha de eucaliptos. Casi la mitad se había establecido por el Servicio forestal nacional; el resto son plantaciones privadas. La madera se usa para leña, postes cortos y largos, además para minas y madera aserrada. La principal concentración de plantaciones se encuentra entre Quito y Latacunga, pero las plantaciones se extienden a las provincias de Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua. Los suelos son de origen volcánico y son fértiles.

En 1976, el Gobierno del Ecuador hizo el *Inventario de áreas forestadas en el Ecuador* (Narváez, 1976). Este inventario abarcó todas las especies plantadas, eucaliptos, pinos y otras. El inventario indica las superficies de plantación por cantidad de plantaciones, especies y edad de las plantaciones por cada municipio, cantón y provincia.

Tabla 1.2: Superficies plantadas con diversas especies de eucaliptos en el Ecuador

Propiedades físico-mecánicas del Eucalipto y aplicación al diseño estructural de una vivienda parte de una granja integral, ubicada en el IASA I.

Jorge Esteban Martínez Escobar
Juan Carlos Siza Simbaña

Especies	Superficie plantada (ha)	Porcentaje del total
<i>E. globulus</i> (por plántulas)	12 899	73
<i>E. globulus</i> (por tallar)	4 506	25
<i>E. saligna</i>	156	1
<i>E. camaldulensis</i>	132	1
<i>E. robusta</i>	5	-
Otros eucaliptos	18	-
Total	17 716	100

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca
Inventario de áreas forestadas en el Ecuador (Narváez, 1976)

Tabla 1.3: Tamaño, número, superficie y edad de las plantaciones de eucalipto en el Ecuador

<i>E. globulus</i> de tallar		Otras plantaciones(adicionales a <i>E. globulus</i> de tallar)		<i>E. globulus</i> cultivos de plántulas		<i>E. globulus</i> de tallar	
Tamaño (ha)	Número	Tamaño (ha)	Número	Edad	Superficie (ha)	Edad	Superficie (ha)
<5	280	<5	883	<5	4 362	<3	1 342
6-20	115	6-20	399	6-10	5 266	4-6	1 621
21-50	30	21-50	95	11-15	290	7-9	1 159
51-100	9	51-100	33	16-20	666	10-12	363
>100	5	>100	5	20+	96	12+	21
	439		1 415		10 680		4 506

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca
Inventario de áreas forestadas en el Ecuador (Narváez, 1976)

Las tablas antes descritas, indican cómo puede lograrse un importante activo de eucaliptos con plantaciones de dimensión muy pequeña, pequeña, mediana y mayor. La amplia distribución de las plantaciones en todo el país significa que las distancias a las cuales los productos de la madera deben ser transportadas no son grandes.

1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES DE EUCALIPTO INTRODUCIDAS EN EL ECUADOR

Eucalyptus grandis (eucalipto grandis)

Condiciones de plantación:

Altitud: 100 – 2100 msnm

Clima: Temperatura media de 21°C, lluvia anual: 900-4000 mm. Es exigente en luz.

Suelos: Preferentemente en suelos profundos, bien drenados, tolera sitios húmedos, requiere de suelos arcillosos, franco-arcillosos, arcillosos franco-arenosos o arenosos y soporta suelos ligeramente ácidos con tendencias a la neutralidad.

Limitantes:

Pueden ser atacados por hormigas y termitas en su estado juvenil. Es altamente sensible a las deficiencias en boro, vulnerable a la quema y heladas.

Usos principales:

- ◆ Maderable: en decoración de interiores, enchapes, cajones, postes de redes eléctricas
- ◆ Combustibles: como leña y carbón vegetal
- ◆ Pulpa: en la producción de papel
- ◆ Ornamental
- ◆ Sombrío
- ◆ Cerca viva
- ◆ Especie melífera, utilizada en apicultura
- ◆ En conservación de suelos

Eucalyptus terericornis (eucalipto terericornis)

Condiciones de plantación:

Altitud: 0 – 1850 msnm

Clima: Temperatura media de 17 - 27°C, lluvia anual: 500 - 3500 mm.

Suelos: Preferentemente en suelos profundos, bien drenados, de origen aluvial, de textura franco-arenosa, limosos, margas arenosas, terrazas

pedregosas húmedas pero no encharcadas y soporta suelos neutros o ligeramente ácidos.

Limitantes:

Alta acidez del suelo y las arcillas pesadas, es poco resistente a las heladas, no tolera inundaciones estacionales. Se han reportado ataques de hongos, termitas, hormigas y comején.

Usos principales:

- ◆ Postería, madera rolliza
- ◆ Pulpa de fibra corta
- ◆ Manija de herramientas
- ◆ Barriles
- ◆ Leña y carbón

Eucalyptus citriodora (eucalipto citriodora)

Condiciones de plantación:

Altitud: 100 – 1300 msnm

Clima: Temperatura media de 22°C, lluvia anual: 600 - 1600 mm. Es exigente en luz.

Suelos: Preferentemente en suelos profundos, bien drenados, requiere suelos franco-arcillosos, franco-arenosos o arenosos y soporta suelos ligeramente ácidos con tendencia a la neutralidad. También se desarrolla en suelos pobres lateríticos y gravillosos.

Limitantes: Es atacado por hongos que producen chancros. Es susceptible a termitas en estado juvenil. No se recomienda para ornamentación urbana por su baja ramificación; su producción de semillas y su viabilidad son deficientes comparadas con otras especies del género.

Usos principales:

- ◆ Maderable
- ◆ Combustible: como leña
- ◆ En perfumería: se extrae el aceite de citronela con fragancia a limón
- ◆ Ornamental
- ◆ Especie melífera

EUCALYPTUS GLOBULUS (Eucalipto glóbulos)

Esta especie es la más utilizada en el sector de la construcción Ecuatoriano, es por esto que será la especie de análisis del presente proyecto, además de una comparación con otra especie también cultivada en el Ecuador, Eucalipto Grandis, la misma que se encuentra principalmente en la Costa Ecuatoriana; para finalmente obtener parámetros comparativos en esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad, necesarios para el cálculo estructural. El Eucalyptus glóbulus se encuentra principalmente en la zona de la sierra, por sus condiciones de plantación y para su crecimiento, que serán detalladas a continuación.

Las probetas que se utilizarán en los ensayos que demuestran las propiedades físico-mecánicas del eucalipto serán tomadas de esta especie y del Grandis, para obtener parámetros comparativos.

Condiciones de plantación:

Altitud: 1600 a máximo 2900 msnm

Clima: Temperatura media de 15°C, lluvia anual: 700 - 1800 mm. Es exigente en luz y susceptible a las heladas.

Suelos: Preferentemente en suelos profundos, bien drenados, requiere suelos franco-arcillosos, franco-arenosos o arenosos y soporta suelos ligeramente ácidos con tendencia a la neutralidad.

Topografía: Plana a ligeramente ondulada

Limitantes:

Puede ser afectado por ataques de insectos y hongos. En vivero es atacado por la gota. Sufre ataques de defoliación del escarabajo. Los factores ambientales limitantes son suelos pobres en drenaje, salinos y pizarrosos que afectan su crecimiento.

Las sustancias químicas de sus hojas ricas en aceite favorece la propagación del fuego en caso de incendios y algunas veces por efectos alelopáticos impiden la germinación de semillas de otras especies.

Usos principales:

- ◆ Maderable: Aserrío: construcción liviana y pesada. Construcción naval. Muebles. Ebanistería. Carpintería. Pisos domésticos. Durmientes. Cajas corrientes. Madera redonda: Chapas y tableros contrachapados. Pulpa de fibra corta. Postes para construcción, para transmisión y para cercas. Leña (v.c.=4950 kcal/kg) y carbón. Madera para minas. Mangos para herramientas. Tornería

- ◆ Las hojas contienen 0.75-1.25% de eucaliptol, con propiedades medicinales; se emplea principalmente para tratar las afecciones de la nariz y garganta, y contra la malaria y fiebre.
- ◆ La corteza contiene 1% de taninos, de interés para la producción de miel.

1.4 CULTIVO

1.4.1 PLANIFICACIÓN DEL CULTIVO

Quando se pretende plantar con eucalipto una parcela, es necesario planificar cuidadosamente todos los aspectos que ello conlleva. Los pasos a seguir para cada una de las tareas (selección de planta, preparación del terreno, plantación, aprovechamiento o cosecha) Se detallan a continuación.

Respecto a la planificación, y en términos generales, se deberán considerar los siguientes puntos:

- **Estudio físico de la parcela**, estableciendo su superficie útil (separación de lindes, presencia de líneas eléctricas y telefónicas, conducciones de gas o agua), y calidad y características del suelo (fertilidad, encharcamiento). Un plano y la realización de zanjas para el análisis de suelos pueden serle de gran utilidad.
- **Elección de la especie y procedencia** de semilla más adecuada. Considere los factores limitantes. La climatología (frío, heladas, viento) condicionan la elección.

-
- **Cálculo financiero de la inversión** a realizar y turno de corta esperado.

Previo a cualquier inversión en la implantación de un cultivo es necesario «hacer números».

- **Obtención de los permisos correspondientes** y solicitud de posibles subvenciones. Consulte en la oficina de la Administración competente qué legislación afecta a su parcela.
- Planificación y ejecución de los **trabajos previos** en el terreno (pistas, desbroce y preparación). Una preparación defectuosa o inapropiada puede comprometer la rentabilidad de la plantación. La elección del marco y densidad de plantación adecuados influye en los crecimientos y condiciona las labores de mantenimiento y los aprovechamientos.
- Obtención de planta y **realización de la plantación**. Asegúrese de adquirir la planta a un proveedor que garantice su origen y calidad, así como manejar la planta con los cuidados necesarios.
- **Labores de mantenimiento**. Son imprescindibles durante los dos primeros años, favoreciendo los crecimientos y la protección de la plantación.
- **Aprovechamiento del cultivo**. Es aconsejable que sea realizado por especialistas, dados los requerimientos de seguridad y los conocimientos técnicos necesarios.
- **Preparación de la siguiente cosecha**. Después de la corta reinvierta parte del beneficio de la venta de la madera en preparar la siguiente cosecha (tratamiento de los restos de corta, selección de brote o nueva plantación).

1.4.2 PRODUCCIÓN DE PLANTA

Uno de los condicionantes para obtener una planta de calidad es su origen genético. El almacenado de la semilla es un factor importante tanto para mantener sus cualidades germinativas como para asegurar un óptimo estado fitosanitario. La semilla ha de ser almacenada en sitios frescos alejada de fuentes de luz, calor y humedad.

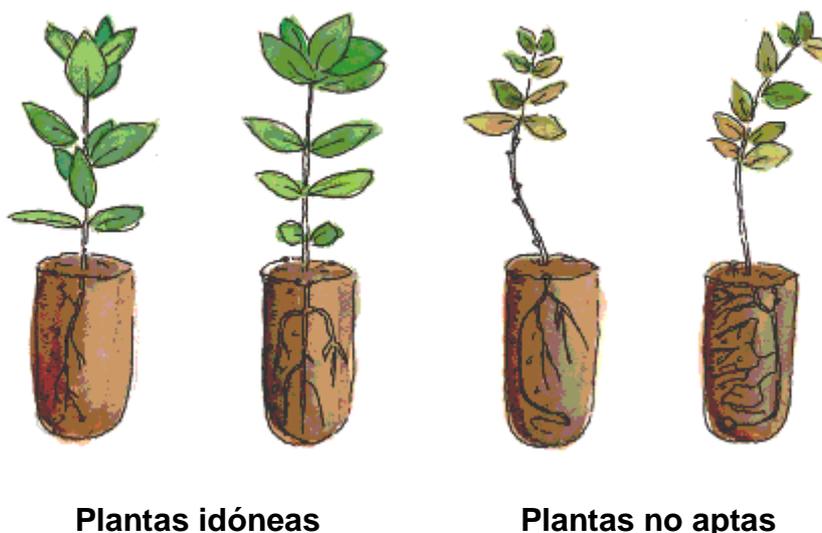


Figura 1.7. Plantas idóneas y no idóneas para sembrar

La manipulación de la planta a lo largo del período de producción va a incidir sobre su calidad final y por tanto sobre su comportamiento en campo. Con el fin de minimizar dicha manipulación, debe ser sembrada en contenedores con celdas individuales. El número de semillas por alvéolo dependerá de su capacidad germinativa manteniendo como objetivo una planta por envase. En caso de que germine más de una semilla hay que dejar una única plántula, la más vigorosa y que esté centrada en el alvéolo. La selección de la planta se realizará cuando empiecen a tener el primer par de hojas ya que de lo contrario las raíces se enredan y se puede provocar daños a la que permanece. La plántula eliminada nunca debe ser transplantada a otro alvéolo

ya que los daños, a pesar de ser imperceptibles, repercuten en la estructura de la raíz con efectos muy negativos en la reforestación.

Para la identificación de una planta de calidad deben considerarse el sistema radicular, su estado fitosanitario y el tamaño y disposición de las hojas. Los requisitos de una buena planta de eucalipto se describen en el cuadro adjunto.

Tabla 1.4: Características de la planta ideal

Características de la planta ideal
El tamaño de la planta debe oscilar entre 15-20 cm. de altura. No obstante, una planta puede ser apta si cumple los requisitos mencionados a continuación.
Las raíces no deben presentar enrollamientos ni deformaciones especialmente en la base del cepellón. El sistema radicular del cepellón no debe ser excesivamente denso, ni amarillento (indicaría un tiempo excesivo de permanencia en contenedor).
La disposición de las hojas en el tallo o la distancia internudos no debe ser menor de unos 2 cm. La presencia de muchos pares de hojas rojizo/marrón y muy juntos unos de otros, es síntoma de planta muy envejecida y excesivamente dura.
La planta debe presentar una sola guía principal no muy tierna ya que sería más sensible a daños tanto físicos (en transporte y manipulación) como de tipo fitosanitario.
El estado fitosanitario de la planta ha de ser controlado de forma rigurosa desechándose toda planta con daños en tallo, raíces o inserciones de las hojas al tallo bien sea por hongos o cualquier otro tipo de agente patógeno. En cualquier caso ha de salir del vivero revisada y tratada preventivamente.

Fuente: Libro “El Eucalipto”, Montoya Oliver J. Miguel

El eucalipto es una especie con períodos cortos de producción en vivero si la comparamos con pinos o robles. La planta no debe salir demasiado débil ni excesivamente endurecida. El periodo de producción varía entre 3 y 5 meses dependiendo de la especie.

Una vez adquirida, la planta debe de ser tratada con sumo cuidado hasta que sea puesta en el campo, siguiendo las instrucciones que reciba de su proveedor habitual. De lo contrario, una manipulación errónea o deficiente traerá como consecuencia una pérdida de calidad.

Recuerde que el origen de la semilla y el estado de la planta es uno de los aspectos más importantes para obtener unos buenos crecimientos. Por ello, procure obtener la planta en viveros calificados, que le ofrezcan garantía de origen genético y unas buenas prácticas de producción. La producción de planta de calidad con «certificado de garantía» debe dejarse en manos de verdaderos especialistas para asegurar el mejor resultado.

1.4.3 TRABAJOS PREVIOS A LA PLANTACIÓN

1.4.3.1 Infraestructura, limpieza y preparación

Infraestructuras

Toda parcela donde se vayan a cultivar eucaliptos ha de tener una infraestructura adecuada. En primer lugar debe contar con un buen acceso, tanto para facilitar los trabajos de plantación como para posibilitar la explotación del mismo.

Limpieza y preparación

Además de los aspectos mencionados anteriormente, los trabajos a realizar antes de efectuar la plantación deben estar encaminados a favorecer el arraigo y crecimiento inicial de los eucaliptos. Al igual que otros cultivos forestales (pinos, chopos) y no forestales (maíz) la competencia de otras plantas afecta a los rendimientos del eucalipto. Dada la sensibilidad ante la competencia de las hierbas, zarzas, tojos o cualquier otro arbusto, es primordial eliminarlo mediante desbroce del terreno. Después, debe ser preparado el terreno con el fin de remover la tierra permitiendo una fácil instalación de las raíces. Estas

tareas no se realizan solamente para facilitar las labores de plantación, sino principalmente para favorecer el buen crecimiento de los árboles.

1.4.3.2 Desbroce

El objetivo de la limpieza previa a la plantación es conseguir que la planta tenga la menor competencia posible en los primeros 2 años, tanto por los nutrientes del suelo como por la luz solar. Cuanto mejor sea el terreno mayor interés hay que tener en la limpieza previa y posterior a la plantación, puesto que la calidad del suelo beneficiará tanto a los eucaliptos recién plantados como al matorral y la hierba. El desbroce puede llevarse a cabo mediante diversos métodos.

Limpieza manual

Si se va a hacer limpieza manual, o siega en caso de estar cubierta por hierbas, hay que limpiar la mayor superficie posible alrededor del lugar donde va a ir la planta. Desde un punto de vista económico, lo mejor es realizar calles de 1,5 metros de ancho en las líneas donde se vaya a plantar. Este método resulta lento y menos eficaz que otras alternativas, aunque puede ser empleado dependiendo de las condiciones de la parcela. Se procurará usar motodesbrozadora portátil para la eliminación de matorral.

Limpieza mecánica



Figura 1.8. Limpieza mecánica

Si la parcela es mecanizable, los costos son menores que las labores manuales y el rendimiento y rapidez, mayores. Este sistema de limpieza facilita la trituración del matorral aportándolo al suelo inmediatamente como abono en verde. Si el matorral está alto, el empleo de una desbrozadora de cadenas arrastrada por tractor resulta imprescindible. El uso de una desbrozadora de martillos permite realizar una labor más intensa, triturando incluso leñas, matorrales gruesos y restos de tala, pero su rendimiento es menor que la de cadenas y su coste, lógicamente, mayor.

Un inconveniente de este trabajo es que no permite eliminar las raíces. La mayor parte de los matorrales desbrozados (tojós, escobas, zarzas, brezos, etc.), rebrotan posteriormente, incluso con más vigor que el inicial, resultando algunos de ellos rejuvenecidos por la operación. Al igual sucede si se siega la hierba justo antes de la plantación.

El gradeo o fresado del matorral se debe usar sólo en los casos en que por el tamaño y densidad de éste la desbrozadora de cadenas no pueda realizar un buen trabajo. Pero hay que tener en cuenta que estas operaciones son

bastante caras, están limitadas por la pendiente y pedregosidad del terreno y van a favorecer mucho la germinación de todas las semillas que existan en el suelo. Por ello no resultan recomendables en la mayor parte de los casos.

1.4.3.3 Preparación del Terreno



Figura 1.9. Preparación del terreno

Así como el desbroce es conveniente realizarlo sobre la totalidad de la parcela, la preparación del terreno se realizará únicamente donde se vaya a plantar, evitando remover el resto de la superficie. La preparación del terreno es tanto más importante cuanto peor sea la calidad del suelo y se deberá realizar con más intensidad en suelos poco profundos, muy pedregosos o compactos.

En suelos muy buenos, frescos y profundos una excesiva intensidad de preparación no influirá prácticamente en el crecimiento de los eucaliptos, pudiendo tener efectos contraproducentes como el de favorecer el germinado de las malas hierbas o aumentar el peligro de erosión por escorrentía superficial al quedar el suelo desnudo. En este caso es más importante una buena eliminación de la competencia que una intensa preparación del terreno.

Es aconsejable mecanizar la preparación del terreno siempre que se pueda, teniendo en cuenta los dos factores limitantes a este proceso que son la

pendiente y la superficie de la parcela. Los eucaliptos van a reaccionar muy bien a la tierra removida y a la profundidad a que se pueda trabajar.

Un subsolado lineal con separación de surcos de 3 metros, en máxima pendiente, se puede considerar un tipo de preparación válida para una gran parte de los terrenos. No es conveniente subsolar según líneas de nivel en la Cornisa Cantábrica pues debido a la alta pluviosidad es posible que estos surcos queden encharcados, lo cual resulta perjudicial para la plantación de cualquier especie forestal.

El subsolado tiene que ser lo más profundo posible. Para suelos muy pedregosos, muy compactos o con un tepe muy denso puede resultar necesario que el «ripper» o rejón lleve aletas. Ello permite abrir un surco suficiente y facilita la correcta preparación del lugar de plantación. Es conveniente levantar periódicamente el «ripper» para evitar la continuidad del subsolado, así como hacer **plataformas** para colocación de las plantas. Siguiendo las indicaciones referidas este método de preparación no debe traer problemas de arrastres de tierra.

El tractor agrícola puede subsolar bien terrenos con suelo fresco y suelto. Para terrenos de monte, especialmente si es una extensión grande o son varios los propietarios que desean plantar, saldrá más rentable contratar una pala cargadora o un buldózer que efectúe el subsolado. Recuerde que no debe decaparse el terreno con la pala del buldózer, ya que se destruye una parte del suelo muy rica en materia orgánica y nutrientes.

Para plantar a una densidad de 1.600 plantas por hectárea lo más recomendable es establecer una separación entre líneas de 3 m y entre plantas de 2 (marco regular de 3x2 m). En cualquier caso es necesario no

dejar menos de 3 metros entre líneas, para facilitar la mecanización y ejecución de posteriores trabajos de limpieza y mantenimiento, y del aprovechamiento final de la plantación.

Si por motivos económicos o de acceso se tuviera que hacer pozas u hoyos, deberían ser de las mayores dimensiones posibles (40x40x40 cm.). Deben realizarse con una azada de tipo 11A, con un pico soldado que facilite el trabajo en lugares pedregosos.

1.4.3.4 Plantación

Marco y densidad de plantación

La elección del marco adecuado de plantación (distancia entre riegos y entre plantas) tiene una gran importancia económica. La disposición de la plantación condiciona el número de plantas por hectárea o densidad. Esto no sólo repercute en los costos directos de la plantación, sino que influye en los cuidados necesarios y la protección posterior, el coste de los aprovechamientos y la calidad de los productos finales.



Figura 1.10. Plantación del eucalipto

Una densidad de cultivo inicialmente alta tiende a producir más volumen total, con individuos menos ramosos, menores diámetros y mayor porcentaje

de corteza sobre el volumen total. En este caso se tiende al aprovechamiento del sitio, pero con productos que no estén restringidos por el diámetro (apeas de mina, leñas o postes para la construcción de bateas). Además, cuando la densidad es excesiva se incrementa la proporción de árboles suprimidos o dominados.

Por el contrario, densidades muy bajas (mayor espaciamiento) permite un mayor desarrollo de cada individuo, pero también más ramas y, por supuesto un menor volumen final y menor aprovechamiento del terreno. La calidad del producto (madera para desenrollo) podría llegar a compensar la pérdida productiva, si bien el turno o edad de corta es más largo que a densidades altas.

Así, deberá elegirse un marco de plantación que permita optimizar el terreno y la producción final, además de favorecer diversos usos. Como recomendación de carácter general para nuestra región, considerando el compromiso entre la producción en volumen y los diámetros de los árboles, la densidad idónea parece ser de **1.600 plantas por hectárea**.

El empleo de un marco regular de plantación favorece la uniformidad de los árboles. Para alcanzar la densidad de 1.600 plantas, un **marco regular de 3x2** puede resultar muy adecuado. Generalmente, la distancia entre líneas o riegos será de 3 metros, separando las plantas entre sí 2 metros. Otros marcos que se utilizan son 3,5x2 (1.400 plantas/ha) y 3x3. En ningún caso deberían plantarse más de 1.600 ni menos de 1.100 plantas por hectárea.

1.4.3.5 Costos de Plantación (en porcentajes)

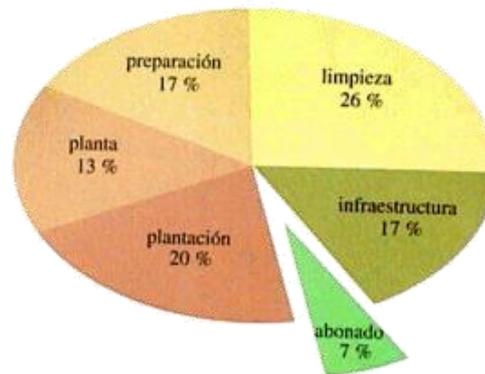


Figura 1.11. Costos de plantación

1.5 ETAPAS DE CORTE

Antes de describir las diferentes operaciones de corte, se analizarán brevemente algunas condiciones generales, que deben tenerse en cuenta durante la planificación de las operaciones de corte, ya que influyen en las operaciones individuales y de conjunto.

1.5.1 CONDICIONES GENERALES

1.5.1.1 Condiciones de trabajo

Es necesario evaluar las condiciones de trabajo para elegir los métodos más apropiados. Esta evaluación debe tener en cuenta los siguientes aspectos: características del rodal, del árbol y de las trozas; topografía y condiciones del terreno; clima, distribución anual y cantidad de lluvias; accesibilidad.

1.5.1.2 Parámetros económicos

El costo del equipo y la disponibilidad de capital son importantes consideraciones en el caso de contemplar un cierto grado de mecanización. Deben hacerse cuidadosos cálculos de costos para apreciar las diferentes alternativas.

1.5.1.3 Problemas de empleo

En algunas zonas, el empleo en forestería puede ser la única fuente de ingreso. Debe considerarse muy cuidadosamente la situación local antes de hacer la elección entre métodos manuales o mecanizados. Si existe desempleo, debe preferirse frecuentemente la primera alternativa.

Deben ponerse rápidamente en práctica adecuados programas de capacitación, para permitir niveles de productividad y de ganancia más altos. Debe darse importancia a la seguridad e higiene en el trabajo, poniendo a disposición de los obreros ropa adecuada.

1.5.2 OPERACIONES DE CORTE

1.5.2.1 Apeo

El apeo es el primer eslabón en la cadena de transporte, por lo que debe hacerse una corta dirigida para facilitar la extracción. Los métodos de extracción empleados aumentarán de eficacia si se hacen las trozas. La tala dirigida representará también un menor esfuerzo cuando se ejecuta un arrastre manual, con lo que los árboles se dejan más cerca de los puntos de descarga al borde del camino.

La corta puede ser organizada asignando a cada cuadrilla fajas paralelas de 20m. El apeo puede hacerse hacia el centro de la faja, donde se apilan las cimas y las ramas para ser quemadas o para evitar que dificulten las operaciones de extracción y desarrollo del taller.



Figura 1.12. Apeo de las trozas de eucalipto

Si la capacidad de carga del terreno es baja, el ramaje puede llevarse a los senderos de arrastre. En lo posible, las cuadrillas deben comenzar en los extremos opuestos de las fajas para reducir las molestias entre ellas.

Con un diámetro de **10–30 cm**, un equipo de dos hombres con sierra mecánica de cadena puede cortar **entre 500 y 300 árboles al día**. Si los árboles o las trozas tienen que ser descortezados, puede ser ventajoso si la corteza puede ser aflojada en bandas mientras el árbol está aún en pie. Debe hacerse una incisión anular por encima del nivel de tala final, y entonces la corteza se arranca en tiras hacia arriba para no dañar la corteza de la cepa.

1.5.2.2 Poda y desmoche

Las podas no requieren mucho trabajo, ya que, por lo general, hay pocas ramas finas sobre el tronco comercial. Algunos datos indican que, en rodales con **1100 árboles por ha**, se presentan ramas sobre el **40–50% del tronco comercial**. Con **2300 árboles por ha**, hay ramas en sólo un **10% de los troncos comerciales**. El desmoche puede hacerse fácilmente con el hacha o con una sierra de cadena ligera. Puesto que para la poda se usa generalmente el hacha, ambas operaciones pueden combinarse.

1.5.2.3 Descortezado

La eliminación de la corteza dependerá del uso industrial final de la madera.

Algunos tipos de elaboración rechazan la madera con la corteza aún adherida y, en este caso, el descortezado debe hacerse antes o después del troceado, dependiendo del tamaño de los árboles, y de la posibilidad de que la corteza sea separada en tiras. Los postes tienen que ser descortezados antes del tratamiento de preservación. Como se ha mencionado antes, el descortezado puede hacerse en algunos casos mientras el árbol está en pie, arrancando la corteza hacia arriba.

El rendimiento del trabajo de descortezado a mano depende principalmente de la estación de tala; especies; edad de los árboles; tiempo que pasa entre el corte y el descortezado. Las épocas de circulación de la savia facilitan el arranque de la corteza, las características de la corteza varían con las especies, el espesor de la corteza y las dificultades del descortezado aumentan con la edad, mientras que el mayor lapso de tiempo entre el corte y el descortezado hace que la corteza se adhiera a la madera y el arranque se hace más difícil.

Las descortezadoras mecánicas anulares son difíciles de usar por las características fibrosas de la corteza, lo que retrasa la operación, ya que la corteza tiene que sacarse a mano cuando la máquina se obstruye. Aparte del hacha, pueden usarse otras herramientas manuales más especializadas, como la hoz descortezadora y herramientas similares que pueden ser fabricadas localmente. Si se emplea el hacha, el descortezado se combina con la poda. El rendimiento por día/hombre en la poda y descortezado con hacha varía de 20–50 árboles con un diámetro de 20cm, a 60–100 árboles con un diámetro de 10cm.

1.5.2.4 Troceado

Antes del troceado, debe marcarse la posición de los cortes para obtener la mejor utilización del largo del árbol para la obtención de los diferentes productos, tales como postes, diferentes largos de trozas para aserrío y madera para pasta. Si se pide sólo un tipo de producto, el marcado se hará a largos constantes, según especifique la industria. El troceado puede hacerse antes o después del arrastre, según se desee la madera cortada o la troza entera. Se emplean sierras de cadena, de arco o la troceadora.

La productividad depende en parte del grado de estacionamiento de la madera. Cuando los rollos se trocean inmediatamente después del apeo, puede ser de un 40% mayor que cuando se han secado.

1.6 SECADO

El objetivo de secar la madera, con el menor costo y degradación posibles, es conseguir un contenido de humedad que quede en equilibrio con la atmósfera en la cual será empleada. El proceso de secado puede ser lento, como en el caso de un cuidadoso curado al aire, o puede acelerarse con la aplicación de calor en un horno.

1.6.1 DESARROLLO DEL PROCESO DE SECADO DEL EUCALIPTO

Las leyes que regulan el proceso de secado de la madera son de naturaleza diferente, dependiendo de si el contenido de humedad está por encima o por debajo del punto de saturación de las fibras. Por encima de este punto, la velocidad de secado, bajo condiciones estables de temperatura y humedad relativa del aire, permanece constante y el movimiento del agua libre líquida es causado por fuerzas capilares. Durante la evaporación del agua libre no se

producen tensiones dentro de la madera y solamente se modifica la distribución del contenido de humedad hacia el interior de la pieza.

Cuando el secado ya ha avanzado a contenidos de humedad por debajo del punto de saturación, la permeabilidad de la estructura de la madera entra a jugar un papel importante en el proceso de remoción del agua. La gráfica de velocidad de secado cambia de una línea recta a una curva exponencial decreciente, presentándose una zona de transición. En este rango, el agua retenida en la madera por fuerzas de naturaleza molecular se mueve por difusión a través de las paredes celulares, debido al gradiente de humedad que se crea entre las paredes de las células vecinas.

Finalmente, la curva tiende hacia un valor límite que no es otro que la humedad de equilibrio de la madera correspondiente a las condiciones climáticas establecidas.

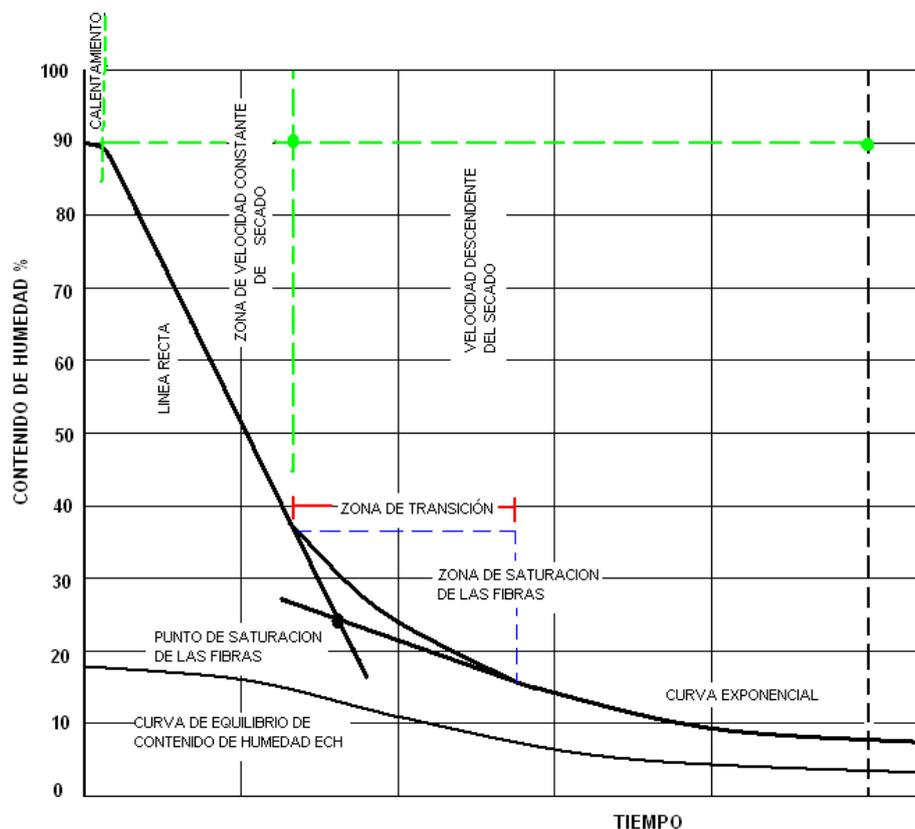


Figura 1.13. Curva teórica de secado del Eucalipto

1.6.2 TIPOS DE SECADO

1.6.2.1 Secado al aire

En una plantación que produce cantidades masivas de postes largos y cortos se debe emplear normalmente métodos simples y seguros para secar estos productos al aire. En los lugares donde los comejenes y la podredumbre no son un problema serio, los postes pueden dejarse descortezados y sobre el suelo entre las hileras de tocones. Puede dejarse en pie, de vez en cuando, hileras ocasionales de árboles para dar sombra a los postes, y colocar sobre ellos ramas para evitar un secado demasiado rápido por los rayos del sol directo. En un mes habrán perdido gran parte del agua libre en sus células y serán mucho más ligeros para su transporte a canchas de clasificación, donde pueden ser sistemáticamente apilados. A este punto, deben recubrirse las extremidades de los postes con un producto a base de petróleo o alquitrán, que demorará el secado de las puntas y reducirá las rajaduras. Pueden aplicarse también, para reducir las rajaduras, clavos ganchos, torniquetes, alambre o taladros de las puntas. Es esencial que las pilas estén adecuadamente ventiladas, bien levantadas del suelo. El secado bajo techo asegura menos rajaduras que al abierto, y debe ser estimulado. A menudo se necesita aplicar pulverizaciones profilácticas para impedir los ataques de insectos durante el secado, lo que puede ser necesario repetidas veces en el caso de serios ataques.

Los palos cortos y los postes pueden secarse al aire en pilas estratificadas, cada capa en ángulo recto con la siguiente, lo que permite la libre circulación

del aire. En las regiones con mucha precipitación, se acelera el secado y se evita la podredumbre de la albura cubriendo las pilas o colocándolas bajo un cobertizo secadero con los lados abiertos.

Si la madera aserrada de eucalipto debe ser secada al aire, deberá disponerse de una cancha bien proyectada, libre de malezas que obstaculicen la circulación del aire. Deben hacerse cimientos para las pilas de secado, y en las pilas las piezas aserradas deben ser encastilladas capa por capa, separando cada una de la siguiente por listones distanciados alrededor de 50 a 100 cm en una cuidadosa alineación vertical, protegiendo la parte superior de la pila contra la lluvia y los rayos directos del sol. Será necesario un período de 4–6 meses, para tablas de 25 mm de espesor, para el secado al aire de madera de *E. grandis*.

Debe prestarse especial atención al secado, que es particularmente importante si hay que aplicar un tratamiento preservador. El mal secado es frecuentemente la causa de malos resultados en la preservación.

1.6.2.2 Secado al horno

La aplicación de calor en un horno puede acortar el proceso del secado, desde meses, que se necesitan para el secado al aire, a cuestión de días. La rapidez del secado reduce los peligros de ataques de hongos y de insectos durante el proceso de secado. El secado puede continuarse hasta que la madera alcanza un contenido bajo de humedad (5–9%), que es adecuado para su empleo en el interior de edificios, pero que no se podría nunca obtener con el secado al aire (normalmente, contenido mínimo de humedad del 12% o más). La aceleración del proceso del secado con la aplicación de calor requiere

un equipo caro, habilidad y supervisión. El agua que se elimina de la madera tiene que ser evaporada de su superficie y luego esta humedad superficial debe ser reemplazada por la humedad más profunda de la madera. Si se elimina demasiado rápidamente la humedad de la superficie, la estructura de la madera cerca de la superficie se altera y el agua interna no puede llegar a la superficie. Se produce en la superficie un fenómeno llamado endurecimiento superficial y se interrumpe de forma seria el secado de las capas internas de la madera. Es esencial el eficiente control de la temperatura, la humedad y la circulación del aire, para garantizar una mínima degradación durante el secado al horno, y el equipo necesario para este control es costoso.

Se han hecho muchos progresos con los hornos de secado, de los que existen muchos tipos, y se han perfeccionado numerosos programas de secado para adaptarlos a diferentes maderas. Se debe considerar las alternativas entre el secado de los eucaliptos al aire o en hornos, o combinar ambos métodos. Si se decide por el secado al aire, habrá que preparar una cancha de almacenamiento más grande, que debe mantenerse limpia para que sea eficaz, y poder contener un volumen de existencias considerablemente mayor. Si se opta por el secado al horno, habrá que tener una actividad comercial suficientemente grande para mantener una constante cantidad de vapor en los hornos, potencia constante y, por supuesto, una continua supervisión capacitada.

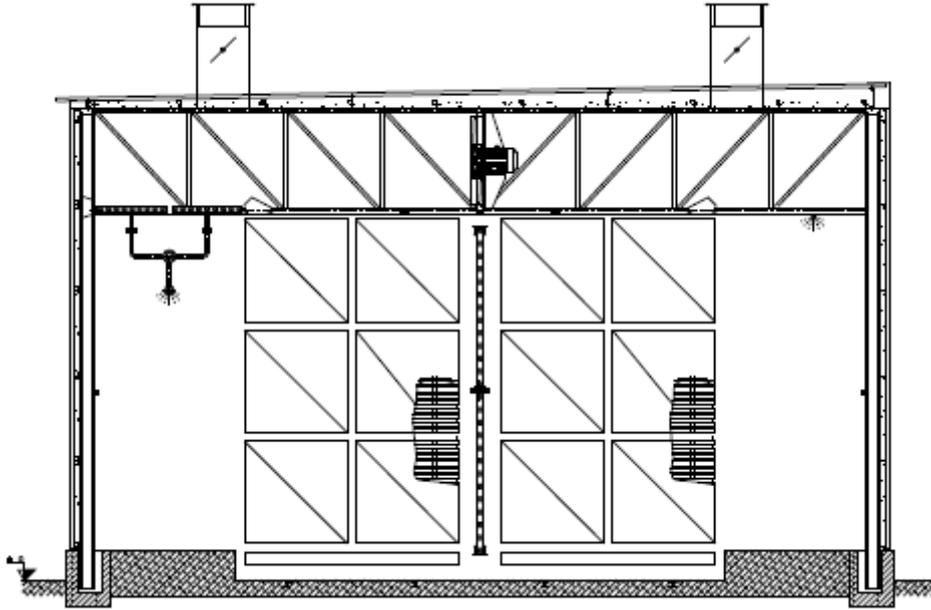


Figura 1.14. Horno de secado

1.7 PRESERVACIÓN

La preservación es la acción de evitar el ataque de hongos e insectos, a través de la aplicación de un preservante a la estructura de la madera, para de esta forma prolongar la vida útil del sustrato.

Entre los enemigos que tiene la madera hay que tomar en cuenta el origen de estos:

Generalmente los destructores de origen animal se alimentan de la celulosa de la madera (polillas, comejenes, por ejemplo), en cambio los destructores de origen vegetal son los causantes de generar manchas en la madera así como también su pudrición que atacan principalmente a la lignina y celulosa.

Se recomienda que la madera deba ser acondicionada de acuerdo al uso y a lugar en donde va a estar ubicado. Si se va a trabajar con madera expuesta a

la intemperie y no se usa recubrimientos, lo ideal es utilizar preservantes de origen oleoso o base aceites, ya que permitirán un correcto anclaje a la superficie, y lo más importante servirá como repelente de humedad.

Cuando se necesite preservar maderas aserradas recientemente, lo ideal es utilizar soluciones a base de boro, con el fin de evitar que la madera adquiera manchas.

1.7.1 PRESERVANTES ACEPTABLES

De los muchos preservantes que han sido empleados, solamente unos pocos son aptos para los tratamientos en gran escala de los eucaliptos. Preservantes aceptables son los siguientes:

Aceites preservadores y preservadores solubles en aceite

a) Aceite de creosota

Un destilado procedente del alquitrán de carbón, en la actualidad obtenido mayormente de alquitrán de coque, y llamado comúnmente creosota de alta temperatura. Tiene una reputación desde hace mucho tiempo de ofrecer una satisfactoria protección contra los ataques biológicos y los efectos de la intemperie. Es una sustancia viscosa a bajas temperaturas y, por lo general se recalienta, por lo menos, a 70°C para los tratamientos. La madera tratada con creosota es moderadamente repelente al agua, pero puede producir irritación a la piel. Puede ser empleada por sí sola, o combinada con aceites minerales, como aceite de fragua o diesel (para aumentar sus propiedades hidrófugas y reducir el costo), y puede ser fácilmente enriquecida con otros fungicidas o con insecticidas, como dieldrina, en las zonas de muy gran peligro de comejenes.

b) Pentaclorofenol

Se trata de un compuesto estable, altamente tóxico, que puede ser disuelto en una variedad de aceites minerales y solventes orgánicos. Se prefieren, para cuando debe haber permanencia en la tierra, aceites pesados como el de hornos, pero pueden usarse aceites de color más claro, menos viscosos o solventes volátiles donde se requieran tratamientos de la madera naturales o para ser pintada. El pentaclorofenol puede requerir ser enriquecido para una máxima protección contra algunos insectos, particularmente los comejenes.

La creosota y el pentaclorofenol en aceite son generalmente aceptados, ya que son igualmente eficaces, pero cada uno tiene ciertas ventajas específicas. La creosota es a menudo más barata, ha demostrado ser resistente al fuego y no requiere ningún equipo especial para ser mezclada. El pentaclorofenol, por otra parte, puede disolverse en diferentes aceites y ser más barato en un país productor de petróleo. Puede resultar también más eficaz contra la podredumbre blanda.

c) Insecticidas orgánicos clorados

Se utilizan a menudo estos compuestos, como aldrina, dieldrina, lindano y heptacloro, en pequeñas cantidades en aceites preservadores para reforzar su resistencia a los ataques de insectos, especialmente de termites (comejenes).

Preservadores en solución acuosa

Todos estos productos se emplean en solución acuosa, pero no se emplea deliberadamente la expresión, solubles en agua, puesto que algunos de ellos se fijan, o se vuelven insolubles después de tratar la madera.

a) Preservadores por difusión

Se incluyen entre éstos el bórax (borato de sodio), fluoruro de sodio y compuestos arsenicales empleados, sea individualmente para prevenir ataques específicos de insectos como los taladradores, o en combinación para la prevención de ataques de insectos y de podredumbre en madera para construcción.

b) Preservadores fijados en soluciones acuosas

Estos consisten en dos o más compuestos inorgánicos que forman una solución estable usada para impregnar la albura de la madera en rollo. Una vez que llegan a la madera, los componentes reaccionan formando compuestos insolubles que no pueden ser fácilmente extraídos. Los más conocidos son el cobre-cromo-arsénico, o preservadores CCA. El grado de fijación varía con la madera que se trata. En los eucaliptos, el preservador puede no moverse lejos de los vasos y la cantidad puede ser notablemente inferior.

CCA y otros preservadores fijados en soluciones acuosas no ofrecen protección contra los efectos mecánicos de la exposición a la intemperie, si bien mejoran la vida de las pinturas y terminaciones claras. Son productos limpios y no irritantes; la madera tratada con ellos no es tóxica y, cuando se seca después del tratamiento, se puede manipular con seguridad. Los preservadores para soluciones acuosas pueden ser producidos en forma de

polvo seco o de pasta concentrada fácilmente soluble, de modo que se pueden transportar a largas distancias con un costo muy inferior al de los aceites preservadores. Pueden ser empleados con maderas cuyo contenido de humedad se aproxima a la saturación de las fibras (25–30%), o mayor, y pueden ser aplicados rápidamente, sin calentar, por métodos de simple presión o no presurizados.

Aparte de su susceptibilidad a la podredumbre blanda en ciertas circunstancias, ya examinadas, los eucaliptos tratados con CCA han sido criticados, porque tienen la tendencia a continuar a arder después de incendiarse, y por su reconocida baja resistencia eléctrica y consiguiente peligro para los obreros que tienden las líneas en tiempo húmedo. En realidad, muy pocos postes tratados con CCA se han perdido por el fuego, puesto que es necesario un fuego muy violento para quemarlos.

La elección entre preservadores en aceite y preservadores en solución acuosa es, por lo general, una decisión económica. Los preservadores en solución acuosa son generalmente más baratos y más fáciles de aplicar a una variedad más grande de maderas, pero la creosota y el pentaclorofenol en aceite tienen definidas ventajas, especialmente en la reducción de hendiduras y resistencia a la intemperie.

CAPITULO II. PROPIEDADES FÍSICAS DEL EUCALIPTO

2.1 ANTECEDENTES

Los eucaliptos fueron introducidos en otras partes del mundo sobre la segunda mitad del siglo XIX. Su interés se centraba en el uso de esta planta como árbol ornamental, como paravientos o para sanear zonas pantanosas. Poco a poco las plantaciones de eucaliptos se fueron extendiendo por países cálidos y subtropicales hasta convertirse en las especies más utilizadas a lo largo de todo el mundo como árbol forestal. A su capacidad para sanear las zonas pantanosas y eliminar insectos y microorganismos causantes de numerosas enfermedades hay que sumar el interés de esta especie como especie maderable, en la producción de pasta de papel, de chapas de madera, aglomerados duros, etc. La mayoría de las especies son de rápido crecimiento, con una media de unos 10 años, y su cultivo va destinado a la producción de maderas "débiles" aunque existen algunas especies de crecimiento más lento, con una duración aproximada de unos 20 años, capaces de producir madera más "nobles" destinadas a la producción de vigas, postes o incluso muebles.

Los eucaliptos se encuentran muy bien adaptados a las condiciones de humedad ambiental donde se hallan. Pueden aguantar cualquier clase de clima con tal de que este sea lo suficientemente cálido aunque no soportan las heladas continuas pues estas queman sus yemas jóvenes. Los ejemplares que crecen en bosques húmedos poseen un crecimiento muy rápido y logran alcanzar alturas gigantescas. Se han hecho mediciones del ritmo de crecimiento de esta especie y se ha comprobado que puede llegar a crecer hasta casi dos metros al año. La razón de este crecimiento se deba a que las

especies de eucaliptos poseen yemas y brotes que están continuamente en producción sin tener periodos de latencia. Cuando un brote terminal es destruido otros brotes secundario suple a este. Igualmente cuando una rama lateral es cortada, otra yema, situada en la axila de las hojas, inicia rápidamente el desarrollo de otra rama que la suple.

2.2 PARTES COMERCIALES DEL EUCALIPTO

El Eucalipto es una planta muy utilizada comercialmente, ya que es aprovechado en el sector industrial en un 98%. Entre sus usos principales tenemos los siguientes:

- Medicinal
- En la construcción
- En la obtención de papel y cartón
- Como combustible
- Fabricación de aceites, etc.

Pero para nuestro estudio, se tomará en cuenta solo el uso estructural, el mismo que aprovecha las trozas, es decir, el tronco del eucalipto.

En la siguiente figura se puede observar la clasificación de las partes comerciales de la planta, además del uso que se le da a cada una en sus diferentes sectores industriales.

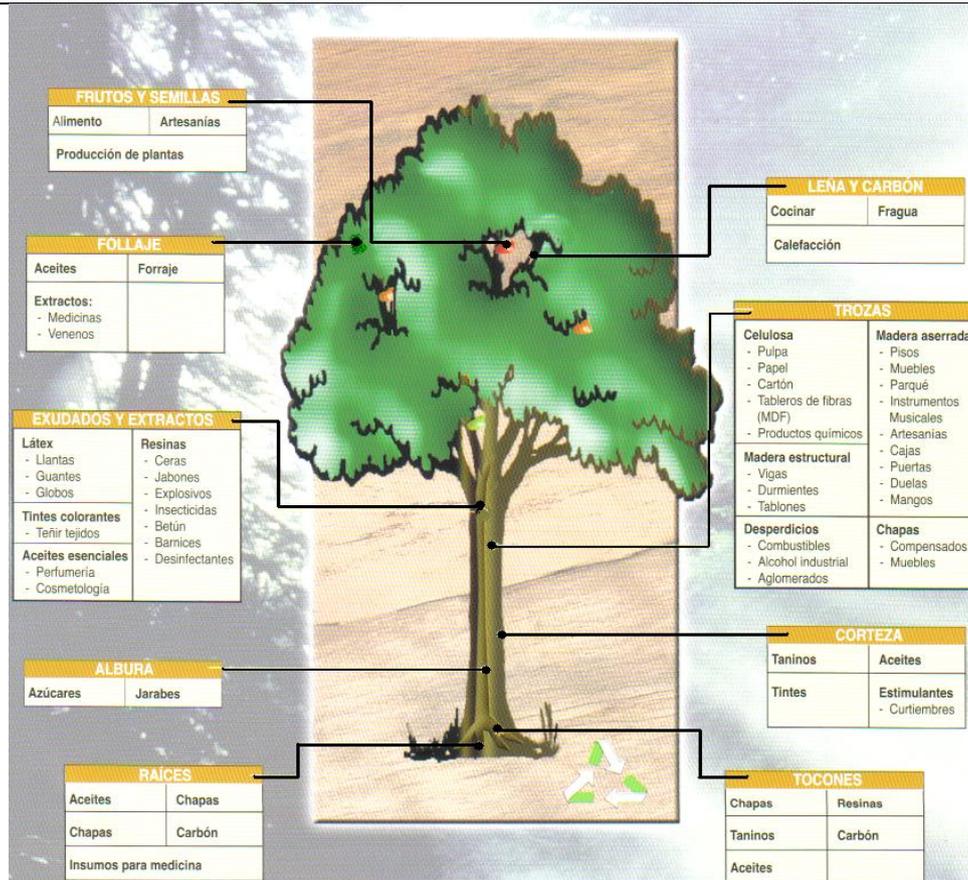


Figura 2.1. Clasificación de las partes comerciales del Eucalipto

2.3 ESTADOS DE MADUREZ DEL EUCALIPTO

El Eucalipto es una planta que presenta un rápido crecimiento, se ha comprobado que esta planta crece alrededor de 2 metros por año, y dependiendo de la especie, puede llegar a grandes alturas. Por ejemplo, en el eucalipto glóbulo se ha observado que en el Ecuador, a edades de entre 5 a 10 años se ha llegado a una altura promedio del árbol de 20 metros y un diámetro promedio (D.A.P.) de 0.25 metros. Mientras que a mayores edades se puede pasar fácilmente los 60 metros de altura.

Según experiencias realizadas en distribuidores de Eucalipto en el Ecuador, la edad de madurez fluctúa entre 5 a 10 años, pero para uso estructural se debe utilizar un Eucalipto maduro, con una edad de 20 años en adelante, ya

que obtienen valores superiores en lo concerniente a características mecánicas, las mismas que se detallarán en capítulos posteriores.

2.4 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL EUCALIPTO

Para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas, se tomarán en cuenta dos especies de eucalipto y son: Eucalipto glóbulos y Eucalipto grandis, las mismas que existen en su gran mayoría en nuestro país y que son las más utilizadas en el sector maderero del país.

2.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL EUCALIPTO GRANDIS



Figura 2.2. Textura del eucalipto grandis

La albura del eucalipto rosado es de un color rosado pálido y el duramen es de rojo claro a oscuro. La madera tiene una fibra recta, una textura tosca y es moderadamente fuerte. Es, al máximo, moderadamente durable, pero la albura es por lo general resistente a los barrenadores del género *Lyctus*. El crecimiento de esta especie es muy bueno logrando buenas alturas a los 17 años.

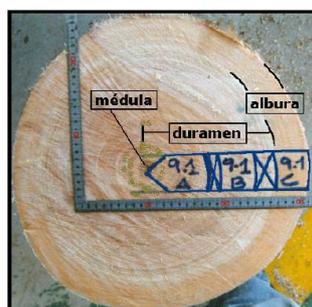


Figura 2.3. Estructura transversal del tronco de Eucalipto

2.4.2 CARACTERÍSTICAS DEL EUCALIPTO GLOBULUS

La albura es de color marrón pálido, poco diferenciada del duramen de color marrón muy pálido, con matiz rosado grisáceo. Olor y sabor característicos a eucaliptol. Brillo mediano. Grano de recto a ligero entrecruzado. Textura mediana. Veteado en líneas verticales, satinado, poco pronunciado.

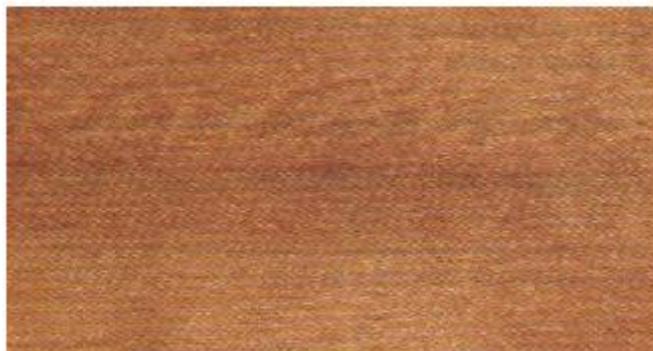


Figura 2.4. Textura del Eucalipto glóbulos

2.5 CONTENIDO DE HUMEDAD

En un árbol recién cortado, su madera contiene una importante cantidad de agua, variando el contenido según la época del año, la región de procedencia y la especie forestal de que se trate. Las maderas livianas por ser más porosas, contienen una mayor cantidad de agua que las pesadas. De igual manera, la albura, por estar conformada por células cuya función principal es la conducción de agua, presenta un mayor contenido de humedad que el duramen. Esto indica que el porcentaje de agua contenido en los espacios huecos y en las paredes celulares de la madera es muy variable en el árbol vivo. El agua contenida en la madera se encuentra bajo diferentes formas (agua libre, agua de saturación y agua de constitución), tal como se describe a continuación.

2.5.1 AGUA LIBRE

Es la que da a la madera su condición de “verde” y es la que ocupa las cavidades celulares. La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por su volumen de poros. Al comenzar el proceso de secado, el agua libre se va perdiendo por evaporación. Este proceso se produce fácilmente, ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que ya no contiene más agua de este tipo. Al llegar a este punto, la madera estará en lo que se denomina “punto de saturación de las fibras” , que corresponde a un contenido de humedad variable entre el 21 y 32%. Cuando la madera ha alcanzado esta condición, sus paredes celulares están completamente saturadas de agua y sus cavidades vacías.

Durante esta fase de secado, la madera no experimenta cambios dimensionales, ni alteraciones en sus propiedades mecánicas. Por tal razón, el punto de saturación de las fibras es muy importante desde el punto de vista físico-mecánico.

2.5.2 AGUA DE SATURACIÓN

Es el agua que se encuentra en las paredes celulares. Durante el secado de la madera, cuando ésta ha perdido su agua libre por evaporación y continúa secándose, la pérdida de humedad ocurre con mayor lentitud hasta llegar a un estado de equilibrio higroscópico con la humedad relativa de la atmósfera.

Para la mayoría de las especies, el equilibrio higroscópico se encuentra entre el 12 y 18% de contenido de humedad, dependiendo del lugar donde se realiza el secado. Es por ello que la madera secada al aire libre solo puede alcanzar estos valores de humedad de equilibrio. Para obtener contenidos de humedad

menores, debe acudir al secado artificial para eliminar el resto del agua de saturación.

2.5.3 AGUA DE CONSTITUCIÓN

Es el agua que forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado. Su separación implicaría la destrucción parcial de la madera.

2.5.4 ENSAYO

2.5.4.1 Alcance

Contenido de humedad para los ensayos mecánicos en el Eucalipto después de la ejecución de cada uno de ellos

2.5.4.2 Objetivo

Determina la pérdida de peso de la probeta de eucalipto en prueba secada a la masa constante. Los cálculos en la pérdida de la masa se expresan como un porcentaje de la masa de la probeta en prueba después del secado.

2.5.4.3 Aparatos

- Balanza con precisión de 0.1 gramos
- Horno eléctrico
- Taras

2.5.4.4 Preparación de la probeta de prueba

Las piezas de prueba para la determinación del contenido de humedad deben ser preparadas inmediatamente después de cada prueba mecánica. El número de probetas debe ser igual al número de ensayos tanto para las evaluaciones físicas y mecánicas.

Según las normas "COPANT para maderas" la probeta debe ser un cubo de 25 mm. por lado. Las piezas en prueba deben ser tomadas cerca del lugar de la

falla y almacenadas bajo condiciones, las cuales aseguren que el contenido de humedad permanezca sin cambios.

2.5.4.5 Procedimiento

- Las piezas en prueba deben ser pesadas a una confiabilidad de 0.1 gramos y luego secados en un horno a una temperatura de 101 a 105°C.
- Después de 24 horas la masa debe ser analizada y verificada para sacar los pesos respectivos.
- El secado debe considerarse completo transcurrido el tiempo señalado.

2.5.4.6 Cálculo de resultados

El contenido de humedad de cada pieza en prueba debe ser calculado como la pérdida de masa, expresada como un porcentaje de la masa seca en el horno, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{(P1 - P2)}{P2} * 100$$

Donde:

P1: Peso de la muestra en estado natural

P2: Peso de la muestra seca al horno

2.5.4.7 REPORTE DE PRUEBAS

Tabla 2.1. Resultados obtenidos en contenido de humedad del Eucalipto Globulus

CONTENIDO DE HUMEDAD								
	EUCALIPTO GLOBULO							
MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8
PESO HUMEDO (gr)	65.66	36.91	46.37	47.39	45.1	51.51	119.53	118.01
PESO SECO (gr)	58.81	33.03	41.24	42.63	40.35	46.25	104.97	104.37
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	11.65%	11.75%	12.44%	11.17%	11.77%	11.37%	13.87%	13.07%
CH PROMEDIO (%)	12.136%							

Tabla 2.2. Resultados obtenidos en contenido de humedad del Eucalipto Grandis

CONTENIDO DE HUMEDAD						
	EUCALIPTO GRANDIS					
MUESTRA	I	II	III	IV	V	VI
PESO HUMEDO (gr)	3.60	3.50	3.40	3.80	3.50	3.50
PESO SECO (gr)	3.10	3.00	3.00	3.20	3.10	3.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	16.13%	16.67%	13.33%	18.75%	12.90%	16.67%
CH PROMEDIO (%)	15.741%					

2.6 MASA POR VOLUMEN

2.6.1 ALCANCE

La densidad a la cual esta el material para poder saber el peso propio del mismo en el cálculo estructural.

2.6.2 OBJETIVO

Determinar la densidad la cual se expresa como la masa dividida para el volumen.

2.6.3 APARATOS

- Instrumentos de medida con una precisión de 0.1 mm.
- Balanza electrónica con precisión de 0.1 gramos.

2.6.4 MATERIALES

- Probeta de forma cúbica de Eucalipto de 2 cm.
- Caja de Petri con tapa
- Mercurio
- Plato de porcelana

2.6.5 PREPARACIÓN DE LA PROBETA

La probeta a ser ensayada es un cubo de 2 cm. por lado, el mismo que posee el contenido de humedad de un 30% después de haber sido secado al horno.

2.6.6 PROCEDIMIENTO

- Se toma la muestra y se la pesa la muestra
- Para determinar el volumen de la probeta con un mayor nivel de precisión, se utilizó el método de inmersión en Mercurio, el cual

consiste en sumergir la muestra en una caja Petri llena de mercurio, para finalmente pesar el líquido derramado y sacar su volumen.

- Se calcula mediante la fórmula de Peso Específico

2.6.7 CÁLCULO Y EXPRESIONES DE RESULTADOS

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

$$\rho = \left(\frac{m}{V} \right) * 10^6$$

Donde:

ρ : masa por volumen (kg/m³)

m: masa de la pieza (gr)

V: volumen de la pieza (mm³)

2.6.8 REPORTE DE RESULTADOS

Tabla 2.3. Resultados obtenidos en masa por volumen del Eucalipto Globulus

MASA POR VOLUMEN										
	EUCALIPTO GLOBULO									
MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAJA PETRI (gr)	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00
CAJA PETRI + MERCURIO (gr)	804.50	802.50	806.30	804.70	806.00	806.80	805.20	804.30	803.30	805.10
PLATO (gr)	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80
PLATO + Hg derramado (gr)	408.40	404.10	407.30	403.20	407.70	408.30	417.70	408.80	409.00	405.70
MASA Hg DERRAMADO (gr)	118.60	114.30	117.50	113.40	117.90	118.50	127.90	119.00	119.20	115.90
DENSIDAD DEL MERCURIO (gr/cm ³)	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50
VOLUMEN (cm ³)	8.79	8.47	8.70	8.40	8.73	8.78	9.47	8.81	8.83	8.59
MASA DE MUESTRAS	7.40	7.40	7.60	7.60	7.40	6.60	6.50	6.70	6.90	6.70
DENSIDAD DEL EUCALIPTO (Kg/m³)	842.33	874.02	873.19	904.76	847.33	751.90	686.08	760.08	781.46	780.41
DENSIDAD PROMEDIO (Kg/m³)	810.16									

Tabla 2.4. Resultados obtenidos en masa por volumen del Eucalipto Grandis

MASA POR VOLUMEN						
	EUCALIPTO GRANDIS					
MUESTRA	I	II	III	IV	V	VI
CAJA PETRI (gr)	109.50	109.50	109.50	109.50	109.50	109.50
PLATO (gr)	290.00	290.00	290.00	290.00	290.00	290.00
CAJA PETRI + MERCURIO (gr)	830.90	827.70	828.30	828.90	828.40	829.80
TARA (gr)	146.80	146.80	146.80	146.80	146.80	146.80
TARA + Hg derramado (gr)	229.50	229.30	230.00	226.90	227.00	226.10
MASA Hg DERRAMADO (gr)	82.70	82.50	83.20	80.10	80.20	79.30
DENSIDAD DEL MERCURIO (gr/cm ³)	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50
VOLUMEN (cm ³)	6.13	6.11	6.16	5.93	5.94	5.87
MASA DE MUESTRAS	3.60	3.50	3.40	3.80	3.50	3.50
DENSIDAD DEL EUCALIPTO (Kg/m³)	587.67	572.73	551.68	640.45	589.15	595.84
DENSIDAD PROMEDIO (Kg/m³)	589.59					

2.7 PESO ESPECÍFICO

Es la relación entre el peso total de la muestra sobre el volumen total de la muestra. Para determinar el volumen de la muestra de eucalipto se debe sumergirla en mercurio para mayor precisión en el ensayo.

$$Pe = \frac{Pt}{Vt}$$

Donde:

Pt: Peso total

Vt: Volumen total

2.7.1 REPORTE DE RESULTADOS

Tabla 2.5. Resultados obtenidos en peso específico del Eucalipto Globulus

PESO ESPECIFICO (Kg*/m3)									
MUESTRA	EUCALIPTO GLOBULO								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
VOLUMEN (cm3)	8.79	8.47	8.70	8.40	8.73	8.78	9.47	8.81	8.83
MASA DE MUESTRAS	7.40	7.40	7.60	7.60	7.40	6.60	6.50	6.70	6.90
DENSIDAD DEL EUCALIPTO (gr/cm3)	0.84	0.87	0.87	0.90	0.85	0.75	0.69	0.76	0.78
DENSIDAD DEL EUCALIPTO (Kg/m3)	842.33	874.02	873.19	904.76	847.33	751.90	686.08	760.08	781.46
DENSIDAD PROMEDIO (Kg/m3)	810.16								
PESO ESPECIFICO (Kg*/m3)	8,254.81	8,565.35	8,557.28	8,866.67	8,303.82	7,368.61	6,723.61	7,448.82	7,658.31
PESO ESPECIFICO PROM.(Kg*/m3)	7,939.53								

Tabla 2.6. Resultados obtenidos en peso específico del Eucalipto Grandis

PESO ESPECIFICO (Kg*/m3)						
MUESTRA	EUCALIPTO GRANDIS					
	I	II	III	IV	V	VI
VOLUMEN (cm3)	6.13	6.11	6.16	5.93	5.94	5.87
MASA DE MUESTRAS	3.60	3.50	3.40	3.80	3.50	3.50
DENSIDAD DEL EUCALIPTO (gr/cm3)	0.59	0.57	0.55	0.64	0.59	0.60
DENSIDAD DEL EUCALIPTO (Kg/m3)	587.67	572.73	551.68	640.45	589.15	595.84
DENSIDAD PROMEDIO (Kg/m3)	589.59					
PESO ESPECIFICO (Kg*/m3)	5759.13	5612.73	5406.49	6276.40	5773.69	5839.22

CAPITULO III. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL EUCALIPTO

3.1 ANTECEDENTES

Los ensayos que se realizarán están basados en las normas “COPANT para maderas”, las mismas que detallan los materiales, equipos y procedimientos a seguirse para obtener los esfuerzos últimos para flexión, tracción paralela y perpendicular a la fibra, compresión paralela y perpendicular a la fibra, y corte; al igual que para obtener el módulo de elasticidad mínimo y promedio del eucalipto, los mismos que son necesarios para obtener las

características del material y realizar el cálculo estructural en el programa SAP 2000.

Además, al no existir una norma de torsión en maderas, se procedió como se indicará más adelante, para obtener datos de referencia para el cálculo en algunos elementos sometidos a torsión.

En la ejecución de los ensayos, se utilizaron dos tipos de Eucalipto, los mismos que fueron mencionados en el capítulo anterior, estos son: el glóbulus y el grandis, los mismos que podemos encontrar en la sierra y costa respectivamente.

El más usado es el glóbulus, es por esto que tiene la mayor cantidad de probetas, las cuales se ensayaron de dos árboles diferentes y con contenidos de humedad variables, para obtener una relación entre el Contenido de Humedad y Resistencia de cada una de las propiedades mecánicas del Eucalipto.

Aunque los valores óptimos se obtienen con un contenido de humedad del 12%, esto es recomendado en las normas COPANT, pero en los ensayos se lo pudo comprobar

3.2 ENSAYOS MECÁNICOS

3.2.1 FLEXIÓN

3.2.1.1 Alcance

Se realiza el ensayo flexión de acuerdo a las normas COPANT, en donde se especifica las dimensiones de la probeta como el contenido de humedad a la cual estas deben ser ensayadas.

3.2.1.2 Objetivo

Determinar los esfuerzos de flexión, en el límite de proporcionalidad, en el punto de capacidad máxima y módulos de elasticidad en el límite de proporcionalidad.

3.2.1.3 Aparatos

- Máquina de ensayos universal con dispositivo para ensayo de flexión
- Cabezal o bloque de carga
- Deflectómetro.



Figura 3.1. Máquina de ensayos universal con dispositivo para flexión

3.2.1.4 Preparación de las probetas

Una vez obtenida el contenido de humedad requerida, alrededor del 12%, y sin ninguna anomalía, rajaduras, pudrición, etc., en las trozas se procede a la elaboración de las mismas.

Las probetas para los ensayos de flexión según las normas "COPANT" deben tener las siguientes dimensiones en milímetros:



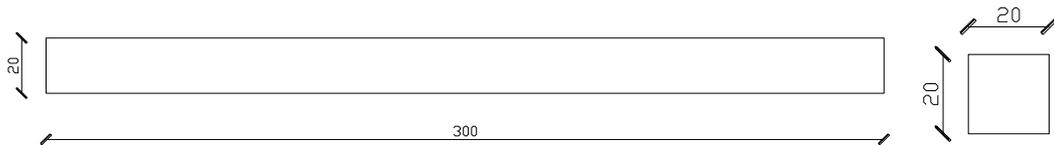


Figura 3.2. Probeta para ensayo de flexión, en mm.

3.2.1.5 Procedimiento

- Con un calibrador tomar las dimensiones de la altura y el ancho en el centro de la probeta.
- Separar los apoyos de rodillo del cabezal a una distancia de 28 cm
- Colocar los cabezales en la prensa de la maquina de ensayos.
- Armar el deflectómetro.
- Colocar la probeta centrada entre los rodillos del cabezal.
- Con las manecillas del máquina de ensayos universal bajar el cabezal superior hasta que el embolo tope a la probeta.
- Encerar el deflectómetro.

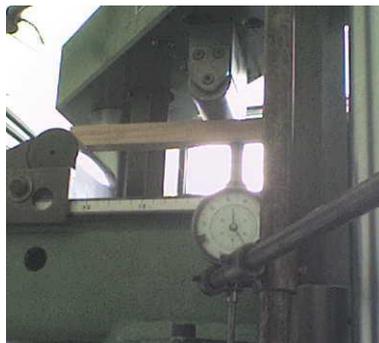


Figura 3.3. Deflectómetro para medir la flecha

- Colocar el papel milimetrado en la parte graficadora de la máquina de ensayo universal.
- Con perilla de control se aplica la carga en forma continua con una velocidad del cabezal de 1 mm/min hasta la ruptura de la misma.

- Tomar la muestra ensayada y meterlo al horno para la obtención del los respectivos contenido de humedad.

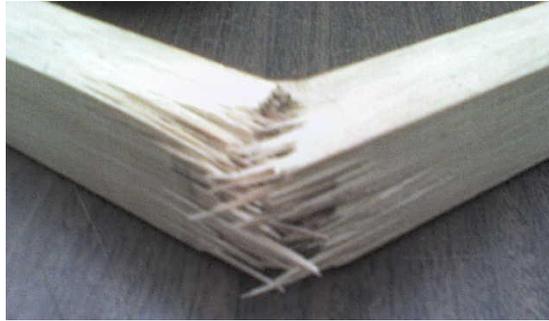


Figura 3.4. Muestra ensayada

- Mediante la gráfica Fuerza v.s Deformación y con la lectura de la carga de ruptura proceder a la obtención de los resultados requeridos.

3.2.1.6 Cálculos y resultados

El esfuerzo de tensión en el límite de proporcionalidad se calcula de la siguiente fórmula:

$$\sigma_1 = \frac{M_1 * c}{I}$$

Donde:

σ_1 : Esfuerzo en el límite de proporcionalidad en Kg/cm²

M_1 : Momento en el limite de proporcionalidad con la Carga P1 en Kg.

C: h/2

I: Inercia de la sección transversal

El esfuerzo último de tensión se calcula de la siguiente fórmula.

$$\sigma_{ult} = \frac{M_{max} * c}{I}$$

Donde:

σ_{ult} : Esfuerzo último de tensión en Kg/cm²

M_{max} : Momento máximo obtenido con la Carga máxima en Kg

C: h/2

I: Inercia de la sección transversal

El modulo de elasticidad se calcula de la siguiente fórmula.

$$E_1 = \frac{P_1 * L^3}{48 * \delta_1 * I}$$

Donde:

E₁: Módulo de elasticidad, en el limite de proporcionalidad Kg/cm².

P₁: Carga en el límite de proporcionalidad en Kg.

L₁: Longitud entre apoyos

δ₁: Deformación en el límite de proporcionalidad en cm.

3.1.2.7 Resultados obtenidos

Tabla 3.1. Resultados obtenidos en el ensayo de flexión en Eucalipto Globulus

EUCALIPTO GLOBULO MUESTRA	RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE FLEXION									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
ANCHO (cm)	2.02	1.98	2.06	1.96	2.00	2.07	2.00	2.05	2.05	2.07
ALTURA (cm)	2.00	1.98	2.00	2.01	2.00	2.05	2.04	2.05	2.05	2.07
AREA (cm ²)	4.04	3.92	4.12	3.94	4.00	4.24	4.08	4.20	4.20	4.28
Longitud (cm)	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
INERCIA (cm ⁴)	1.35	1.28	1.37	1.33	1.33	1.49	1.41	1.47	1.47	1.53
FUERZA (Kg)	290.00	210.00	280.00	250.00	230.00	300.00	215.00	230.00	190.00	240.00
Momento max (Kg*cm)	2030.00	1470.00	1960.00	1750.00	1610.00	2100.00	1505.00	1610.00	1330.00	1680.00
Esfuerzo (Kg/cm ²)	1507.43	1136.25	1427.18	1325.99	1207.50	1448.41	1084.92	1121.28	926.28	1136.45
Esf. Medio (Kg/cm ²)	1232.17									
Deformación max.(cm)	1.32	0.80	1.20	1.12	1.12	1.08	0.92	0.92	0.80	0.88
Modulo de elasticidad (Kg/cm ²)	74609.96	93730.87	77702.27	76964.75	70437.50	85482.98	75534.30	77685.27	73801.00	81519.46
Modulo de elas. Medio (Kg/cm ²)	78746.84									

ESFUERZO Y MODULO DE ELASTICIDAD EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
FUERZA (Kg)	185.00	170.00	210.00	165.00	160.00	225.00	155.00	160.00	130.00	165.00
Deformación max.(mm)	0.40	0.46	0.46	0.37	0.37	0.40	0.44	0.48	0.43	0.46
Esfuerzo (Kg/cm ²)	961.63	919.82	1070.39	875.16	840.00	1086.31	782.15	780.02	633.77	781.31
Modulo de elasticidad Kg/cm ²	157066.83	131960.65	152026.17	154598.75	147526.88	173103.04	113860.38	103580.36	93510.04	107215.81

Esfuerzo medio (Kg/cm ²)	873.06
Modulo de elasticidad medio Kg/cm ²	133444.89
Esfuerzo mínimo (Kg/cm ²)	633.77
Modulo de elasticidad mínimo Kg/cm ²	93510.04

Tabla 3.2. Resultados para determinar el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en la probeta C1

MUESTRA	C1	Area (cm ²)	4.04	Altura (cm)	2.00	
		Lo. (cm)	28	Inercia (cm ⁴)	1.35	
Valores Y	Valores X	Carga P	Deformación	Momento	Esfuerzo	Modulo de elas
		Kg	Cm	Kg-cm	Kg/cm ²	Kg/cm ²
0	0	0	0	0	0	0
10	3	50	0.12	350	259.9009901	141501.6502
20	5.5	100	0.22	700	519.8019802	154365.4365
30	8	150	0.32	1050	779.7029703	159189.3564
40	11	200	0.44	1400	1039.60396	154365.4365
45	13.5	225	0.54	1575	1169.554455	141501.6502
50	17	250	0.68	1750	1299.50495	124854.3972
55	27	275	1.08	1925	1429.455446	86473.23066
58	33	290	1.32	2030	1507.425743	74609.961
37	10	185	0.4	1295	961.6336634	157066.8317

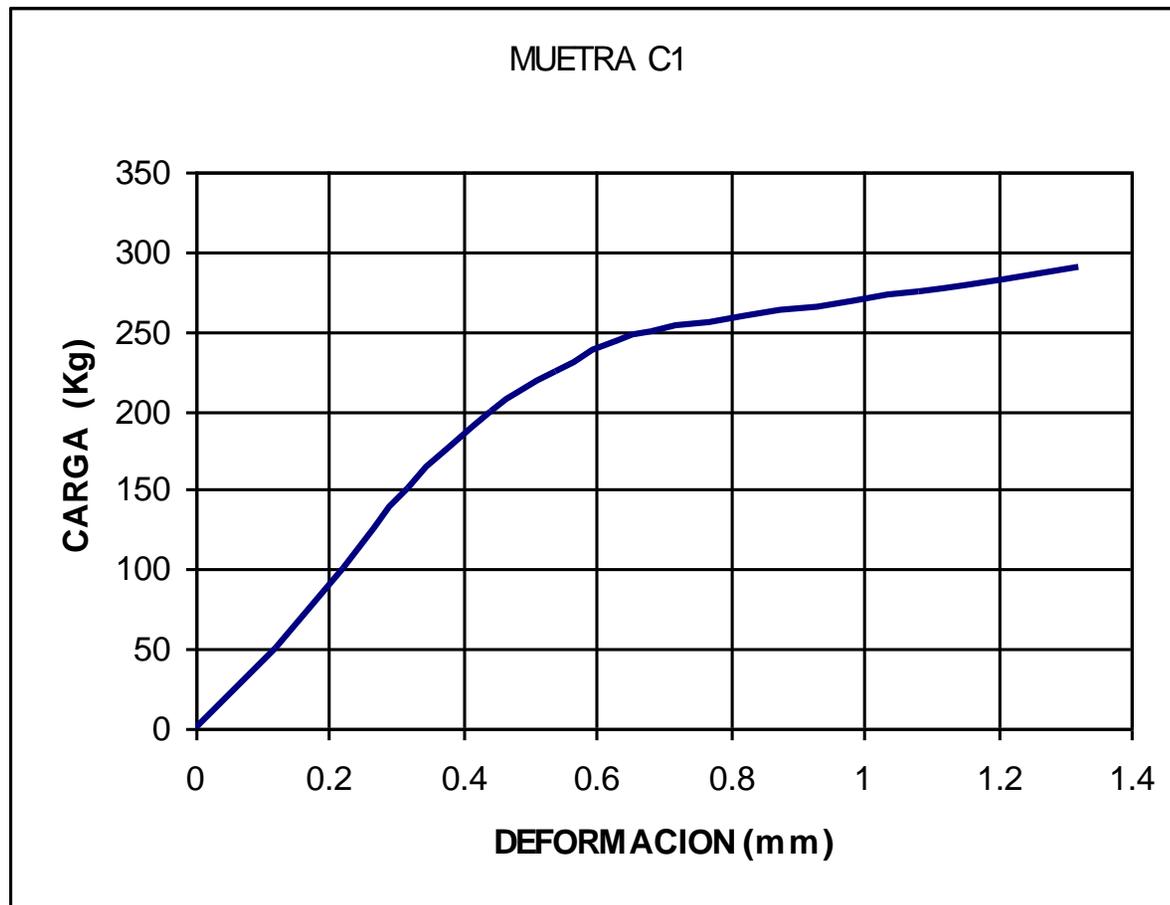


Gráfico 3.1. Esfuerzo vs. Deformación de la muestra 1 en Eucalipto Globulus

Tabla 3.3. Resultados obtenidos en el ensayo de flexión en Eucalipto Grandis

EUCALIPTO GRANDIS	RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE FLEXION					
MUESTRA	IF	IIF	III F	IV F	V F	VI F
ANCHO (cm)	2.03	2.06	2.01	2.02	2.06	2.08
ALTURA (cm)	2.07	2.06	2.02	2.03	2.07	2.01
AREA (cm ²)	4.19	4.24	4.07	4.09	4.26	4.18
Longitud (cm)	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
INERCIA (cm ⁴)	1.49	1.50	1.38	1.41	1.52	1.41
FUERZA (Kg)	190.00	160.00	185.00	185.00	185.00	195.00
Momento max (Kg*cm)	1330.00	1120.00	1295.00	1295.00	1295.00	1365.00
Esfuerzo (Kg/cm ²)	921.88	768.72	945.49	935.27	880.26	974.60
Esf. Medio (Kg/cm ²)	904.37					
Deformación max.(cm)	1.08	0.88	1.08	1.08	0.92	1.12
Modulo de elasticidad (Kg/cm ²)	53986.48	55409.28	56630.25	55742.11	60397.61	56569.09
Modulo de elas. Medio (Kg/cm ²)	56455.81					

Tabla 3.4. Resultados para determinar el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en la probeta IF

MUESTRA	IF	Area (cm ²)	4.19	Altura (cm)	2.07	
		Lo. (cm)	28	Inercia (cm ⁴)	1.49	
Valores Y	Valores X	Carga P	Deformación	Momento	Esfuerzo	Modulo de elas
		Kg	cm	Kg-cm	Kg/cm ²	Kg/cm ²
0	0	0	0	0	0	0
10	3	50	0.12	350	242.5999515	127862.7259
20	6.5	100	0.26	700	485.199903	118027.1316
25	8.5	125	0.34	875	606.4998787	112820.0522
30	11	150	0.44	1050	727.7998545	104614.9575
35	15	175	0.6	1225	849.0998302	89503.9081
40	21	200	0.84	1400	970.399806	73064.41478
38	27	190	1.08	1330	921.8798157	53986.48425

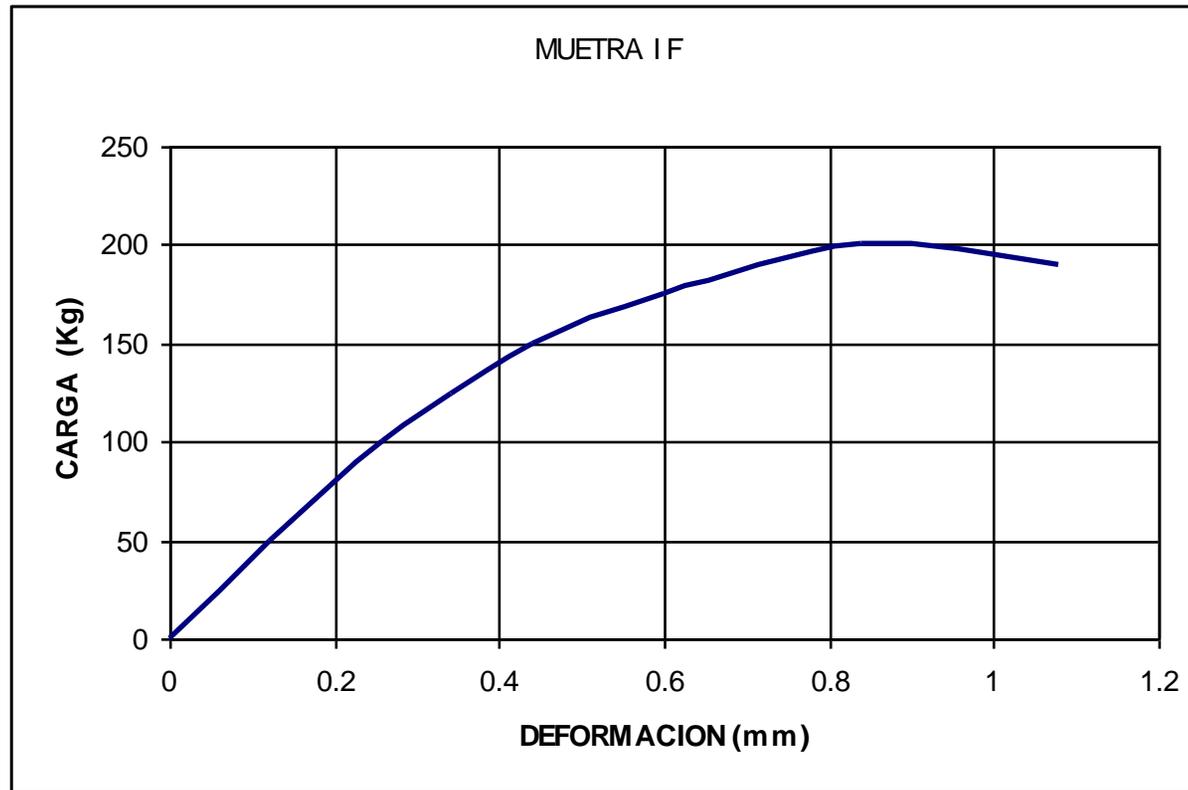


Gráfico 3.2. Esfuerzo vs. Deformación de la muestra 1 en Eucalipto Grandis

3.2.2 TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

3.2.2.1 Alcance

Se realiza el ensayo de acuerdo a las normas COPANT, en donde se especifica las dimensiones de la probeta como el contenido de humedad a la cual estas deben ser ensayadas.

3.2.2.2 Objetivo

Determinar los esfuerzos de tensión paralelos a la fibra, en el límite de proporcionalidad, esfuerzos últimos de tensión y módulos de elasticidad en el límite de proporcionalidad.

3.2.2.3 Aparatos

- Máquina de ensayos universales
- Mordazas
- Extensómetro

3.2.2.4 Espécimen de prueba

Una vez obtenida el contenido de humedad requerida, alrededor del 12%, y sin ninguna anomalía, rajaduras, pudrición, etc., en las trozas se procede a la elaboración de las mismas.

Las probetas para los ensayos de tracción paralela a las fibras según las normas “COPANT” deben tener las siguientes dimensiones:

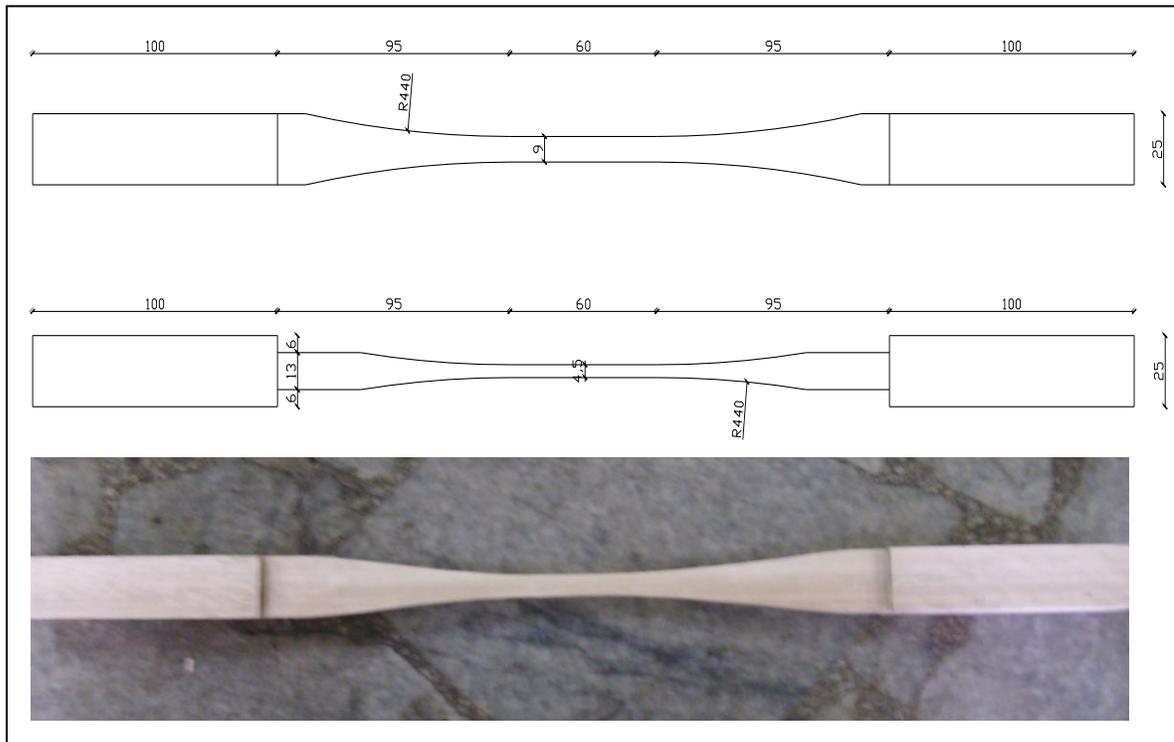


Figura 3.5. Probeta para ensayo de tracción paralela, en mm.

3.2.2.5 Procedimiento

- Con un calibrador tomar las dimensiones de los espesores en el centro de la misma.
- Colocar las mordazas en la máquina universal para ensayos.
- Colocar la probeta en las mordazas de manera longitudinal.
- Ajustar las mordazas dar un buen sostén a las probetas, de modo que la falla ocurra en la parte mas ahusada de pieza y no exista una concentración de esfuerzos en la zona de transición.
- Calibrar el sensor de deformaciones.
- Colocar el sensor en la parte central de la probeta.

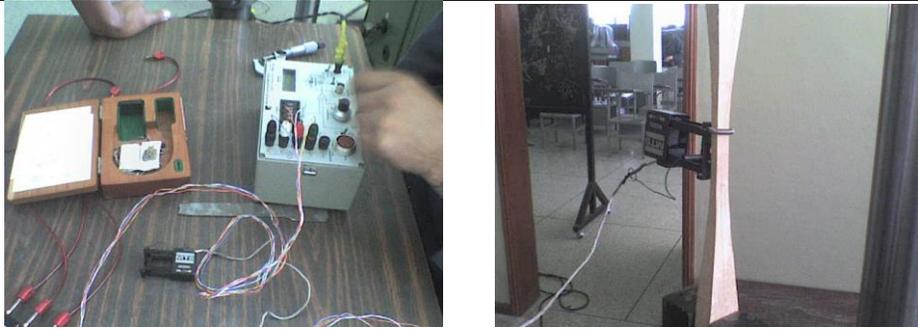


Figura 3.6. Extensómetro para medir deformaciones

- Colocar el papel milimetrado en la parte graficadora de la maquina de ensayo universal.
- Con la perilla de control cargar axialmente a la probeta de una velocidad constante hasta la rotura de la misma.



Figura 3.7. Probeta en proceso de carga

- Tomar la muestra ensayada y meterlo al horno para la obtención del los respectivos contenido de humedad.



Figura 3.8. Probeta ensayada

- Mediante la gráfica Fuerza v.s Deformación y con la lectura de la carga de ruptura proceder a la obtención de los resultados requeridos.

3.2.2.6 Cálculos y resultados

El esfuerzo de tensión en el límite de proporcionalidad se calcula de la siguiente fórmula.

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{A}$$

Donde:

σ_1 : Esfuerzo en el límite de proporcionalidad en Kg/cm²

P_1 : Carga en el límite de proporcionalidad en Kg

A: Área transversal de las muestras

El esfuerzo último de tensión se calcula de la siguiente fórmula.

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

Donde:

σ_{ult} : Esfuerzo ultimo de tensión en Kg./cm²

P_{ult} : Carga máxima en Kg.

A: Área transversal de las muestras

El modulo de elasticidad se calcula de la siguiente fórmula.

$$E_{rpt} = \frac{\sigma_{ult}}{\xi}$$

Donde:

E_{rpt} : Módulo de elasticidad, en el punto de Carga máxima en Kg.

σ_{ult} : Esfuerzo ultimo de tensión en Kg./cm²

ξ : Deformación unitaria

3.2.2.7 Resultados Obtenidos

Tabla 3.5. Resultados obtenidos en el ensayo de tracción paralela a la fibra en Eucalipto Globulus

EUCALIPTO GLOBULOS MUESTRA	RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE TRACCION									
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
ANCHO (mm)	8.8	8.8	9.5	9	8.5	9	8.6	8.8	8.3	8.8
ESPESOR (mm)	4.8	5	4.5	5	4.5	4.8	4.5	4.8	4.8	5
AREA (mm ²)	42.24	44	42.75	45	38.25	43.2	38.7	42.24	39.84	44
FUERZA (Kg)	1450	1200	1190	1380	880	440	500	935	900	1080
Esfuerzo (Kg/cm ²)	3432.77	2727.27	2783.63	3066.67	2300.65	1018.52	1291.99	2213.54	2259.04	2454.55
Esfuerzo(Mpa)	336.55	267.38	272.90	300.65	225.55	99.85	126.67	217.01	221.47	240.64
Esf. Medio (Kg/cm ²)	2354.861532									
Deformación max.(mm)	6.4	5.6	6.4	6.4	3.6	3	4.36	4.8	5.6	5.8
Deformación unitaria	0.0142	0.0124	0.0142	0.0142	0.0080	0.0067	0.0097	0.0107	0.0124	0.0129
Modulo de elasticidad Kg/cm ²	241366.30	219155.84	195723.68	215625.00	287581.70	152777.78	133347.56	207519.53	181529.69	190438.87

ESFUERZO Y MODULO DE ELASTICIDAD EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD

Esfuerzo medio (Kg/cm ²)	2354.86
Modulo de elasticidad medio Kg/cm ²	202506.60
Esfuerzo minimo (Kg/cm ²)	1018.52
Modulo de elasticidad minimo Kg/cm ²	133347.56

Tabla 3.6. Resultados para determinar el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en la probeta D1

MUESTRA	D1	Area (cm ²)	Lo. (cm)	Esfuerzo $\bar{\sigma}$	Defm. Unitaria $\bar{\epsilon}$
		0.4224	450		
Valores Y	Valores X	Carga P	Deformación	Esfuerzo $\bar{\sigma}$	Defm. Unitaria
		Kg	Mm	Kg/cm ²	$\bar{\epsilon}$
0	0	0	0	0	0
10	2	100	0.8	236.74	0.00178
20	4	200	1.6	473.48	0.00356
30	5	300	2	710.23	0.00444
40	6	400	2.4	946.97	0.00533
50	6.5	500	2.6	1183.71	0.00578
60	7	600	2.8	1420.45	0.00622
70	8	700	3.2	1657.20	0.00711
80	8.5	800	3.4	1893.94	0.00756
90	9	900	3.6	2130.68	0.00800
100	10	1000	4	2367.42	0.00889
110	11	1100	4.4	2604.17	0.00978
120	12.1	1200	4.84	2840.91	0.01076
130	13	1300	5.2	3077.65	0.01156
140	14	1400	5.6	3314.39	0.01244
145	16	1450	6.4	3432.77	0.01422

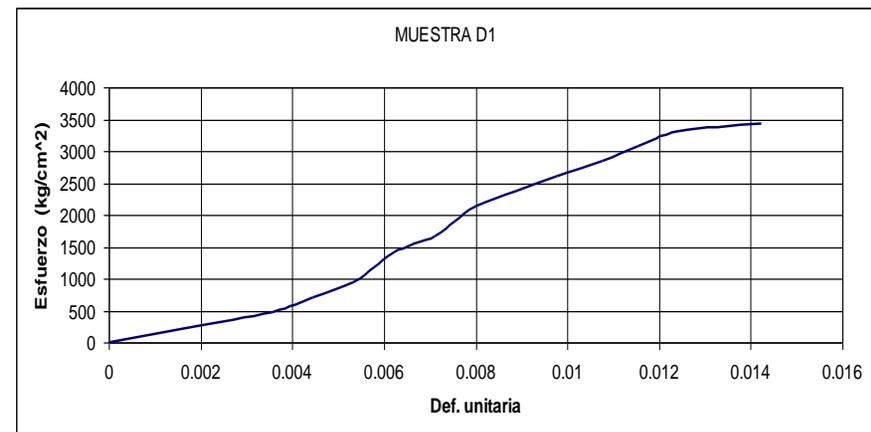


Gráfico 3.3. Esfuerzo vs. Deformación de la muestra 1 en tracción del Eucalipto Glóbulus

Tabla 3.7. Resultados obtenidos en el ensayo de tracción paralela a la fibra en Eucalipto Grandis

EUCALIPTO GRANDIS	RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE TRACCION					
MUESTRA	I E	II E	III E	IV E	V E	VI E
ANCHO (mm)	8.6	9.4	9	8.44	9.3	9.14
ESPESOR (mm)	4.68	4.72	4.8	5.5	5	4.6
AREA (mm ²)	40.248	44.368	43.2	46.42	46.5	42.044
FUERZA (Kg)	660	350	500	250	575	340
Esfuerzo (Kg/cm ²)	1639.83	788.86	1157.41	538.56	1236.56	808.68
Esfuerzo(Mpa)	160.77	77.34	113.47	52.80	121.23	79.28
Esf. Medio (Kg/cm ²)	1028.32					
Deformación max.(mm)	4.8	3	3.6	2.8	4.2	4
Deformación unitaria	0.0107	0.0067	0.0080	0.0062	0.0093	0.0089
Modulo de elasticidad Kg/cm ²	153734.35	118328.53	144675.93	86554.44	132488.48	90976.12

Tabla 3.8. Resultados para determinar el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en la probeta I E

MUESTRA	I E	Area (cm ²)	0.40248		
		Lo. (cm)	450		
Valores Y	Valores X	Carga P	Deformación	Esfuerzo $\bar{\sigma}$	Defm. Unitaria ξ
		Kg	mm	Kg/cm ²	ξ
0	0	0	0	0	0
10	2.5	50	1	124.23	0.00222
20	4	100	1.6	248.46	0.00356
28	5	140	2	347.84	0.00444
40	6	200	2.4	496.92	0.00533
50	6.5	250	2.6	621.15	0.00578
60	7	300	2.8	745.38	0.00622
70	8	350	3.2	869.61	0.00711
80	8.5	400	3.4	993.84	0.00756
90	9	450	3.6	1118.07	0.00800
100	9.5	500	3.8	1242.30	0.00844
110	10	550	4	1366.53	0.00889
120	11	600	4.4	1490.76	0.00978
130	11.5	650	4.6	1614.99	0.01022
132	12	660	4.8	1639.83	0.01067

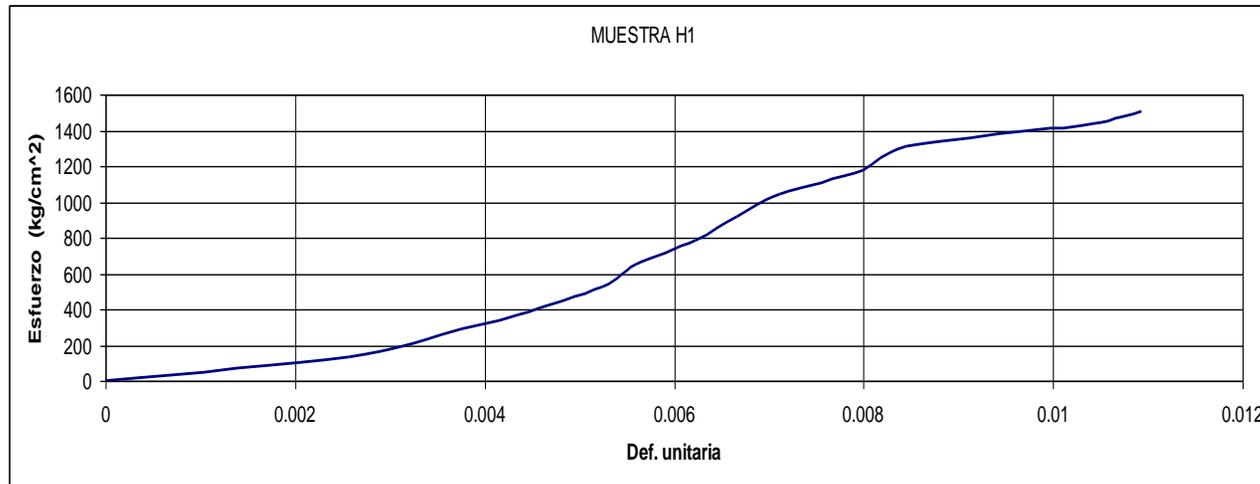


Gráfico 3.4. Esfuerzo vs. Deformación de la muestra 1 en tracción del Eucalipto Grandis

3.2.3 TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

3.2.3.1 Alcance

La norma especifica el procedimiento, materiales y equipos necesarios para calcular el esfuerzo último que resiste el eucalipto en tracción perpendicular al grano.

3.2.3.2 Objetivo

Determinar el esfuerzo de tensión último perpendicular a la fibra que soporta el Eucalipto por la aplicación gradual de carga en la probeta

3.2.3.3 Aparatos

- ◆ Máquina universal de ensayos
- ◆ Mordazas para sostener a la probeta especificada en la norma
- ◆ Calibrador de precisión de 0.1 mm.

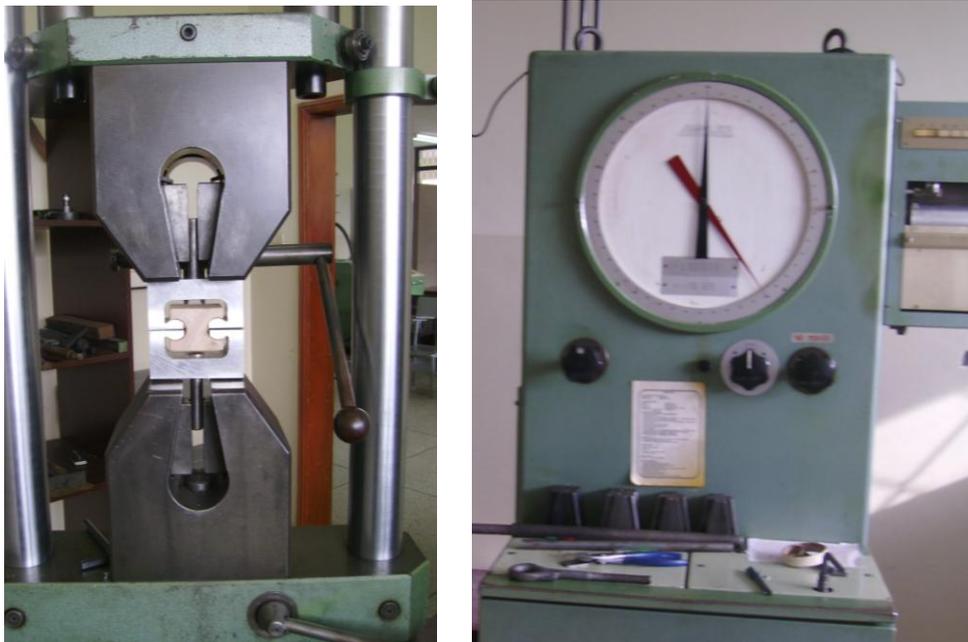


Figura 3. 9. Máquina universal de tracción y mordazas para sostener a la probeta

3.2.3.4 Espécimen de prueba

La probeta es la especificada en la norma COPANT que se muestra a continuación, además posee las siguientes medidas:

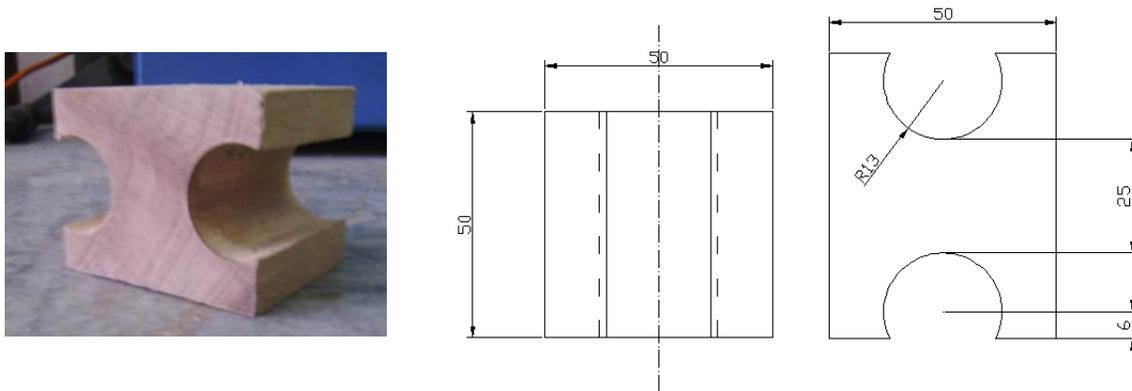


Figura 3.10. Probeta para ensayo de tracción perpendicular, en mm.

Para obtener resultados óptimos, en la norma se especifica que el contenido de humedad de las muestras debe ser aproximadamente el 12%.

3.2.3.5 Procedimiento

Primeramente debe comprobarse que la muestra ingrese en las mordazas que se mostraron anteriormente, se debe medir el área en la cual se repartirá la carga de tracción, la misma que debe ser aproximadamente de 50 x 25 mm. La probeta debe ser colocada con las mordazas en la máquina universal. Por otro lado, se debe colocar papel milimetrado para que la máquina mediante el deformímetro realice una gráfica carga vs. Desplazamiento del pistón. Después de comprobar todo lo antes mencionado, se inicia el ensayo cargando la muestra con una velocidad aproximada que permita al pistón desplazarse a 1 milímetro por segundo. Se aplica carga hasta que la muestra falle a tracción.

Para finalmente obtener el contenido de humedad y verificar si posee la humedad óptima.



Figura 3.11. Probeta ensayada

3.2.3.6 Cálculo y expresión de resultados.

Para obtener el esfuerzo último se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Donde:

σ_{ult} : Esfuerzo último a tracción perpendicular en MPa

F_{ult} : Carga de rotura en N

A: Sección que falla por tracción, en mm²

3.2.3.7 Resultados Obtenidos

Tabla 3.9. Resultados obtenidos en el ensayo de tracción perpendicular a la fibra en Eucalipto Globulus

TRACCION PERPENDICULAR A LA FIBRA										
EUCALIPTO GLOBULUS										
MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ANCHO (cm)	2.45	2.43	2.40	2.38	2.46	2.45	2.40	2.46	2.43	2.46
ESPESOR (cm)	5.06	5.12	5.05	5.05	5.05	5.04	5.05	5.07	5.07	5.05
AREA (mm ²)	1239.70	1244.16	1212.00	1201.90	1242.30	1234.80	1212.00	1247.22	1229.48	1242.30
CARGA MAXIMA (Kg)+CAB	602.00	658.00	635.00	627.00	453.50	882.50	840.00	652.00	804.50	1010.00
Peso del cabezal (Kg)	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00
CARGA MAXIMA (Kg)	467.00	523.00	500.00	492.00	318.50	747.50	705.00	517.00	669.50	875.00
CARGA MAXIMA (N)	4576.60	5125.40	4900.00	4821.60	3121.30	7325.50	6909.00	5066.60	6561.10	8575.00
ESFUERZO MAXIMO (MPa)	3.69	4.12	4.04	4.01	2.51	5.93	5.70	4.06	5.34	6.90
ESFUERZO PROMEDIO (MPa)	4.63									
ESFUERZO PROMEDIO (Kg/cm²)	47.24									

Tabla 3.10. Resultados obtenidos en el ensayo de tracción perpendicular a la fibra en Eucalipto Grandis

EUCALIPTO GRANDIS	TRACCION PERPENDICULAR A LA FIBRA					
MUESTRA	I C	II C	III C	IV C	V C	VI C
ANCHO (cm)	2.48	2.52	2.45	2.57	2.41	2.49
ESPESOR (cm)	5.06	5.08	5.07	5.09	5.05	5.10
AREA (mm ²)	1254.88	1280.16	1242.15	1308.13	1217.05	1269.90
CARGA MAXIMA (Kg)+CAB	617.00	597.00	575.00	651.00	470.00	602.00
Peso del cabezal (Kg)	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
CARGA MAXIMA (Kg)	477.00	457.00	435.00	511.00	330.00	462.00
CARGA MAXIMA (N)	4674.60	4478.60	4263.00	5007.80	3234.00	4527.60
ESFUERZO MAXIMO (MPa)	3.73	3.50	3.43	3.83	2.66	3.57
ESFUERZO PROMEDIO (MPa)	3.45					
ESFUERZO PROMEDIO (Kg/cm²)	35.20					

3.2.4 COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

3.2.4.1 Alcance

Esta norma especifica cada uno de los procedimientos y equipos necesarios para el ensayo de compresión paralela a la fibra.

3.2.4.2 Objetivo

Determinar el esfuerzo último a compresión paralela a la fibra que soporta el Eucalipto, además de obtener el módulo de elasticidad del mismo.

3.2.4.3 Aparatos

- ◆ Máquina universal de ensayos
- ◆ Calibrador con precisión de 0.1 mm.
- ◆ Deformímetro para el cálculo de la deformación unitaria



Figura 3.12. Máquina universal de ensayos con dispositivo para aplicar cargas axiales de compresión

3.2.4.4 Espécimen de prueba

La probeta es un prisma de sección rectangular de 5 x 5 cm con un largo de 20 cm, según la norma. Además para obtener la deformación debida a la carga se deben colocar dos agarraderas a 6 cm, que sostengan a un deformímetro de alta sensibilidad, el mismo que se muestra a continuación:

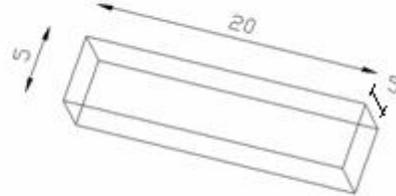


Figura 3.13. Probeta para ensayo de compresión con deformímetro

Como en el ensayo anterior, y en todos los ensayos, el contenido de humedad debe aproximarse al 12%.

3.2.4.5 Procedimiento

El primer paso es el de medir la sección transversal de la muestra con una precisión de 0.1 mm. A continuación se colocan las agarraderas que sostienen el deformímetro como se observó anteriormente.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial gradual a la probeta, hasta que la muestra falle por compresión, para obtener el esfuerzo último. Además para calcular el módulo de elasticidad se debe aplicar esta carga a intervalos de 500 Kg, para medir gradualmente su deformación; para finalmente obtener el módulo mediante la fórmula mostrada en la Ley de Hooke.



Figura 3.14. Probeta ensayada

3.2.4.6 Cálculo y expresión de los resultados

El esfuerzo último se debe calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Donde:

σ_{ult} : Esfuerzo último a tracción perpendicular en MPa

F_{ult} : Carga de rotura en N

A: Sección que falla por tracción, en mm²

Para calcular el Módulo de Elasticidad a compresión de cada probeta analizada, se debe realizar un cuadro que analice la carga y deformación de la probeta, que se transformara en esfuerzo y deformación unitaria. Y calcular mediante la siguiente fórmula que expresa la ley de Hooke.

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Donde:

σ : Esfuerzo en MPa

E: Módulo de Elasticidad en MPa

ε : Deformación unitaria

3.2.4.7 Resultados Obtenidos

Tabla 3.11. Resultados obtenidos en el ensayo de compresión paralela a la fibra en Eucalipto Globulus

COMPRESION PARALELA A LA FIBRA										
EUCALIPTO GLOBULUS										
MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LARGO (cm)	5.04	5.06	5.06	5.04	5.06	5.09	5.00	5.01	5.00	-
ANCHO (cm)	5.02	5.03	5.04	5.02	5.00	5.00	4.98	5.01	4.90	-
AREA (mm ²)	2530.08	2545.18	2550.24	2530.08	2530.00	2545.00	2490.00	2510.01	2450.00	-
LONGITUD (cm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	-
FUERZA (Kg)	12700.00	13510.00	13710.00	13100.00	12900.00	11300.00	9900.00	10150.00	9800.00	
FUERZA (N)	124460.00	132398.00	134358.00	128380.00	126420.00	110740.00	97020.00	99470.00	96040.00	
ESFUERZO MAXIMO (MPa)	49.19	52.02	52.68	50.74	49.97	43.51	38.96	39.63	39.20	-
ESFUERZO PROMEDIO (MPa)	46.21									
ESFUERZO PROMEDIO (Kg/cm²)	471.37									

Tabla 3.12. Cálculo del Módulo de Elasticidad de la Probeta # 1 en Compresión Paralela en Eucalipto Globulus

CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD													
PROBETA# 1													
P(Kg)	P (N)	δ (plg)	δ (plg)	δ (mm)	AREA (mm2)	σ	Lf	Lo	δ	ε	E (MPa)	% CARGA	E. prom
0	0.00	0.00	0.0000	0.000	2530.08	0	60.000	60	0.000	0.00	0	0%	
500	4900.00	0.06	0.0001	0.002	2530.08	1.936697654	59.998	60	-0.002	0.00	76247.93913	4%	
1000	9800.00	0.07	0.0001	0.002	2530.08	3.873395308	59.998	60	-0.002	0.00	130710.7528	8%	
1500	14700.00	0.08	0.0001	0.002	2530.08	5.810092961	59.998	60	-0.002	0.00	171557.863	12%	
2000	19600.00	0.09	0.0001	0.002	2530.08	7.746790615	59.998	60	-0.002	0.00	203327.8377	16%	
2500	24500.00	0.10	0.0001	0.003	2530.08	9.683488269	59.997	60	-0.003	0.00	228743.8174	20%	
3000	29400.00	0.10	0.0001	0.003	2530.08	11.62018592	59.997	60	-0.003	0.00	274492.5809	24%	
3500	34300.00	1.00	0.0010	0.025	2530.08	13.55688358	59.975	60	-0.025	0.000423333	32024.13443	28%	
4000	39200.00	1.00	0.0010	0.025	2530.08	15.49358123	59.975	60	-0.025	0.000423333	36599.01078	31%	
4500	44100.00	1.10	0.0011	0.028	2530.08	17.43027888	59.972	60	-0.028	0.000465667	37430.80648	35%	
5000	49000.00	1.50	0.0015	0.038	2530.08	19.36697654	59.962	60	-0.038	0.000635	30499.17565	39%	
5500	53900.00	1.80	0.0018	0.046	2530.08	21.30367419	59.954	60	-0.046	0.000762	27957.57768	43%	
6000	58800.00	1.99	0.0020	0.051	2530.08	23.24037185	59.949	60	-0.051	0.000842433	27587.19406	47%	
6500	63700.00	2.00	0.0020	0.051	2530.08	25.1770695	59.949	60	-0.051	0.000846667	29736.69626	51%	
7000	68600.00	2.10	0.0021	0.053	2530.08	27.11376715	59.947	60	-0.053	0.000889	30499.17565	55%	23610.36
7500	73500.00	2.40	0.0024	0.061	2530.08	29.05046481	59.939	60	-0.061	0.001016	28592.97717	59%	
8000	78400.00	2.80	0.0028	0.071	2530.08	30.98716246	59.929	60	-0.071	0.001185333	26142.15056	63%	
8500	83300.00	2.90	0.0029	0.074	2530.08	32.92386012	59.926	60	-0.074	0.001227667	26818.24066	67%	
9000	88200.00	3.00	0.0030	0.076	2530.08	34.86055777	59.924	60	-0.076	0.00127	27449.25809	71%	
9500	93100.00	3.40	0.0034	0.086	2530.08	36.79725542	59.914	60	-0.086	0.001439333	25565.48547	75%	
10000	98000.00	3.90	0.0039	0.099	2530.08	38.73395308	59.901	60	-0.099	0.001651	23460.90435	79%	
10500	102900.00	4.00	0.0040	0.102	2530.08	40.67065073	59.898	60	-0.102	0.001693333	24018.10083	83%	
11000	107800.00	4.50	0.0045	0.114	2530.08	42.60734838	59.886	60	-0.114	0.001905	22366.06214	87%	
11500	112700.00	4.99	0.0050	0.127	2530.08	44.54404604	59.873	60	-0.127	0.002112433	21086.60441	91%	
12000	117600.00	5.40	0.0054	0.137	2530.08	46.48074369	59.863	60	-0.137	0.002286	20332.78377	94%	
12500	122500.00	6.10	0.0061	0.155	2530.08	48.41744135	59.845	60	-0.155	0.002582333	18749.49323	98%	
12700	124460.00	6.20	0.0062	0.157	2530.08	49.19212041	59.843	60	-0.157	0.002624667	18742.23536	100%	

Tabla 3.13. Cálculo del Módulo de Elasticidad de la Probeta # 7 en Compresión Paralela en Eucalipto Globulus

PROBETA# 7													
P(Kg)	P (N)	δ (plg)	δ (plg)	δ (mm)	AREA (mm ²)	σ	Lf	Lo	δ	ϵ	E (MPa)	% CARGA	E. prom
0	0.00	0.01	0.0000	0.000	2490.00	0	60.000	60	0.000	0.00	0	0%	
500	4900.00	0.01	0.0000	0.000	2490.00	1.967871486	60.000	60	0.000	0.00	464851.5321	5%	
1000	9800.00	0.01	0.0000	0.000	2490.00	3.935742972	60.000	60	0.000	0.00	929703.0642	10%	
1500	14700.00	0.01	0.0000	0.000	2490.00	5.903614458	60.000	60	0.000	0.00	1394554.596	15%	
2000	19600.00	0.01	0.0000	0.000	2490.00	7.871485944	60.000	60	0.000	0.00	1859406.128	20%	
2500	24500.00	0.01	0.0000	0.000	2490.00	9.83935743	60.000	60	0.000	0.00	2324257.661	25%	
3000	29400.00	0.50	0.0005	0.013	2490.00	11.80722892	59.987	60	-0.013	0.0002	55782.18385	30%	
3500	34300.00	1.00	0.0010	0.025	2490.00	13.7751004	59.975	60	-0.025	0.000423333	32539.60725	35%	
4000	39200.00	1.40	0.0014	0.036	2490.00	15.74297189	59.964	60	-0.036	0.000592667	26562.94469	40%	
4500	44100.00	1.80	0.0018	0.046	2490.00	17.71084337	59.954	60	-0.046	0.000762	23242.57661	45%	
5000	49000.00	2.10	0.0021	0.053	2490.00	19.67871486	59.947	60	-0.053	0.000889	22135.78724	51%	
5500	53900.00	2.60	0.0026	0.066	2490.00	21.64658635	59.934	60	-0.066	0.001100667	19666.79559	56%	
6000	58800.00	3.00	0.0030	0.076	2490.00	23.61445783	59.924	60	-0.076	0.00127	18594.06128	61%	
6500	63700.00	3.80	0.0038	0.097	2490.00	25.58232932	59.903	60	-0.097	0.001608667	15902.81557	66%	
7000	68600.00	4.10	0.0041	0.104	2490.00	27.5502008	59.896	60	-0.104	0.001735667	15872.97915	71%	
7500	73500.00	5.00	0.0050	0.127	2490.00	29.51807229	59.873	60	-0.127	0.002116667	13945.54596	76%	
8000	78400.00	6.00	0.0060	0.152	2490.00	31.48594378	59.848	60	-0.152	0.00254	12396.04086	81%	
8500	83300.00	7.00	0.0070	0.178	2490.00	33.45381526	59.822	60	-0.178	0.002963333	11289.25149	86%	
9000	88200.00	8.90	0.0089	0.226	2490.00	35.42168675	59.774	60	-0.226	0.003767667	9401.491661	91%	
9500	93100.00	10.80	0.0108	0.274	2490.00	37.38955823	59.726	60	-0.274	0.004572	8177.943621	96%	
9900	97020.00	10.90	0.0109	0.277	2490.00	38.96385542	59.723	60	-0.277	0.004614333	8444.092051	100%	

14,922.45

Tabla 3.14. Resultados obtenidos en el ensayo de compresión paralela a la fibra en Eucalipto Grandis

EUCALILTO GRANDIS	COMPRESIÓN PARALELA				
MUESTRA	I A	II A	III A	IV A	V A
ANCHO (cm)	5.12	5.16	5.01	5.08	5.01
ESPESOR (cm)	5.11	5.07	5.05	5.07	5.05
AREA (cm ²)	26.1632	26.1612	25.3005	25.7556	25.3005
FUERZA (Kg)	12300	10950	10150	11150	8300
Esfuerzo (Kg/cm ²)	470.13	418.56	401.18	432.92	328.06
Esfuerzo(Mpa)	46.09	41.04	39.33	42.44	32.16
Esf. Medio (Kg/cm ²)	410.17				

3.2.5 COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

3.2.5.1 Alcance

Esta norma especifica cada uno de los procedimientos y equipos necesarios para el ensayo de compresión perpendicular a la fibra.

3.2.5.2 Objetivo

Determinar el esfuerzo y módulo de elasticidad a compresión perpendicular del Eucalipto.

3.2.5.3 Aparatos

- ◆ Máquina universal de ensayos
- ◆ Calibrador con precisión de 0.1 mm.
- ◆ Deformímetro para el cálculo de la deformación unitaria
- ◆ Placa de acero de lado = 49.91 mm., con un espesor de aproximadamente 0.5 cm.

3.2.5.4 Espécimen de prueba

La probeta es un prisma rectangular de sección 5 x 5 cm. y un largo de 15 cm, como el que se muestra en la figura 3. . Además debemos marcar la zona central de la probeta para colocar la placa, la misma que recibirá y repartirá la carga en la muestra de ensayo.

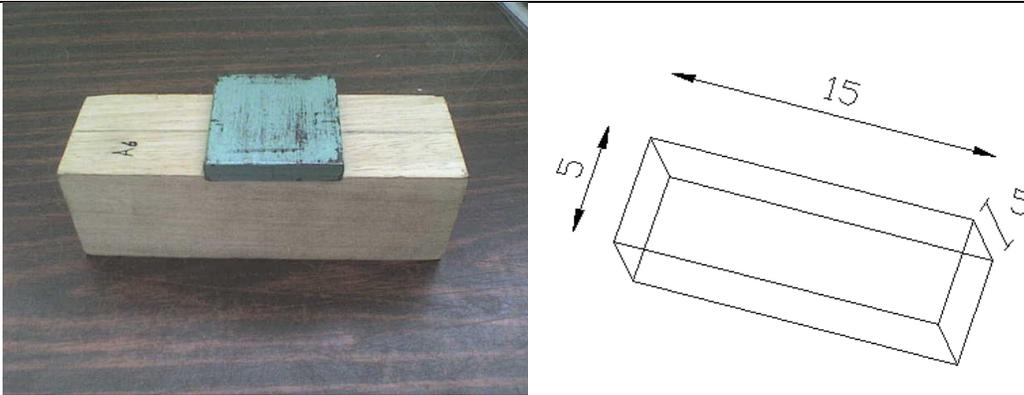


Figura 3.15. Probeta para ensayo de compresión perpendicular con placa

3.2.5.5 Procedimiento

Tomar las medidas del ancho de la madera y el lado que colabora para el ensayo. Como se menciona antes, se debe marcar la parte central y colocar la placa. Ingresar en el dispositivo de compresión de la máquina de ensayos; además se debe colocar un deformímetro en la base del cilindro, para medir el desplazamiento del mismo. Según la norma, se tiene que aplicar la carga axial, hasta que la placa se incruste 2.5 mm en la probeta. Y ésta será la carga última.

Además, para calcular el módulo de elasticidad a compresión perpendicular de la probeta se debe realizar un cuadro que tenga la deformación que varía de 0 a 2.5 mm con Intervalos de 0.1 mm. Además de la carga con que se da esta deformación. Para finalmente calcular el módulo de elasticidad E.



Figura 3.16. Probeta ensayada

3.2.5.6 Cálculo y expresión de los resultados

El esfuerzo último se debe calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Donde:

σ_{ult} : Esfuerzo último a tracción perpendicular en MPa

F_{ult} : Carga de rotura en N

A: Sección que falla por tracción, en mm²

Para calcular el Módulo de Elasticidad a compresión de cada probeta analizada, se debe realizar un cuadro que analice la carga y deformación de la probeta, que se transformara en esfuerzo y deformación unitaria. Y calcular mediante la siguiente fórmula que expresa la ley de Hooke.

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Donde:

σ : Esfuerzo en MPa

E: Módulo de Elasticidad en MPa

ε : Deformación unitaria

3.2.5.7 Resultados Obtenidos

Tabla 3.15. Resultados obtenidos en el ensayo de compresión perpendicular a la fibra en Eucalipto Globulus

COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA										
EUCALIPTO GLOBULUS										
MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LARGO (cm)	5.02	5.01	5.02	5.05	5.03	5.03	5.03	4.90	5.08	5.05
ANCHO (cm)	5.03	5.01	5.01	5.02	5.03	5.00	5.03	5.04	5.03	4.92
AREA (mm ²)	2525.06	2510.01	2515.02	2535.10	2530.09	2515.00	2530.09	2469.60	2555.24	2484.60
LONGITUD (cm)	15.07	16.05	15.13	15.07	15.08	15.06	15.10	15.10	15.06	15.06
FUERZA (Kg)	3800.00	4100.00	3900.00	3700.00	3900.00	4000.00	3350.00	2800.00	3700.00	3800.00
FUERZA (N)	37240.00	40180.00	38220.00	36260.00	38220.00	39200.00	32830.00	27440.00	36260.00	37240.00
ESFUERZO MAXIMO (MPa)	14.75	16.01	15.20	14.30	15.11	15.59	12.98	11.11	14.19	14.99
ESFUERZO PROMEDIO (MPa)	14.42									
ESFUERZO PROMEDIO (Kg/cm ²)	147.10									

Tabla 3.16. Resultados obtenidos en el ensayo de compresión perpendicular a la fibra en Eucalipto Grandis

EUCALIPTO GRANDIS	COMPRESIÓN PERPENDICULAR					
MUESTRA	I B	II B	III B	IV B	V B	VI B
ANCHO PLACA (cm)	5	5	5	5	5	5
ESPEJOR (cm)	5.05	5.05	5.15	5.08	5.1	5.1
AREA (cm ²)	25.25	25.25	25.75	25.4	25.5	25.5
FUERZA (Kg)	3450	3800	4300	3400	2850	2450
Esfuerzo (Kg/cm ²)	136.63	150.50	166.99	133.86	111.76	96.08
Esfuerzo(Mpa)	13.40	14.75	16.37	13.12	10.96	9.42
Esf. Medio (Kg/cm ²)	132.64					

3.2.6 CORTE O CIZALLAMIENTO

3.2.6.1 Alcance

Esta norma especifica cada uno de los procedimientos y equipos necesarios para el ensayo de corte.

3.2.6.2 Objetivo

Determinar el esfuerzo último que soporta el Eucalipto sometido a fuerzas cortantes o de cizallamiento.

3.2.6.3 Aparatos

- ◆ Máquina universal de ensayos
- ◆ Dispositivo de la máquina para el corte.
- ◆ Calibrador con precisión de 0.1 mm.

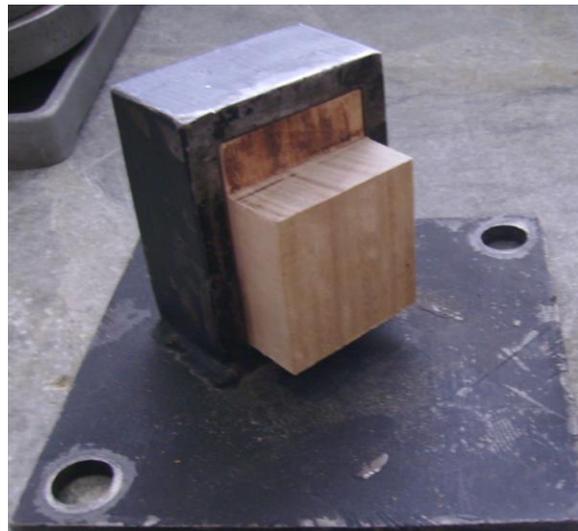


Figura 3.17. Máquina universal de ensayos con dispositivo para corte

3.2.6.4 Espécimen de prueba

La muestra es de sección irregular, la misma que se acoge a las normas COPANT, y se muestra a continuación:

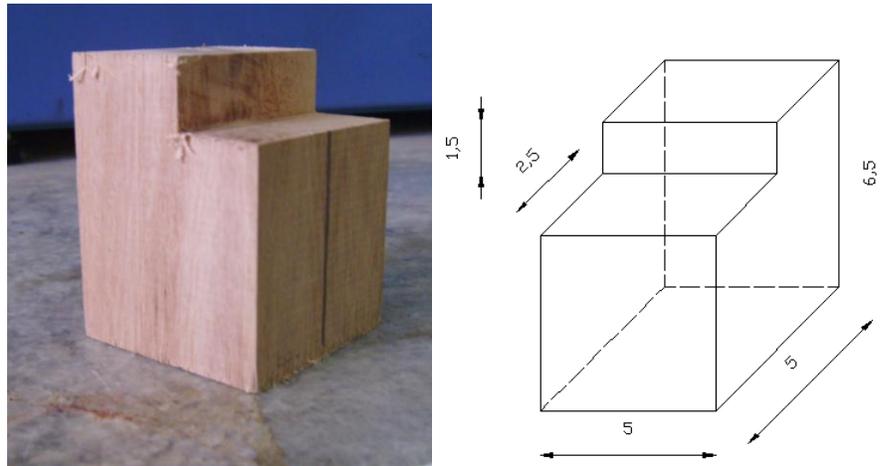


Figura 3.18. Probeta para ensayo de corte

3.2.6.5 Procedimiento

Como en todas las muestras, el procedimiento inicia al comprobar si la muestra para corte ingresa en el dispositivo de corte, para finalmente medir la sección en la que distribuye la carga constante; y es aproximadamente de 5 x 5 cm. Se coloca el dispositivo en la máquina de ensayos universales y se la carga hasta que la muestra llegue a la rotura.

Se anota la carga y se realizan los cálculos necesarios para sacar el esfuerzo último resistente de la probeta.

Hay que tener en cuenta que la falla por corte es frágil, es por esto que es de tipo explosivo.



Figura 3.19. Probeta ensayada

3.2.6.6 Cálculo y expresión de los resultados

El esfuerzo último se debe calcular mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

τ_{ult} : Esfuerzo último a corte en MPa

V_{ult} : Cortante último en N

A: Sección que falla por tracción, en mm²

3.2.6.7 Resultados Obtenidos

Tabla 3.17. Resultados obtenidos en el ensayo de corte paralelo a la fibra en Eucalipto Globulus

CORTE PARALELO A LA FIBRA										
EUCALIPTO GLOBULUS										
MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BASE PLACA (cm)	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99
ALTURA (cm)	5.04	5.03	5.02	5.05	5.05	5.06	5.02	5.08	5.04	5.02
AREA DE CORTE (mm ²)	2515.46	2510.47	2505.48	2520.46	2520.46	2525.45	2505.48	2535.43	2515.46	2505.48
CARGA MAXIMA (Kg)+CAB	3290.00	2980.00	2780.00	2795.00	2790.00	2410.00	2425.00	2770.00	2740.00	2430.00
PESO CABEZAL (Kg)	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00	135.00
CARGA MAXIMA (Kg)	3155.00	2845.00	2645.00	2660.00	2655.00	2275.00	2290.00	2635.00	2605.00	2295.00
CARGA MAXIMA (N)	30919.00	27881.00	25921.00	26068.00	26019.00	22295.00	22442.00	25823.00	25529.00	22491.00
ESFUERZO MAXIMO (MPa)	12.29	11.11	10.35	10.34	10.32	8.83	8.96	10.18	10.15	8.98
ESFUERZO PROMEDIO (MPa)	10.15									
ESFUERZO PROMEDIO (Kg/cm ²)	103.53									

Tabla 3.18. Resultados obtenidos en el ensayo de corte paralelo a la fibra en Eucalipto Grandis

EUCALIPTO GRANDIS	CORTE PARALELO A LA FIBRA					
MUESTRA	I D	II D	III D	IV D	V D	VI D
BASE (cm)	5.04	4.99	5.03	5.10	5.00	5.00
ALTURA (cm)	5.04	5.01	5.00	4.96	5.01	5.01
AREA DE CORTE (mm ²)	2540.16	2499.99	2515.00	2529.60	2505.00	2505.00
CARGA MAXIMA (Kg)+CAB	1770.00	2675.00	1690.00	1800.00	1500.00	1330.00
PESO CABEZAL (Kg)	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00
CARGA MAXIMA (Kg)	1630.00	2535.00	1550.00	1660.00	1360.00	1190.00
CARGA MAXIMA (N)	15974.00	24843.00	15190.00	16268.00	13328.00	11662.00
ESFUERZO MAXIMO (MPa)	6.29	9.94	6.04	6.43	5.32	4.66
ESFUERZO PROMEDIO (MPa)	6.45					
ESFUERZO PROMEDIO (Kg/cm ²)	65.74					

3.2.7 TORSIÓN

3.2.7.1 Alcance

Se realiza el ensayo torsión de acuerdo a un ensayo empírico, en donde se especificó las dimensiones de la probeta rectangular, como el contenido de humedad que generalmente es el óptimo en el Eucalipto.

3.2.7.2 Objetivo

Determinar los esfuerzos cortantes debido a la torsión.

3.2.7.3 Instrumental

- Torquímetro digital.
- Copas de agarre
- Palanca de fuerza

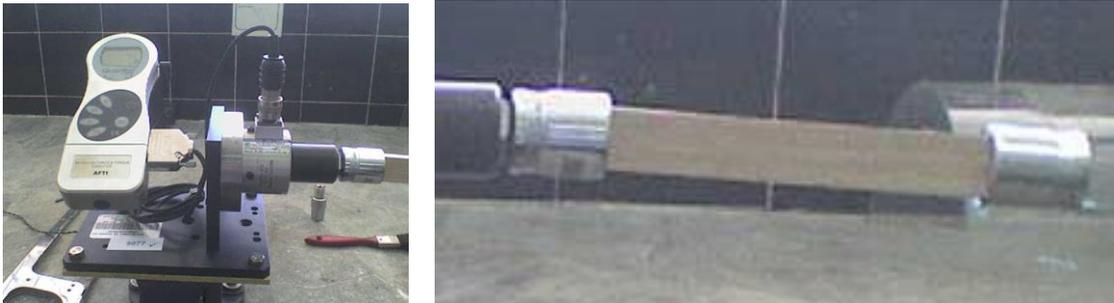


Figura 3.20. Torquímetro y copas de agarre

3.2.7.4 Preparación de las probetas

Se trabajó con un contenido de humedad de alrededor del 12%, ya que para todos los ensayos anteriores esta es la humedad requerida además se hizo un

chequeo visual de las trozas para ver que las probetas no presenten ninguna anomalía como, rajaduras, pudrición, torcedura, etc.,

Debido a que no existe ninguna norma que regule el ensayo a torsión y debido a que en el laboratorio existen copas de ajuste en forma rectangular, las probetas fueron elaboradas con las siguientes dimensiones en pulgadas:

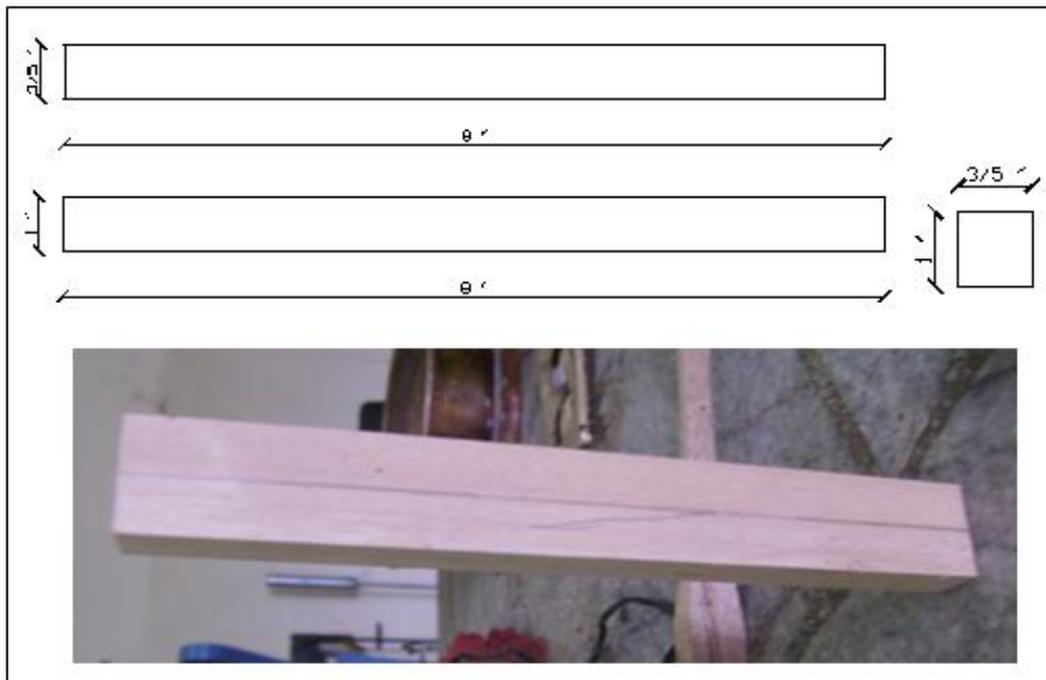


Figura 3.21. Probeta de prueba para torsión, en pulgadas.

3.2.7.5 Procedimiento

- Con un calibrador tomar las dimensiones de la altura y el ancho en el centro de la probeta.
- Colocar las probetas en las copas de ajuste.
- Colocar la copa de ajuste del un extremo en acople del torquimetro.
- Colocar la palanca de torque en la otra copa del otro extremo

- Proceder a girar la palanca de torque en forma manual hasta la falla de la probeta con una velocidad constante.
- Anotar el valor del torque máximo registrado en el torquímetro.
- Tomar la muestra ensayada y meterlo al horno para la obtención del los respectivos contenido de humedad.
- Con la lectura de la carga de ruptura proceder a la obtención de los resultados requeridos.

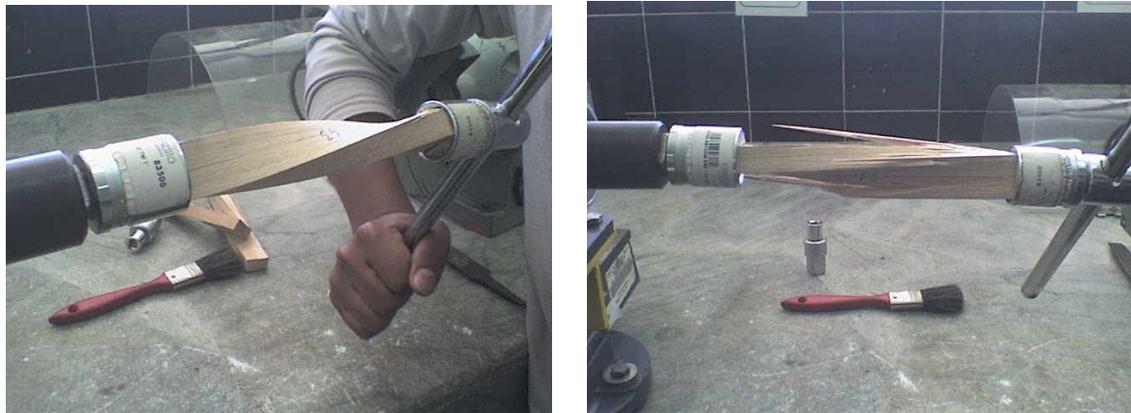


Figura 3.22. Probeta ensayada

3.2.7.6 Cálculos y resultados

El esfuerzo de corte a la torsión se calcula con la siguiente fórmula.

$$\tau = \frac{v}{\gamma} ; \gamma = \frac{b^2 * h}{2}$$

Donde:

τ : Esfuerzo de torsión en Lb/plg²

v : Momento torsor en Lb-plg.

γ : Módulo resiste a la torsión en plg³

b : Base de la probeta en plg.

h : Altura de la probeta en plg.

3.2.7.7 Resultados Obtenidos

Tabla 3.19. Resultados obtenidos en el ensayo de torsión a la fibra en Eucalipto Globulus

EUCALIPTO GLOBULUS	RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE TORSION									
MUESTRA	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
ANCHO (mm)	14.70	14.80	14.70	14.50	14.70	14.70	14.60	15.40	15.00	15.50
ALTURA (mm)	25.10	25.50	25.40	24.90	25.40	24.60	24.50	25.80	25.50	25.90
AREA (mm ²)	368.97	377.40	373.38	361.05	373.38	361.62	357.70	397.32	382.50	401.45
Mod. Resis. a la torsión (mm ³)	2711.93	2792.76	2744.34	2617.61	2744.34	2657.91	2611.21	3059.36	2868.75	3111.24
Momento Torsor(Kg*cm)	293.51	275.45	222.39	235.94	318.35	263.03	295.77	282.22	281.09	267.55
Esfuerzo (Kg/cm ²)	108.23	98.63	81.04	90.13	116.00	98.96	113.27	92.25	97.98	85.99
Esf. Medio (kg/m ²)	98.25									

Tabla 3.20. Resultados obtenidos en el ensayo de torsión a la fibra en Eucalipto Grandis

EUCALIPTO GRANDIS	RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE TORSION					
MUESTRA	G1	G2	G3	G4	G5	G6
ANCHO (mm)	14.19	14.70	14.82	14.90	14.90	14.90
ALTURA (mm)	25.20	25.14	25.10	25.20	25.10	25.10
AREA (mm ²)	357.59	369.56	371.98	375.48	373.99	373.99
Mod. Resis. a la torsión (mm ³)	2537.09	2716.25	2756.39	2797.33	2786.23	2786.23
Momento Torsor(Kg*cm)	187.00	168.00	164.00	196.00	195.00	194.00
Momento Torsor(Kg*cm)	211.10	189.65	185.14	221.26	220.13	219.00
Esfuerzo (Kg/cm ²)	83.21	69.82	67.17	79.10	79.01	78.60
Esf. Medio (kg/cm ²)	76.15					

CAPITULO IV. ESFUERZOS ADMISIBLES

4.1 ANTECEDENTES

Después de haber realizado los ensayos según las normas COPANT para maderas y haber obtenido los resultados, los mismos que corresponden a las resistencias últimas en el Eucalipto, se debe afectar por coeficientes de seguridad que reducen la capacidad, por ende, los valores calculados en el capítulo anterior.

Según en “Manual de Diseño del Grupo Andino”, se debe afectar a los esfuerzos últimos por diferentes coeficientes, dependiendo de la naturaleza de

cada ensayo. Entre estos tenemos: coeficiente de reducción por calidad de la madera, factor de reducción por tamaño, factor de servicio y seguridad, y factor de duración de carga, los mismos que se detallarán a continuación.

Además se realizó una comparación de datos, con los obtenidos en el laboratorio de la Universidad Central del Ecuador, en el mismo que se analizan las dos especies tratadas en esta tesis: Eucalipto glóbulos y Eucalipto grandis.

Estos datos son los siguientes:

Tabla 4.1: Propiedades mecánicas

	Eucalipto Glóbulos	Eucalipto Grandis	Unidad
Densidad seco al horno	0,70	0,519	gr/cm ³
FLEXION ESTÁTICA			
Esfuerzo, límite de proporcionalidad	460,937	319,206	Kg/cm ²
Módulo de elasticidad	156119,382	83429,560	Kg/cm ²
Modulo de ruptura	867,594	1056,887	Kg/cm ²
COMPRESIÓN PERALELA A LA FIBRA			
Esfuerzo, límite de proporcionalidad	317,627	----	Kg/cm ²
Módulo de elasticidad	138522,210	----	Kg/cm ²
Módulo de ruptura	439,818	202,867	Kg/cm ²
COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA			
Esfuerzo , límite de proporcionalidad	85,013	35,219	Kg/cm ²
CIZALLAMIENTO			
Módulo de ruptura	114,693	67,198	Kg/cm ²

Fuente: Biblioteca de la Facultad de Ciencias Agrónomas, UCE.

4.2 ESFUERZOS ADMISIBLES

Según el Manual del Diseño, se debe considerar cada ensayo mecánico por separado, de los cuales se obtienen los esfuerzos últimos, para las especies con valor menor en cada caso.

Estos valores se han utilizado para obtener los esfuerzos admisibles; y calculan de la siguiente manera:

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} * \sigma_{ult.MIN}$$

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 carga

4.2.1. COEFICIENTES DE REDUCCIÓN

4.2.1.1. Factor de Reducción por Calidad

Es un factor que relaciona la resistencia por defectos y por tamaño de una viga a escala natural y probetas pequeñas libres de defecto. El Manual de diseño recomienda una factor de 0.8 para todos los grupos de madera.

4.2.1.2. Factor de Servicio y Seguridad

Factor que condiciona a la madera para que trabaje en el rango elástico y por debajo del límite de proporcionalidad. Y este factor 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 puede presentar 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 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 vidas humanas.
- ◆ El aumento de carga por posibles cambios en el diseño o uso de la edificación.

El factor de servicio y seguridad varía según el tipo de sollicitación a fin de conseguir un margen de seguridad uniforme en todos los casos.

4.2.1.3. Factor de Reducción por Tamaño

En elementos de madera existe una reducción del esfuerzo de rotura en flexión a medida que se consideran secciones de mayor 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.

4.2.1.4. Factor de Duración de Carga

Los esfuerzos de rotura de la madera disminuyen con la duración de la aplicación de la carga. Los factores para determinar los esfuerzos admisibles para flexión y tracción paralela a las fibras que presenta el “Manual de Diseño” son de 1.15.

Además en el Manual se detallan los valores de cada uno de los factores según el tipo de ensayo mecánico, los mismos que se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 4.2: Factores de reducción

<i>Factor</i>	<i>Flexión</i>	<i>Compresión Paralela</i>	<i>Corte Paralelo</i>	<i>Compresión perpendicular</i>
F.C.	0.80	-	-	-
F.T.	0.90	-	-	-
F.S.	2.00	1.60	4.00	1.60
F.D.C.	1.15	1.25	-	-

Fuente: Manual de Diseño en Madera del Grupo Andino

4.2.2 ESFUERZO ADMISIBLE A FLEXIÓN

En base a los ensayos realizados y resultados, tenemos los siguientes

datos:

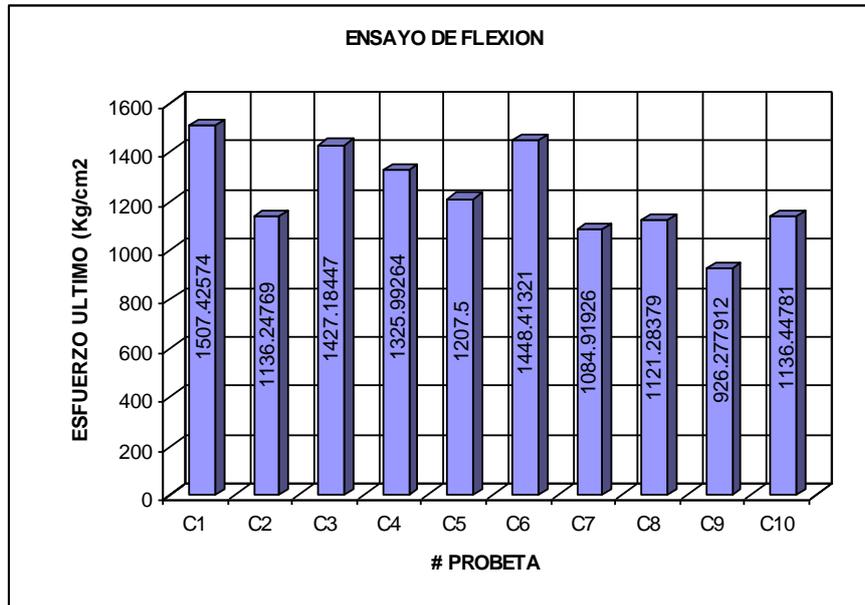


Gráfico 4.1. Esfuerzos últimos a flexión

De acuerdo al gráfico anterior, se puede observar que el valor mínimo de esfuerzo, corresponde al valor de **926.28 (Kg/cm²)**, que corresponde a la muestra C9. Pero se debe afectar con los valores antes mencionados, para transformarlo a esfuerzo admisible, y en el caso de flexión se obtiene de la siguiente manera:

$$\sigma_{adm} = \frac{0.8 \times 0.9}{2.0 \times 1.15} * 926.28 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) = 287.14 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

4.2.3 ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

Los valores obtenidos de esfuerzos últimos para compresión paralela al grano, son los siguientes:

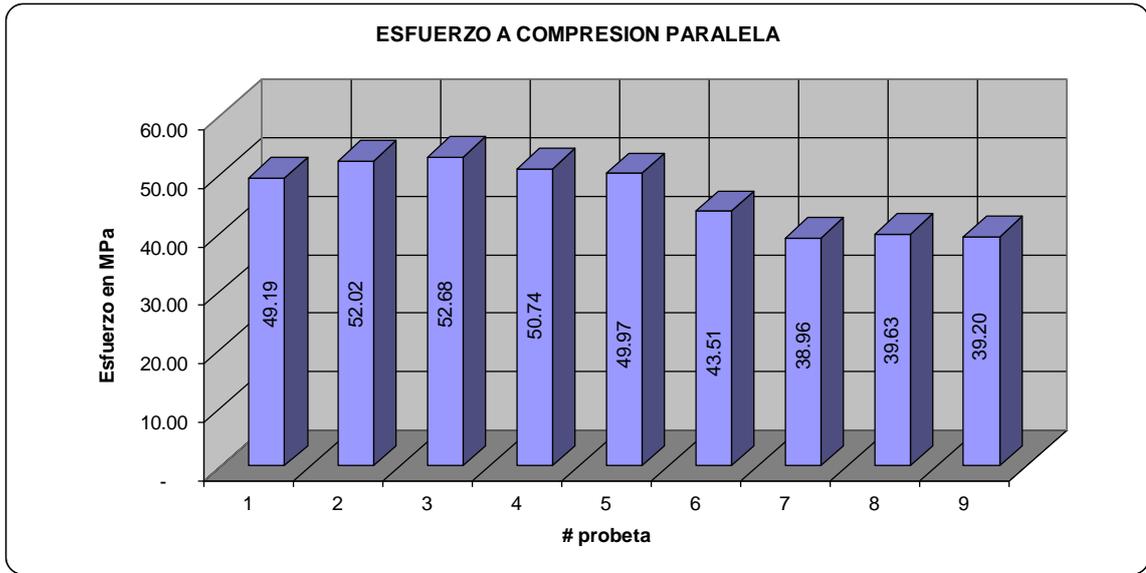


Gráfico 4.2. Esfuerzos últimos a compresión paralela a la fibra

Del gráfico anterior se obtiene el menor valor y este es 38.96 (MPa)=397.39 (Kg/cm²), y este debe afectarse de la siguiente manera:

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.60 \times 1.25} * 397.39 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) = 198.7 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

4.2.4 ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESIÓN PERPENDICULAR

Los valores obtenidos de esfuerzo último son:

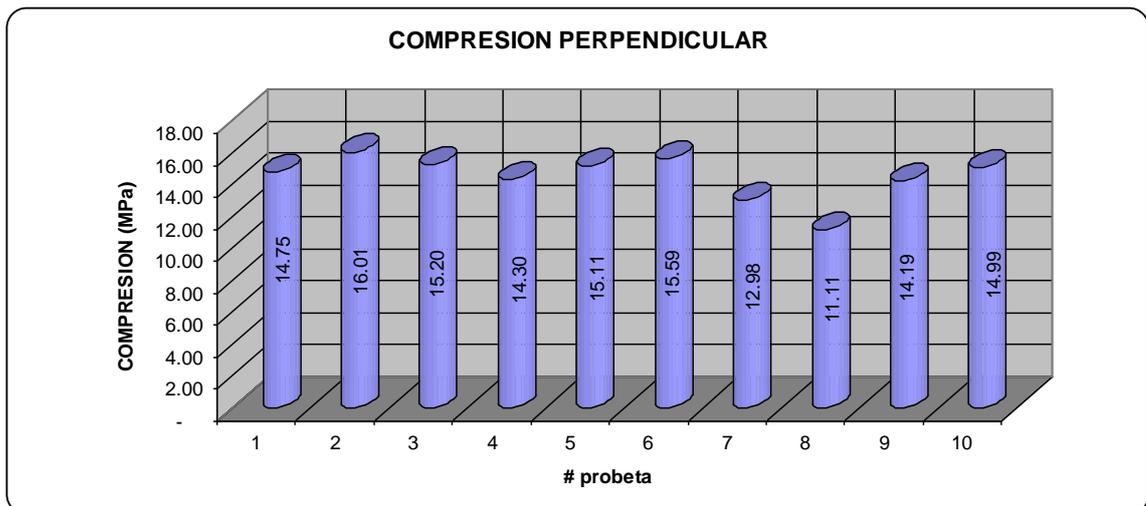


Gráfico 4.3. Esfuerzos últimos a compresión perpendicular a la fibra

Se toma en cuenta el valor mínimo según lo recomendado por el Manual de Diseño, y el valor es 11.11 (MPa)=113.32 (Kg/cm²). Para obtener el esfuerzo admisible se realiza lo siguiente:

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.60} * 113.32 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) = 70.83 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

4.2.5 ESFUERZO ADMISIBLE A TRACCIÓN PARALELA

Después del ensayo a tracción, especificado en la norma COPANT se obtuvieron los siguientes resultados:

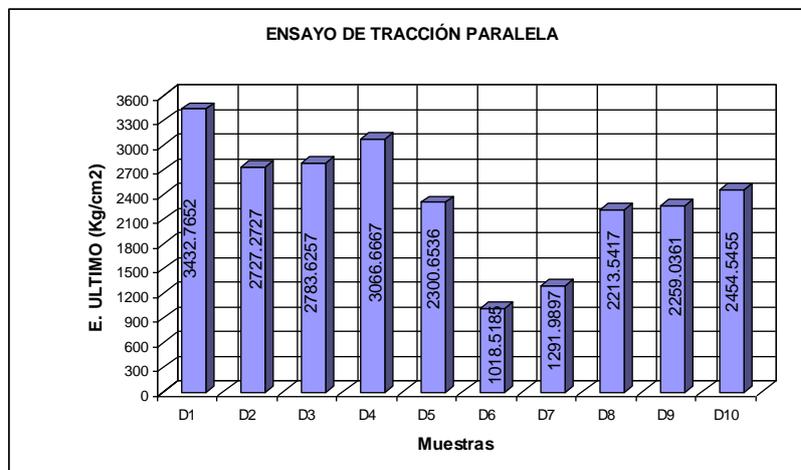


Gráfico 4.4. Esfuerzos últimos a tracción paralela a la fibra

El valor mínimo de esfuerzo corresponde a la muestra D6, y es 1018.52 (Kg/cm²), y los factores de reducción son:

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.20 \times 1.15} * 1018.52 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) = 738.05 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

4.2.6 ESFUERZO ADMISIBLE A TRACCIÓN PERPENDICULAR

Después de realizar el ensayo de tracción perpendicular a la fibra especificado en la norma, se obtuvieron los valores que se detallan a continuación:

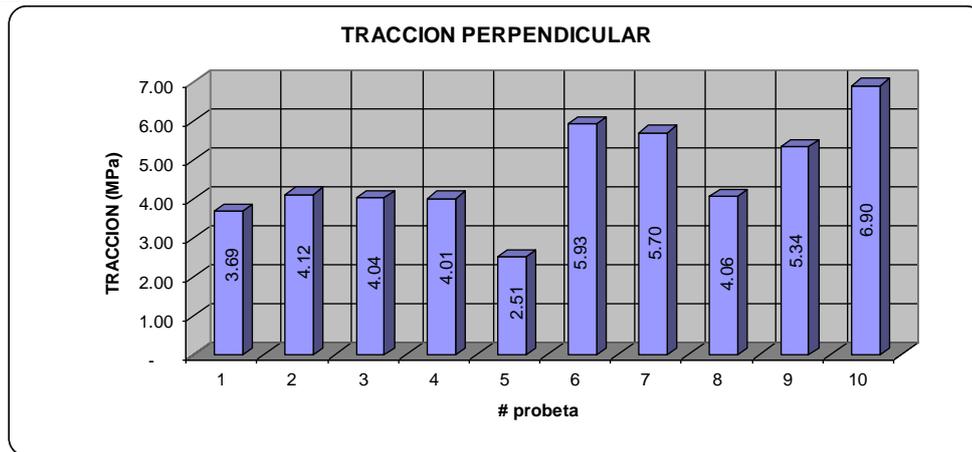


Gráfico 4.5. Esfuerzos últimos a tracción perpendicular a la fibra

El valor mínimo es: 2.51 (MPa) = 25.60 (Kg/cm²), y como en la tabla de factores no se toma en cuenta la tracción perpendicular, se tomaron los mismos que son para tracción paralela a la fibra. Y son los siguientes:

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{1.20 \times 1.15} * 25.60 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) = 18.55 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

4.2.7 ESFUERZO ADMISIBLE A CORTE

Los valores obtenidos de esfuerzos últimos a corte se presentan a continuación:

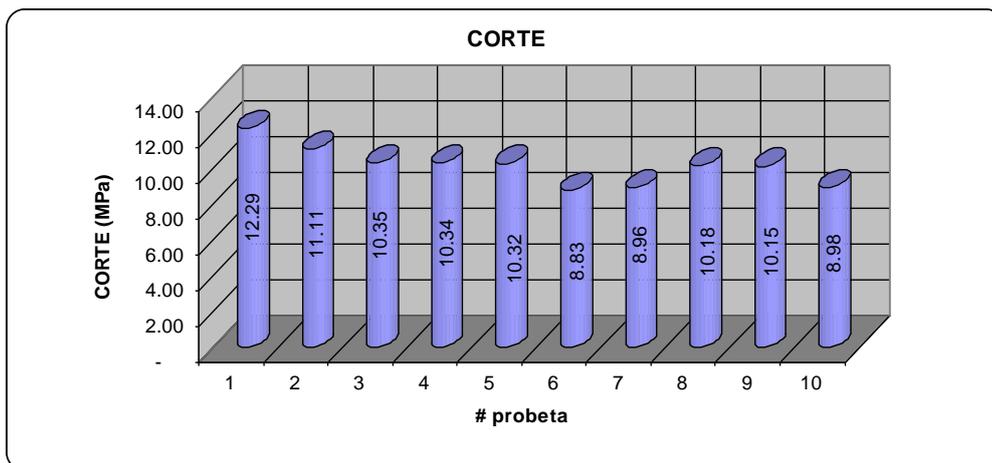


Gráfico 4.6. Esfuerzos últimos a corte

El mínimo valor obtenido es el correspondiente a la muestra 6, y es 8.83 (MPa) = 89.96 (Kg/cm²), y se afectan por los siguientes factores:

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{4} * 89.96 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) = 22.49 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

4.2.8 ESFUERZO ADMISIBLE A TORSIÓN

Después de realizado el ensayo de torsión, se obtuvieron los siguientes valores de esfuerzo:

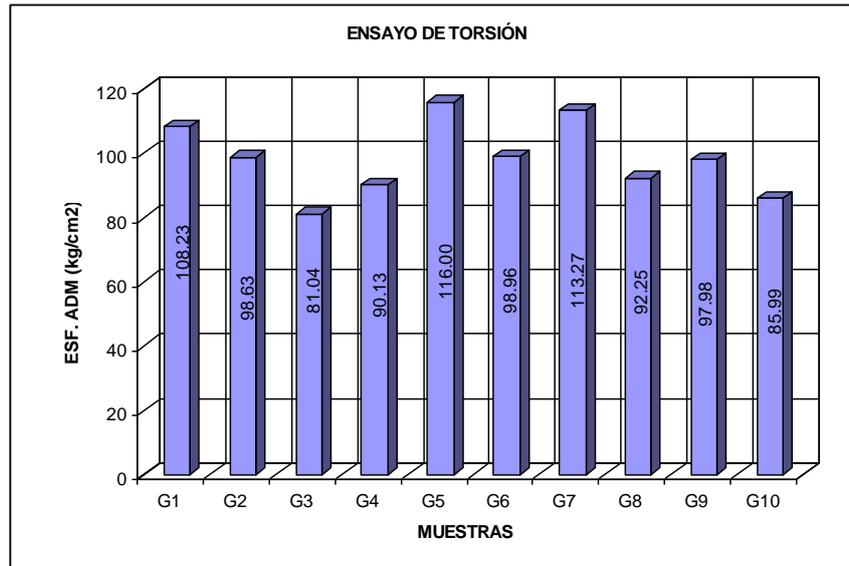


Gráfico 4.7. Esfuerzos últimos a torsión

Al igual que en los casos anteriores se toma el valor mínimo que es 81.04 (kg/cm²). Se debe multiplicar por los factores, pero no se han obtenido estos datos, es por esto, que tomamos el coeficiente para corte.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{4} * 81.04 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) = 20.26 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$$

4.2.9 RESUMEN DE ESFUERZOS ADMISIBLES

Tabla 4.3. Esfuerzos Admisibles del Eucalipto Globulus

ENSAYO	ESF. ADM (Kg/cm²)	ESF. ADM (MPa)
FLEXION	287.14	28.15
COMPRESION PARALELA	198.70	19.48
COMPRESION	70.83	6.94

PERPENDICULAR		
TRACCION PARALELA	738.05	72.36
TRACCION PERPENDICULAR	18.55	1.82
CORTE	22.49	2.21
TORSION	20.26	1.99

En el caso del Eucalipto Grandis, se realizó el mismo proceso, determinando el valor mínimo de esfuerzo en cada ensayo mecánico, para afectarlo finalmente por los factores de reducción antes analizados, y obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 4.4. Esfuerzos Admisibles del Eucalipto Grandis

ENSAYO	Esf Adm (kg/cm ²)	Esf. Adm (MPa)
CORTE	11.87	1.16
TRACCION PERPENDICULAR	19.64	1.93
COMPRESION PARALELA	164.03	16.08
COMPRESION PERPENDICULAR	60.05	5.89
TRACCION PARALELA	390.26	38.26
FLEXION	184.49	18.09
TORSION	16.79	1.65

4.3. MÓDULO DE ELASTICIDAD

Para calcular los módulos de elasticidad en maderas, generalmente se obtiene de manera indirecta en el ensayo de flexión, mediante la aplicación de una fórmula teórica para el cálculo de la flecha máxima en una viga simplemente apoyada, que se muestra a continuación:

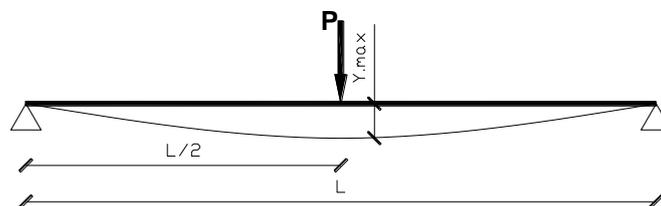


Figura 4.1. Viga simplemente apoyada con carga puntual a L/2

$$E * I * \frac{d^2 y}{d^2 x} = M$$

$$M = \frac{P}{2} * x$$

$$E * I * \frac{d^2 y}{d^2 x} = \frac{P}{2} * x$$

Integrando una vez

$$E * I * \frac{dy}{dx} = \frac{P}{4} * x^2 + C1$$

$$\text{Si } \frac{dy}{dx} = 0; x = \frac{L}{2}; C1 = -\frac{P * L^2}{16}$$

$$E * I * \frac{dy}{dx} = \frac{P}{4} * x^2 - \frac{P * L^2}{16}$$

Integrando por segunda vez

$$E * I * y = \frac{P}{12} * x^3 - \frac{P * L^2}{16} * x + C2$$

$$\text{Si } x = y = 0 ; C2 = 0$$

$$E * I * y = \frac{P}{12} * x^3 - \frac{P * L^2}{16} * x$$

Flecha máxima

$$E * I * y = \frac{P * L^3}{96} - \frac{P * L^3}{32}$$

$$E * I * y = -\frac{P * L^3}{48}$$

$$y_{\max} = -\frac{P * L^3}{48 * E * I}$$

Para finalmente despejar el módulo de elasticidad de la siguiente manera;

$$E = \frac{P * L^3}{48 * \gamma_{MAX} * I}$$

En maderas, se debe obtener el valor mínimo de módulo de elasticidad de las probetas ensayadas para el cálculo de elementos que no tienen colaboración de otros elementos cercanos, como: columnas y vigas, además del módulo de elasticidad promedio de estas muestras para el diseño de

elementos que poseen colaboración de otros, este es el caso de: viguetas y entablados.

Con el uso del E_{promedio} se espera el 50% de probabilidad de que las muestras tengan un valor menor.

Los módulos no se afectan por factores de reducción como en el caso de esfuerzos, ya que las consideraciones de seguridad están implícitamente contenidas en las limitaciones para deflexiones.

4.3.1. RESULTADOS OBTENIDOS

En el Eucalipto Glóbulo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.5. Módulo de Elasticidad Mínimo en E. Globulus

ENSAYO	E.min. (kg/cm ²)	E.min. (Mpa)
CORTE	0.00	0.00
TRACCION PERPENDICULAR	0.00	0.00
COMPRESION PARALELA	152208.97	14922.45
COMPRESION PERPENDICULAR	0.00	0.00
TRACCION PARALELA	133347.56	13073.29
FLEXION	93510.04	9167.65
TORSION	0.00	0.00
PROMEDIO =	126355.53	12387.80

Tabla 4.6. Módulo de Elasticidad Promedio en E. Globulus

ENSAYO	E. (kg/cm ²)	E. (Mpa)
CORTE	0.00	0.00
TRACCION PERPENDICULAR	0.00	0.00
COMPRESION PARALELA	196517.31	19266.40
COMPRESION PERPENDICULAR	0.00	0.00
TRACCION PARALELA	202506.60	19853.59
FLEXION	133444.89	13082.83
TORSION	0.00	0.00
PROMEDIO =	177489.60	17400.94

En el Eucalipto Grandis se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.7. Módulo de Elasticidad Mínimo en E. Grandis

ENSAYO	E.min. (kg/cm ²)	E.min. (Mpa)
CORTE	0.00	0.00
TRACCION PERPENDICULAR	0.00	0.00
COMPRESION PARALELA	0.00	0.00
COMPRESION PERPENDICULAR	0.00	0.00
TRACCION PARALELA	86554.44	8485.73
FLEXION	53986.48	5292.79
TORSION	0.00	0.00
PROMEDIO =	70270.46	6889.26

Tabla 4.8. Módulo de Elasticidad Promedio en E. Grandis

ENSAYO	E. (kg/cm ²)	E. (Mpa)
CORTE	0.00	0.00
TRACCION PERPENDICULAR	0.00	0.00
COMPRESION PARALELA	0.00	0.00
COMPRESION PERPENDICULAR	0.00	0.00
TRACCION PARALELA	121126.31	11875.13
FLEXION	56455.81	5534.88
TORSION	0.00	0.00
PROMEDIO =	88791.06	8705.01

Tabla 4.9. Esfuerzos admisibles del E. Globulus y E. Grandis en comparación con los grupos de Maderas

ESFUERZOS ADMISIBLES (MPa)				
GRUPO	FLEXION	TRACCION PARALELA	COMPRESION PARALELA	CORTE PAR
A	21	14.5	14.5	1.5
B	15	10.5	11	1.2
C	10	7.5	8	0.8
EUCALIPTO GLOBULUS	28.15	72.36	19.48	2.21
EUCALIPTO GRANDIS	18.09	38.26	16.08	1.16

Tabla 4.10. Módulos de Elasticidad del E. Globulus y E. Grandis en comparación con los grupos de Maderas

MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)		
GRUPO	E min	E promedio
A	9500	13000
B	7500	10000
C	5500	9000
EUCALIPTO GLOBULUS	12387.8	17400.94
EUCALIPTO GRANDIS	6889.26	8705.01

CAPITULO V. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

5.1 ANTECEDENTES

En este capítulo se detallarán los diferentes tipos de carga que pueden presentarse, las mismas que deben ser resistidas por las secciones de Eucalipto que se asumirán, los pasos a seguirse para el cálculo estructural en SAP 2000 v11.04 y el marco teórico que guiará el diseño estructural en Eucalipto.

La estructura analizada forma parte de una Granja Integral que será construida en el IASA I, la cual posee una planta y elevación que se muestran a continuación:

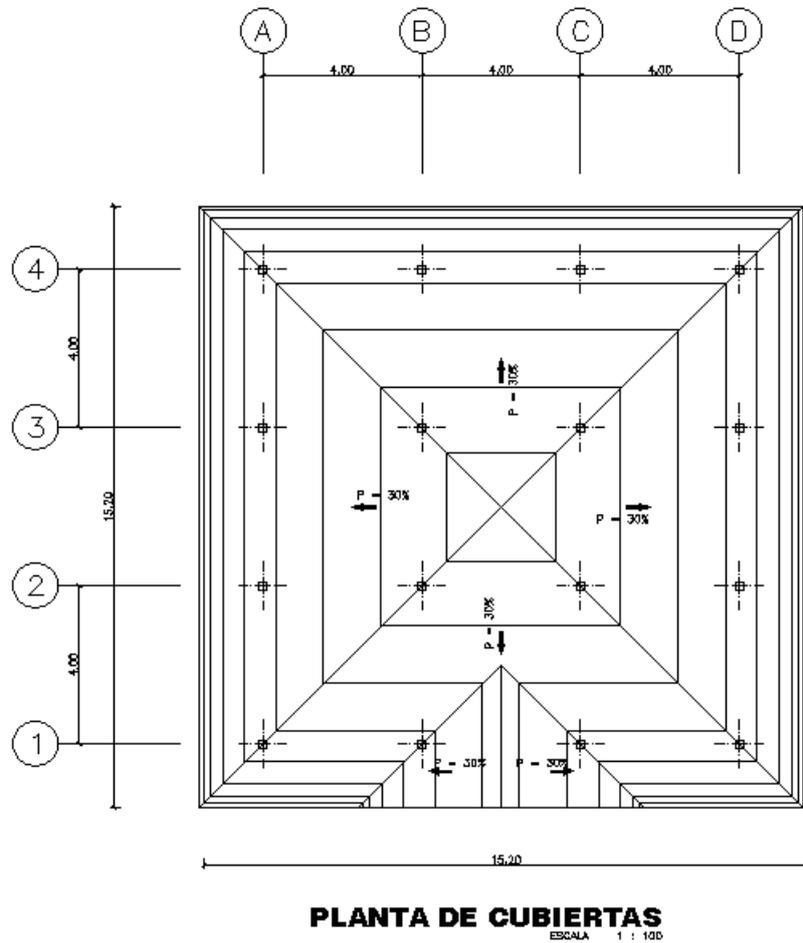


Figura 5.1. Vista en planta del área techada

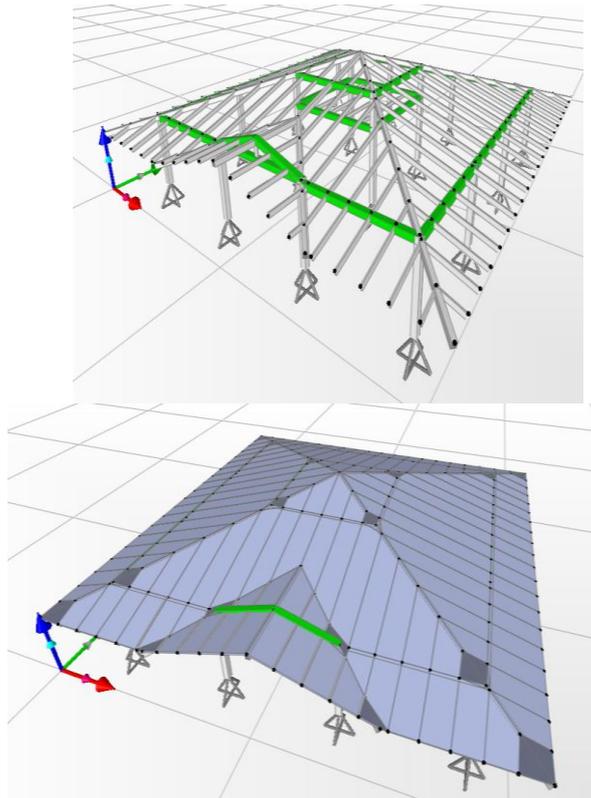


Figura 5.2. Vista en elevación

5.2. METODOS DE DISEÑO

Los elementos de Madera deben diseñarse para cargas de servicio o METODOS DE ESFUERZO ADMISIBLE.

5.2.1 REQUISITOS DE RESISTENCIA.- Los elementos estructurales deben diseñarse para que los esfuerzos aplicados, producidos por las cargas de servicio, sean menores o iguales que los esfuerzos admisibles del material.

$$\underline{\text{Esfuerzos aplicados} < \text{Esfuerzos admisibles}}$$

5.2.2 REQUISITOS DE RIGIDEZ.- Las deformaciones deben considerarse para las cargas de servicio tomando en cuenta las deformaciones permanentes 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 < Deformaciones admisibles.

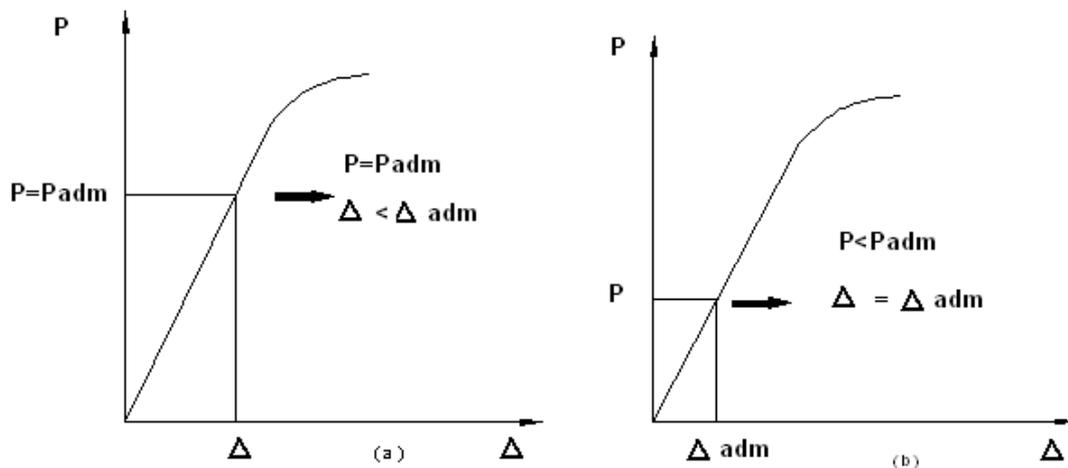


Figura 5.3. Diseño elástico, (a) controlado por resistencia (limitación de esfuerzos), (b) controlado por rigidez (limitación de los esfuerzos)

5.3. TIPOS DE CARGA

En este tipo de estructura se deben analizar básicamente cuatro tipos de cargas, las cuales se detallan a continuación:

- Carga Muerta (D)
- Carga Viva o Sobrecarga (L)
- Carga sísmica (E)
- Carga de viento (W)

5.3.1. CARGA MUERTA

Esta compuesta por las siguientes cargas, las mismas que son consideradas muerta por su carácter permanente e inevitable:

5.3.1.1. Peso Propio

Es el peso de cada uno de los componentes, es particular para cada elemento estructural. Para calcularlo se obtiene el volumen del elemento y se multiplica por el peso específico del material. El valor de la carga por peso propio será calculado por el programa SAP 2000 v11.04

5.3.1.2. Cargas Permanentes

Estas cargas incluyen los siguientes elementos:

Teja cóncava de encaje con entablado = 75 kg/m²

Instalaciones eléctricas e hidrosanitarias = 5 kg/m²

Total de carga muerta = 80 kg/m²

5.3.2. CARGA VIVA

Esta carga esta conformada por lo siguiente:

5.3.2.1. Carga de Servicio

Existe solo en la segunda planta, ya que será utilizado para el almacenamiento de granos.

Carga de servicio = 150 kg/m²

5.3.2.2. Carga de mantenimiento

Se debe al mantenimiento que se realiza a la cubierta permanentemente o en casos fortuitos.

Carga de mantenimiento = 70 kg/m² (CEC 2000)

5.3.2.3. Carga debida a la acumulación de ceniza

Para efectos de cálculo se debe considerar un espesor de 40 mm de ceniza acumulada; que corresponde a una carga desde 40 kg/m² hasta 100 kg/m².

Para este caso se tomo el valor de 40 kg/m²

Total Carga Viva cubierta = 110 kg/m²

Total Carga Viva soberado = 150 kg/m²

5.3.3. FUERZA SÍSMICA

Para calcular la fuerza cortante debida al sismo en estructura de madera, existen dos métodos que se analizan a continuación, y se debe elegir el más crítico.

5.3.3.1. Coeficientes de Fuerza Sísmica (PADT-REFORT)

La fuerza cortante debido al sismo puede determinarse multiplicando el área techada de la edificación por los valores que se presentan en la siguiente tabla. El coeficiente a considerarse depende de la configuración de la edificación, si es de uno o dos pisos.

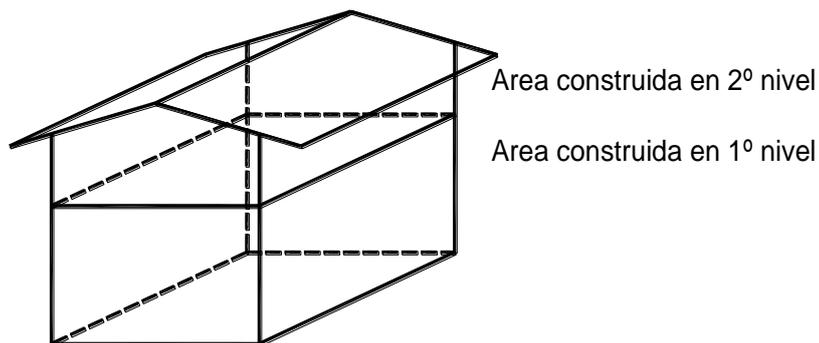


Figura 5.4. Área para el cálculo de fuerza cortante por sismo

Tabla 5.1. Coeficientes de fuerza sísmica

-
1. Edificaciones con cobertura liviana; tal como cartón bituminoso, planchas de asbesto-cemento, calaminas, etc.
 - a. Estructuras de un piso: 10.7 Kg. por m² de área techada
 - b. Estructuras de dos pisos:
 - i. Segundo Nivel: 16.1 Kg. por m² de área techada del 2do nivel.
 - ii. Primer nivel: 16.1 Kg. por m² de área total techada
 2. Edificaciones con coberturas pesadas de tejas o similares
 - a. Estructuras de un piso: 29.5 Kg por m² de área techada
 - b. Estructuras de dos pisos:

- i. Segundo Nivel: 29.8 Kg. por m² de área techada del 2do nivel.
 - ii. Primer nivel: 22 Kg. por m² de área total techada
-

Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, página 10-15

V act,sismo = Coeficiente (Tabla 5.1) * Área techada

Primer nivel

V act, sismo = 22 Kg./m² * 151.28 m²

V act,sismo = 3328.16 kg

Segundo Nivel

V act, sismo = 29.8 kg/m² * 79.76 m²

V act,sismo = 2376.85 kg

5.3.3.2. Cortante Basal (CEC 2000)

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{ZIC}{R \phi_p \phi_e} W$$

Donde:

Z: Factor de zona (Z=0.4)

I: Factor de importancia de la estructura (I=1)

C: Coeficiente que depende del tipo de suelo

$$C = \frac{1.25 S^S}{T}$$

S = 1.2 (Suelo intermedio)

T= Periodo fundamental de Vibración

$$T = C_t x (H_n)^{3/4}$$

C_t= 0.06 (Otras estructuras según CEC 2000)

H_n= 5.80 m

$$T = 0.06x(5.80)^{3/4} = 0.224$$

$$C = \frac{1.25 \cdot 1.2^{1.2}}{0.224} = 6.94; \text{ en este caso se toma el } C_m = 3.00$$

R = 7 (Estructuras de madera)

$\phi_p = 1$, $\phi_e = 0.9$

$$V = \frac{0.4 \cdot 1 \cdot 3}{7 \cdot 1 \cdot 0.9} \cdot W = 0.19xW$$

5.3.4. FUERZA DE VIENTO

Para determinar la fuerza cortante debida a carga de viento se multiplican en cada dirección los coeficientes de la tabla 5.2 por el área proyectada

Área proyectada 2do nivel = 19.17 m²

Área proyectada 1er nivel = 33 m²

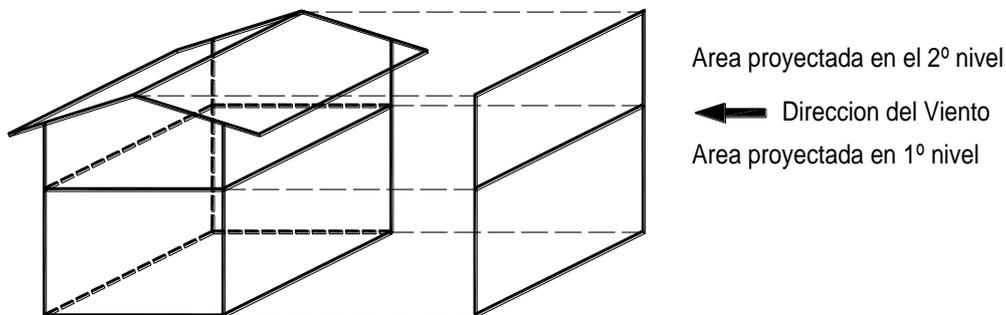


Figura 5.5. Área para el cálculo de fuerza cortante por viento

Tabla 5.2. Coeficiente de fuerzas de viento

-
1. Estructuras de un piso: 21 Kg por m² de área proyectada
 2. Estructuras de dos pisos:
 - a. Segundo nivel: 21 Kg por m² de área proyectada del 2do nivel
 - b. Primer nivel: 31 Kg por m² de área proyectada total

Fuente Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, página 10-16

$V_{act,viento} = \text{Coeficiente (Tabla 5.2)} * \text{Área proyectada}$

Primer nivel

$$V_{act,viento} = 31 \text{ Kg./m}^2 * 52.17 \text{ m}^2$$

$$V_{act,viento} = 1617.27 \text{ kg.}$$

Segundo Nivel

$$V_{act,viento} = 21 \text{ kg/m}^2 * 19.17 \text{ m}^2$$

$$V_{act,viento} = 402.57 \text{ kg}$$

5.4 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA CON EL PROGRAMA SAP 2000 v11.04

Para el cálculo de la estructura antes analizada, se realizó el proceso que se detallará a continuación, que posteriormente nos mostrará el funcionamiento de cada uno de los elementos estructurales, para este caso, el de viguetas, vigas y columnas. Y finalmente se procederá a realizar el diseño de la misma.

El proceso de cálculo inicia al abrir el programa SAP 2000 v11.04, a continuación se deben colocar las unidades con las que se trabajará el modelo, en este caso se adoptaron Toneladas, Metros y Grados Centígrados como se muestra en la Figura 5.6.

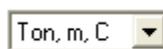


Figura 5.6. Unidades

En el programa SAP 2000 se pueden realizar los modelos estructurales de dos maneras diferentes: dibujando el modelo en AUTOCAD, para después importarlo y dibujar el modelo en SAP usando las opciones adecuadas. En el presente trabajo se realizo el modelo en el programa SAP directamente, y para esto se debe seguir el proceso que se detalla a continuación:

- ◆ Dibujar una grilla necesaria donde se muestren los nudos más importantes de la estructura y necesarios para dibujar el modelo de esta. Como se observa en la figura 5.7
- ◆ Crear el material, secciones (elementos frame), áreas (elementos shell), que serán necesarios para realizar un modelo que represente la realidad, para obtener el trabajo real de cada uno de estos.

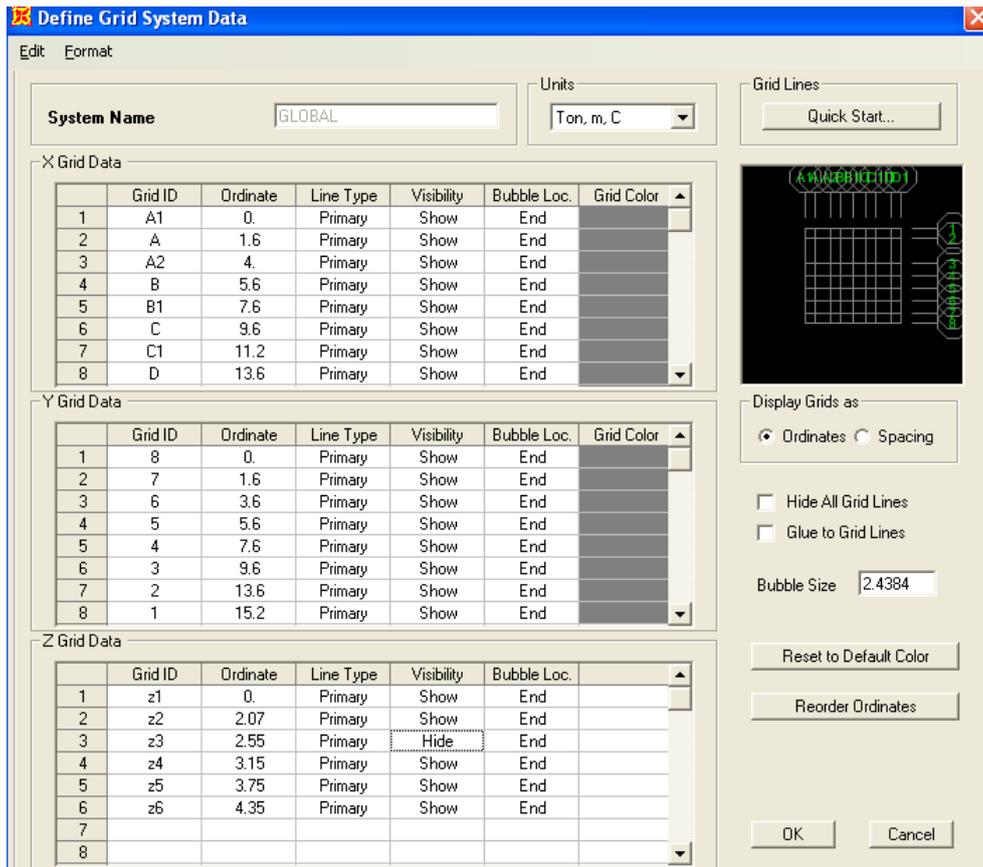


Figura 5.7. Grilla usada para realizar el modelo estructural

A continuación mostraremos las figuras donde se puede observar los cuadros de dialogo para crear los materiales, secciones y áreas.

- ◆ Para definir el material, o materiales a usar en el modelo, se debe escoger “Define”, y luego “Define Materials”.

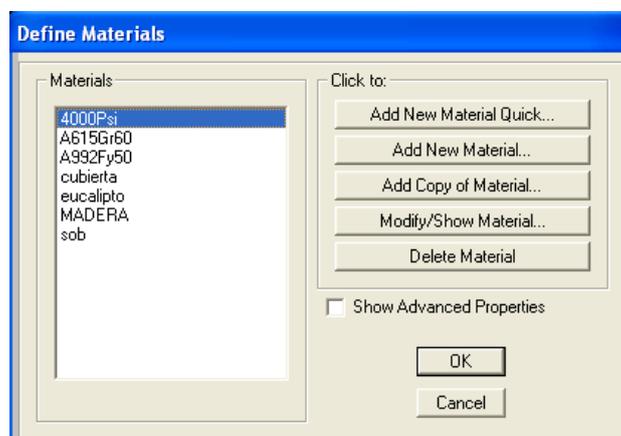


Figura 5.8. Definición del material

Figura 5.9. Propiedades del material

En este caso se usa al Eucalipto como material, a continuación se debe escoger el tipo de material, en esta versión de SAP 2000, se debe escoger “Other”, además se debe escoger que el tipo de simetría en el Eucalipto y otras maderas en general es “Ortotropico” ya que las características no son similares en todos los sentidos.

Como se puede observar en la figura 5.9, se deben ingresar las características físicas y elásticas del material, y algunas mecánicas, entre estas tenemos: Masa por volumen, densidad, Modulo de Elasticidad, Coeficiente de Poisson, Coeficiente de Expansión Termal y Modulo de Corte.

En el caso de masa por volumen y densidad para el Eucalipto, fueron calculados en el Capitulo concerniente a Propiedades Físicas del Eucalipto y estos valores son los siguientes: 816 Kg./m³ y 7939 Kg./m³ respectivamente.

5.4.1 PROPIEDADES ELÁSTICAS DEL EUCALIPTO

Entre estas tenemos el Modulo de Elasticidad, Modulo de Corte y Modulo de Poisson. Para el caso de cualquier madera, al ser un material Ortotropico, posee tres Módulos de Corte, tres Módulos de Elasticidad y seis Módulos de Poisson definidos por los tres ejes ortogonales; pero se puede asumir homogéneo en este aspecto, es por esto que solo se definen tres módulos de Poisson.

5.4.1.1 Modulo de Elasticidad

Para el caso del Modulo de Elasticidad del Eucalipto, puede ser obtenido de manera indirecta por el ensayo de flexión como se detallo en el Capitulo VI que se refiere a los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad necesarios para el diseño estructural. El valor hallado fue de 1263555.30 T/m².

5.4.1.2 Modulo de Corte

El Modulo de Corte es la relación que existe entre las deformaciones y los esfuerzos desarrollados en el elemento, pero por solicitaciones de cizallamiento o corte. El valor de modulo de corte, después de varios ensayos a nivel mundial, varia entre 1/16 a 1/25 del modulo de Elasticidad.

$$\tau = \frac{E}{25} = 50542.2 \left(\frac{T}{m^2} \right)$$

Donde:

τ : Modulo de Corte

E: Modulo de Elasticidad

5.4.1.3 Modulo de Poisson

El Modulo de Poisson es la relación que existe entre la deformación lateral y la deformación longitudinal de un elemento. En el caso de maderas existen 6 módulos de Poisson ya que relacionan las deformaciones en las direcciones longitudinal, radial y tangencial. Los ensayos realizados anteriormente han

reportado valores que varían entre 0.325 a 0.40, en este caso se adopto un valor de 0.40

5.4.1.4 Coeficiente de Dilatación Térmica

La madera, al igual que muchos materiales, sufre deformaciones mínimas por la variación de la temperatura, además poseen diferentes variaciones según la dirección analizada, por ser un material ortotropico. La dilatación tangencial y radial aumentan con la densidad de la madera, siendo la tangencial mayor a la radial. La dilatación longitudinal no depende de la densidad, y varía según la especie. En este caso se han adoptado los valores típicos para madera y son:

- ◆ En el eje longitudinal: 3×10^{-6}
- ◆ En el eje tangencial: 25×10^{-6} y
- ◆ En el eje radial: 15×10^{-6}

Además de definir el material Eucalipto se debe definir otro material que será usado mas adelante para la asignación de un elemento Shell, que simulara a la cubierta de la estructura. En donde se colocaran las cargas permanentes, de servicio, cargas vivas e incluso de viento.

Figura 5.10. Propiedades del material de cubierta (teja)

5.4.2 DEFINICIÓN DE SECCIONES

Este proceso se debe seguir para definir las secciones a colocarse en columnas, vigas y viguetas.

- ◆ Se debe hacer clic en 'Define', 'Frame Sections' como se observa en la figura 5.11

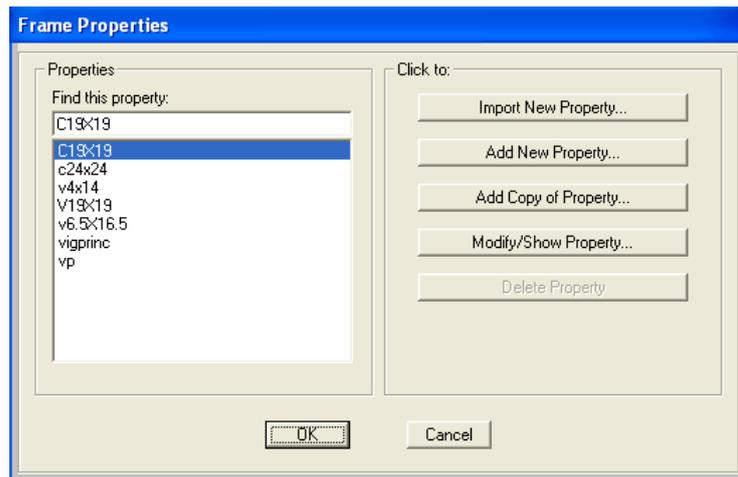


Figura 5.11. Propiedades de las secciones

- ◆ Se hace clic en 'Add New Property', donde se escogerá el material y geometría de la sección, de la siguiente manera:

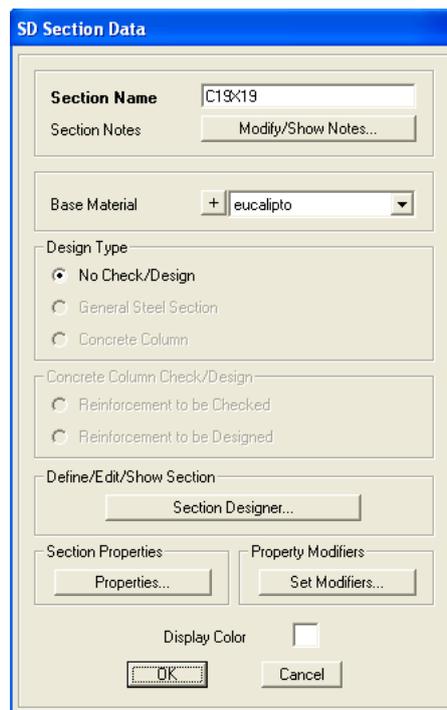


Figura 5.12 Datos de la Sección

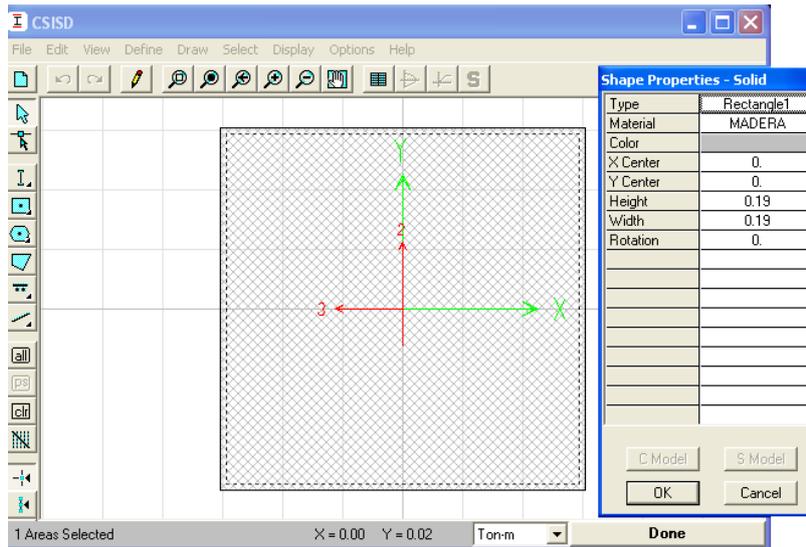


Figura 5.13 Geometría de la Sección

Después de haber definido estas secciones, se deben definir los elementos Shell, los mismos que servirán para modelar la cubierta y el soberado que se usaran en esta estructura.

Para definir las secciones se deben hacer los siguientes pasos:

- ◆ En el menú se usa la opción 'Define', 'Area Sections' donde se colocara elemento Shell y a continuación se debe hacer clic en el botón 'Add New Section'

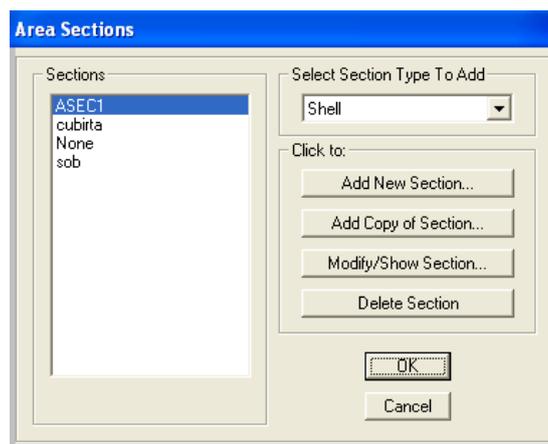


Figura 5.14. Definición de la cubierta y elementos Shell

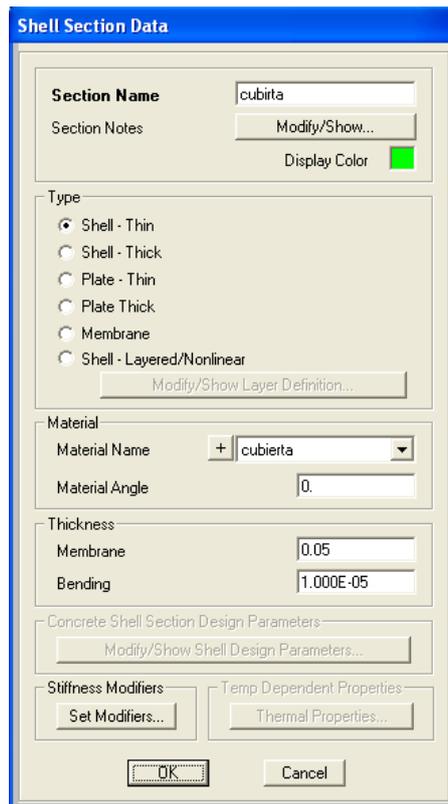


Figura 5.15. Datos del Shell

En la figura anterior se puede observar los datos que se deben ingresar para el elemento Shell, y estos son, nombre, material, función, y cooperación de la sección.

5.4.3 ASIGNACIÓN DE SECCIONES

Las secciones antes creadas, se deben ingresar al modelo mediante el siguiente icono , que sirve para dibujar elementos frame. Cada uno de los elementos se debe dibujar según la sección y posición que ocupan en el modelo mediante la ventana que se muestra a continuación:

Properties of Object	
Line Object Type	Straight Frame
Section	C19X19
Moment Releases	Continuous
XY Plane Offset Normal	0.
Drawing Control Type	None <space bar>

Figura 5.16. Propiedades del elemento Frame

Donde se debe ingresar la sección a la que pertenece.

Después de esto se deben dibujar los elementos Shell con el siguiente icono , donde se debe definir también la sección creada.

Properties of Object	
Section	cubirta
Drawing Control Type	None <space bar>

Figura 5.17. Propiedades del elemento Shell

Al dibujar los elementos Shell, se deben dibujar formas máximo de 4 nudos y casi simétricas ya que sino el programa realiza elementos finitos de estos y produce un error al momento de cargar el elemento en la estructura.

Después de haber dibujado el modelo completo de la estructura, se deben crear los nudos necesarios para que los elementos no estén sueltos, además todos los elementos deben ser divididos según los nudos creados para que se pueda observar un trabajo real de cada uno de estos, y por ende una respuesta real en los momentos y cortantes del elemento.

Después que el modelo este listo, se deben asignar las cargas necesarias antes descritas, y son carga viva, muerta, de viento y por sismo estático.

5.4.4 DEFINICIÓN DE ESTADOS DE CARGA

Para esto se debe usar la opción 'Define', 'Load Cases' que mostrará la siguiente ventana:

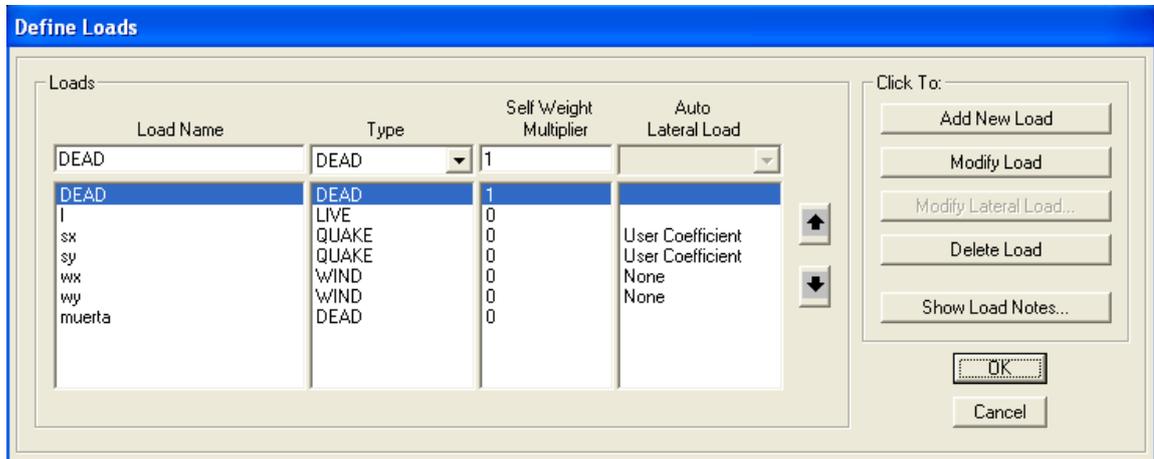


Figura 5.17. Definición de los casos de carga

Se usa el coeficiente 1 en el caso DEAD porque queremos que se tome en cuenta el peso propio de cada uno de los elementos. Además al tomar en cuenta el efecto sísmico estático, se usa la opción 'User Coefficient' en los estados de carga Sx y Sy, los mismos que modelan el sismo en el sentido X y Y, y que después se deberá añadir el coeficiente de cortante basal en la opción 'Modify Lateral Load' como se muestra a continuación:

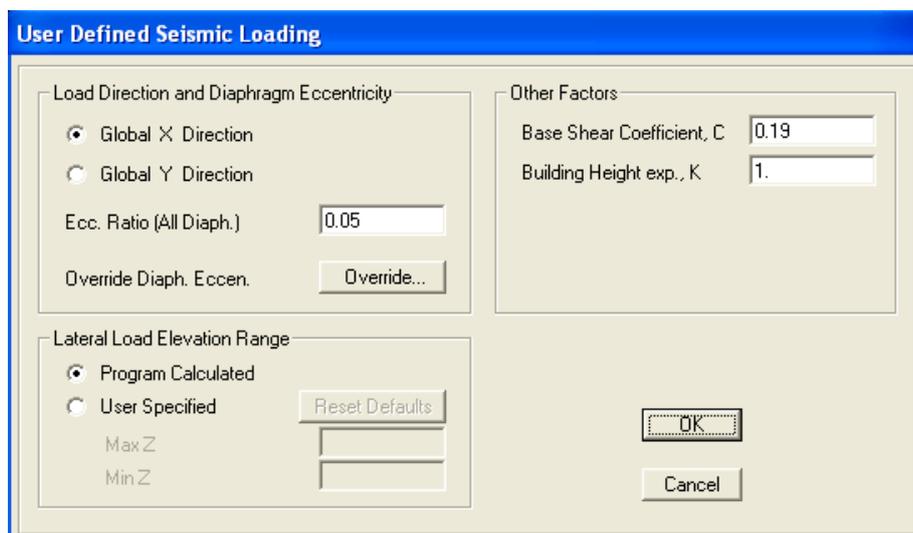


Figura 5.18. Coeficiente del Cortante Basal

Este coeficiente, es un porcentaje del peso propio de la estructura, en este caso se obtuvo un valor de 0.19 del W.

5.4.5 ASIGNAR CARGAS

De los distintos tipos de cargas antes analizadas, aparte del Peso Propio o Carga Muerta Permanente y Cortante Basal que se muestra en la figura anterior, se deben ingresar en forma de cargas distribuidas en cada uno de los elementos Área o Shells; para esto se deberá seguir el procedimiento detallado a continuación:

- ◆ Se deben marcar cada uno de los elementos Shell, y asignar las cargas mediante la opción “Assign”, “Area Loads”, “Uniform (Shell)”, con esto se lograra encontrar la ventana que se muestra en la figura 5.19
- ◆ En esta ventana se deberán colocar: el caso de carga al cual se añadirá esta, el valor de la carga en T/m², además de la dirección de la misma, que puede ser asignada en relación a los ejes locales o globales.

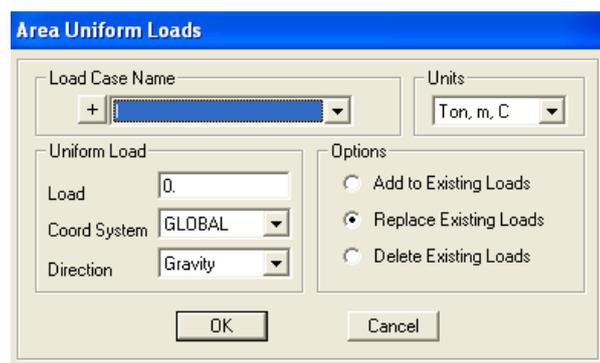


Figura 5.19. Asignación de cargas para elementos Shell

De esta manera se deben ingresar las cargas vivas, muertas, y de viento, ya que según el PADT REFORT, las cargas son distribuidas lateralmente, y de este modo, el modelo simularía a la realidad.

En el caso de Carga Sísmica Estática, además de crear el caso de carga antes visto, se debe realizar un paso más que se muestra en la siguiente figura:

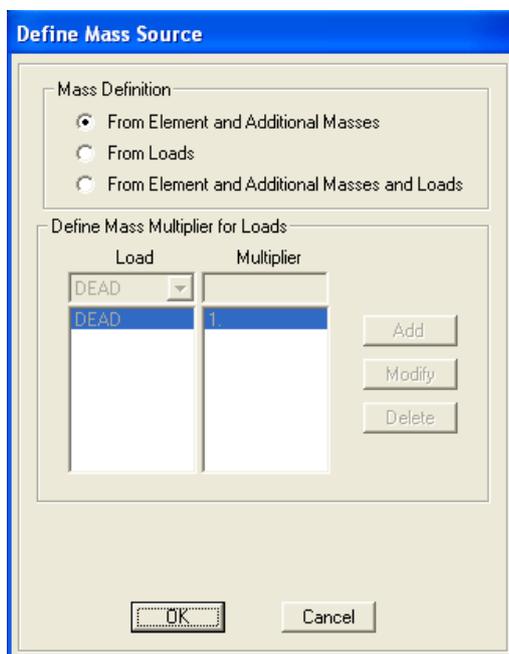


Figura 5.20. Definición de las masas de la estructura

Con esto se logra que el peso de la estructura sea definido solo por la carga muerta o peso propio del modelo estructura.

5.4.6 COMBINACIONES DE CARGA

Antes de revisar el proceso que se sigue en SAP 2000 para la creación de las combinaciones de carga, se debe tomar en cuenta que existen dos criterios de Diseño Estructural; el primero que es el denominado de “Ultima Resistencia” el cual mayor las cargas que se ingresan en el modelo para lograr esfuerzos mayores a los reales y diseñar los elementos de manera segura; y el segundo es el denominado “Diseño por Esfuerzos Admisibles” el mismo que analiza a la estructura con las cargas reales, que dan como resultado esfuerzos reales en compresión, tracción y flexión, pero que se deben comparar con los obtenidos en ensayos físicos y mecánicos como los realizados en este trabajo.

Después de haber comprendido estos conceptos, debemos recordar que para el caso de Estructuras de Madera el diseño óptimo es el que compara los Esfuerzos Reales con los Admisibles.

A continuación se muestra el proceso a seguirse en SAP 2000 para las Combinaciones de carga:

- ◆ En el menú principal se toma la opción “Define”, “Combinations”, “Add New Combo”, en donde se deben colocar los casos de carga con coeficiente 1 para obtener los esfuerzos reales en el modelo estructural.

Para el caso de estructuras de madera se deben tomar las siguientes combinaciones de carga:

- ◆ D+L
- ◆ D+L+E
- ◆ D+L-E
- ◆ D+L+W...Wx
- ◆ D+L+W....W-x

Donde:

D: Carga Muerta

L: Carga Viva

E: Carga Sísmica

W: Carga debida al viento

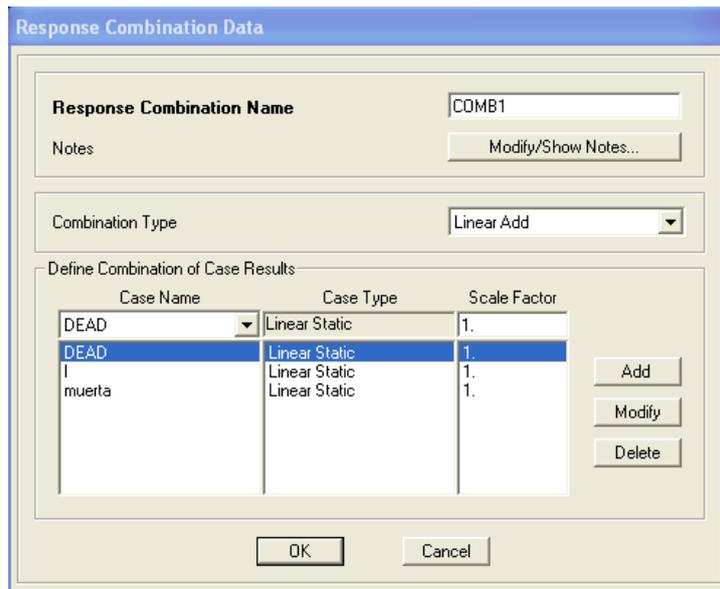


Figura 5.21. Combinaciones de Carga

5.5 DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN

Los elementos sometidos a compresión son generalmente las columnas, la misma que está generalmente en posición vertical dentro de la estructura y recibe cargas de tipo axial.

Para el diseño de estos elementos se tomará como base el método propuesto por el MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO.

5.5.1 BASES DE CÁLCULO

5.5.1.1 Cargas a considerarse

Estas cargas son las que ya se analizaron en los tipos de carga a las cuales la estructura estará sujeta

5.5.1.2 Determinación de la longitud efectiva

Para el diseño de elementos sometidos a compresión o flexocompresión, es primordial el análisis de la longitud efectiva, la misma que está condicionada por las articulaciones que se generan en los extremos, y que por definición es: “La longitud teórica que una columna equivalente con articulaciones en sus

extremos". Y es usada para la determinación de la carga máxima que la columna puede soportar por pandeo. Esta se obtiene al multiplicar la **longitud de la columna L** por un factor de **longitud efectiva k**, que considera el grado de empotramiento de la columna.

$$l_{ef} = k * L$$

Donde:

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva

L = Longitud de la columna

5.5.1.3 Esbeltez

Las expresiones de diseño para columnas se presentan en función de la relación:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{d}$$

La misma que se usa como relación de esbeltez, en donde:

d = dimensión de la sección transversal en la dirección considerada

l_{ef} = longitud efectiva

En el caso de columnas rectangulares las esbelteces son las que se ilustran a continuación:

CONDICION DE APOYO		K	Lef
1.-	Articulado en ambos extremos	1.0	L
2.-	Empotrado en un extremo (prevención del desplazamiento y rotación) y el otro impedido de rotar pero libre de desplazarse	1.2	1.2 * L
3.-	Empotrado en un extremo y el otro parcialmente Impedido de rotar pero libre de desplazarse	1.5	1.5 * L
4.-	Empotrado en un extremo y libre en el otro	2.0	2 * L
5.-	Articulado en un extremo y el otro impedido de rotar, pero libre de desplazarse	2.0	2 * L
6.-	Articulado en un extremo y libre en el otro		

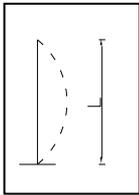
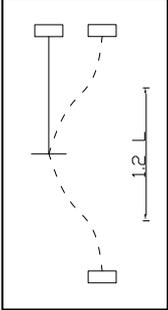
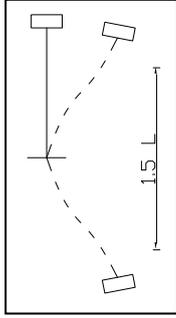
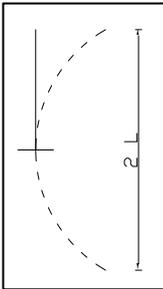
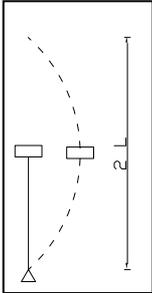
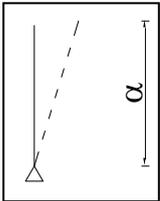
1.-		2.-		3.-	
4.-		5.-		6.-	

Figura 5.22. Esbelteces de una columna de sección rectangular

5.5.1.4 Clasificación de columnas y cargas admisibles

Las columnas se clasifican en función de su esbeltez

5.5.1.4.1 Columnas Cortas

Las columnas cortas ($\lambda < 10$) fallan por compresión o aplastamiento, y su carga admisible se calcula de la siguiente manera:

$$N_{adm} = f_c * A$$

Donde:

A: Área de la sección transversal

f_c : Esfuerzo máximo admisible de compresión paralelo a las fibras

N_{adm} : Carga axial máxima admisible

5.5.1.4.2 Columnas intermedias

Las columnas intermedias ($10 < \lambda < C_k$) fallan por una combinación de aplastamiento e inestabilidad lateral (pandeo). Su carga admisible puede estimarse como:

$$N_{adm} = f_c * A * \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right)$$

Donde:

λ : Relación de esbeltez (considerar solo la mayor)

$$C_k = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad (\text{para secciones rectangulares})$$

E : Módulo de elasticidad

5.5.1.4.3 Columnas Largas

Las cargas admisibles de columnas largas ($C_k < \lambda < 50$) se determina por consideraciones de estabilidad. Considerando una adecuada seguridad al pandeo, la carga crítica N_{cr} según la teoría de Euler se reduce a:

$$N_{adm} = 0.329 \frac{E A}{(\lambda)^2}$$

5.6 DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEJO-COMPRESIÓN

Estos 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 a flexión

k_m : Factor de magnificación de momentos debido a la carga axial

IMI: Momento flector máximo del elemento en valor absoluto

N_{adm} : Carga axial admisible

Z: Módulo de la sección transversal con respecto al eje en el cual se produce la flexión

Cuando existe flexión y compresión combinadas, los momentos flectores se amplifican por efecto o acción de las cargas axiales. Este efecto puede incluirse multiplicando el momento flector máximo por:

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5 \frac{N}{N_{cr}}}$$

Donde:

N: Carga axial aplicada

N_{cr} : Carga crítica de Euler para pandeo en la dirección que se aplican los momentos de flexión

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(l_{ef})^2}$$

5.7 DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN

Estos elementos son generalmente horizontales o inclinados, entre estos tenemos a las vigas y viguetas. Soportan cargas, en especial, con dirección de la gravedad, por ejemplo, por peso propio y cargas adicionales. Para el diseño

de estos se tomará en cuenta el método desarrollado en el MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO.

5.7.1 BASES DE CÁLCULO

5.7.1.1 Grupo de madera a utilizarse

Para este diseño se utilizará el eucalipto con las propiedades físico mecánicas obtenidas en los ensayos antes detallados

5.7.1.2 Cargas a considerarse en el diseño

Las mismas que se analizaron en TIPOS DE CARGA

5.7.1.3 Deflexiones Admisibles

Las deflexiones admisibles dependen básicamente del uso al que se destine la edificación, y se deben calcular para los siguientes casos:

- Combinaciones más desfavorables de cargas permanentes
- Sobrecargas de servicio actuando solas

Tabla 5.3. Deflexiones admisibles (L/k)

Carga Actuante	(a)Con cielo raso de yeso	(b)Sin cielo raso de yeso
Carga permanente + sobrecarga	L/300	L/250
Sobrecarga	L/350	L/350

$$\Delta_{MAX} < \frac{L}{k}$$

La tabla antes descrita toma en cuenta además de las deformaciones instantáneas, a las deformaciones diferidas por causadas por **creep**, las mismas que se dan debido a la aplicación de cargas permanentes o por mucho tiempo.

El modelo analizado para calcular las deflexiones máximas es el de una viga apoyada en sus extremos sometida a una carga uniformemente distribuida y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Delta_{MAX} = \frac{5wl^4}{384EI}$$

5.7.1.4 Efectos Máximos

Para obtener los efectos máximos, como momento flector M y fuerza cortante máxima V se utilizarán los datos arrojados en la corrida de la estructura en el programa SAP 2000 v11.04

5.7.1.5 Esfuerzos Admisibles y Módulo de Elasticidad

Según el método analizado, se proponen diferentes esfuerzos y módulos de elasticidad a usarse para viguetas y vigas. En el caso de viguetas se debe usar el esfuerzo admisible obtenido en los ensayos y tablas de diseño aumentado un 10% por el aporte que brinda de mínimo 4 viguetas adyacentes y la posibilidad de redistribución de cargas, además del Módulo de Elasticidad promedio. Mientras que en vigas se toma el valor de esfuerzo admisible obtenido en ensayos o en tablas, además en Módulo de Elasticidad mínimo.

5.7.1.6 Momento de Inercia Necesario

Para obtener el momento de inercia necesario se debe utilizar la expresión de deformación admisible antes analizada, de la cual se despeja este valor. El objeto de esto, es evitar que los elementos a ser diseñados no sufran una deformación excesiva.

El momento de inercia necesario se calcula con la siguiente fórmula:

$$I_{elemento} \geq I_{necesario} = \frac{5wl^3k}{384E}$$

Donde:

I: Momento de Inercia del elemento

w: Carga distribuida aplicada al elemento

k: deflexión admisible

E: Módulo de Elasticidad (vigas= E_{min} ; viguetas= $E_{promedio}$)

Según el método de diseño analizado, este proceso se debe seguir en dos ocasiones, la primera al utilizar el valor de $k=200$, 250 o 300, para el caso de deflexiones por creep, y la segunda al utilizar $k=350$ o 480, para el caso de deflexiones por vibraciones.

5.7.1.7 Módulo de Sección Necesario

Es un coeficiente que es obtenido a base de las propiedades geométricas de la sección, ya que es la relación entre la inercia del elemento (I) y la distancia del centro de gravedad a la fibra más comprimida (c).

Para la obtención del módulo de sección (S o Z), se debe partir de la ecuación del esfuerzo flector de una viga que es la siguiente:

$$f_m = \frac{M c}{I} \quad ; \quad Z = \frac{I}{c}$$

$$f_m = \frac{M}{Z}$$

De la cual se puede despejar el módulo de sección necesario:

$$Z_{elemento} \geq Z_{necesario} = \frac{M}{f_m}$$

Donde:

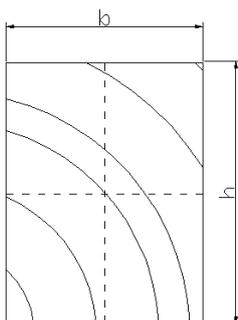
Z: Módulo de sección

M: Momento flector máximo

f_m : Esfuerzo admisible a flexión obtenido en los ensayos o tablas de diseño

5.7.1.8 Cálculo del Momento de Inercia y Módulo de Sección del elemento

Generalmente, las secciones a diseñarse en madera son de geometría rectangular, es por esto que a continuación se presentan las fórmulas para el cálculo de I y Z:



$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$Z = \frac{I}{c} = \frac{\frac{bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{bh^2}{6}$$

5.7.1.9 Verificación a cortante

El último chequeo a ser analizado es por cortante, donde se verifica si la sección asumida es la adecuada para soportar el cortante y no falle por este, ya que la falla por cortante es una falla frágil, y trae como consecuencia el colapso inmediato del elemento y por consiguiente de la estructura.

Los esfuerzos cortantes que se presenten en el elemento no deben superar a los admisibles que se obtienen en los ensayos de corte o cizallamiento, o los que se presentan en las tablas de cálculo según el grupo de madera.

En el caso de viguetas este valor de esfuerzo admisible se puede incrementar en un 10% por la acción de conjunto garantizada.

El esfuerzo de corte de una sección transversal rectangular de un elemento sometido a flexión y a una cierta distancia del plano neutro puede obtenerse mediante:

$$|\tau| = \frac{3|V|}{2bI} < f_v$$

Donde:

V: Fuerza cortante de la sección

b: Ancho de la sección

I: Momento de inercia

5.7.1.10 Estabilidad

Las vigas y viguetas deben arriostrarse adecuadamente para evitar el pandeo lateral de las fibras en compresión. En elementos de sección rectangular se debe analizar la relación h/b y comparar con la tabla que se describe a continuación:

Tabla 5.4. Requisitos de arriostramiento para elementos de sección rectangular

h/b	Requisitos
2	No necesita apoyo lateral
3	Restricción del desplazamiento lateral en apoyos (traslación y rotación)
4	Restricción del desplazamiento lateral en apoyos; elemento mantenido en posición por correas o viguetas
5	Restricción del desplazamiento lateral en apoyos; borde en compresión conectado directamente con entablado o viguetas
6	Adicionalmente a los requisitos h/b = 5 colocar arriostramiento cruzado entre elementos a distancias menores que ocho veces su ancho

Fuente: MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO

5.8 DISEÑO DE PERNOS DE UNIÓN

Para este caso se tomarán los datos obtenidos en el SAP de fuerzas axiales en los nudos, para finalmente calcular el diámetro de los pernos que soportarán fuerzas cortantes. Se usarán pernos de Grado 2 $F_y=4500 \text{ Kg/cm}^2$.

5.9 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA EN HORMIGÓN ARMADO

5.9.1 ANTECEDENTES

Uno de los objetivos del presente trabajo es realizar un análisis técnico-económico comparativo entre las dos tecnologías analizadas, las mismas que son: Estructura en madera y la Estructura en Hormigón Armado Convencional, es por esto que el presente sub-capítulo detalla cada uno de los aspectos básicos analizados en el análisis de estructural en hormigón armado.

En la estructura de hormigón armado, se utilizó una losa de cubierta nervada bidireccional, la misma que se analizará en las tablas de cálculo que se anexan al presente. Además la colaboración de vigas embebidas en la losa o también llamadas vigas banda, y columnas cuadradas analizadas con el método Uniaxial.

5.9.2 MÉTODO DE DISEÑO

En general, las estructuras de hormigón armado, se analizan por medio del Diseño por Última Resistencia, a diferencia de la madera, que como se mencionó con anterioridad, analiza a la estructura mediante el Diseño por Esfuerzos Admisibles.

En Hormigón Armado, después de obtener las cargas por carga viva y muerta, además de cargas horizontales como sismo y viento; estas deben ser mayoradas por coeficientes que se obtienen en los Manuales Normativos para Estructuras, en el caso del Ecuador, el análisis debe realizarse en base al CEC-2000. Para finalmente obtener los esfuerzos resultantes en cada uno de los elementos analizados: losa, nervios, vigas, columnas y cimentación. Que en este trabajo serán obtenidos mediante el programa SAP 2000, con el

procedimiento detallado en este capítulo. Y diseñar cada uno de los elementos con los criterios de ductilidad y seguridad.

5.9.3 TIPOS DE CARGA

Para este caso, se deben analizar básicamente cuatro tipos de cargas, las cuales se detallan a continuación:

- Carga Muerta (D)
- Carga Viva o Sobrecarga (L)
- Carga sísmica (E)
- Carga de viento (W)

Las mismas que ya fueron descritas con anterioridad; a continuación se detallan las cargas que varían con respecto a lo antes analizadas

5.9.3.1 Carga Viva

En el caso de carga viva, se tomó la que muestra el CEC-2000; para la cubierta una carga de 100 Kg./m², además de una carga de 150 Kg./cm² en el soberado.

5.9.3.2 Carga Sísmica

Se utiliza el mismo criterio de cortante basal, pero los valores cambian para estructuras o edificaciones aporricadas con vigas banda, estos coeficientes se muestran a continuación:

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{ZIC}{R \phi_p \phi_e} W$$

Donde:

Z: Factor de zona (Z=0.4)

I: Factor de importancia de la estructura (I=1)

C: Coeficiente que depende del tipo de suelo

$$C = \frac{1.25 S^S}{T}$$

S = 1.2 (Suelo intermedio)

T= Periodo fundamental de Vibración

$$T = C_t x (H_n)^{3/4}$$

C_t= 0.08 (Otras estructuras según CEC 2000)

H_n= 5.80 m

$$T = 0.08x(5.80)^{3/4} = 0.299$$

$$C = \frac{1.25 1.2^{1.2}}{0.299} = 6.02; \text{ en este caso se toma el } C_m = 3.00$$

R = 8 (Estructuras aporricadas con vigas banda)

φ_p= 1, φ_e= 0.9

$$V = \frac{0.4 * 1 * 3}{8 * 1 * 0.9} * W = 0.167xW$$

5.9.4 CÁLCULO ESTRUCTURAL REALIZADO EN EL PROGRAMA

SAP 2000

5.9.4.1 Antecedentes

Para realizar el cálculo estructural en SAP 2000, se realiza el mismo procedimiento analizado anteriormente, el mismo que varía en pocos detalles, como las propiedades del material, las secciones utilizadas, especialmente dependiendo del tipo de losa a usarse, además de las combinaciones de carga porque el cálculo es diferente.

5.9.4.2 Definición del Material

En este caso se usó un hormigón de 210 Kg./cm², que equivale a 3000 psi, reforzado con varillas de acero de $F_y = 4200 \text{ Kg./cm}^2$, lo que se traduce en el SAP en lo siguiente:

Section	Property	Value
General Data	Material Name and Display Color	3000PSI
	Material Type	Concrete
	Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	Weight per Unit Volume	2.4028
	Mass per Unit Volume	0.245
Units	Units	Ton, m, C
Isotropic Property Data	Modulus of Elasticity, E	2173710
	Poisson's Ratio, U	0.2
	Coefficient of Thermal Expansion, A	9.900E-06
	Shear Modulus, G	905712.5
Other Properties for Concrete Materials	Specified Concrete Compressive Strength, f'c	2100
	Lightweight Concrete	<input type="checkbox"/>
	Shear Strength Reduction Factor	
Switch To Advanced Property Display		<input type="checkbox"/>

Figura 5.23. Definición del material (Hormigón $f_c=210 \text{ Kg./cm}^2$)

5.9.4.3 Secciones analizadas

Para ingresar las secciones se usa el mismo procedimiento, pero ahora se debemos ingresar en SAP si son vigas o columnas, ya que al diferenciar esto, podemos ingresar además de las varillas, el coeficiente que restringe al elemento por inercia agrietada, propiedad innata del hormigón, como se muestra en la figura 5.23 y 5.24

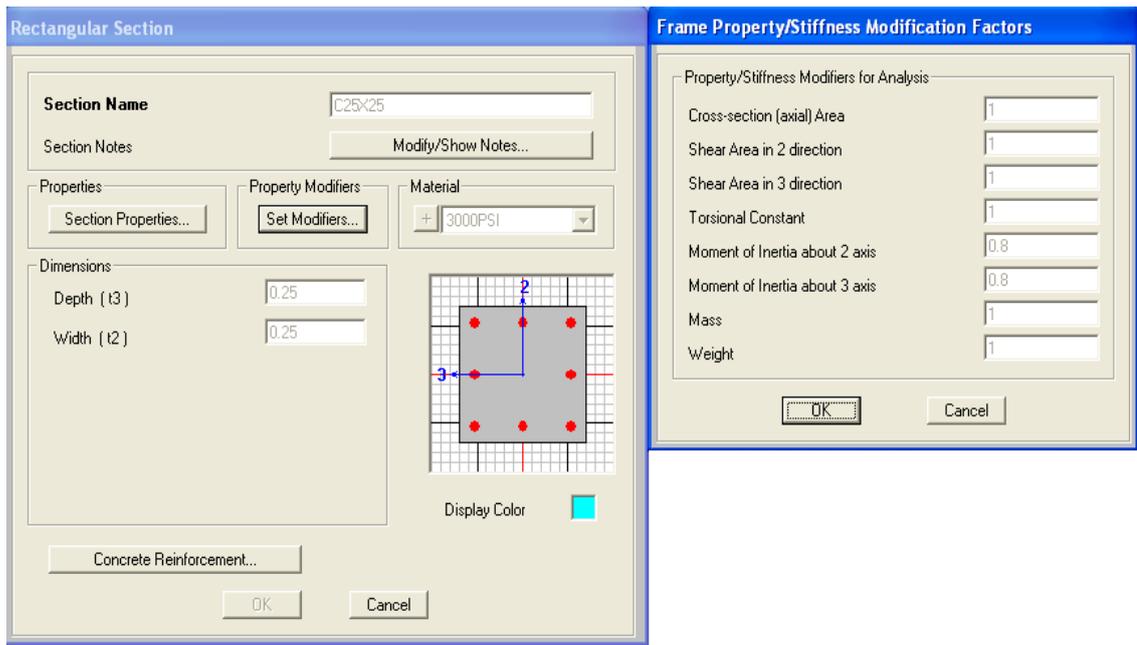


Figura 5.24. Definición de la sección de la columna

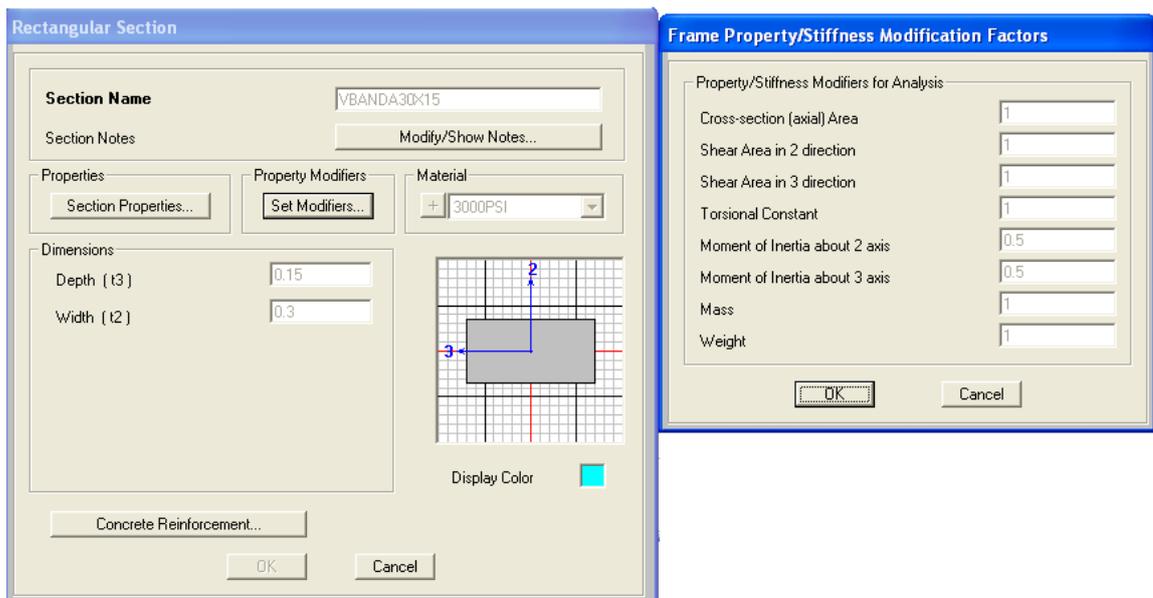


Figura 5.25. Definición de la sección de la viga banda

5.9.4.4 Combinaciones de Carga

Como ya se comentó, las combinaciones de carga son las que se muestran en el CEC-2000, y son las siguientes:

- ◆ $U1 = 1.4D + 1.7L$
- ◆ $U2 = 0.75(1.4D + 1.7L + 1.86E)$

- ◆ $U3 = 0.9 D + 1.43 E$
- ◆ $U4 = 0.75(1.4D+1.7L+1.7W)$

Donde:

D: Carga Muerta

L: Carga Viva

E: Carga sísmica en los sentidos X y Y.

W: Carga debida al viento en los sentidos X y Y

5.9.5 DISEÑO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO

5.9.5.1 Diseño de elementos sometidos a flexión

5.9.5.1.1 Criterios de Diseño

Estos elementos están sometidos a cargas combinadas de tracción y compresión, es por esto que se debe calcular la sección de hormigón que resiste la compresión y la sección de acero de refuerzo que resiste a tracción.

- ◆ Estos elementos se diseñan en base a una sección asumida y materiales con los que se trabajará en la estructura.
- ◆ Además se debe tomar en cuenta los requerimientos mínimos y máximos que se detallan en el CEC-2000, como dimensiones mínimas, en el caso de la base, la mínima en de 25 cm, y la altura que depende de la luz a salvar y si tiene o no continuidad en los lados de esta.
- ◆ Para el caso del acero de refuerzo el código de la construcción indica que mínimo se debe tomar un $A_s = 14/F_y * b * d$, y como máximo un 0.5 del acero balanceado en zonas sísmicas y 0.75 del acero balanceado en zonas no sísmicas que se calcula en las tablas anexas.

- ◆ En este caso se usarán vigas banda o embebidas en la losa, las mismas que según el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000, reciben el 60% de los momentos resultantes que se obtienen en el cálculo estructural. Por esto la armadura de las vigas pertenece al 60% del acero necesario entre viga y viga, incluyendo el de las losas.

En este caso además de las vigas tenemos los nervios de la losa:

- ◆ Su dimensionamiento depende de la sección tipo de la losa, generalmente existen nervios de base 10 cm. y su altura varía desde 10 cm. hasta 20 cm.
- ◆ Y los criterios analizados son los mismos

Un tema fundamental es la resistencia de la viga a corte, el mismo que se controlará colocando estribos transversales, sea o no necesarios. Generalmente el hormigón resiste estas cargas, para este caso se colocan estribos mínimos requeridos por el código. O sino se deben calcular estos mediante la siguiente fórmula:

$$V_u = \phi V_c + \phi V_s$$

Donde:

V_u : Cortante actuante

V_c : Cortante que resiste el hormigón según el código

V_s : Cortante que resistirán los estribos

ϕ : Coeficiente de restricción por cortante (0.85)

5.9.5.2 Diseño de elementos sometidos a flexo compresión

5.9.5.2.1 Criterios de Diseño

Estos elementos además de recibir carga vertical debida a carga muerta y viva, deben resistir las cargas horizontales debidas al sismo o al viento. Es por esto que existe una combinación de solicitaciones. Como en las vigas existen requerimientos de código. Para columnas se usará la Flexocompresión uniaxial, método que es propuesto por varios autores, los mismos que muestran Diagramas de Interacción generales para diferentes tipos de columnas.

Estos diagramas dependen de los momentos y cargas externas que actúan sobre las columnas, pero para llegar a estas solicitaciones externas tenemos antes que analizar la esbeltez de la columna, que depende del tipo de apoyo, además de las restricciones que se ofrecen en la parte superior de la misma, para finalmente obtener un momento mayor si la columna es esbelta, esto se denomina Magnificación de Momento.

Después de obtenidos estos datos, se procede al diseño y a criterios de restricción de código que son los siguientes:

- ◆ En columnas rectangulares la sección mínima en zonas sísmicas es de 900 cm² y en zonas no sísmicas es de 600 cm², para el presente caso se usó una sección de 625 cm².
- ◆ Armadura longitudinal y transversal deberán tener varillas de ϕ min de 10 mm. que es considerado como estructural
- ◆ En armadura longitudinal, el armado mínimo en porcentaje es del 1% y el máximo es del 6%, pero los valores recomendados van del 1% al 3% como máximo.

- ◆ En armadura transversal se realizar el cálculo por confinamiento que generalmente es el más crítico y la ubicación de estos es de un espaciamiento S cerca de los nudos y de $2S$ cerca al centro de la columna.

5.10 DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN EN HORMIGÓN ARMADO

5.10.1 ANTECEDENTES

En la estructura de Eucalipto y la de hormigón armado, se utilizarán cimentación aislada, o también denominados plintos aislados, los mismos que deberán repartir las solicitaciones externas hacia el suelo.

Ya que el suelo es un elemento muy importante en el diseño de la cimentación, porque condiciona el dimensionamiento de la misma, se buscó información sobre el Esfuerzo Admisible del suelo en el IASA I. Lo que determinó una valor de $\sigma_{adm} = 11 \text{ T/m}^2$.

5.10.2 CRITERIOS DE DISEÑO

Para el diseño se tomó en cuenta un modelo de cimentación que resiste carga vertical debida a las cargas vivas y muertas, además de momento flector debido a la presencia de cargas horizontales como sismo y viento. El plinto aislado será de un hormigón de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, que es el más común en construcciones de poca altura y para el acero de refuerzo un $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

Existen algunos limitantes de código y otros debidos al modelo matemático utilizado y se detallan a continuación:

- ◆ Sobre el modelo matemático, específicamente en la estructura de Eucalipto, como indican los manuales, se usó en las bases, apoyos articulados, o también llamados apoyos simples, ya que en ninguna

estructura se puede simular un apoyo 100% empotrado y mucho menos para maderas, por el proceso constructivo. Es por esto que no existe un momento flector en la base, por lo cual se procedió a diseñar el plinto con el momento flector mínimo mostrado en el CEC-2000, el mismo que propone una excentricidad mínima y es:

$$e_{MIN} = 1.5cm + 0.03h_{col}$$

Donde:

e_{min} : excentricidad mínima (cm)

h_{col} : altura de la columna en el sentido analizado

- ◆ Para el predimensionamiento de los plintos se usó el criterio que se presenta en las tablas de cálculo anexas, el mismo que se basa en una fórmula empírica para encontrar un área probable para la fundación y es:

$$A^f = \frac{1.2 * P}{q_{adm}}$$

Donde:

A^f : Sección probable de la fundación o cimentación

P: Carga vertical externa debida a cargas muerta y viva

q_{adm} : Esfuerzo admisible del suelo

- ◆ Se debe comprobar si las secciones son las correctas analizando las situaciones de carga vertical, y carga vertical más sismo, para el caso de solicitaciones verticales se analiza la carga y momento flector debida a cargas muerta y viva; para el caso en donde se toma en cuenta el sismo como solicitación, debemos obtener la carga resultante de los tres estados de carga. Con lo que se debe

comprobar que los esfuerzos producidos sean menores al esfuerzo admisible del suelo, y para sismo el 1.2 del esfuerzo admisible del suelo.

- ◆ Después de esto y si las dimensiones son las correctas se procede a obtener las cargas últimas mayoradas con las siguientes combinaciones de carga:

- $U1 = 1.4D+1.7L$
- $U2 = 0.75(1.4D+1.7L+1.86E)$
- $U3 = 0.9 D + 1.43 E$

Donde:

D: Carga Muerta

L: Carga Viva

E: Carga sísmica en los sentidos X y Y.

- ◆ Con esto se procede al cálculo de la altura correcta de la cimentación tomando como base la siguiente premisa:

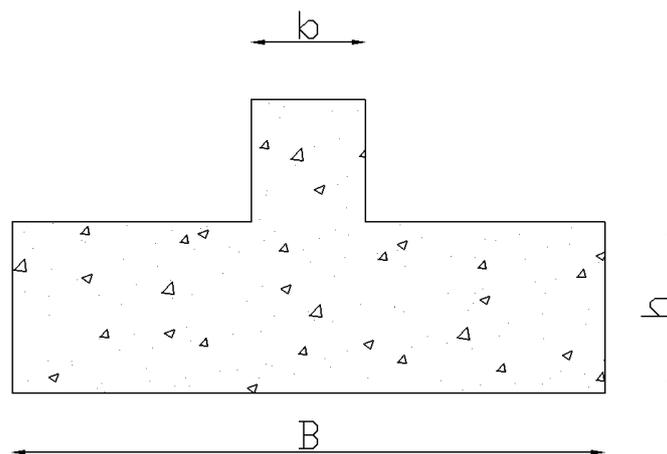


Figura 5.26. Modelo de cimentación

$$h = \frac{B-b}{4} + 0.05$$

Donde:

B: Base del plinto

b: Base de la columna

Si la altura del plinto es menor al valor de h , se convierte en una cimentación flexible, mientras que en el caso contrario se convierte en una cimentación rígida que es lo más conveniente.

- ◆ Se deben realizar las comprobaciones necesarias de corte, como corte unidireccional que se vuelve crítico a una distancia d de la columna y el corte bidireccional, o también denominado “punzonamiento”, el que se hace crítico a una distancia $d/2$ de la cara de la columna, el mismo que forma un perímetro alrededor de la columna en planta.
- ◆ Al haber determinado las dimensiones necesarias, se debe calcular el acero de refuerzo que se colocará en forma de parrilla en la base de la cimentación, tomando en cuenta el recubrimiento mínimo recomendado por el CEC-2000, que para cimentaciones o estructuras en general que estarán en contacto directo con el suelo, propone un valor mínimo de 7.5 cm. Y el modelo a analizar es un volado desde la cara de la columna hasta el borde de la cimentación, en el cual actúa el esfuerzo resultante del suelo, además del peso del relleno compactado. Y la armadura se calcula como un elemento sometido a flexión, es decir, como una viga de hormigón armado.
- ◆ En el caso de la estructura de hormigón armado, para reducir el momento flector que se carga sobre el plinto, se debe utilizar la teoría de reducción de momentos, al hacer trabajar a la cadena de amarre, esto se podrá observar en los cálculos anexos, pero el principio

básico es la repartición de un porcentaje del momento debido a la inercia de cada uno de los elementos, entre los que tenemos la columna propiamente dicha, la cadena de amarre, el número depende de la posición de la columna, y la columneta que se encuentra sobre el plinto. Al obtener este valor en la cabeza de columneta se debe calcular el momento flector que se transmite a la base de la columneta mediante la siguiente fórmula:

$$M = M_e + k * \theta + a * \theta'$$

Donde:

M: Momento total

Me: Momento de empotramiento

K: Rigidez del elemento en la posición analizada (4EI/L)

θ : Giro en ese punto

a: Rigidez de transmisión (K/2)

θ' : Giro en el otro extremo

5.11 DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES TANTO EN EUCALIPTO COMO EN HORMIGÓN ARMADO

Ver anexo A

5.12 PLANOS

Ver anexo C

5.13 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS DOS ALTERNATIVAS

Ver anexo B

CAPITULO VI. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1. ANTECEDENTES

Para el presente capítulo se tomará en cuenta dos aspectos básicos que engloban a los Eucaliptos con el medio y viceversa, para el primer punto se adoptará la premisa “El Eucalipto como especie adherida a un ecosistema”, y la segunda premisa es “La deforestación del Eucalipto en el Ecuador debido a la Construcción y a sus usos en general, además de los parámetros necesarios para nuevas plantaciones”.

En el presente capítulo no se toma en cuenta el impacto ambiental que podría causar la implantación de la estructura diseñada en el capítulo anterior, ya que es mínimo; el sitio en donde será construida la estructura es un lugar abierto, dentro del IASA I, además la estructura es de madera y ya existe una similar, por lo que no cambia en gran medida el ambiente original del lugar.

6.2. IMPACTO AMBIENTAL EN EL ECOSISTEMA DEBIDO A LA PRESENCIA DEL EUCALIPTO

6.2.1. INTRODUCCIÓN

Como conocemos, y se nombró anteriormente, el Eucalipto es una especie introducida en el Ecuador, que es autóctona de Australia, la misma que según diversos estudios, es una especie agresiva al medio, ya que necesita gran cantidad de luz además de una gran cantidad de agua en su crecimiento.

Es por esto, que a continuación, se detallan las bases para abolir lo antes mencionado, y dejar de pensar que el Eucalipto es una especie que no se debe introducir al medio.

En muchos países el establecimiento de plantaciones con especies exóticas ha llegado a ser menos aceptado ecológica, social y políticamente, especialmente con respecto al impacto ambiental que éstas causan y en cuanto a la conservación de la biodiversidad. Por estas razones surge la preocupación por la estabilidad ecológica de las plantaciones. Aunque una de las motivaciones para la forestación es el mejoramiento del medio ambiente a través de la conservación del suelo y la regulación de la hidrología, existen varias publicaciones que afirman un impacto negativo de plantaciones con especies exóticas sobre estos aspectos ambientales. Sin embargo, a nivel de los países Andinos, se han hecho muy pocos estudios. Por esto vale la pena revisar la literatura existente, muchas veces de otras áreas, y tratar de extrapolar los resultados a la realidad Andina.

6.2.2. FERTILIDAD EN LOS SUELOS

Los Eucaliptos son especies que están acusados de acidificar y empobrecer los suelos. Pero esto no se puede generalizar, ya que estos, cuando no están sujetos al aprovechamiento económico de sus maderas por cortas, se vienen demostrando como mejoradores de suelo, como mínimo. Para muestra de esto, se ha observado que en muchos lugares donde el suelo es prácticamente pobre, los eucaliptos viejos ayudan al mejoramiento de este por aumentar el contenido de sus nutrientes.

Otro punto visible de esto, según estudios realizados en Australia, es que en los bosques vírgenes de eucalipto existe la presencia de uno de los mejores suelos existentes posibles.

En el caso de que los eucaliptos empobrecieran desmesuradamente el suelo, no podrían sobrevivir en este, y no encontraríamos bosques de árboles imponentes en su porte y aspecto en general.

Pero, en el caso de eucaliptares excesivamente explotados por el hombre, y especialmente si se extraen frecuentemente de los mismos, grandes cantidades de materia seca, y además cuando parte de la misma se explota en forma de corteza, resultan empobrecedores de suelo, ya que el 75% de los nutrientes del eucalipto se obtienen en la corteza y ramas, y el restante 25% proviene de la madera propiamente dicha.

Teniendo como antecedentes lo antes expuesto, es obvio que el suelo debe tratar de recompensar a la planta, dándole parte de sus nutrientes perdidos, de ahí lo del nombre de empobrecedores.

En suelos muy fértiles, esto no se refleja en mayor porcentaje, ya que al dar nutrientes a los eucaliptos, se reduce en pequeñas proporciones al suelo.

El problema del eucalipto es que la intensidad de su producción exige suelos de alta calidad en relación a los que están normalmente disponibles para las plantaciones forestales.

Como conclusión se puede decir que el empobrecimiento que el eucalipto haya podido causar en determinados suelos forestales poco fértiles, no es una cuestión de la especie, sino de su elevada capacidad de producción y de su excesivamente intensa forma de explotación.

6.2.3. PROTECCIÓN DE LOS SUELOS

Como hemos observado en laderas y quebradas en la ciudad de Quito, existe una gran cantidad de plantaciones de eucalipto, y esto se debe a que la especie protege al suelo ante una posible erosión debida al viento o también denominada “Erosión Eólica”. Además de ser un contravientos en la agricultura.

Su rapidez de crecimiento, la fortaleza de su madera y de su sistema radical, gran dimensión y permeabilidad al viento de sus copas, lo hacen muy útil en estas aplicaciones.

También al tener un poderoso sistema radical, consigue frecuentemente perforar las capas más impermeables del suelo y dar salida hacia el fondo al agua estacionalmente sobrante.

6.2.4. AGUA E HIDROLOGÍA

El Eucalipto está acusado de desecar las fuentes y de agredir a las conducciones de aguas, lo que en general es cierto. En todo caso, su efecto no es tan alarmante como suele afirmarse.

El Eucalipto presenta dos cualidades muy importantes, frente a las demás especies forestales:

- ◆ A causa de sus hojas colgantes suele presentar una reducida intercepción de la lluvia, lo que incrementa los aportes al suelo.
- ◆ Sus hojas están especialmente bien adaptadas para recoger humedad de las neblinas para transformarla en lluvia, lo que le permite ser útil en zonas con este clima.

El mayor problema en los eucaliptos, es que en su crecimiento desmesurado utiliza grandes cantidades de agua si tiene acceso a la misma. Una estimación muy acertada del consumo del eucalipto es entre 150-750

milímetros de precipitación al año, cifra realmente elevada. Con esto se puede decir que el eucalipto es muy eficaz en transformar el agua en madera. El Eucalipto Glóbulos es una especie un poco menos agresiva que otras, además ocupa zonas más lluviosas, en las que el problema es menos.

En general, los bosques consumen demasiada agua, por lo que las cuencas fuertemente forestadas producen siempre menos agua de escorrentía, recargándose en ellas menos los acuíferos. Lo que si hacen los árboles es proteger el suelo de la erosión y los embalses del consiguiente aterramiento y producir el agua de una forma más constante, con mayor pureza y calidad, y sin grandes avenidas e inundaciones.

6.2.5. VEGETACIÓN, FAUNA Y FLORA

En este aspecto el Eucalipto es una especie muy agresiva, porque siempre intenta combatir la concurrencia de las plantas de su bosque, además de monopolizar al tiempo todas las capacidades naturales productivas de la estación.

Esto lo hace al generar en sus desechos orgánicos productos químicos, lo que pretende eliminar a las especies que lo amenazan.

La fauna es otro factor que se reduce con la presencia de eucaliptos, a consecuencia de la menor diversificación de flora y vegetación.

6.2.6. ASPECTOS SOCIALES Y PAISAJÍSTICOS

De los abundantes bienes, productos y servicios que todo arbolado produce, es evidente que el eucaliptar produce muchos más productos que otras especies, pero que no es tan rico en lo que concierne a la producción del resto de los bienes forestales clásicos, beneficios que podríamos denominar ambientales.

Desde el punto de vista del empleo, genera un empleo mayor que los terrenos deforestados o abandonados, por lo que resulta mejorador en este sentido del empleo rural, si se abandona la agricultura y la ganadería. Es muy difícil establecer los niveles de empleo en toda producción como ésta, que es a largo plazo y tiene cuantía variable en función de la calidad de la estación.

Desde el punto de vista recreativo, es evidente el interés del mismo árbol aislado y en pequeños rodales a lo largo de riberas y bordes de carreteras.

Desde el punto de vista del paisaje remoto, es evidente que el eucaliptar es estéticamente inferior a los bosques naturales y que constituye en nuestros días un paisaje inhabitual a muchas personas.

6.3. IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO A CAUSA DE LA TALA DE EUCALIPTARES PARA SUS DIFERENTES USOS.

6.3.1. INTRODUCCIÓN

En este sub-tema se presenta el estudio basado en la segunda premisa antes descrita, que es la tala producida en los eucaliptares por sus usos en la industria de producción de papel, maderera y en la construcción en general. Se analizan las causas de la deforestación, y las consecuencias que se dan en el medio ambiente en general.

6.3.2. DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTACIONES Y BOSQUES EN EL ECUADOR

6.3.2.1. Plantaciones y bosques en General

Para poder darnos cuenta de la gravedad que implica la tala indiscriminada de árboles, debemos saber la realidad en nuestro país, y como se distribuyen los bosques y áreas protegidas.

Tabla 6.1. Cuantificación del recurso forestal

ITEM	SUPERFICIE (Ha.)	% del Patrimonio Forestal	% Superficie País
Áreas Protegidas	4.669.871	40.13	17.25
Bosque Protectores	2.391.029	20.54	8.83
Patrimonio Forestal del Estado	1.900.000	16.32	7.02
Otros Bosque Naturales Privados	2.512.100	21.59	9.28
Subtotal Bosques Naturales	11.473.000		
Plantaciones	165.000	1.42	0.01
TOTAL	11.638.000	100.00	42.39

Fuente: Ministerio de Agricultura del Ecuador

Con la tabla antes descrita, podemos darnos cuenta que el 42.39% de la superficie del país está cubierta con bosques. Y más del 50% de las tierras tienen amplitud forestal.

Además según estudios realizados, se pudo concluir que la superficie forestal del país es de aproximadamente 11.6 millones de hectáreas, del cual el 99% lo constituyen los bosques nativos. Pero entre 1990 a 1995 la superficie forestal del Ecuador se redujo en 945000 hectáreas, es decir, alrededor de 158000 hectáreas deforestadas por año. Este estudio se realizó anteriormente, en la actualidad la situación es más crítica visiblemente, pero no existen los datos necesarios para dar un juicio real, pero siguiendo con la constante por año, diríamos que alrededor de 3800000 hectáreas han sido deforestadas desde 1990 al 2009.

6.3.2.2. Causas por las cuales se produce la deforestación

Como causas fundamentales de la deforestación pueden citarse el cambio del uso del agua para actividades ganaderas y agrícolas, los incendios y

enfermedades forestales o la tala incontrolada de árboles. En la actualidad, la deforestación de los bosques tropicales constituye una auténtica amenaza, Si se analizan las tasas de deforestación de las distintas áreas ecológicamente importantes -bosques tropicales húmedos, bosques tropicales secos, bosques de llanura, bosques de montaña-, se puede concluir que, en los últimos años, este proceso ha resultado mucho más intenso en las zonas secas y semiáridas, especialmente en las montañas, que en las regiones húmedas. Esto es comprensible, dado que las áreas de mayor altitud o más secas resultan más adecuadas para la ganadería que las zonas húmedas de llanura.

Los suelos de las regiones de montaña, en general, más ricos y fácilmente cultivables que los suelos viejos de las llanuras tropicales, prácticamente lavados de todo tipo de nutrientes. Además de las restricciones agronómicas, hay que tener en cuenta la limitación que supone para la colonización la presencia de diferentes enfermedades, como malaria o fiebre amarilla, mucho menos extendidas en zonas de montaña o secas que en áreas húmedas.

Una de las causas principales de la deforestación de los trópicos es el aprovechamiento de la madera, tanto para consumo propio como para la exportación. Además, existen otros factores que explican el fenómeno de la pérdida de masa forestal. Uno de ellos es la presión que sobre los bosques ejerce la población; en este sentido, en muchas regiones el factor determinante es el aprovechamiento energético de la leña por parte de sus habitantes. De esta manera, el aumento exponencial de la población provoca el incremento paralelo de las necesidades de leña. Los bosques van perdiendo densidad, y cuando sus existencias bajan de un determinado nivel, su desarrollo resulta frenado, degradándose rápidamente hasta su práctica destrucción.

Complementando lo antes analizado, se muestra el destino en porcentaje de esta madera talada.

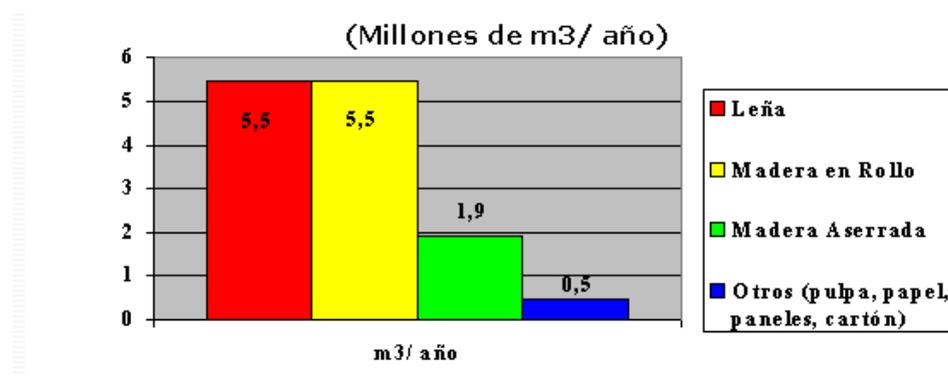


Gráfico 6.1. Destino de la madera

Analizando el cuadro 6.1, podemos decir que de los 13.4 millones de metros cúbicos por año de madera consumida, el 41% corresponde a leña, pero alrededor del 15% de m³/año van destinados a la construcción por madera aserrada.

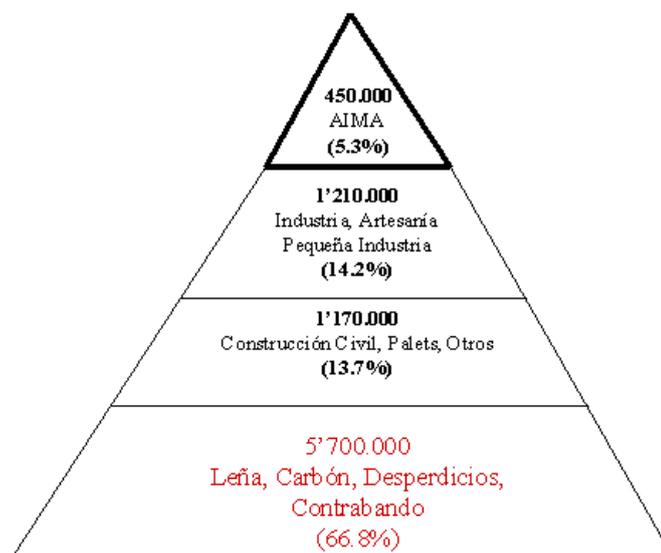


Figura 6.1. Consumo maderero en el Ecuador

6.3.2.3. Plantaciones de Eucalipto en el Ecuador

Hasta 1975, se había plantado un total de 17 716 ha de eucaliptos. Casi la mitad se había establecido por el Servicio forestal nacional; el resto son

plantaciones privadas. La madera se usa para leña, postes cortos y largos, ademes para minas y madera aserrada.

La principal concentración de plantaciones se encuentra entre Quito y Latacunga, pero las plantaciones se extienden a las provincias de Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua. Los suelos son de origen volcánico y son fértiles.

6.3.3. CONSECUENCIAS DE LA DEFORESTACIÓN

Uno de los impactos más notorios se ha manifestado en la pérdida de recursos hídricos. Una de las principales funciones de los bosques es la de producir agua, tanto a través de la regulación hídrica como de la producción de precipitaciones por evapotranspiración.

No es difícil establecer, por ejemplo, una relación directa entre la deforestación en la provincia de Loja y el actual proceso de desertificación por sequía que allí se vive. Tampoco parece ilógico vincular las graves inundaciones en las provincias de la costa con la intensa deforestación que han sufrido en los últimos años. Por otro lado, hasta en la zona de abundantes lluvias del Oriente, los pobladores locales señalan una marcada disminución en las precipitaciones, vinculada a la deforestación de la Amazonía.

La pérdida de biodiversidad es también notoria en todas las regiones del país. Durante nuestra estancia en la zona de Lago Agrio, algunos pobladores locales nos dijeron haber notado una clara disminución en la cantidad de mariposas y aves, debido tanto a los procesos de deforestación como a la caza indiscriminada para mercados del exterior. Dada la cantidad de especies endémicas en todas las regiones, esto puede derivar en la extinción de numerosas especies, lo cual no sólo tiene un aspecto ético (no tenemos

derecho a hacer desaparecer especies), sino que puede dar lugar a enormes desequilibrios biológicos capaces de afectar la salud de los ecosistemas naturales y productivos, así como la salud humana. A esto se suma la pérdida de posibilidades de futuro, dado que muchas de dichas especies pueden tener un valor de uso presente y futuro.

La deforestación también afecta gravemente a los suelos, puesto que la desaparición de la cubierta forestal favorece la erosión, que a su vez contamina y degrada los cursos de agua, afectando a su vez a la flora y fauna que allí habita. La erosión, sumada a la pérdida de recursos hídricos, deriva en procesos de desertificación.

Finalmente, todas estas pérdidas de suelos, agua, flora y fauna empeoran la calidad de vida de la mayoría de la gente, sin que ni siquiera obtengan los beneficios derivados de esta destrucción, que quedan en las manos de unos pocos. Al visitar, por ejemplo, la ciudad de Esmeraldas, queda claro que nada de la riqueza extraída de la región benefició a sus ciudadanos: una ciudad mal cuidada, con escasos edificios atractivos, la mayoría a medio terminar.

Lo mismo se puede decir de la ciudad de Nueva Loja, donde resulta paradójal que, estando en el centro mismo de la extracción petrolera, la mayoría de sus calles ni siquiera estén asfaltadas.

La deforestación no sólo no ha servido para mejorar la calidad de vida de la presente generación, sino que en muchos casos la ha empeorado y además ha hipotecado las posibilidades de las futuras generaciones de ecuatorianos. Constituye por ende un modelo clásico de desarrollo no sostenible.

6.4. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

6.4.1. INTRODUCCIÓN

El plan de manejo ambiental tiene como objetivo evitar que cada una de las actividades presentes en el desarrollo de un proyecto en general no cambie drásticamente el entorno inicial del lugar. En el presente caso, tenemos dos tipos de impactos que no constituyen a un proyecto en especial sino que tiene por objetivo reducir los efectos causados en el sitio por la presencia de los eucaliptares, y en el segundo caso, realizar una forestación adecuada que evite la pérdida de eucaliptares discriminadamente.

6.4.2. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA INTRODUCCIÓN DE PLANTACIONES DE EUCALIPTO COMO ESPECIES EXÓTICAS

El Plan de Manejo Ambiental en este caso, describe la manera de realizar esta plantación y restricciones que se deben tener antes de ubicar el lugar necesario y apto para este tipo de cultivos.

Debemos tener además en cuenta que es positivo cultivar eucalipto por sus ventajas económicas sobre el terreno y en la industria forestal.

Sin embargo, el eucalipto no debe cultivarse:

- ◆ Donde sea posible producir maderas nobles
- ◆ En cuencas hidrológicas con escasez de agua
- ◆ En masas homogéneas y de excesiva extensión superficial, sujetas a explotación intensiva
- ◆ Sobre montes autóctonos suficientemente bien conservados
- ◆ Sobre ecosistemas singulares o reservas de valores singulares.

A continuación se presentan algunas premisas a ser tomadas en cuenta en los cultivos de eucalipto.

- ◆ El diseño de las plantaciones y la intensidad, y forma de cultivo (espaciamientos, turnos, tratamientos, etc.) deben ser adecuados a la potencialidad real de las tierras.
- ◆ Debe recordarse que no constituye bosque, sino mero cultivo, y que, en consecuencia, sus valores ambientales son normalmente inferiores a los del bosque natural.
- ◆ Por su manifiesta superioridad ecológica, debe dársele prioridad frente a los cultivos agrícolas en las tierras marginales, o no tan marginales, pero a abandonar como consecuencia de la política agraria comunitaria.
- ◆ Toda la plantación debe realizarse previo análisis serio de su impacto ambiental y tras el establecimiento de las correspondientes medidas de optimización.

Dentro de este tipo de medidas necesarias al realizar una plantación de eucalipto se encuentran las siguientes:

- ◆ Para evitar que el eucalipto sea agresivo con respecto a otra especie que habita en ese lugar, debemos situar las plantaciones como mínimo a 10 metros de otras de diferentes especies.
- ◆ Para proteger conducciones de aguas cercanas se deben colocar los eucaliptares a una distancia mínima de 25 metros de estas.

Estas recomendaciones se deben a que la agresividad de los eucaliptos hacia el agua y su gran talla al final de su cultivo, así como la enorme potencia de sus sistemas radicales, que pueden llegar a dañar carreteras y cimentaciones aledañas a estos eucaliptares.

6.4.3. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA TALA DE EUCALIPTARES

De acuerdo con las recomendaciones de las Naciones Unidas, existen diversas medidas encaminadas a frenar el proceso de deforestación. Por un lado, los programas forestales de cada país deben hacer partícipes a todos los interesados e integrar la conservación y el uso sostenible de los recursos biológicos.

Asimismo, las capacidades nacionales de investigación forestal deben mejorarse y crear una red para facilitar el intercambio de información, fomentar la investigación y dar a conocer los resultados de las distintas disciplinas.

Es necesario llevar a cabo estudios que analicen las causas de la deforestación y degradación ambiental en cada país, y debe fomentarse la cooperación en temas de transferencia de tecnología relacionada con los bosques, tanto Norte-Sur como Sur-Sur, mediante inversiones públicas y privadas, empresas mixtas, etc.

Por otro lado, se requieren las mejores tecnologías de evaluación para obtener estimaciones fidedignas de todos los servicios y bienes forestales, en especial los que son objeto de comercio general. Mejorar el acceso al mercado de los bienes y servicios forestales con la reducción de obstáculos arancelarios y no arancelarios al comercio, constituye otra de las vías posibles, así como la necesidad de hacer un uso más efectivo de los mecanismos financieros existentes, para generar nuevos recursos de financiación a nivel nacional como internacional. Las políticas inversoras deben tener como finalidad atraer las inversiones nacionales, de las comunidades locales y extranjeras para las industrias sostenibles de base forestal, la reforestación, la conservación y la protección de los bosques.

Una de las principales soluciones para este problema que ha traído muchos inconvenientes ambientales en los lugares de tala indiscriminada, es realizar una repoblación o reforestación de estos árboles, en el caso de las plantaciones de Eucalipto se deberían realizar cultivos o plantaciones específicamente para el beneficio industrial, ya que en este campo posee gran demanda; un ejemplo visible de esto es la instalación de un proyecto ubicado en la provincia de Esmeraldas, en donde una empresa denominada Eucalyptus Pacífico S.A. EUCAPACIFIC. La misma que se trata de plantar las especies sub-tropicales *Eucalyptus grandis* y *E. urograndis* en la Provincia de Esmeraldas, más precisamente en el sector de Tonchigüe y Sua.

La idea es sembrar 10.500 hectáreas dentro de 6 años, empezando en el 2001 con 500 hectáreas y aumentando la superficie cada año hasta lograr los 10.500 hectáreas finales. Por el momento, la compañía EUCAPACIFIC sólo tiene 1000 hectáreas, por lo que todavía está buscando tierras en la Costa de la Provincia de Esmeraldas, en las zonas de Quinindé y la Concordia.

Las especies plantadas son de muy rápido crecimiento : se estima que los árboles estarán listos para la cosecha dentro de 6-7 años con una altura media de 30-35 m y un diámetro de 20-25 cm.

Un vivero, ubicado a nueve kilómetros de la Concordia, se encarga desde principios de enero del crecimiento inicial de las plantas. Es el vivero forestal más moderno del país, con una organización muy funcional y un material muy

eficiente. Ahora, 33 personas trabajan cuidando más de un millón de eucaliptos.

El objetivo es producir pulpa y papel a partir de los eucaliptos. La madera será transformada en astillas en el puerto de Esmeraldas y después exportada a Japón. No se pudo conseguir cifras precisas sobre el volumen de producción esperado. Sólo se sabe que, gracias a las muy buenas condiciones de crecimiento en esta zona, se puede esperar un rendimiento más elevado que en Colombia donde también se siembran esas especies (y donde se recolecta entre 250 m³ y 300m³ de madera por hectárea).

Este proyecto, que durará por lo menos 25 años, representa una inversión total de USD 50 millones cuyo 20% proviene de los socios y el 80% fue prestado por el gobierno japonés.

BIOGRAFÍA

1.- DATOS PERSONALES

NOMBRE Y APELLIDOS	Jorge Esteban Martínez Escobar
CEDULA DE IDENTIDAD	171548564-3
FECHA DE NACIMIENTO	Quito, Enero 12 de 1986

2.- PREPARACION ACADEMICA

PRIMARIA

Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina

Año Lectivo 1996 - 1997

SECUNDARIA

Colegio Particular "La Salle"

Título obtenido

Bachiller en Ciencias

Año Lectivo 2002 – 2003

3.- HONORES

SECUNDARIA

"Tercer Guardia de la Bandera del Colegio", 2003

"Primer Puesto en Aprovechamiento Sexto Curso", 2003

BIOGRAFÍA

1.- DATOS PERSONALES

NOMBRE Y APELLIDOS

Juan Carlos Siza Simbaña.

CEDULA DE IDENTIDAD

1717558553

FECHA DE NACIMIENTO

Quito, 24 de Julio de 1984

2.- PREPARACION ACADEMICA

PRIMARIA

Escuela Fiscal "Simón Bolívar"

Año Lectivo 1995 - 1996

SECUNDARIA

Instituto Tecnológico Superior

"Central Técnico".

Título obtenido

Bachiller Técnico en Electrónica.

Año Lectivo 2001 – 2002

CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- ◆ El Eucalipto es parte de las maderas latifoliadas, o maderas leñosas, que por su naturaleza y genética son plantas que alcanzan grandes alturas y diámetros, los mismos que pueden ser bien aprovechados en la industria de la construcción; la misma que debe tener nuevas alternativas de procesos constructivos por los altos costos de la construcción convencional y en acero.
- ◆ Las especies que predominan en el Ecuador son el Eucalipto Glóbulo, que se encuentra en la Sierra y el Eucalipto Grandis de la Costa; estas son las especies que se tomaron en cuenta para la realización del presente proyecto de grado, las mismas que al ser comparadas dan una visión general del uso muy provechoso, pero a la vez el cuidado extensivo que se debe dar, para ser utilizado como elemento estructural en edificaciones pequeñas, y en algunos casos hasta edificaciones medianas.

- ◆ A pesar de ser una especie exótica en el Ecuador, podemos observar infinidad de plantaciones distribuidas entre Costa y Sierra principalmente, teniendo como los lugares que más lo acogen a Quito y Latacunga; ciudades que albergan al Eucalipto Glóbulo por sus condiciones de clima para el crecimiento; y a Esmeraldas que acoge generalmente al Eucalipto Grandis, que se adapta de mejor manera en alturas cercanas al nivel del mar y climas húmedos, de alta pluviosidad.

- ◆ Esta especie es el principal elemento usado en plantaciones industrializadas, para su aprovechamiento en diferentes campos, es por esto que debe tener un cuidado exhaustivo al realizar los cultivos, en su crecimiento, en la tala y en su apeo, además de su proceso de secado y preservación. En este trabajo se observó que las plantaciones deben tener un orden estricto, es decir, realizar marcos de siembra entre cada planta, los marcos pueden ir de 2x2, 3x3 hasta de 4x4, y esto depende de lo que se pretenda conseguir al final, ya que si los marcos son más separados, el diámetro del árbol aumenta, al igual que su altura. Con estos marcos se pueden lograr entre 1500 a 2500 especies por hectárea.

- ◆ Al Eucalipto por ser un tipo de madera leñosa, se le debe tener un especial cuidado en el secado, es por eso que se debe cumplir con la curva de secado antes especificada, para evitar las rajaduras y torceduras que se observan a diario en esta especie. Al cumplir estas especificaciones lograríamos tener elementos estructurales eficientes.

- ◆ Según especificaciones de las normas COPANT para maderas se deben realizar los ensayos para probetas con un contenido de humedad de alrededor del 12%, en este trabajo se cumplió con este aspecto, después de haber seguido el proceso, desde el corte hasta el secado en horno. Aunque las condiciones reales en obra admiten un porcentaje mayor de humedad, y este va entre un 25% a 30%, con lo que se reducen las propiedades mecánicas pero no en un gran margen.

- ◆ Entrando al tema de las propiedades físicas y mecánicas de las dos especies analizadas, podemos darnos cuenta que el Eucalipto Glóbulos que se produce en la sierra, es una especie que puede ser utilizada como estructural por ser una madera pesada al tener una masa por volumen de 810 Kg/m³, mientras que el Grandis tiene solo 500 Kg/m³. En textos y especificaciones podemos observar que maderas pesadas aptas son las que poseen una masa por volumen mayor a 800 Kg/m³.

- ◆ Al realizar los ensayos mecánicos pudimos darnos cuenta que el E. Glóbulo es mucho más eficiente y resistente que el E. Grandis en alrededor de un 30%, es por esto que es la especie más recomendada para uso constructivo.

- ◆ En los ensayos realizados, se pudo observar que los esfuerzos admisibles obtenidos son mayores a los encontrados en manuales o especificaciones

de maderas, en algunos casos superaban los valores en gran magnitud. Pero el eucalipto es una especie que no se encuentra en estos manuales.

- ◆ Como ya se comentó anteriormente, el diseño en madera se realiza por esfuerzos admisibles, se obtuvieron estos al afectar a los esfuerzos últimos de rotura en cada ensayo mecánico por coeficientes de reducción que variaban según el ensayo. Estos factores son producto de calidad del material, por seguridad, por reducción del tamaño y por duración de carga. A estos valores se los compara con los resultados obtenidos en el cálculo estructural.

- ◆ Al realizar el cálculo estructural de la aplicación del trabajo, tanto en eucalipto como en hormigón armado, se utilizó el programa SAP 2000 v11.04, el mismo que requiere las propiedades físicas del material, como módulos de elasticidad, de corte y de poisson, además de las secciones obtenidas en el predimensionamiento. Además de las cargas externas como muerta, viva, sismo y viento. Es por esto y por mucho más que los datos ingresados en el programa deben ser los correctos, para obtener resultados correctos. El SAP es una herramienta muy utilizada y confiable en el análisis estructural. Pero se deben analizar los resultados obtenidos con una criterio estructural serio.

- ◆ Además hay que apegarse y restringirse a las especificaciones y normas o códigos de la construcción vigentes. En nuestro caso se usa el CEC-2000, el mismo que da premisas de cálculo que hay que cumplir.

- ◆ El Eucalipto es una especie ajena a nuestro medio es por eso que al cultivarlo hay que tener precauciones como los espacios mínimos requeridos frente a linderos y otros cultivo. Esto se presenta porque el eucalipto es una especie que acapara el recurso hídrico, es una de las más eficientes en convertir el agua en madera.

- ◆ El Eucalipto es una especie muy competitiva, en donde se lo cultiva, destruye la fauna, flora y vegetación existente. Al ser una plantación exigente suple a lo existente.

- ◆ En algunos casos llega a empobrecer a los suelos, pero si se los cultiva en terrenos semi-áridos los transforma en suelos productivos, ya que tiene una gran capacidad de retención de agua en sus raíces, por esto son muy fuertes y traspasan los estratos impermeables y aprovecha el agua que encuentra.

- ◆ En el Ecuador la deforestación es un tema de suma preocupación ya que las plantaciones y bosques se reducen a pasos gigantescos, es por esto que se debe concienciar a la gente y en especial a las empresas que utilizan maderas, para evitar que se pierda todo el recurso forestal de nuestro país.

- ◆ Después de realizar el análisis de precios unitarios de cada uno de los rubros en Eucalipto y en Hormigón Armado, además de los presupuestos en

cada tecnología, se pudo constatar en el cálculo económico que la estructura de Eucalipto es más barata que la de Hormigón Armado, en un 34%. Tomando en cuenta que solo se analizaron estos valores solo en obra muerta.

7.2. RECOMENDACIONES

- ◆ Al usar al Eucalipto como madera estructural debemos ser muy cautelosos con el proceso especialmente de secado, porque es muy propenso a rajaduras y torceduras, pudimos observar en el desarrollo de la tesis, que se debe realizar un incremento gradual de temperatura según la curva de secado.

- ◆ Se deben realizar nuevos estudios para obtener especificaciones más actualizadas de las especies encontradas en el Ecuador, ya que después de obtener los resultados de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad del eucalipto, no podemos compararlos más que con datos del manual del PADT REFORT, que varían en algunos casos en gran magnitud. Pero no existen las especies existentes en el Ecuador, en su totalidad.

- ◆ Se debe usar madera en general como elemento estructural, por su facilidad de construcción y reducción en los costos, pero más que esto, debemos encaminarnos a una sistema combinado de construcción, porque

la madera es un material frágil y requiere de algún complemento para llegar a ser dúctil, en especial en lugares de alta peligrosidad sísmica.

- ◆ Este trabajo debe ser el inicio de muchos trabajos de investigación, para encontrar una alternativa conveniente y económica en su desarrollo, es decir, diseño y construcción, por la actual situación económica de nuestro país y del mundo.

BIBLIOGRAFIA

- Montoya Oliver J. M., 1910, “El Eucalipto”, Edición Ilustrada, España, Mundi-Prensa Libros
- Etcheverry Enrique, 1910, “El eucalipto...”, Estados Unidos, Fernández J.
- Acosta Solís Misael, 1949, “El eucalipto en el Ecuador”, Segunda Edición, Ecuador, Editorial "Ecuador,"
- Acosta Solís Misael, 1960, “Maderas económicas del Ecuador y sus usos”, Ecuador, Editorial Casa de la Cultura Ecuatoriana
- Instituto de Ecología, 2001, Madera y bosques, México, Instituto de Ecología
- Board of the Cartagena Agreement, Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Area de los Recursos Forestales Tropicales
- Publicado por Junta del Acuerdo de Cartagena, PADT-REFORT, 1983, “Secado y preservación de 105 maderas del Grupo Andino: estudio integral de la madera para la construcción”, Texas, Universidad de Texas

- Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Area de los Recursos Forestales Tropicales (PADT-REFORT), 1984, “Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, Lima-Perú.
- Pombar de Touron Alicia, 1978, “Construcción de viviendas de madera”, Texas, Gerencia de Investigaciones Económicas, Departamento de Estudios Económicos Sectoriales
- M.Sc. Romo Proaño Marcelo, 2006, “Temas de Hormigón Armado, Primera Edición, Sangolquí-Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército
- CORMA, “Manual de la Construcción de Viviendas en Madera, Chile
- INEN, 2000, “Código Ecuatoriano de la Construcción”, “Requisitos Generales de Diseño”, Primera Edición, Ecuador
- ACI, 2005, “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario (ACI 318S-05), Estados Unidos
- Publicaciones de la FAO
- Normas COPANT para Maderas

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR

Sr. Jorge Esteban Martínez Escobar

Sr. Juan Carlos Siza Simbaña

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Ing. Jorge Zúñiga G.

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE ADMISION Y REGISTRO

Abg. Laura López

Lugar y Fecha: _____