

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Megaproyecto

“Valor agregado de especies forestales –  
gramíneas y su aplicación en el entorno”

Tomo I

Valor agregado de especies forestales

Trabajo de graduación presentado por

Sergio Enrique Miranda Martínez

Julio Alejandro Tejada Dierolf

Mario Joaquín Valdez Mendoza

para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Industrial

Guatemala

2012



Megaproyecto

“Valor agregado de especies forestales –  
gramíneas y su aplicación en el entorno”

Tomo I

Valor agregado de especies forestales

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Megaproyecto

“Valor agregado de especies forestales –  
gramíneas y su aplicación en el entorno”

Tomo I

Valor agregado de especies forestales

Trabajo de graduación presentado por

Sergio Enrique Miranda Martínez

Julio Alejandro Tejada Dierolf

Mario Joaquín Valdez Mendoza

para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Industrial

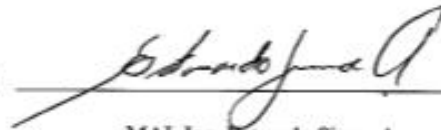
Guatemala

2012

Vo. Bo. :

(f)   
M Sc. Arq. María Elena Ortíz Pineda

Tribunal Examinador:

(f)   
MAI. Ing. Estuardo Sierra A.

(f)   
MBA. Ing. Roberto Godo Levensen

(f)   
M Sc. Arq. María Elena Ortíz Pineda

Fecha de aprobación: Guatemala, 30 de octubre de 2012

## **PREFACIO**

El proyecto surge de la importancia que implica el conocimiento de las diferentes propiedades de la madera y a su falta de su correcta aplicación en la industria así como del desaprovechamiento de los beneficios que brinda la madera juvenil. Para esto se realiza un estudio de las distintas propiedades de la madera que contrasta con clasificaciones europeas para así obtener una clasificación en Guatemala, así también se realiza una comparativa entre la madera juvenil y la madera adulta con el fin de aprovechar las propiedades mecánicas para uso estructural.

El estudio sobre las propiedades mecánicas y físicas se realizó con base en seis diferentes especies de madera. Así también se hace un estudio de viabilidad que compara métodos destructivos y métodos no destructivos.

La madera juvenil se obtiene a través de técnicas de raleo que permiten tener un mayor aprovechamiento del árbol para su aplicación en la industria. La madera obtenida a través de este proceso puede tener aplicaciones tales como el diseño de muebles que garanticen un retorno en la inversión que representa realizar el proceso de raleo.

La madera juvenil es un tema que aún se encuentra en una fase no madura en Guatemala, tal falta de información limitó ahondar en aplicaciones y comercialización de productos elaborados a base de diámetros menores.

Se decidió abordar el tema de industrialización de procesos de transformación de la madera para detallar, de acuerdo a investigación previa, los correctos procesos involucrados para brindar un producto de alta calidad al mercado. Se profundizó en una planta que produce diferentes elementos que componen una vivienda, los procesos descritos permiten diseñar una planta industrial.

Para la realización de este informe se contó con la colaboración de expertos en el tema, quienes proporcionaron una visión más clara de la industria, de los procesos a tener en cuenta al momento de trabajar con madera y de aspectos técnicos de los cuales no se tenía conocimiento.

Se agradece al Arquitecto Jorge Urrea que proporcionó lineamientos específicos de producción en base a su experiencia con casas de madera en los Estados Unidos.

Se agradece a David Pineda quién nos ayudó en aspectos técnicos a nivel de producción y de maquinaria a utilizar en el proceso de transformación de la madera y que además facilitó material de apoyo que fue importante en la redacción del informe.

Además se agradece a nuestra asesora Arq. María Elena Ortiz e Ing. Robert Godo quienes fueron guía y apoyo a lo largo de todo el proceso de desarrollo del informe.

De igual manera agradecemos a nuestras familias quienes estuvieron a nuestro lado en todo momento.

Por último, y más importante, agradecemos a Dios por la vida y su infinito amor.

## NOMENCLATURA

F = Fuerza aplicada sobre la muestra (lbf)

F = N/mm<sup>2</sup>

Pi = 3.1416

A = área inicial

A = cm<sup>2</sup>

A = mm<sup>2</sup>

A = pulg<sup>2</sup>

Esfuerzo unitario = lb/pulg<sup>2</sup>

Esfuerzo unitario = kg/cm<sup>2</sup>

P = densidad kg/m<sup>3</sup>

$\sigma$  = desviación estándar

## Contenido

PREFACIO .....	V
NOMENCLATURA .....	VII
LISTA DE CUADROS .....	XIV
LISTA DE GRÁFICOS .....	XVIII
RESUMEN .....	XXIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
III. OBJETIVOS .....	3
IV. METODOLOGÍA .....	4
V. MARCO TEÓRICO .....	5
A. Definición de madera estructural .....	5
B. Definiciones de propiedades físicas .....	5
1. Contenido de humedad de la madera .....	7
2. Densidad. ....	9
3. Contracción e hinchamiento .....	10
4. Relación Contracción Tangencial y Radial (CT/CR).....	12
C. Definición de propiedades mecánicas.....	12
1. Conceptos básicos.....	13
2. Módulo de elasticidad.....	16
3. Módulos cortantes.....	17
D. Clasificación de la madera .....	18
1. Especies más utilizadas por la industria.....	19
2. Clasificación de las maderas y características generales. ....	19

E.	Normas American Section of the International Association for Testing (ASTM) .....	20
F.	Pruebas.....	21
1.	Pruebas de dureza. ....	21
2.	Pruebas de tensión.....	22
3.	Pruebas de compresión. ....	23
4.	Pruebas de impacto. ....	23
5.	Tracción paralela a la fibra.....	24
6.	Compresión paralela a la fibra. ....	25
7.	Tracción perpendicular a la fibra. ....	26
8.	Compresión perpendicular a la fibra. ....	27
9.	Flexión. ....	28
10.	Nudos. ....	29
11.	Extracción de clavo.....	29
12.	Pruebas no destructivas.....	30
G.	Clasificación de la madera .....	33
H.	Diámetros menores .....	34
1.	¿Qué son diámetros menores?.....	34
2.	Diámetros menores en el mundo.....	36
3.	Corta anual permisible (CAP).....	40
4.	Técnica de raleo. ....	41
5.	Secado de la madera.....	43
6.	Tratamiento de la madera.....	64
7.	Cepillado.....	70
I.	Diámetros menores en Guatemala .....	73

1.	PINFOR.....	73
2.	Rendimiento de los diámetros menores en la industria guatemalteca.....	78
3.	Mal manejo forestal. Daño a los bosques e industria.....	80
J.	Situación actual en la industria de la transformación primaria y secundaria de la madera	82
K.	Demanda de manufacturas de madera para el mercado europeo .....	84
L.	Generalidades de casas de madera .....	85
1.	Combustibilidad.....	85
2.	Exposición al calor.....	85
3.	Requisitos estructurales. ....	85
4.	La madera como estructura antisísmica. ....	85
5.	Resistencia a las vibraciones.....	86
6.	Características de diseños antisísmicos.....	86
7.	Respuesta ante los ataques. ....	86
M.	Industrialización de viviendas.....	87
1.	Características del sistema. ....	88
2.	Especialización de la mano de obra. ....	89
3.	Descripción proceso de construcción <i>in situ</i> .....	89
4.	Casas prefabricadas.....	90
5.	Diferencias con una casa tradicional.....	90
6.	Beneficios de casas modulares.....	91
7.	Ejemplos diseños de casas modulares.....	92
VI.	PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS DESTRUCTIVAS .....	93
VII.	RESULTADOS PRUEBAS DESTRUCTIVAS .....	102
A.	PINO (Pino Maximinoi) .....	102

1.	Propiedades físicas.....	102
2.	Propiedades mecánicas .....	103
B.	SANTA MARÍA ( <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess).....	104
1.	Propiedades físicas.....	104
2.	Propiedades mecánicas. ....	105
C.	CHICHIPATE ( <i>Acosmium panamense</i> ).....	106
1.	Propiedades físicas.....	106
2.	Propiedades mecánicas. ....	107
D.	Cedro ( <i>Cedrela spp</i> ).....	108
1.	Propiedades físicas.....	108
2.	Propiedades mecánicas. ....	109
E.	PALO BLANCO ( <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose).....	110
1.	Propiedades físicas.....	110
2.	Propiedades mecánicas. ....	111
F.	Teca ( <i>Tectona grandis</i> L).....	112
1.	Propiedades físicas.....	112
2.	Propiedades mecánicas. ....	113
G.	Comparativa propiedades físico-mecánicas pino juvenil vs pino adulto .....	114
VIII.	DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PARA PROPUESTA DE DISEÑO DE PLANTA INDUSTRIAL DE CASAS.....	116
A.	Recepción de la materia prima.....	117
B.	Área de aserradero .....	117
C.	Área de secado .....	119
D.	Área de cepillado y fresado.....	120

E.	Impregnado .....	120
F.	Ensamble.....	121
IX.	CASA MODELO Y UNIDADES QUE LA COMPONEN .....	123
X.	MAQUINARIA INVOLUCRADA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	127
A.	Descripción de la maquinaria.....	129
1.	LT 3000.....	129
2.	HR 1000.....	130
3.	EG300.....	131
4.	Horno de secado.....	132
5.	Cepilladora.....	133
6.	Fresadora universal.....	134
7.	Autoclave.....	135
XI.	DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA.....	137
XII.	LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA Y DIMENSIONES DEL TERRENO .....	140
XIII.	ANÁLISIS FINANCIEROS.....	141
A.	Viabilidad de los métodos destructivos vs. Métodos no destructivos.....	142
1.	Métodos destructivos.....	142
2.	Comparativa de métodos no destructivos.....	146
3.	Lineamientos para máquina no destructiva (ultrasónica.....	152
4.	Limitantes.....	154
B.	Análisis de factibilidad madera juvenil.....	159
1.	Análisis primer escenario – Plantación de una hectárea.....	161
2.	Análisis segundo escenario – Plantación de 15 hectáreas.....	162
3.	Comparación escenarios.....	163

C.	Costos de inversión y costos de transformación del producto para casas de madera .....	164
1.	Materia prima.....	164
2.	Mano de obra.....	164
3.	Consumo eléctrico.....	165
4.	Infraestructura.....	167
5.	Terreno.....	167
6.	Transporte.....	167
7.	Maquinaria principal y auxiliar.....	167
D.	Análisis financiero para planta industrial.....	168
XIV.	CONCLUSIONES.....	171
XV.	RECOMENDACIONES .....	173
XVI.	BIBLIOGRAFÍA.....	174
XVII.	GLOSARIO.....	179
XVIII.	ANEXOS.....	186

## LISTA DE CUADROS

Cuadro No. 1: Clasificación de la madera según su peso específico .....	10
Cuadro No. 2: Clasificación de la madera según el tipo de contracción.....	11
Cuadro No. 3: Clasificación de contracción .....	12
Cuadro No. 4: Normalización .....	34
Cuadro No. 5: Guía para identificación de clases de desarrollo .....	35
Cuadro No. 6: Ventajas y desventajas madera encolada laminada .....	39
Cuadro No. 7: Definición de riesgo de ataque biológico .....	65
Cuadro No. 8: Clases de riesgos cubiertas por el tipo de producto.....	69
Cuadro No. 9: Área reforestada por región del INAB .....	75
Cuadro No. 10: Manejo de bosques naturales para producción.....	76
Cuadro No. 11: Área reforestada por especie .....	77
Cuadro No. 12: Características físicas del pino .....	102
Cuadro No. 13: Propiedades mecánicas del pino.....	103
Cuadro No. 14: Características físicas de Santa María .....	104
Cuadro No. 15: Propiedades mecánicas de Santa María.....	105
Cuadro No. 16: Características físicas de Chichipate .....	106
Cuadro No. 17: Características mecánicas de Chichipate.....	107
Cuadro No. 18: Características físicas de Cedro.....	108
Cuadro No. 19: Características mecánicas Cedro .....	109
Cuadro No. 20: Características físicas de Palo Blanco .....	110
Cuadro No. 21: Características mecánicas Palo Blanco .....	111
Cuadro No. 22: Características físicas de Teca.....	112
Cuadro No. 23: Características mecánicas Teca .....	113
Cuadro No. 24: Partes que implican la construcción de la casa modelo.....	123
Cuadro No. 25: Dimensiones y unidades a producir por casa .....	124
Cuadro No. 26: Unidades para producción mensual.....	125
Cuadro No. 27: Volumen requerido de madera por casa .....	128
Cuadro No. 28: Ambientes en planta.....	137
Cuadro No. 29: Relaciones entre áreas de ambientes de trabajo .....	138

Cuadro No. 30: Tipos de relaciones entre actividades.....	138
Cuadro No. 31: Pies tablares por especie de madera .....	142
Cuadro No. 32: Pies tablares por especie de madera .....	142
Cuadro No. 33: Precios por pie tablar de especies de madera .....	143
Cuadro No. 34: Costos de carpintería .....	143
Cuadro No. 35: Cantidad de pruebas trimestrales.....	144
Cuadro No. 36: Tiempo de ensayo maquinas destructivas .....	144
Cuadro No. 37: Costos de ensayos .....	145
Cuadro No. 38: Inversión de maquinaria de laboratorio. Datos obtenidos de ELE internacional	145
Cuadro No. 39: Costo por año (método destructivo) .....	146
Cuadro No. 40: Valores presentes de método destructivo .....	146
Cuadro No. 41: Tiempo de ensayo máquina no destructiva .....	147
Cuadro No. 42: Costo método no destructivo.....	147
Cuadro No. 43: Pruebas trimestrales método no destructivo.....	148
Cuadro No. 44: Estado de resultados método no destructivo .....	148
Cuadro No. 45: Costo de muestras no destructivo.....	149
Cuadro No. 46: Método no destructivo (ultrasónico) .....	149
Cuadro No. 47: Tiempo ultrasónico en árbol vivo.....	150
Cuadro No. 48: Tiempos árbol vivo .....	150
Cuadro No. 49: Costos árbol vivo.....	151
Cuadro No. 50: Valores árbol vivo .....	151
Cuadro No. 51: Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno Escenario 1 .....	162
Cuadro No. 52: Valor Presente Neto, TMAR y TIR escenario 2 .....	163
Cuadro No. 53: Factores a considerar para determinar cantidad de luminarias por área.....	165
Cuadro No. 54: Número de luminarias por área .....	165
Cuadro No. 55: Costo de iluminación en la planta .....	166
Cuadro No. 56: Costo de energía mensual por maquinaria .....	166
Cuadro No. 57: Resumen flujos con 35% de margen de venta.....	169
Cuadro No. 58: Resumen flujos con 30% de margen de venta.....	169
Cuadro No. 59: Resumen flujos con 40% de margen de venta.....	169

Cuadro No. 60: Inversión carpintería.....	186
Cuadro No. 61: Inversión maquinaria método destructivo .....	186
Cuadro No. 62: Proyecciones método destructivo .....	187
Cuadro No. 63: Inversión máquina ultrasónica .....	188
Cuadro No. 64: Costo de muestras .....	188
Cuadro No. 65: Costos de maquinado .....	188
Cuadro No. 66: Proyecciones método no destructivo.....	189
Cuadro No. 67: Proyecciones árbol vivo .....	190
Cuadro No. 68: Costos procesos primarios análisis madera juvenil.....	192
Cuadro No. 69: Costos materia prima madera juvenil.....	192
Cuadro No. 70: Costos materia prima indirecta para madera juvenil.....	192
Cuadro No. 71: Costo mano de obra carpintería para madera juvenil.....	192
Cuadro No. 72: Gastos administrativos madera juvenil .....	193
Cuadro No. 73: Producción muebles y ganancia por metro cúbico.....	193
Cuadro No. 74: Análisis financiero escenario 1 madera juvenil - parte 1 .....	194
Cuadro No. 75: Análisis financiero escenario 1 madera juvenil - parte 2 (continuación) .....	194
Cuadro No. 76: Análisis financiero escenario 2 madera juvenil - parte 1 .....	196
Cuadro No. 77: Análisis financiero escenario 2 madera juvenil - parte 2 (continuación) .....	197
Cuadro No. 78: Resultados comparativos compresión perpendicular madera juvenil .....	198
Cuadro No. 79: Resultados prueba gravedad específica madera juvenil.....	199
Cuadro No. 80: Resultados prueba extracción de clavo madera juvenil – Fuerza en libras .....	199
Cuadro No. 81: Resultados prueba de dureza madera juvenil - resultado en Libras .....	200
Cuadro No. 82: Resultados prueba compresión paralela madera juvenil .....	200
Cuadro No. 83: Resultados prueba compresión paralela madera juvenil - Continuación.....	201
Cuadro No. 84: Medidas y piezas mesa de centro opción 1 .....	203
Cuadro No. 85: Medidas y piezas silla opción 1.....	204
Cuadro No. 86: Medidas y piezas repisa opción 2.....	205
Cuadro No. 87: Medidas y piezas viñero opción 2.....	206
Cuadro No. 88: Medidas y piezas mini bar.....	207
Cuadro No. 89: Especificaciones de maquinaria a utilizar en el proceso productivo .....	235

Cuadro No. 90: Maquinaria auxiliar en el proceso productivo.....	236
Cuadro No. 91: Capacidades de las máquinas en el proceso productivo.....	236
Cuadro No. 92: Método cualitativo por punto para localización de la planta.....	237
Cuadro No. 93: Matriz de relaciones de áreas en planta de producción.....	237
Cuadro No. 94: Área necesaria por proceso a incluir en la planta de producción.....	239
Cuadro No. 95: Cantidad de clavos requeridos al mes.....	239
Cuadro No. 96: Cantidad de gussets o uniones para cerchas al mes.....	239
Cuadro No. 97: Costos por metro cuadrado para construcción de planta de producción.....	240
Cuadro No. 98: Tabla salarios en la planta.....	241
Cuadro No. 99: Mano de obra en el área de producción.....	242
Cuadro No. 100: Inversión inicial de la planta.....	242
Cuadro No. 101: Amortización del préstamo.....	242
Cuadro No. 102: Costo unitario del combo de piezas a producir por casa.....	242
Cuadro No. 103: Precios spot de energía en Guatemala para los últimos 5 años y promedio del año en curso.....	243
Cuadro No. 104: Aumento en los salarios diarios en Guatemala en los últimos 5 años.....	243
Cuadro No. 105: Depreciaciones de los activos de la empresa.....	243
Cuadro No. 106: Flujo de efectivo para margen de utilidad del 35%.....	244
Cuadro No. 107: Flujos de efectivo para margen de utilidad del 30%.....	245
Cuadro No. 108: Flujo de efectivo para margen de utilidad del 40%.....	246

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico No. 1: Módulo de elasticidad.....	17
Gráfico No. 2: Corte .....	18
Gráfico No. 3: Deslizamiento .....	18
Gráfico No. 4: Rodadura.....	18
Gráfico No. 5: Dispositivo de carga .....	22
Gráfico No. 6: Tensión .....	24
Gráfico No. 7: Probeta de compresión paralela .....	26
Gráfico No. 8: Ensayo de compresión paralela a la fibra .....	26
Gráfico No. 9: Tensión perpendicular.....	27
Gráfico No. 10: Compresión perpendicular, ASTM 143-94 (2000).....	28
Gráfico No. 11: Módulo de elasticidad vs módulo de ruptura.....	30
Gráfico No. 12: Medición longitudinal.....	32
Gráfico No. 13: Campana de Gauss, percentil 5% .....	34
Gráfico No. 14: Representación madera laminada encolada .....	38
Gráfico No. 15: Efectos del raleo en el aumento de grosor .....	43
Gráfico No. 16: Gráfico de secado de madera .....	46
Gráfico No. 17: Ejemplo de secado natural .....	49
Gráfico No. 18: Ejemplo cámara de secado para el secado convencional.....	50
Gráfico No. 19: Ejemplo de un sistema de pre secado de la madera .....	51
Gráfico No. 20: Ejemplo de horno para secados a temperaturas normales.....	52
Gráfico No. 21: Ejemplo de horno de aire caliente.....	54
Gráfico No. 22: Ejemplo de estructura de secado de vapor sobrecalentado .....	56
Gráfico No. 23: Ejemplificación de una cámara de deshumidificación.....	57
Gráfico No. 24: Cámara de secado de madera al vacío .....	59
Gráfico No. 25: Diagrama de secador solar para madera .....	60
Gráfico No. 26: Proceso de cepillado de la madera .....	72
Gráfico No. 27: Distribución de las regiones forestales de Guatemala .....	75
Gráfico No. 28: Distribución de los cortes a una troza.....	78
Gráfico No. 29: Crecimiento del tronco tras realizarse un raleo.....	80

Gráfico No. 30: Balanza comercial en el sector de la madera en Guatemala .....	83
Gráfico No. 31: Consumo <i>per cápita</i> de madera .....	84
Gráfico No. 32: Casa producida en fábrica.....	87
Gráfico No. 33: Paneles prefabricados .....	88
Gráfico No. 34: Proceso de construcción <i>in situ</i> .....	89
Gráfico No. 35: Ampliación casa modular .....	92
Gráfico No. 36: Ejemplo diseños casas modulares.....	92
Gráfico No. 37: Sierra circular.....	93
Gráfico No. 38: Sierra circular 2.....	93
Gráfico No. 39: Enderezadora .....	94
Gráfico No. 40: Cepilladora.....	94
Gráfico No. 41: Cepilladora final .....	95
Gráfico No. 42: Cepilladora 2.....	95
Gráfico No. 43: Introducción de madera .....	96
Gráfico No. 44: Muestras para ensayos .....	97
Gráfico No. 45: Prueba de dureza.....	98
Gráfico No. 46: Extracción de clavo.....	99
Gráfico No. 47: Compresión paralela a las fibras .....	99
Gráfico No. 48: Medición gravedad específica .....	100
Gráfico No. 49: Medición de corte .....	100
Gráfico No. 50: Medición de flexión.....	101
Gráfico No. 51: Corte longitudinal pino .....	102
Gráfico No. 52: Corte longitudinal de Santa María .....	104
Gráfico No. 53: Corte longitudinal de Chichipate .....	106
Gráfico No. 54: Corte longitudinal de Cedro.....	108
Gráfico No. 55: Corte longitudinal de Palo Blanco .....	110
Gráfico No. 56: Corte longitudinal de Teca.....	112
Gráfico No. 57: Corte del tronco .....	118
Gráfico No. 58: Unión de vigas por método "z" .....	122
Gráfico No. 59: Cercha Howe .....	125

Gráfico No. 60: Wood Mizer LT3000 .....	130
Gráfico No. 61: HR 1000.....	131
Gráfico No. 62: EG 300 .....	132
Gráfico No. 63: Horno de secado .....	133
Gráfico No. 64: Bonfanti 422 .....	134
Gráfico No. 65: Fresadora universal .....	135
Gráfico No. 66: Máquina de autoclave marca ECASO .....	136
Gráfico No. 67: Modo de uso de transductores o palpadores .....	153
Gráfico No. 68: Rajadura por secado de madera .....	157
Gráfico No. 69: Gráfico de dispersión compresión perpendicular madera juvenil.....	198
Gráfico No. 70: Gráfico fuerza - Deformación prueba de compresión paralela madera juvenil .	202
Gráfico No. 71: Bocetos propuesta mesa de centro .....	203
Gráfico No. 72: Bocetos propuesta silla .....	204
Gráfico No. 73: Bocetos propuesta repisa .....	205
Gráfico No. 74: Bocetos propuesta viñero.....	206
Gráfico No. 75: Boceto propuesta mini bar .....	207
Gráfico No. 76: Render 3D mini bar.....	208
Gráfico No. 77: Render 3D Mini bar variación .....	208
Gráfico No. 78: Plano vista frontal y perspectiva mini bar.....	209
Gráfico No. 79: Plano vista superior y lateral mini bar .....	209
Gráfico No. 80: Plano desglose de mini bar .....	210
Gráfico No. 81: Plano vista frontal y superior parades laterales mini bar .....	210
Gráfico No. 82: Plano detalle interior lateral mini bar .....	211
Gráfico No. 83: Plano vista superior y lateral piezas E mini bar .....	211
Gráfico No. 84: Plano vista frontal rodos mini bar.....	212
Gráfico No. 85: Plano vista superior, frontal y perspectiva patas mini bar .....	212
Gráfico No. 86: Render 3D mesa de centro .....	213
Gráfico No. 87: Render 3D mesa de centro variación .....	213
Gráfico No. 88: Plano perspectiva mesa de centro .....	214
Gráfico No. 89: Plano vista superior y frontal mesa de centro .....	214

Gráfico No. 90: Plano desglose mesa de centro.....	215
Gráfico No. 91: Plano vista superior y frontal piezas C1 y C2 mesa de centro.....	215
Gráfico No. 92: Plano vista superior, frontal y perspectiva patas mesa de centro.....	216
Gráfico No. 93: Plano vista superior - Área superior mesa de centro con detalle piezas C1 y C2 .....	216
Gráfico No. 94: Render 3D repisa .....	217
Gráfico No. 95: Render 3D repisa variación.....	217
Gráfico No. 96: Plano vista perspectiva repisa .....	218
Gráfico No. 97: Plano vista superior y frontal repisa .....	218
Gráfico No. 98: Plano desglose repisa.....	219
Gráfico No. 99: Plano vista superior repisa - detalles piezas C1 y C2 .....	219
Gráfico No. 100: Vista superior y lateral piezas C1 y C2 repisa .....	220
Gráfico No. 101: Plano vista superior y lateral patas repisa.....	220
Gráfico No. 102: Render 3D silla .....	221
Gráfico No. 103: Render 3D silla variación .....	221
Gráfico No. 104: Plano vista ortogonal en perspectiva silla.....	222
Gráfico No. 105: Plano vista ortogonal frontal y perfil silla.....	222
Gráfico No. 106: Plano desglose silla.....	223
Gráfico No. 107: Plano vista frontal y superior respaldo .....	223
Gráfico No. 108: Plano detalle respaldo piezas C, D1, D2, D3 silla .....	224
Gráfico No. 109: Plano vista superior y perspectiva asiento silla.....	224
Gráfico No. 110: Plano vista lateral asiento silla.....	225
Gráfico No. 111: Plano vista superior, frontal y perspectiva patas silla .....	225
Gráfico No. 112: Render 3D viñero.....	226
Gráfico No. 113: Render 3D viñero variación.....	226
Gráfico No. 114: Plano vista frontal y perspectiva viñero.....	227
Gráfico No. 115: Plano vista lateral y superior viñero .....	227
Gráfico No. 116: Plano desglose viñero .....	228
Gráfico No. 117: Plano vista frontal, lateral y superior viñero.....	228
Gráfico No. 118: Plano vista en perspectiva área superior viñero .....	229

Gráfico No. 119: Plano vista frontal y superior viñero.....	229
Gráfico No. 120: Plano vista frontal y superior pieza D - cuerpo viñero .....	230
Gráfico No. 121: Plano vista frontal, lateral y superior pieza E - cuerpo viñero.....	230
Gráfico No. 122: Plano vista frontal y superior pieza F - cuerpo viñero .....	231
Gráfico No. 123: Plano vista frontal y superior patas viñero.....	231
Gráfico No. 124: Diagrama de proceso de producción.....	232
Gráfico No. 125: Distribución de la planta.....	238
Gráfico No. 126: Partes a producir de la casa modelo.....	247
Gráfico No. 127: Vista preliminar de casa propuesta .....	248
Gráfico No. 128: Layout de la planta de producción.....	248
Gráfico No. 129: Layout de la planta de producción Vista 2.....	248

## **RESUMEN**

La industria de la madera en Guatemala no está totalmente desarrollada y existe una falta de conocimiento respecto a las diferentes propiedades mecánicas de maderas comerciales en el país. Además, se carece de un buen manejo forestal lo que conlleva a bajos rendimientos para la industria. Actualmente, no existe información suficiente para que el sector pueda aprovechar la madera en su totalidad sin importar la especie y la edad.

Se determinó realizar una guía de las propiedades físico-mecánicas de especies comerciales de madera en Guatemala, con el fin de facilitar los conocimientos a industrias en funcionamiento y para aquellas que deseen ingresar en el sector. Tras esto, se llevó a cabo un estudio sobre las deficiencias de la industria y la optimización de ésta a través de maquinaria que cumpla con los más altos estándares de calidad y rendimientos. Finalmente, con el objetivo de diversificar el aprovechamiento de la madera y las diferentes especies, se realizó un estudio sobre la viabilidad económica de implementar la madera juvenil en la industria, ya que las propiedades físico-mecánicas de ésta son menores.

Con los resultados obtenidos, se determinó que el Pino es la madera por excelencia para la industria de construcción de casas debido a su abundancia, precio y propiedades físico-mecánicas. Además, con el aprovechamiento de la madera juvenil de esta especie, se pueden obtener beneficios para la industria y la diversificación de los productos como muebles. Finalmente la industrialización adecuada del sector de madera genera un retorno positivo para los inversionistas que busquen incursionar en él.

# I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la industria de madera en Guatemala ha generado nuevas oportunidades para el estudio y mercadeo de productos elaborados a base de este material.

La creciente demanda de madera ha generado que los productores incursionen en nuevas técnicas y aprovechamientos para los diferentes sectores como la construcción y la realización de muebles.

Sin embargo, hay una falta de conocimientos en Guatemala sobre las propiedades físico-mecánicas de las diferentes especies comerciales del país, lo que conlleva a una pobre utilización en la industria. Además, debido a su impacto económico para las empresas, el buen manejo forestal no se realiza adecuadamente, lo que disminuye el rendimiento productivo de los bosques. La madera juvenil no es utilizada en el país salvo para leña o productos sencillos, desaprovechando el potencial económico que se le da en otros países. Finalmente, la industria carece de optimización y maquinaria de vanguardia que aseguren la calidad del producto final y la competitividad internacional.

A través de un estudio realizado en diferentes empresas guatemaltecas así como el uso de páginas web y estudios bibliográficos, se determinó una solución para el sector forestal.

Una guía con las propiedades físico-mecánicas de especies comerciales de madera en Guatemala con el fin de suplir la demanda de información al respecto. Un estudio económico de la implementación de la madera juvenil con el fin de que se realice un buen manejo forestal y ayudar a la diversificación de la industria y la creación de nuevas fuentes de trabajo. Un estudio sobre la industria y la búsqueda de nuevas tecnologías que ayuden a la competitividad de las empresas existentes y las que busquen incursionar en el sector.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La industria forestal de Guatemala está limitada por la falta de acceso a información relacionada a las especies forestales en el país. Los productores no conocen las propiedades físico-mecánicas de las maderas comerciales y no existe una práctica común del buen manejo forestal, lo que conlleva a un aumento de la contaminación y disminución de la productividad futura de los bosques.

La falta de conocimiento a su vez limita los usos potenciales de los bosques en sus diferentes etapas de crecimiento. En países del primer mundo, aprovechan las diferentes edades de la madera obtenidas durante el buen manejo forestal, diversificando los productos elaborados y aumentando los beneficios económicos.

En Guatemala la industria forestal no está a la vanguardia para ser competitiva a nivel internacional. Las deficiencias y falta de equipo especializado y moderno limitan a los productores y afectan la calidad del producto final, disminuyendo la confianza del cliente respecto a los productos elaborados a base de madera, especialmente el sector de construcción.

### **III. OBJETIVOS**

#### **A. GENERAL DE MEGAPROYECTO**

1. Análisis de información y herramientas necesarias para la industrialización de productos elaborados a base de madera de diferentes especies proporcionando un valor agregado en uso y viabilidad potencial.

#### **B. GENERAL DE MÓDULO**

1. Proporcionar un valor agregado de especies forestales a través de la determinación de sus propiedades, aprovechamientos e industrialización y utilización de los correctos procesos de la transformación de la madera.

#### **C. ESPECÍFICOS**

1. Evaluar las características físicas y mecánicas de las especies seleccionadas de madera disponibles en Guatemala en base a las estadísticas del INAB, con el fin de determinar su clasificación.
2. Realizar un análisis financiero sobre la viabilidad de implementar métodos no destructivos como innovación tecnológica y científica para promover el desarrollo de la industria, en contraste con la inversión que representan los métodos destructivos.
3. Realizar un análisis financiero para determinar la viabilidad de utilizar diámetros menores en la realización de muebles.
4. Desarrollar un catálogo de diseños realizados con diámetros menores para la industria de muebles de Guatemala para fomentar su elaboración.
5. Desarrollar el diseño de los procesos involucrados en la producción de casas de madera, así como detallar la distribución de la planta que permita entregar un producto de calidad al mercado (teniendo un especial cuidado en la materia prima, la madera).
6. Detallar la maquinaria involucrada a lo largo del proceso productivo de los paneles de madera y hacer un estudio de la viabilidad de la inversión, en términos de terreno y maquinaria, para poner en operación una planta de producción con las características mencionadas a lo largo del trabajo.

## **IV. METODOLOGÍA**

Se realizó un estudio a través de fuentes bibliográficas y páginas web para la obtención de la información en donde se recopila los datos inherentes al proyecto. Estos datos son utilizados para la correcta evaluación de megaproyecto. Se hicieron visitas a empresas y entrevistas a expertos en el sector forestal para conocer los procesos de transformación de la madera y la situación actual.

Para la elaboración de las pruebas físico-mecánicas se inició con la formación de muestras a evaluar, para así ser sometidas a diferentes cargas, con el fin de determinar sus propiedades. También se sometió distintas muestras de madera juvenil a las pruebas realizadas con madera adulta, para realizar una comparativa de propiedades con respecto a la especie adulta.

Se realizó un análisis de la industria de muebles del país para determinar posibles productos que pueden ser elaborados con madera juvenil procedente del buen manejo forestal. Se diseñaron los productos propuestos para contribuir a la diversidad ofertada. Se llevó a cabo un análisis financiero para determinar la viabilidad económica de implementar los diámetros menores en la industria.

Se procedió a realizar un estudio de la maquinaria a implementar en los diferentes procesos de la transformación de la madera con el fin de optimizarlos e innovarlos. Con la información recolectada se hizo una distribución óptima y un diseño de layout de una planta moderna para la industria del sector forestal. De igual manera se procedió a elaborar un análisis financiero para determinar la viabilidad económica de la implementación de la planta propuesta desarrollada en el presente informe.

Se llevaron a cabo análisis financieros para determinar la viabilidad económica de implementar métodos no destructivos para los estudios de propiedades de la madera con el fin de modernizar las prácticas actuales.

## **V. MARCO TEÓRICO**

### **A. Definición de madera estructural**

La Real Academia Española define la madera como la parte sólida de los árboles cubierta por la corteza, por lo que la madera aserrada en tamaños corrientes que se clasifica por simple vista a la misma o por su resistencia o uso previsto (Diccionario de Arquitectura y Construcción, 2011: pág. 11).

Camacho (1988) define la madera como el conjunto de elementos conductores endurecidos de los árboles: es una sustancia orgánica, compuesta principalmente de celulosa empaquetada en lignina y en una serie de compuestos llamados hemicelulosas, y su función biológica es la de sostén y transporte de agua y de sales minerales, desde la raíz hasta las hojas.

La madera es un material no homogéneo, con un comportamiento que no sigue la dirección que se desea analizar, ya sea perpendicular como paralela a las fibras. Resulta ser un material con propiedades físicas y mecánicas que dependen de la dirección del esfuerzo aplicado en relación con la orientación de las fibras que la constituyen, por lo que se consideran las direcciones principales, la paralela y la perpendicular a la fibra.

Se somete elementos de madera a cargas para determinar sus propiedades físico-mecánicas. Estas cargas pueden ser estáticas o dinámicas. En general, un trozo de madera no soporta las mismas cargas que otro trozo de madera de las mismas condiciones, debido a su peso, volumen, textura, en incluso por diferencia de especie. En Ingeniería las diferentes cargas que puede soportar un elemento de madera, puede definir sus usos y puede definir su comportamiento para sus diferentes aplicaciones.

### **B. Definiciones de propiedades físicas**

Las propiedades físicas abarcan todas aquellas características inherentes a la constitución de la madera que dependen, del crecimiento, edad, contenido de humedad clases de terreno y su ubicación en el tronco.

Propiedades organolépticas: Son aquellas que se determinan a través de la observación, la degustación, olfato, con finalidad de identificación, reconocimiento, y estos pueden ser a través de su olor, sabor, color, textura y grano.

- Olor: El olor de la madera, durante el corte, manejo y aserrado, hace posible detectar sustancias volátiles que se puedan encontrar dentro de la madera. El olor de la madera puede ser ausente o no distintivo, aromático o desagradable (Benítez y Montesinos, 1988).
- Sabor: Se encuentra el sabor como el efecto que producen algunas sustancias contenidas en las células de la madera en el sentido del gusto. Es posible que dentro de la madera puedan haber sustancias tóxicas. El sabor puede definirse como ausente o distintivo, amargo, dulce, salado. (Benítez y Montesinos, 1988).
- Color: La determinación del color de la madera se deberá referir a una escala específica, la cual se deberá realizar bajo el código Munsell. Este cuenta con
- Grano: Grano es la dirección o alineamiento que tienen en un plano longitudinal leñoso sus elementos constitutivos, ya sean las fibras y los vasos latifoliadas y las traqueidas en las coníferas. Principalmente se pueden ser:
  - Recto: cuando la dirección de los elementos es sensiblemente paralelo al eje del árbol. (Lima, 2004)
  - Oblicuo, cuando la dirección de los elementos se desvía de la dirección del eje del árbol, formando con él, ángulos agudos. (Lima, 2004)
  - Espiralado: cuando el hilo forma una espiral a través del eje. (Lima, 2004)
- Textura: Hace referencia al tamaño de los elementos constitutivos del leño, especialmente los parenquimáticos, vasculares, y fibrosos. Según Lima (2004) las texturas pueden ser:
  - Gruesa: elementos constitutivos amplios. Fibras con diámetro tangencial grande de más de 250 micras, radios leñosos grandes y parénquima grande.
  - Fina: elementos constitutivos pequeños. Fibras menores de 150 micras de diámetro tangencial.

- Homogénea uniforme: cuando los elementos constitutivos del leño son grandes o pequeños, y no presentan muchas variedades en la superficie.
- Heterogénea: Se presenta cuando las variaciones entre los elementos constitutivos de la madera son muy frecuentes y grandes.

**1. Contenido de humedad de la madera.** La madera es un elemento que contiene agua de constitución, además que posee la propiedad de ser inerte a su naturaleza orgánica. La madera posee la capacidad de absorber el agua por capilaridad por los vasos y traqueidas, además que los elementos leñosos se impregnan agua a las paredes debido al agua de saturación, por lo que hace la madera un material fácil de humidificar. Al ser la madera un elemento higroscópico, absorbe o desprende humedad. El agua libre desaparece parcial o totalmente después de un cierto tiempo, quedando únicamente el agua de constitución, es decir el agua que la conforma, además la madera absorbe o desprende humedad según el medio ambiente, por lo que el agua de saturación que corresponde a la humedad que pertenece a la humedad de la atmósfera que rodea la madera. (Pablo Paro, 2009)

La humedad varía entre límites muy amplios. La madera que es recién cortada oscila entre el 50 y 60 por ciento. La madera secada al aire puede llegar a contener del 10 al 15 por ciento de su masa en agua. (Paro, 2009).

La madera puede contener porcentaje de aire y agua bajo tres formas:

- Agua libre, llenando los espacios celulares.
- Agua higroscópica, que se localiza infiltrada en las paredes celulares.
- Agua de constitución, que forma parte de la estructura molecular. (Casasola, 1988)

El contenido de humedad (CH) en la madera puede ser definido como la cantidad de agua que contiene un trozo de madera, expresada como porcentaje de la masa de la pieza de madera en estado seco, pudiendo expresarse como:

$$CH = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100\%$$

La humedad en la madera se puede clasificar en diferentes grados:

- Madera verde: cuando la madera posee mayor al 30% de humedad.
- Madera semiseca: cuando la madera contiene alrededor de 23% a 30% de humedad.
- Madera comercialmente seca: cuando la humedad de la madera permanece en un rango de 18% y 22%.
- Madera seca al aire: cuando la humedad de la madera está entre 13 y 17%
- Humedad normal: se le llama así a la humedad media de la madera, cuyo porcentaje es de 15%.
- Humedad media internacional 15%
- Humedad media nacional 13%
- A partir del 30% de humedad no se modifican sus propiedades. (Rivera, 2008).

El punto de saturación de las fibras, hace referencia ante una primera etapa de la madera, en la cual la madera se encuentra con sus cavidades y paredes celulares llenas de agua; Al comenzar el proceso de pérdida de humedad, la madera entrega al ambiente el agua libre contenida en sus cavidades hasta alcanzar un contenido de humedad (CH) que oscila o se encuentra entre 25 – 35%, esto es independiente de las especies forestales. Este punto es conocido como el punto de saturación de las fibras (PSF).

Constituye el límite decisivo para el comportamiento de la madera:

- $CH > PSF$  única propiedad que se altera es el peso.
- $CH < PSF$  todas las propiedades físicas y mecánicas se alteran al variar el CH.

**GRADIENTE DE HUMEDAD:** Según Giuliano (2009), la porosidad de la madera es diferente o distinta según las especies y también según la dirección de la fibra, es decir, paralela o perpendicular. Para secciones mayores a 200 cm<sup>2</sup> se tienen dificultades para llegar a un equilibrio higroscópico rápido con el aire del ambiente. Esto produce un gradiente de humedad de afuera a adentro.

Como ventaja se tiene inercia higroscópica y como inconvenientes se puede tener mayor dificultad en el secado y sus desigualdades. Si el contenido de humedad es menos a punto de

saturación de las fibras, la variación del contenido de humedad produce una variación en el volumen de la madera:

- Si el contenido de humedad disminuye, el volumen disminuye.
- Si el contenido de humedad aumenta, el volumen aumenta.

**HUMEDADES SEGÚN USO:** Para las obras, la humedad que la madera debe tener debe ser de:

- Obras hidráulicas: 30% de humedad, además que deben poseer la capacidad de tener contacto con el agua.
- Túneles y galerías: de un 25 a un 30% de humedad, los cuales son para medios muy húmedos, sin embargo también poseer la capacidad de tener contacto con el agua.
- Andamios, encofrados y cimbras: 18% al 25% de humedad, estos deben ser expuestos a la humedad.
- En obras cubiertas abiertas: 16% a 20% de humedad.
- En obras cubiertas cerradas: 13% al 17% de humedad.
- En locales cerrados y calentados: 12% al 14% de humedad.
- En locales con calefacción continua: 10% al 12% de humedad.

**2. Densidad.** La densidad de la madera entre las diferentes especies es similar, sin embargo esta densidad puede estar sujeta a los diferentes tipos de maderas que existen el mundo, por lo que aproximadamente se mantiene una densidad de 1.56 kg /m<sup>3</sup> (aproximado). La densidad difiere tanto por especies, como por el grado de humedad y sitio del árbol, y para hallar las diferentes densidades promedio se hace por medio de probetas. (Pablo Paro, 2009)

La madera es un materias poroso, los cuales se pueden considerar o no al determinar el volumen de una probeta. El peso específico aparente =  $\text{Peso} / \text{Volumen aparente}$ . (Rivera, 2008).

Al eliminar el volumen aparente se eliminan los poros, de lo cual se obtiene:

$\text{Peso real} = \text{peso} / \text{volumen real}$

La madera, cuanto mejor sea, más cerca estará de los pesos, por ende deberá poseer mayor resistencia. Cuanto más separados están, peor es la resistencia. El peso específico aparente

varía mucho en función del contenido de humedad que pueda poseer el bloque o pedazo de madera que se desea manejar. (Rivera, 2008)

El carácter higroscópico de la madera la hace, que sufra variaciones tanto en masa como en volumen, ya que puede aumentar tanto peso como volumen, por lo que el peso específico varía en tamaño de celular, espesor de paredes, etc. (Lima, 2004).

**Cuadro No. 1: Clasificación de la madera según su peso específico**

Peso específico	Clasificación
Menor de 0.20	Extremadamente liviana
De 0.20 a 0.25	Excesivamente liviana
De 0.25 a .30	Muy liviana
De 0.30 a 0.36	Liviana
De 0.36 a 0.42	Moderadamente liviana
De 0.42 a 0.50	Moderadamente pesada
De 0.50 a 0.60	Pesada
De 0.60 a 0.72	Muy pesada
De 0.72 a 0.86	Excesivamente pesada
Mayor de 0.86	Extremadamente pesada

Lima (2004).

Es importante la densidad en procesos como el secado, ya que a medida que la madera es más densa, más agua contiene, y más energía y tiempo consumiría para la eliminación total o parcial (Hidalgo 2005).

La densidad específica de la madera, es la relación entre el peso seco  $P_o$  de la madera y el volumen  $V$  de la madera, cuando ésta tiene una humedad superior al punto de saturación de la fibra.

**3. Contracción e hinchamiento.** La madera tiene la capacidad de cambiar de volumen, por la cantidad de humedad que ésta pueda contener. Las variaciones de volumen al ser un material anisótropo varían.

La contracción se produce cuando la madera pierde agua, por lo que se dice que se contrae o merma, siendo la mínima dirección axial o de las fibras, no pasa del 0.8 por ciento, y de

1 a 1.78 por ciento, en dirección radial, y de 5 a 11.5 por ciento en la dirección tangencial (ingeniería-civil 2009, propiedades físicas, 2011)

El coeficiente de contracción volumétrica es la variación que corresponde a una variación de humedad de 1%, en donde:

$$U = \frac{(Vh - Va)}{(Va * h)} * 100$$

En donde Va = volumen 0 % (volumen anhidrido)

Vh = volumen h = x% (volumen con una h) (Rivera, 2008)

En función a este coeficiente se clasifican las maderas como:

- Maderas de débil contracción. U = 0.15 -0.35 % (estructuras)
- Maderas de contracción media. U = 0.35 – 0.55 %
- Maderas de fuerte contracción. U 0.55 -1%

La diferencia entre las contracciones radial y tangencias, es la consecuencia de los cambios de forma de la madera betal, es decir que depende la posición de la pieza del árbol del que se extrae. (Rivera, 2008)

Se conocen dos tipos de contracciones:

- Retracción: Es la falta de equilibrio entre la humedad de la madera y la del ambiente de manera que dicha retracción cesa cuando existe un equilibrio entre ambas.
- Dilatación: consiste en el aumento de volumen con el grado de humedad has el punto de saturación de la fibra, de aquí en adelante el volumen no cambia. (Lima, 2004)

### **Cuadro No. 2: Clasificación de la madera según el tipo de contracción**

Clasificación	Radial	Tangencial	Volumétrica
Muy baja	0-0	0-3.5	0-5.5
Baja	2.1-3.0	3.6-5.0	5.6-8.0
Mediana	3.1-4.0	5.1-6.5	8.1-10.5
Alta	4.1-5.0	6.5-8.0	10.6-13.0
Muy alta	>5.1	>8.1	>13.1

(Lima, 2004)

El hinchamiento se produce cuando la madera absorbe humedad. Al ser la madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido axial o de las fibras, y de un 2.5 al 6 por ciento en sentido perpendicular.

La deformación volumétrica total es la variación de volumen entre los estados saturado y seco. El punto de saturación es el contenido de humedad para el cual las paredes de las fibras han absorbido el máximo de agua, por ende, el punto de saturación coincide con el máximo volumen. El punto de saturación = 30% (Rivera, 2008).

**4. Relación Contracción Tangencial y Radial (CT/CR).** Es un índice de la estabilidad dimensional de la madera; al acercarse a uno, la madera es más estable y tiene mejor comportamiento durante el secado. Esta relación se puede ver clasificada en el cuadro siguiente.

**Cuadro No. 3: Clasificación de contracción**

Clasificación	CT / CR
Maderas estables que no se agrietan ni deforman	De 1 a 1.5
Estables, muy pocas grietas	De 1.51 a 2
Moderadamente estables, pocas grietas y deformaciones	De 2.1 a 2.5
Inestable, presencia de grietas	De 2.51 a 3
Muy inestable, fuertes grietas y deformaciones	Mayor de 3

### **C. Definición de propiedades mecánicas**

La resistencia de un material refiere a la capacidad de una estructura, de poder soportar cargas sin falla, lo cual puede ocurrir por la ruptura debida a un esfuerzo o a una deformación excesiva. La madera al contrario del acero o el concreto, es un material que posee características que varían mucho. La madera por ser un material que comienza vivo, adquiere individualidad, o una diferencia individual la cual hace que cada muestra, o trozo de madera sea diferente. La madera es un material anisotrópico, formado por un haz de tubos huecos con estructura diseñada para resistir tensiones paralelas a la fibra. Un árbol puede producir esta estructura tubular debido

a que es tremendamente eficaz para resistir los esfuerzos a los que va a estar sometido, el peso de las hojas, ramas, vientos, etc.

La variabilidad de las propiedades de la madera también está sujeta a la gran amplitud y gama de especies que existe actualmente, con características que difieren en color, peso, resistencia a la flexión y durabilidad. La madera presenta elevada resistencia a la flexión, además que también presenta buena capacidad a la tracción y compresión paralela a las fibras, una escasa resistencia al corte, y muy escasa resistencia a la tracción y compresión perpendicular a las fibras.

Las propiedades mecánicas pueden definirse como aquellas que tienen que ver específicamente con el comportamiento elástico o inelástico de un material bajo fuerzas aplicadas. De los diferentes factores que influyen las propiedades mecánicas de la madera están, la calidad de la madera, el contenido de humedad, y la duración de la carga.

Las propiedades mecánicas de los materiales son la resistencia, la rigidez, la elasticidad, la plasticidad y la capacidad energética. La resistencia de un material se mide por el valor del esfuerzo. Las principales condiciones que limitan o proponen criterios de la falla son la acción elástica y de ruptura. La rigidez tiene que ver con la magnitud de la deformación que ocurre bajo una carga. La elasticidad se refiere a la capacidad de un material, para deformarse no permanentemente al retirar el esfuerzo. (Lima, 2004).

En el campo de la Ingeniería, la mecánica abarca fundamentalmente las relaciones entre las fuerzas que actúan sobre un sólido indeformable. La resistencia de materiales se utiliza para el estudio de la distribución interna de esfuerzos que producen fuerzas externas aplicadas. Para ellos, se suele realizar un corte ideal en el sólido por una sección de exploración, buscando qué fuerzas deben actuar en dicha sección para mantener el equilibrio del cuerpo libre en cada una de las dos partes en que ha quedado dividido el cuerpo. El sistema de fuerzas internas equivale a una fuerza y un par resultantes que, por conveniencia, se descomponen según la normal y la tangente a la sección.

**1. Conceptos básicos.** Los conceptos fundamentales de la mecánica de los materiales son el esfuerzo y la deformación unitaria. Una barra prismática es un elemento estructural recto que tiene la misma sección transversal en toda su longitud y una fuerza axial es una carga dirigida a lo largo del eje del elemento, lo que resulta en esfuerzos de tensión o de compresión en la barra. (Gere, 2009).

Las condiciones de ensayo, hace referencia la condición del material en el momento del ensayo y condiciones ambientales, ya que éstas pueden afectar los resultados del ensayo. Las propiedades mecánicas de algunos materiales se ven afectadas por la cantidad de humedad que se pueda tener. Los ensayos de madera pueden hacerse en probetas en condición verde o atmosféricamente seca, pero el contenido de humedad en el momento del ensayo se determina. (Lima, 2004)

En un ensayo estático, la carga se aplica lentamente y la velocidad exacta de carga no es de interés debido a que no llega a afectar el comportamiento de la muestra de madera que se pueda tener. Sin embargo, en un ensayo dinámico es totalmente diferente, ya que la carga se aplica rápidamente. Ya que la naturaleza de una carga dinámica afecta las propiedades de los materiales de ensayo, se debe medir la velocidad de carga. (Gere, 2009).

Las fuerzas internas en una barra quedan expuestas si se le hace un corte imaginario por la barra en una sección. Esta sección se toma perpendicularmente al eje longitudinal de la barra, a la cual se le denomina sección transversal.

Esfuerzo: El esfuerzo se define como la intensidad de las fuerzas o componentes internas distribuidas que resisten un cambio en la forma de un cuerpo. El esfuerzo se mide en términos de fuerza por área unitaria. Las unidades comúnmente usadas para materiales estructurales son las libras por pulgada cuadrada. (Lima, 2004)

El esfuerzo tiene unidades de fuerza por unidad de área y se denota por la letra griega  $\sigma$ .

En general los esfuerzos que actúan sobre una superficie plana como la madera, pueden ser uniformes en toda el área o bien variar en intensidad de un punto a otro. (Gere, 2009).

Cuando los esfuerzos actúan sobre la sección transversal, están distribuidos uniformemente sobre el área, por lo que:

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

- Tensión: cuando una barra o sección de madera es estirada por fuerzas P, los esfuerzos son esfuerzos de tensión. La madera posee una elevada resistencia a la tensión paralela a las fibras.

- Compresión: cuando una barra o sección de madera se invierte la dirección de las fuerzas de estiramiento.
- Esfuerzo normal: son los esfuerzos que actúan en dirección perpendicular a la superficie cortada. Tanto los esfuerzos normales pueden ser de tensión o compresión. (Gere, 2009).

Una barra o bloque de madera cambiará su longitud al cargarla axialmente, haciéndose más larga en tensión o más corta en compresión. El alargamiento de la barra es el resultado acumulativo del alargamiento de todos los elementos del material en todo el volumen de la barra o pieza. En general, el alargamiento de un segmento es igual a su longitud dividida entre la longitud total  $L$  y multiplicada por el alargamiento  $\delta$ . A esto se le denomina deformación unitaria, la cual es el alargamiento por unidad de longitud. Según Gere (2009) la deformación unitaria puede estar dada por:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Donde  $\delta$  = alargamiento.

$L$  = longitud total

El término deformación indica un cambio de forma de un cuerpo, esto puede estar dado por un esfuerzo, al cambio térmico, al cambio de humedad, o cualquier causa física. En conjunción con el esfuerzo directo, la deformación usualmente es un cambio lineal.

Si el material se encuentra en tensión, la deformación unitaria es denominada como deformación unitaria por tensión, la cual representa un alargamiento o estiramiento de dicho material. Si el material se encuentra a compresión, la deformación unitaria es denominada deformación unitaria por compresión, y por ende, la barra se acorta. (Gere, 2009).

- a. Relación entre esfuerzo y deformación.** Después de realizar un ensayo de tensión o compresión y de determinar el esfuerzo y la deformación unitaria para varias magnitudes de la carga, se muestra la relación que existe entre el esfuerzo y la deformación. El diagrama esfuerzo-deformación unitaria es una característica del material particular que se ensaya y contiene información de las propiedades mecánicas del material, así como el tipo de comportamiento que pueda tener.
- b. Torsión.** Se puede decir que un cuerpo está sujeto en una sección a torsión simple, cuando la reducción de las fuerzas actuantes sobre éste, a un lado de la sección, da como resultado una cupla que queda contenida en el plano de la misma.
- c. Dureza.** La dureza de una madera es la capacidad de la madera de oponerse al desgaste, ralladura. Se entiende como durabilidad de un material, la persistencia a lo largo del tiempo de las características que lo validaron para su uso. La madera ofrece una resistencia opuesta a la penetración o rayado por un cuerpo exterior.

Existen aspectos muy relevantes encontrar en la madera en relación a su dureza, se encuentra mayor dureza en la madera vieja que en la madera juvenil, además que se encuentra mayor dureza en el duramen que en la albura. La madera presenta mucha más dureza en la sección transversal, que radial o tangencial.

**2. Módulo de elasticidad.** La deformación es el cambio fraccionario de longitud. La deformación resultante es proporcional al esfuerzo aplicado; es decir, deformación por esfuerzo. La constante de proporcionalidad, que depende de la naturaleza del material se denomina módulo de elasticidad. (Wilson, 2006)

$$\text{Esfuerzo} = \text{módulo de elasticidad} * \text{deformación}$$

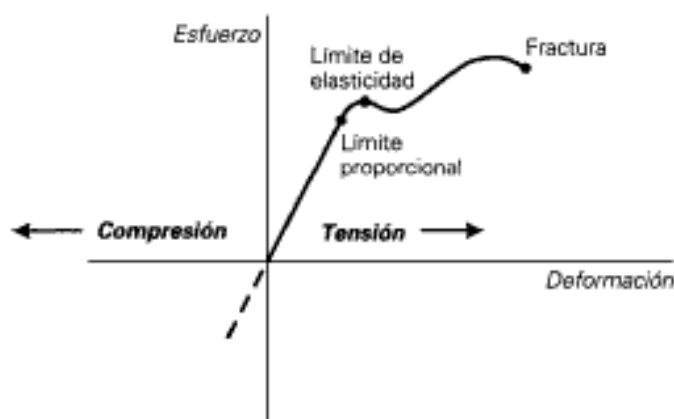
$$\text{Módulo de elasticidad} = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{deformacion}} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

En la siguiente gráfica, el esfuerzo de tensión contra la deformación para una varilla. La curva es una línea recta hasta un punto que se llama límite proporcional. Más allá de este punto, la deformación aumenta más rápidamente hasta llegar a otro punto crítico llamado límite de

elasticidad. Si la tensión se elimina en este punto, el material recuperará su longitud original. Si se aumenta la tensión más allá del límite de elasticidad y luego se retira, el material se recuperará hasta cierto punto, pero habrá cierta deformación permanente.

La parte de línea recta de la gráfica muestra una proporcionalidad directa entre esfuerzo y deformación.

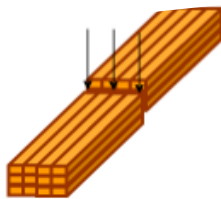
**Gráfico No. 1: Módulo de elasticidad**



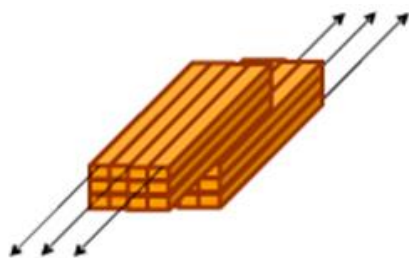
(Wilson, 2006)

**3. Módulos cortantes.** Los valores característicos de la resistencia cortante o por deslizamiento de la madera varían entre 17 y 30 kg/cm<sup>2</sup> en las especies y calidades utilizadas en la industria de la construcción. En la madera, dependiendo de la orientación que las fibras pueden tener en relación al esfuerzo, se pueden dar diferentes tipos de tensiones:

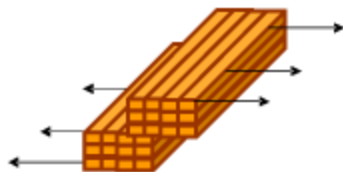
Tensiones tangenciales de cortadura: Las fibras son cortadas transversalmente por el esfuerzo que se genera. El fallo se produce por aplastamiento de las fibras. (Capuz Lladro, 2005)

**Gráfico No. 2: Corte**

Tensiones tangenciales de deslizamiento: el fallo se produce en el momento que se da el deslizamiento de una de las fibras con respecto a otras en dirección longitudinal. (Capuz Lladró, 2005)

**Gráfico No. 3: Deslizamiento**

Tensiones tangenciales de rodadura: el fallo se produce por rodadura de unas fibras sobre otras. (Capuz Lladró, 2005)

**Gráfico No. 4: Rodadura**

## D. Clasificación de la madera

Se pueden elaborar numerosas clasificaciones de la madera. La estructura de las diferentes clases de madera, logra determinar una diversidad de troncos. Entre esto se pueden determinar y distinguir distintos tipos de madera. Por lo general se refiere a las maderas como duras o blandas.

## 1. Especies más utilizadas por la industria.

- Pino (Pino maximinoi)
- Ciprés (Podocarpus spp)
- Caoba (Swietenia spp)
- Cedro (Cedrela spp)
- Palo Blanco (abebuia donnell-smithii Rose)
- Matilisguate (Tabebuia rosea)
- Chichipate (Acosmium panamense)
- Santa María (Calophyllum brasiliense Cambess)
- Conacaste (Enterolobium cyclocarpum)

## 2. Clasificación de las maderas y características generales. Las

maderas se clasifican en dos grandes grupos:

Resinosas o coníferas: Estas maderas son las procedentes de los árboles que pertenecen al grupo biológico de las gimnospermas. Este tipo de especies son más antiguas. De regiones frías y templadas. Las maderas resinosas son más utilizadas en carpintería de taller y de armas, debido a que presentan mejores propiedades de construcción por sus características de trabajo y resistencia mecánica. (Capuz Lladró, 2005)

Fronosas: son aquellas maderas propias de regiones y zonas templadas y tropicales. Son maderas más aptas para ebanistería, por su aspecto y calidad. Entre éstas se denominan tres clases principales:

- Duras
- Blandas (maderas porosas)
- Finas

(Capuz Lladró, 2005)

Maderas exóticas: son las mejores maderas mundiales y que admiten mejores acabados. (Capuz Lladró, 2005)

## **E. Normas American Section of the International Association for Testing (ASTM)**

Una norma ASTM es un documento desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de la organización, además cumple los requisitos de los procedimientos y regulaciones de ASTM, es decir, se obtiene un requisito del procedimiento para la elaboración de las muestras y protocolos de experimentos con la madera que se va a utilizar.

Las diferentes especies de madera son evaluadas por medio de sus propiedades físicas y mecánicas, a partir de pequeños especímenes. Existen grandes cantidades, y variedades de especies, así como existe una variabilidad del material, el cual cambia de condiciones por muchos factores. El protocolo de estandarización de los métodos de pequeños especímenes se divide en el método primario y en el método secundario.

El método primario se provee para especímenes de 2 por 2 pulgadas, es decir, 50 por 50 mm, de corte transversal. Este preciso tamaño, se utiliza de manera regular, por lo que la evaluación de varias propiedades físicas y mecánicas de diferentes especies de maderas ha sido determinada por este primer método. Las dimensiones de 50 por 50 mm, abarca una serie de anillos de crecimiento por lo que así influye de manera menos impactante, si son maderas juveniles o maderas maduras, o si es lo suficientemente largo el pedazo o trozo de madera para que sea considerado como una muestra representativa. Sin embargo se encuentran circunstancias en la cual las muestras deberán medir 25 por 25 mm.

Sin embargo cada experimento provee diferentes medidas para las muestras, debido a que cada experimento revela diferentes propiedades de la madera, por lo que el uso de las normas ASTM resulta importante para la estandarización de las mismas.

## F. Pruebas

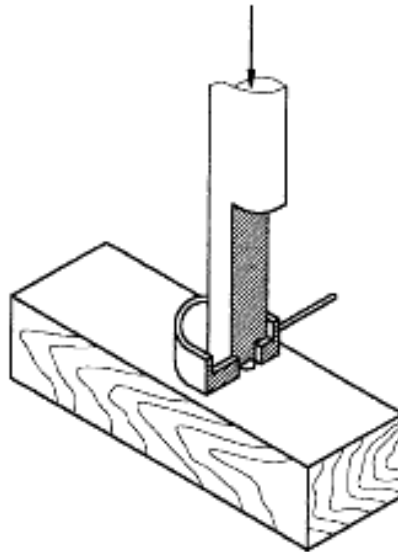
**1. Pruebas de dureza.** El ensayo de dureza establece las propiedades de resistencia que se determinan en la madera. El ensayo se aplica a probetas libres de defectos con un contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras (estado verde) y a probetas con un contenido de humedad de  $12 \pm 1\%$  (estado seco). El principio del método consiste en aplicar una carga continua, sobre las caras de la probeta con el propósito de penetrar en la madera una esfera de acero de 19 mm de diámetro, hasta la mitad de su respectivo diámetro. Las propiedades resistentes se deben expresar en newton (N).

La máquina de ensayo para deberá ser un aparato para la compresión con dispositivo para regular la velocidad de ensayo, además de un cabezal diseñado y asegurado a la cruceta superior móvil de la máquina.

Además del uso de un aparato para medir la humedad y la densidad de las probetas de madera.

Según las Normas ASTM 143-94 (2000) las probetas deberán ser paralelepípedos rectos de 20 x 20 x 280 mm, no deben presentar ningún tipo de falla ni defecto, debe presentar su eje longitudinal paralelo a la dirección de las fibras, con dos de sus caras opuestas paralelas a los anillos de crecimiento. A esto se procede a aplicar una carga en forma continua con una velocidad de cabezal de la máquina de 6mm/min, no variando más allá de un 25%. Con este método se aplican las cargas en los extremos y en las caras de la probeta de modo que se obtengan cuatro en dirección perpendicular a la fibra, y dos en dirección paralela a las fibras.

Tras realizar los ensayos de dureza se obtiene el valor de la dureza perpendicular,  $Q_p$ , mediante el promedio de los cuatro valores obtenidos para el conjunto de penetraciones que se efectúan en dirección perpendicular a las fibras de la madera, además se obtiene el valor de la dureza paralela,  $Q$ , mediante el promedio de los dos valores obtenidos en penetraciones efectuadas en dirección paralela a la fibra. (INN, 1999)

**Gráfico No. 5: Dispositivo de carga**

(INN, 1999)

**2. Pruebas de tensión.** El ensayo de tensión es principalmente utilizado para evaluar varias propiedades mecánicas de los materiales, importante para la evaluación de la capacidad de resistencia.

En este ensayo la muestra se deforma usualmente hasta la fractura incrementando gradualmente la tensión que se aplica uniaxialmente a lo largo del eje longitudinal de la muestra. Durante la tensión, la deformación de la muestra se concentra en la región central más estrecha, la cual tiene una sección transversal uniforme a lo largo de su longitud. La muestra debe sostenerse en la máquina que aplicará la tensión, por medio de mordazas o soportes que a su vez someten la muestra a tensión a una velocidad constante. La máquina mide la carga que es aplicada a la muestra, así como la elongación resultante. (Aguilar, 2009)

Se deberá tomar registro de los resultados o datos de la fuerza que es aplicada a cada muestra o en cada ensayo, así como la deformación que se puede obtener a partir de la señal de un extensiómetro. Con los datos obtenidos, se procede a elaborar una gráfica de tensión – deformación. (Aguilar, 2009)

Se denomina como límite elástico a la tensión a la cual un material muestra deformación plástica significativa. El límite elástico también es denominado como esfuerzo de fluencia convencional. Para la obtención del límite elástico se dibuja una línea paralela a la parte elástica de la gráfica tensión – deformación a una deformación de 0.002 m/m o pulga/pulga. (Prof. Yesid Aguilar, 2009)

Se denomina como resistencia máxima a la tensión a la tensión máxima alcanzada en la curva de tensión - deformación.

La tensión real se calcula dividiendo la fuerza aplicada F sobre una muestra a la que se aplica un ensayo de tensión por el área inicial. Durante el ensayo de tensión, después de que ocurra el estrangulamiento de la muestra, la tensión decrece al aumentar la de formación, llegando a una tensión máxima en la curva de tensión – deformación.

Se define como:

$$Tensión\ real = \frac{F}{A}$$

Donde F= fuerza aplicada sobre la muestra

A = área inicial

**3. Pruebas de compresión.** En la compresión, debido a que la fuerza solicitante puede actuar en diferentes direcciones, es necesario especificar el ángulo que se deberá direccionar la fuerza en relación a las fibras.

La madera posee una elevada resistencia a la compresión ya sea por compresión paralela o compresión perpendicular. En las propiedades mecánicas a partir de un contenido de humedad del 30% (punto de saturación), la resistencia a compresión permanece constante, mientras que si esta decrece, la resistencia aumenta, igualmente influye la densidad, ya que se debe tomar en cuenta, que esta es diferente de una especie a otra y en distintas piezas de una misma especie.

La prueba se realiza mediante la aplicación de un esfuerzo axial a una muestra de madera.

**4. Pruebas de impacto.** Durante las pruebas de impacto, las normas ASTM 143-96 (2000) indican probetas que deberán ser paralelepípedos rectos de 50 x 50 x 760 mm, los

cuales no deben presentar ningún tipo de falla ni defecto. Se usará el centro de carga a una distancia de 710 mm.

La colocación del crecimiento de anillos en la madera se dará de manera que la muestra reciba la carga a través del bloque de apoyo a la superficie tangencial más cercana a la médula. La prueba se hará en forma de gotas de incremento en una máquina de impacto. La primera caída será de 25 mm, después se aumentará las caídas por 25 mm en incrementos hasta una altura de 250 mm, a continuación se incrementara de 50 mm hasta la completa falla de la madera o a partir de una desviación de 150 mm.

El peso del martillo deberá ser de 50 lbf, y deberá ser utilizado hasta la capacidad de caídas de la máquina.

**5. Tracción paralela a la fibra.** El ensayo de tracción paralela a la fibra, establece las propiedades resistentes de la tensión en la madera en dirección paralela a la fibra. Este ensayo se aplica a probetas libres de defectos con contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras, como a probetas cuyo contenido de humedad es del  $12\% \pm 1\%$ .

Las probetas deben ser medidas y dar forma según la figura:

**Gráfico No. 6: Tensión**

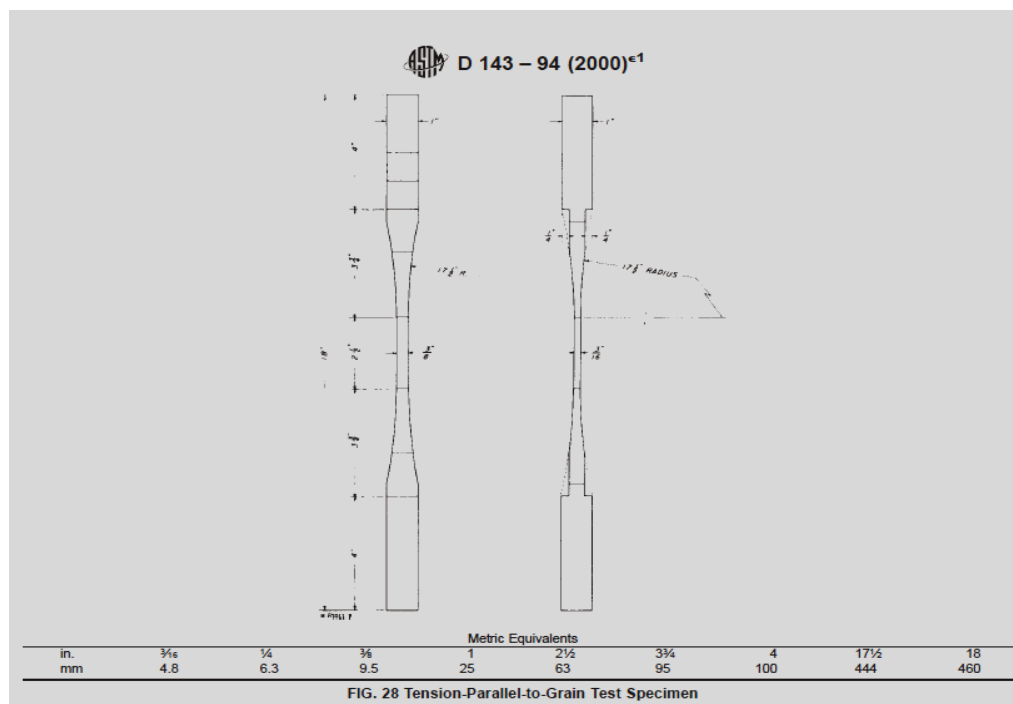


Figura obtenida por normas ASTM 143-94 (2000)

La probeta deberá ser orientada para que la dirección de los anillos anuales, de la sección crítica en los extremos de las muestras, sea perpendicular a la dimensión mayor transversal.

El procedimiento consiste en fijar la muestra en agarres especiales. La deformación se medirá en 50 mm, la longitud del indicador central en todas las muestras. Se deberá tomar lecturas de extensión de carga hasta donde el límite proporcional se pasa.

**6. Compresión paralela a la fibra.** El ensayo de compresión paralela establece las propiedades resistentes de la madera en dirección paralela a la fibra. Se aplica a probetas libres de defectos con un contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras, estado verde, y a probetas con un contenido de humedad de  $12 \pm 1\%$  (estado seco). El módulo de elasticidad, es decir la medida de la resistencia a la deformación axial de la probeta de ensayo cuando se somete a una carga de dirección paralela a la fibra de la madera, se determina por medio de la zona lineal del gráfico carga-deformación por debajo del límite de proporcionalidad.

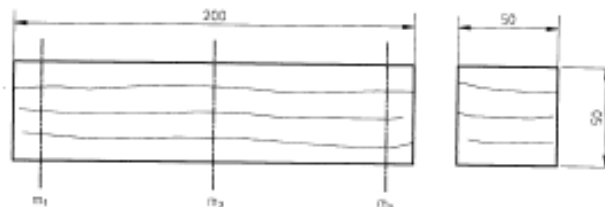
Se denomina tensión máxima o de rotura a la carga máxima por unidad de superficie, soportada por la probeta al momento de aplicar una carga de compresión, en dirección paralela a las fibras. Las tensiones y los módulos deben ser expresados en Mega pascales (MPa).

El método se basa en aplicar sobre una sección transversal externa de la probeta, una carga continua en dirección paralela a las fibras, por lo que se miden las deformaciones que se producen por la aplicación de la carga adicionada hasta llegar al punto de fallo de la probeta.

Las probetas deben ser paralelepípedos de 50 x 50 x 200 mm medidos con una precisión de  $\pm 0.3\%$ , los cuales no deben presentar fallas ni defectos, además las secciones transversales extremas de la probeta deben ser paralelas entre si y perpendiculares a su eje longitudinal, según las normas ASTM 143-94 (2000).

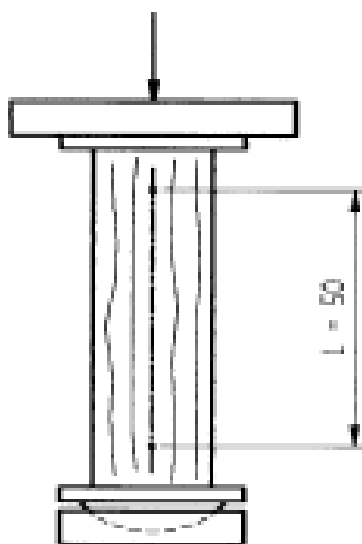
La carga debe ser aplicada continuamente durante la prueba, con una tasa de movimiento de cruceta móvil de 0.003 pulg/pulg.

**Gráfico No. 7: Probeta de compresión paralela**



(INN, 1999)

**Gráfico No. 8: Ensayo de compresión paralela a la fibra.**

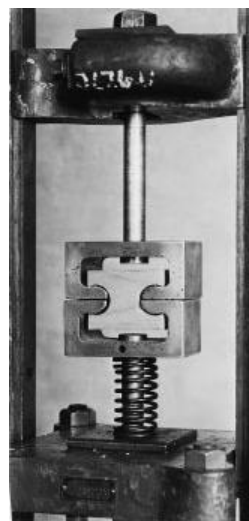


(INN, 1999)

**7. Tracción perpendicular a la fibra.** La madera es un material que posee una baja resistencia a la tracción perpendicular a las fibras. Se debe a que la escasa cantidad de fibras que la madera posee en esa dirección presentan baja resistencia.

El ensayo de tracción perpendicular a la fibra, establece las propiedades resistentes de la tensión en la madera en dirección perpendicular a las probetas. Este ensayo se aplica a probetas libres de defectos con contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras, como a probetas cuyo contenido de humedad es del  $12\% \pm 1\%$ .

**Gráfico No. 9: Tensión perpendicular**



Se deberá aplicar una carga continua durante toda la prueba de 2.5mm por minuto.

Una de las piezas de los ensayos después de fallar deberá ser utilizada como muestra para la medición de la humedad.

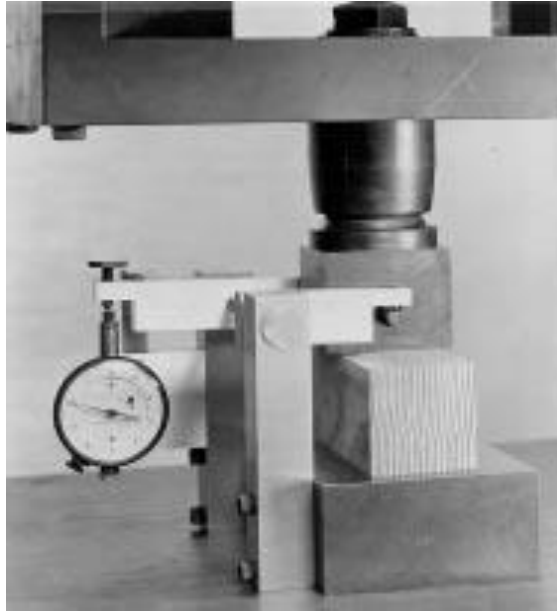
**8. Compresión perpendicular a la fibra.** El ensayo de compresión perpendicular a las fibras, establece las propiedades resistentes de la madera, sometidas a compresión perpendicular. Se debe aplicar a probetas libres de defectos con un contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras (estado verde) y a las probetas con un contenido de humedad de  $12 \pm 1\%$  (estado seco). El límite de proporcionalidad se muestra en un punto del gráfico carga deformación, en el cual la curva se desvía de la línea recta inicial. La tensión máxima o de rotura es la carga máxima por unidad de superficie soportada por la probeta, al momento de aplicar una carga de compresión de dirección perpendicular a las fibras de la madera. Expresado en Mega pascales (MPa).

Se basa en aplicar, sobre una cara radial de la probeta, una carga continua en dirección perpendicular de la cara, midiendo así, deformaciones producidas por la aplicación de la carga hasta llegar a un punto de falla en la misma probeta, es decir, su deformación máxima.

Las normas ASTM establecen que las probetas deberán ser paralelepípedos rectos de 50 x 50 x 150 mm con una precisión de  $\pm 0.3\%$ . No deberán presentar alguna falla o defecto, además

que la probeta deberá tener su eje longitudinal paralelo a la dirección de la fibra con dos caras paralelas a los anillos de crecimiento.

**Gráfico No. 10: Compresión perpendicular, ASTM 143-94 (2000)**



**9. Flexión.** La madera contiene propiedades mecánicas que son de mayor interés en el comportamiento estructural, en donde se encuentran la resistencia a la compresión, la resistencia al corte y la resistencia a la flexión de la cual presenta una elevada resistencia comparada con su densidad.

Se origina la flexión por un momento flector que produce en la pieza tensiones de compresión y de tracción paralela a las fibras, por lo que el producto resultante son valores máximos en las fibras extremas. Su comportamiento es debido a la combinación del comportamiento a compresión y a tracción paralela de la madera.

En la madera se debe mencionar, la importancia de la resistencia a la flexión, debido a que al producir un bloque de madera traccionado y otro comprimido, el comportamiento mecánico de ambas propiedades es muy diferente.

Cuando un elemento estructural trabaja a flexión, las fibras superiores están trabajando a compresión y las fibras inferiores a tracción, ya que así se transmiten la carga a los apoyos. Debido a que las diferentes cargas se aplican en los extremos de las piezas de madera, en la zona media no se producirá ningún tipo de esfuerzo, ya sea de compresión ni de tracción. Es una zona

en la que estos esfuerzos tienen un valor prácticamente de cero, en la cual aparece el esfuerzo de corte.

La rotura por flexión podría producirse por los siguientes efectos:

- Aplastamiento de la madera en la zona superior, debido a fuerzas de compresión.
- Rotura de la madera en la zona inferior, debido a las tracciones.
- Por efecto de deslizamiento entre las capas horizontales, debido al esfuerzo tangencial.

(Capuz Lladró, 2005)

**10. Nudos.** Los nudos en la madera, son áreas del tronco donde ha nacido la base de una rama. Cuando esta se corta en planchas, los nudos son discontinuidades o irregularidades circulares que aparecen en las vetas de las planchas de madera. Según su naturaleza, dimensión y aspecto se puede clasificar de manera:

- Estado: es posible que el nudo sea sano y adherente, o por aparte, se encuentre muerto y podrido. Los nudos que se encuentran sanos no presentan ningún problema siempre que no estén situados en una unión o sobre una cara vista. Los nudos podridos o muertos se desprenden de las planchas de madera y favorecen la aparición de orificios, provocando problemas en la madera.
- Tamaño: cuando su diámetro mide menos de 5 mm se le denomina ojo de perdiz, cuando se encuentran entre 5mm y 15 mm es denominado como pequeño. A partir de los 20mm, el nudo es clasificado como mediano. Es grande si mide cerca de 40mm.
- Forma: La manera por la cual es cortada la madera determina la morfología del nudo. Si el corte es radial, adopta forma de espiga; si se hizo de manera tangencial, será redonda. Si se corta en una posición intermedia, será oval.

Los nudos son más frecuentes en maderas resinosas. (Fundación Eroski, 2010)

**11. Extracción de clavo.** Los clavos usados para la extracción deberán ser de 2.5 mm, de punta de diamante, los cuales deberán ser penetrados en ángulos de 90 grados, y con un total de penetración de 32mm. Dos clavos deberán ser introducidos en la superficie radial, dos en la superficie tangencial y dos en la superficie axial. Los clavos deberán ser introducidos a distancia suficiente de las esquinas.

Se deberán extraer seis clavos de una muestra con una carga continua. Las muestras deberán ser pesadas inmediatamente después de elaborar la prueba.

**12. Pruebas no destructivas.** Las pruebas no destructivas combinan parámetros de propagación de ondas para hacer diagnósticos en la madera. Se mide la propagación de ondas ultrasónicas (en m/sg) y de ondas acústicas (en mV) para obtener una aproximación de las propiedades mecánicas, estabilidad y saneamiento de un material.

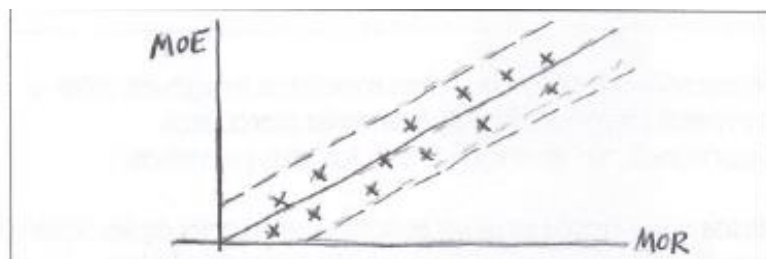
Se define la velocidad de propagación mediante la siguiente fórmula:

$$V = \sqrt{\frac{\text{Módulo de elasticidad (MOE)}}{\text{Densidad}}}$$

La densidad es el parámetro introducido mediante el uso de un medidor de densidades de materiales, por lo que se puede deducir el módulo de elasticidad que permite obtener datos de las propiedades mecánicas de la madera.

La madera debe ser clasificada según su módulo de elasticidad (MOE), que indica la capacidad de la madera de flexionarse, y el módulo de ruptura (MOR) que indica el grado de flexión de quiebra en la madera. El módulo de ruptura (en N/mm<sup>2</sup>) mide la curvatura o flexión de una viga antes de que ésta se rompa y así permite su clasificación.

**Gráfico No. 11: Módulo de elasticidad vs módulo de ruptura.**



Fuente: Sylvatest. Documentación de curso Saint Sulpice. 2005

La madera es un material altamente heterogénea, debido a las singularidades que presenta, es decir, nudos, grietas, flexiones etc. Para determinar la calidad de una viga, no sólo se debe medir la velocidad de propagación, sino también se deben medir los picos de energía que transmite la onda, así la detección de los nudos y grietas es mucho más clara.

Se deberá medir el total de energía generada a través de los picos o crestas, gráfica y numéricamente, los grandes picos de energía representan singularidades y los pequeños indican discontinuidades, singularidades o posibilidades de ruptura. Queda claro que a cuanto más se aproxima a cero el pico de energía más posible será la ruptura de la madera.

Las aplicaciones del aparato pueden variar sin embargo para efectos de las propiedades mecánicas de la madera se realiza un tipo de medida longitudinal, en donde se calcula el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura. Los parámetros medidos son de velocidad, los cuales se representan en  $\mu\text{s}$ , en donde los datos a introducir serán la distancia entre los transductores, el contenido de humedad y especie de árbol que se medirá.

Otra aplicación que se tiene con el aparato es la obtención de datos o medidas comparativas en un mismo material, que es un tipo de medida longitudinal o transversal dependiendo siempre de la aplicación que éste pueda tener. Se calcula la localización de singularidades en la madera (nudos, grietas), mediante picos de energía, los cuales son los parámetros a medir, introduciendo únicamente la distancia entre transductores.

Existen diferentes factores que pueden variar las mediciones, entre estos esta el factor de humedad. El contenido de humedad de la madera puede variar entre 0 y 200 por ciento, ya que puede duplicar por las diferencias de densidad de la madera y el agua. El punto de inflexión será el punto de saturación de la fibra, es decir, el porcentaje de saturación de la fibra debe estar entre 0 y 30 por ciento, ya que las moléculas de agua se integran en la celulosa, sin embargo con un porcentaje superior al 30 por ciento, las moléculas de agua están liberadas, por lo que son madera húmeda o árboles vivos, en los que el porcentaje de saturación es superior al 100 por ciento. En troncos y vigas se debe trabajar con porcentajes debajo de 30%, en ésta área la velocidad de propagación varía debido a la porosidad de la madera. (Sylvatest, 2005).

**a. Medida de las propiedades mecánicas de la madera.** Para realizar las medidas de un ensayo, se debe introducir el parámetro de humedad, que deberá encontrarse entre el 0 y el 30%. Este parámetro deberá ser determinado por medio de un medidor de humedad, el cual es un penetrómetro de dos puntas que calcula el porcentaje de humedad que se encuentra en la madera. Al introducir este parámetro se debe tomar los porcentajes de humedad en diferentes puntos de la viga, con el fin de tener un primer diagnóstico visual, además de tener un promedio de la viga. Una diferencia abrupta de humedad en diferentes partes de la viga puede suponer riesgo de corrosión o podredumbre.

Determinada la humedad de la viga o tronco a medir, se deberá determinar la distancia entre los puntos en los cuales se aplicarán los transductores. Cada cable de transductor deberá medir 3 metros, con lo que la distancia total a medir, puede abarcar hasta los 6 metros. La distancia mínima entre transductores debe ser de 1 metro.

Según Sylvatest (2005), la medición longitudinal de la muestra podrá hacerse de manera directa o indirecta, esto depende mucho de la muestra que se vaya a medir. En los casos en los que no sea posible medir sobre los extremos de la viga o tronco, o en sus alrededores, se deberá medir la distancia más larga posible sobre el área crítica de peso y curvatura. Para medidas indirectas, es necesario agujerear con un taladro para introducir en la madera el cono del transductor. Contrario de las medidas indirectas, las medidas directas no necesitan de agujerear, pero se deberá aplicar una presión similar y suficiente de los transductores de ambos lados de la viga.

**Gráfico No. 12: Medición longitudinal**



(Sylvatest, 2005)

**b. Ruidos y alteraciones.** Los valores obtenidos mediante la utilización del aparato ultrasónico, son a partir de una serie de 5 golpes, en la cual se obtiene o realiza una media, dando resultados en microsegundos. Debido a la sensibilidad de los transductores, es importante realizar los ensayos evitando grandes golpes o vibraciones externas en la muestra, e incluso ruidos. Se deberá realizar la prueba en condiciones de ausencia de vibración, ya que una vibración o sonido, desvirtúa los resultados y por ende, se obtiene un error de lectura. Es importante realizar nuevamente los ensayos, en caso de obtener una desviación estándar muy alta, ya que esto puede resultar la obtención de errores en los resultados debido a una vibración que pudo tener la muestra.

En general, los transductores deben sujetarse solos dentro del agujero, en los casos en que se agujerea, el taladro deberá ser ajustado y suficientemente profundo. En el caso de acoplamiento se deberá cuidar de no usar algún tipo de adherencia y de hacer suficiente presión sobre ambos transductores.

*c. Análisis en árbol vivo.* El sistema no destructivo ofrece la ventaja de analizar las diferentes especies de madera, incluso cuando el árbol se encuentra en pie, por lo que las propiedades mecánicas pueden ser sujetados los transductores directamente en la corteza, llevando así a determinar la calidad interna, podredumbre y riesgos de peligrosidad que pueda tener el árbol.

Esta aplicación de método, sirve para especies vivas entre 50 y 100 cm de diámetro. Es necesario agujerear para la introducción de los transductores, esto se hace para evitar la corteza.

Mediante la realización de medidas enfrentadas 90° entre sí, se obtienen dos porcentajes que ayudan a entender cómo se desarrolla la descomposición interna del árbol. Si los datos obtenidos son similares, demuestra que se encuentran en crecimiento redondo, de lo contrario muestran síntomas de podredumbre.

*d. Propiedades límite de la madera.* Es la propiedad de separar la madera por cortes en sentido de sus fibras, paralelos al eje del tronco. Es más fácil según los radios medulares y cuando es más dura.

## **G. Clasificación de la madera**

El criterio aceptado para definir la resistencia de la madera, es la resistencia del percentil 5% donde, las piezas más débiles representan el valor de la totalidad. Por lo que en consecuencia, mientras más material es variable, peor será su rendimiento, pues el percentil de 5% estará constituido por las peores piezas.

Según Ing. Roberto Godo (2012) “en ausencia de información previa o de otros datos más precisos, se adoptará como valor característico el percentil del 5%, suponiendo una distribución normal:

$$R_{k,est} = mR - k \sigma \cdot \sigma R \quad [N/mm^2]$$

De donde:

$mR$       valor medio de la muestra

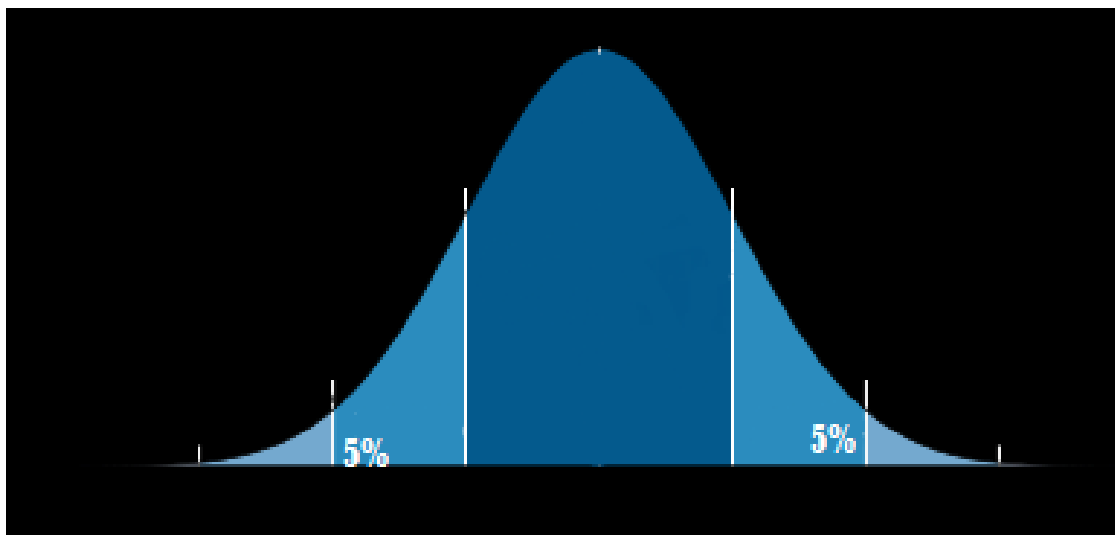
$\sigma R$       desviación típica de la muestra, se estimará a partir de los resultados experimentales

$k\sigma$  coeficiente que depende del tamaño de la muestra (número de ensayos, n).”

**Cuadro No. 4: Normalización**

	Numero de ensayos n								
<b>Desviación típica</b>	3	4	6	8	10	20	30	100	Infinito
<b>Desconocida</b>	3.15	2.68	2.34	2.19	2.10	1.93	1.87	1.76	1.64
<b>Previamente conocida</b>	2.03	1.98	1.92	1.88	1.86	1.79	1.77	1.64	

**Gráfico No. 13: Campana de Gauss, percentil 5%**



## H. Diámetros menores

**1. ¿Qué son diámetros menores?** Los diámetros menores son también conocidos como madera juvenil. Ésta es la que se produce durante las técnicas de raleo y es madera de 5 a 20 anillos con un grosor de 8-20cm. (Robles, 2007). La madera juvenil se encuentra en la clasificación C2 de la clase de desarrollo según el INAB (Instituto Nacional de

Bosques). A continuación se presenta un cuadro en el que se pueden observar las diferentes clasificaciones:

**Cuadro No. 5: Guía para identificación de clases de desarrollo**

Código	Clase de desarrollo	Definición	Edad (años)	DAP (cm)	Altura (m)
C0	Regeneración no adecuada	La densidad de plantas no es suficiente para asegurar la regeneración del sitio. También pueden ocupar el sitio algunos árboles semilleros.			
C1	Regeneración adecuada	Son rodales con densidad aceptable (mayor de 950 plantas/hectárea). Generalmente no se pueden extraer productos comerciales. Pueden haber algunos semilleros (no más de 2m <sup>2</sup> /há).			
C2	Bosques jóvenes	Son bosques jóvenes que están en el período del primer raleo; es posible extraer productos como trocilla y leña.	5 – 15*	5 – 15*	5 – 15*
C3	Bosques medianos	Son bosques de edad media; en el raleo se pueden obtener algunas trozas, también trocilla y leña.	15 – 30*	15 – 25*	15 – 20*
C4	Bosques maduros	Son rodales de densidad variada con árboles maduros y de volumen alto. El objetivo del próximo tratamiento es la regeneración del sitio.	+ 30*	+ 25*	+ 20*
C5	Bosques tratados para la regeneración	Son rodales cortados y tratados con el objetivo de la regeneración natural. La densidad de los semilleros es normalmente entre 15 - 30 árboles/há.			
C6	Bosques de baja productividad	La productividad del bosque es baja o ha bajado notablemente, debido a: La densidad es muy baja, hay muchas áreas abiertas del rodal, la edad de los árboles es muy avanzada, la especie es de poco valor, el bosque ha sido destruido por incendios, el viento o insectos.			
*	Los datos que aparecen en las columnas de edad, DAP y altura son valores promedio para el género Pinus. (INAB 2001).				

**2. Diámetros menores en el mundo.** A diferencia de Guatemala, en el mundo se busca utilizar los diámetros menores como material con un atractivo económico y además de ser utilizados, se contribuye a disminuir el impacto ecológico que genera la obtención de ellos.

Actualmente se está mejorando el aspecto económico de utilizar diámetros menores. Diferentes organizaciones tienen programas para adecuar la economía actual con la tecnología existente, así como las nuevas tecnologías que puedan mejorar la economía. A continuación se presentan una serie de usos potenciales para los diámetros menores bajo investigación en diferentes partes del mundo: (Madison, W. 2001).

- Madera blanda dimensionada o no dimensionada.
- Diseños de productos de madera.
- Madera laminada.
- Estructuras de madera en rollo.
- Compuestos de madera.
- Fibras de madera de compuestos plásticos.
- Productos de fibra de madera.
- Fichas de celulosa.
- Compost.
- Energía. (Madison, W. 2001).

Durante los últimos siete años, ha habido un aumento en la actividad para explorar y evaluar el potencial de los diámetros menores a través de universidades, instituciones federales de investigación, grupos sin fines de lucro, comunidades rurales e investigadores individuales. (Madison, W. 2001).

La producción de diseños a base de madera ha ido incrementando en los últimos años, con una aceptación en el mercado alta. La razón primaria es la abundancia de madera del segundo y tercer crecimiento, así como la utilización de especies que antes no se consideraban comerciales. En la actualidad, dado que la madera adulta escasea, fibras de bajo costo están siendo colocadas en productos de ingeniería de alta duración. (Madison, W. 2001).

La madera laminada o Glulam en inglés (glued-laminated) se visualiza como un atractivo producto para utilizar diámetros menores. La razón de esto radica en que la madera de alta calidad sólo es necesaria en el exterior, por lo que el núcleo puede ser de madera de menor calidad. A través de pruebas no destructivas, se ha determinado la capacidad de carga y los esfuerzos que pueden soportar las vigas de madera laminada utilizando diámetros menores. Se ha mejorado los diseños de estas vigas para que puedan utilizarse a futuro como un elemento estructural. (Madison, W. 2001).

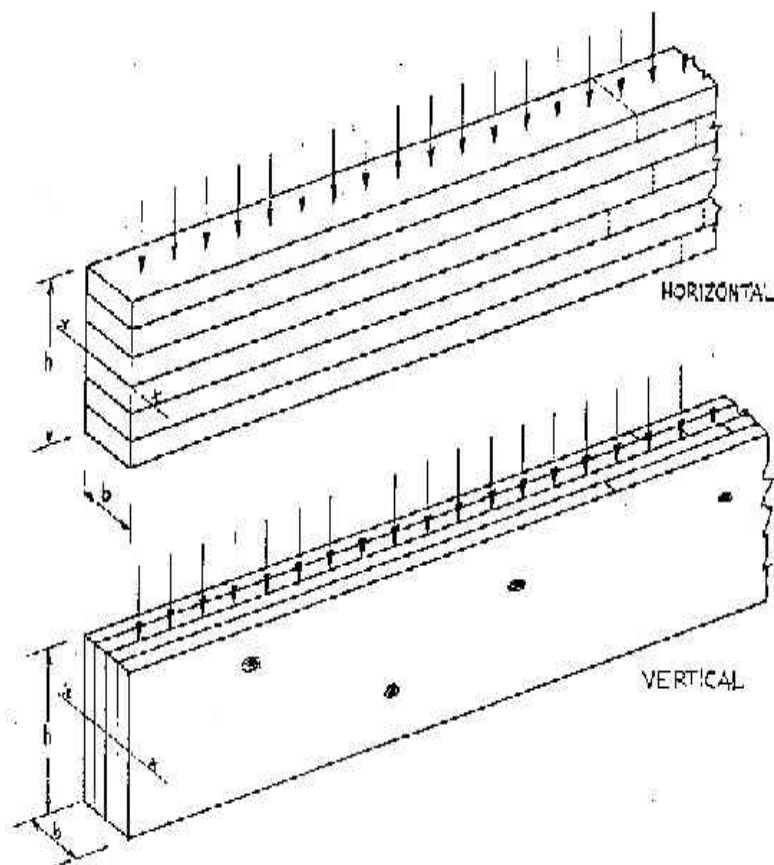
Como un elemento estructural, las aplicaciones para los diámetros menores han aumentado, como armaduras de madera en rollo, elementos viga-columna para postes y marcos de sistemas de construcción, bases apiladas para estructuras residenciales, etc. Ciertas ventajas de utilizar madera juvenil como elemento estructural son:

- Menos susceptible a la deformación. Dimensionalmente más estable, y más fuerte que la mayor parte de la madera aserrada que se obtendría de ellos.
- La conicidad natural los hace adecuados para utilizarlos en aplicaciones de columnas.
- Costos de procesamiento bajos. (Madison, W. 2001).

Muchas comunidades locales trabajan con agencias forestales con el objetivo de crear asociaciones efectivas. Cambios sociales y avances tecnológicos están ayudando a abrir puertas a las comunidades para el desarrollo de empresas rurales que utilicen y den un valor agregado a los diámetros menores. De esta manera, se crean nuevas fuentes de trabajo y la diversidad económica para comunidades basadas en productos forestales aumentará. (Madison, W. 2001).

**a. Madera laminada encolada.** Se refiere a láminas de madera (generalmente no mayor a 50 mm ni menores a 19 mm), las cuáles son unidas por medio de un adhesivo el cuál provee de la suficiente resistencia para garantizar su amplia resistencia. Se dice que la laminación puede ser tanto vertical como horizontal como se puede apreciar en la imagen (Somoza Veiga, Luis).

**Gráfico No. 14: Representación madera laminada encolada**



*Universidad de Santiago de Chile*

[http://web.usach.cl/~lab\\_made/MAderaLaminada1.htm](http://web.usach.cl/~lab_made/MAderaLaminada1.htm)

Como se mencionó antes la madera laminada encolada tiene muchas aplicaciones, entre otras se puede nombrar: Grandes luces (30 a 70m) en edificios o demás estructuras grandes, estructuras de cubierta de peso propio reducido, estructuras en las que se pretende dar una imagen estética muy peculiar o adornos que tienen mucho detalle, estructuras con necesidad de ser altamente resistentes al fuego, estructuras resistentes a agentes químicos agresivos, estructuras de difícil mantenimiento, estructuras curvas, etc.

La aplicación y uso de la madera laminada encolada puede favorecer en algunos casos y ser perjudicial en otros, estos aspectos se pueden apreciar a continuación en el siguiente cuadro comparativo:

**Cuadro No. 6: Ventajas y desventajas madera encolada laminada**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Debido a su amplia resistencia y proceso de producción se presta para la fabricación de estructuras o luces bastante largas	Más costosa que madera sin laminar
Ya que las láminas (individuales), no son rígidas, éstas son fáciles de manipular y moldear para darle la forma requerida, por lo que se presta para realizar diseños peculiares de bella apariencia estética.	En el proceso de fabricación se da muchas pérdidas de materia prima
Debido a su peso son fáciles de transportar y ya que son prefabricadas, son fáciles de elevar a grandes alturas para colocar dentro de una estructura ya establecida.	Sí se aplica industrialmente se necesita equipo moderno y caro.
Ya que en el sector industrial se cuenta con hornos de secado bastante avanzados, éstos reducen la posibilidad de deformaciones en la estructura.	Cuando la estructura realizada es muy grande su transporte se vuelve un problema
Debido al grado de industrialización necesario para su operación, esto garantiza la calidad en el producto final.	El adhesivo a utilizar dependerá del lugar en donde se colocará la estructura
Su producción se presta para producción industrial así como para elaborar productos prefabricados	
Se tiene alta resistencia al fuego	
Fácil de realizar cambios en la estructura una vez ésta ya fue colocada y se encuentra en uso	

**3. Corta anual permisible (CAP).** El concepto de corta anual expresa numéricamente la capacidad productiva del bosque. Es una herramienta que evita la tala excesiva y garantiza el uso futuro del bosque.

Se refiere al volumen con corteza que puede extraerse anualmente y se rige por dos principios:

- **Incremento anual (con corteza) del bosque durante el período del plan de manejo:** Como regla general, no se debe cortar más volumen del que crece el bosque, por lo que la corta permisible es igual al incremento anual.
- **La estructura actual del bosque:** Si el más del 50% de la cobertura total es bosque maduro, se permite aumentar la corta anual en un 20%. Si más del 70% es bosque joven y mediano, se permite reducir la corta en un 10% en relación al incremento; de ser mayor al 80%, se puede reducir hasta un 20%. (INAB 2001).

La corta anual permisible se establece considerando el interés económico del propietario, para que el bosque le genere un ingreso familiar atractivo, que permita mejorar la situación en la que se encuentre el bosque, convirtiéndola a través de métodos de silvicultura, en un bosque ideal. (INAB 2001).

Cada país debe normar la forma para estimar la corta anual permisible por medio de los siguientes criterios:

- El tamaño de las unidades productivas.
- Pendiente del terreno.
- Incremento anual con corteza del bosque ( $m^3/año$ ).
- Volumen total del bosque con corteza ( $m^3$ ).
- Clases de desarrollo (C0 – C6).
- Incremento ideal del bosque con corteza ( $m^3/año$ ).
- Volumen ideal del bosque con corteza ( $m^3$ ).
- Tiempo de rotación (años).
- Posibilidad de hacer trabajos silvícolas.
- El deseo del propietario para mejorar la situación actual del bosque. (INAB 2001).

Cuando se tienen rodales con clases C2 y C3, el tratamiento que se aplica es el de raleo. Éste se fundamenta en la densidad del área basal por hectárea. (INAB 2001).

**4. Técnica de raleo.** El raleo es un tratamiento aplicado en los árboles en desarrollo de clases C1, C2 y C3, con el cual se eliminan aquellos árboles que sean suprimidos, intermedios, codominantes y dominantes, que conllevan a una competencia de espacio, luz y nutrientes. (INAB 2001).

Es la corta intermedia más importante, ya que permite el adecuado crecimiento de los árboles, según el interés del silvicultor. (INAB 2001).

Para aplicar el raleo, se utilizan diferentes índices, entre los que cabe mencionar:

- Número de árboles por hectárea.
- Área basal por hectárea.
- Relaciones entre el DAP o la altura y espaciamiento.
- Funciones de densidad. (INAB 2001).

Se debe identificar el número de árboles a extraer, técnica que se conoce como raleo numérico, y cuáles se extraerán, es decir, el raleo por clases.

Para el raleo numérico, existen diferentes métodos para poder aplicarlo:

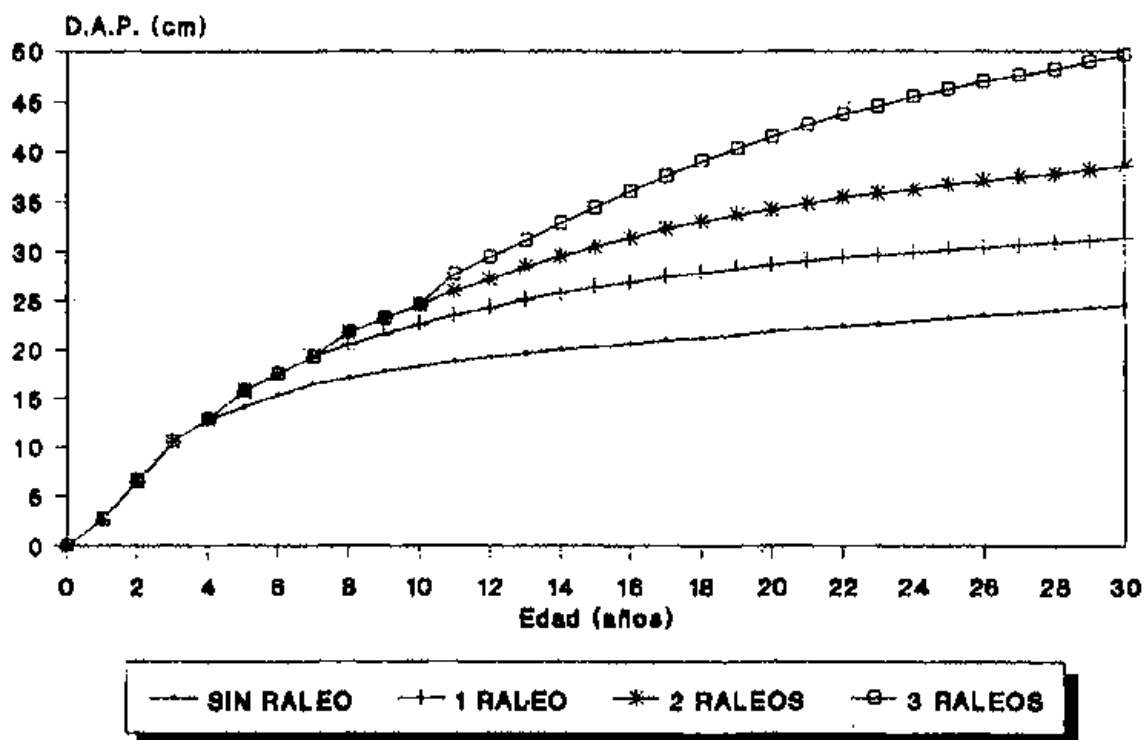
- **Método de Veiga:** Este método está dado en función del diámetro deseado. No se debe de proponer un diámetro mucho mayor al que se encuentra en el rodal, para evitar ocasionar estrés. De esta manera, se aumenta el diámetro paulatinamente realizando varios raleos durante la edad de rotación de las especies. (INAB 2001)
- **Método de Bryan:** Este es un factor, con el que se obtiene el espacio vital por árbol. En base a muestras, se obtiene el diámetro promedio del rodal, en pulgadas; a este valor se le suma la constante 6 para convertirlo a pies. Posteriormente se convierte a metros y se eleva al cuadrado, con lo que se obtiene el espacio vital. El muestreo proporciona además el valor promedio por parcela de diámetro en pulgadas; además, permite obtener el valor de densidad de árboles por hectárea. (INAB 2001)
- **Índice de Hart:** Su fundamento es el índice de espaciamiento relativo. Con información existente y la experiencia de campo del silvicultor, se estima el

uso de un índice de 25%, adecuado para bosques de buen crecimiento. Para los bosques que no cuentan con un crecimiento adecuado, se utiliza un índice de 10%. Sin embargo, para proveer un valor más adecuado, es necesaria la investigación de las condiciones locales de cada bosque. (INAB 2001)

- **Método libre:** Se aplica principalmente en rodales de bosques naturales, con una estructura y composición heterogénea. Consta de una serie de pasos:
  - Rodalizar.
  - Determinar el número de parcelas según el área y la estructura del rodal.
  - Tras obtener las variables dasométricas, seleccionar los árboles de mejor calidad sin importar su ubicación dentro de la parcela.
  - Los árboles que no son seleccionados en el paso anterior, son el primer grupo a eliminar.
  - Observar el espaciamiento de copas de los árboles de mejor calidad y determinar la extracción de aquellos que representen competencia entre ellos.
  - Resultado de los pasos anteriores, en base a la experiencia del técnico y la señalización directa en la parcela, se determina cuáles deben eliminarse.
  - De las variables dasométricas, se obtiene el volumen de árboles a dejar y a extraer, para determinar un porcentaje de extracción por volumen.
  - Este procedimiento se repite en cada parcela del rodal, luego la sumatoria y el promedio de todas las parcelas, determinan el porcentaje de extracción total. (INAB 2001).

En la gráfica siguiente, se puede apreciar el efecto del incremento del diámetro a la altura del pecho (DAP) cuando se realizan una serie de raleos:

Gráfico No. 15: Efectos del raleo en el aumento de grosor



(<http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea19s/p047a.GIF>)

**5. Secado de la madera.** El secado de la madera es un proceso importante en la industria que la utiliza como materia prima, ya que le confiere una serie de propiedades y ventajas que permite un manejo y uso de forma más eficiente.

La madera seca puede servir para fabricar productos de exportación, ya que los mercados internacionales demandan diferentes contenidos de humedad acorde a las condiciones climatológicas de cada país. (ICAITI 1989).

Entre las ventajas se pueden citar:

- El proceso de secado transforma la madera verde, es decir la recién cortada y aserrada, en madera seca y estable.
- Se reduce el peso y el volumen, como consecuencia de la pérdida de agua, lo que contribuye a la reducción de costos de manejo y transporte.
- Si se tiene un contenido adecuado de humedad, los defectos en los artículos derivados de la contracción o hinchamiento se reducen al mínimo.

- Mejora su resistencia mecánica.
- Aumenta la resistencia a la pudrición y el apareamiento de manchas causadas por hongos.
- Es más fácil y eficiente trabajar la madera seca, aumentando su productividad.
- Las diferentes partes de los artículos hechos a base de madera se pueden unir con clavos, tornillos, espiches o adhesivos de forma más rápida y segura.
- La madera seca se puede pulir y acabar más fácilmente.
- Se puede aplicar pinturas o barnices de manera más uniforme y efectiva.
- Extiende el periodo de vida útil de un bien, contribuyendo a la conservación de los recursos forestales. (ICAITI 1989).

**a. Proceso de secado de la madera.** Los tejidos vegetales contienen agua de diferentes maneras. Relativo al secado, son importantes dos tipos: el agua libre (extracelular), la cual satura las cavidades intercelulares y es la de más fácil extracción; y agua ligada o adsorbida, que requiere de mayor cantidad de energía para su extracción. (Hernández 2001).

Durante el proceso de secado, se elimina de primero el agua libre y posteriormente el agua ligada. Cuando es eliminado en su totalidad el agua libre, quedando solamente agua ligada, se encuentra en el Punto de Saturación de la Fibra (PSF). (Hernández 2001).

Diferentes mecanismos actúan mientras una pieza de madera verde pierde humedad. Estos permiten que el agua se mueva desde la superficie de la pieza hacia la atmósfera, y desde las zonas internas hacia la periferia:

- El agua libre se mueve por capilaridad o por diferencias de presión. Sucede en los procesos de impregnación, o secados con temperaturas superiores a los 100°C, a través de las cavidades celulares y puntuaciones, evaporándose de esta manera, el agua que se encontraba en las cavidades principales seguida de la que se encuentra en las cavidades menores. (Hernández 2001).
- En forma de difusión de vapor de agua, se mueve humedad a través de espacios microscópicos y submicroscópicos que tiene la madera. La difusión es un movimiento espontáneo de una zona de alta concentración hacia otra de menor concentración. (Hernández 2001).

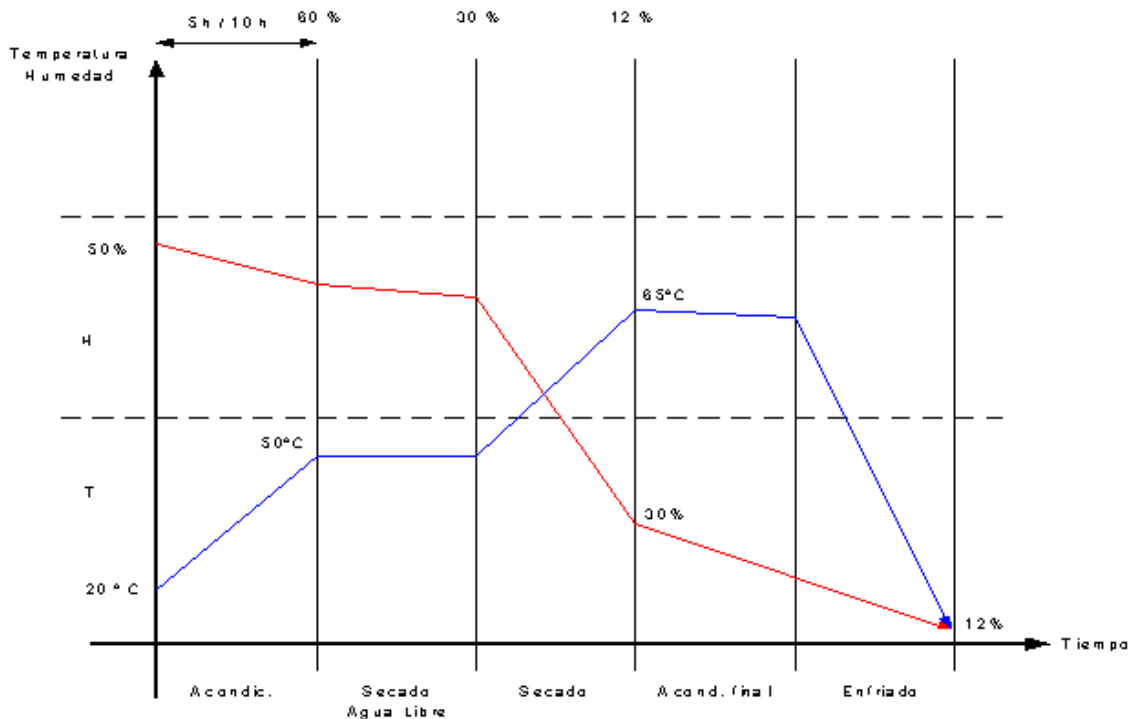
- Agua de constitución, formando parte de la sustancia leñosa y que sólo se puede eliminar por carbonización. En este caso, no se toma en cuenta para determinar el contenido de humedad. (Hernández 2001).

El agua que se encuentra en la parte externa de la pieza se elimina rápidamente, sin embargo la que se encuentra en el interior tarda más en salir. De esta manera, si el proceso de secado no es el adecuado, puede ocurrir que la parte superficial de la pieza se seque bruscamente, cerrando los poros y evitando que salga la humedad del interior; a medida que pasa el tiempo, el tejido superficial se contrae, mientras que internamente, no se produce ninguna variación. Todo esto provoca lo que se conoce como agrietamientos y torceduras. (Hernández 2001).

Cuando el secado se ejerce de forma gradual, teniendo control sobre la temperatura y las características del aire que circula entre las piezas, se permite que la humedad interior salga a la superficie, donde se consigue que evapore, evitando los agrietamientos y torceduras. Cuando se elimina el agua libre, la pieza de madera no sufre cambios drásticos que se puedan observar; al extraerse el agua ligada, se contrae la célula vegetal, ocasionando que se encoja la pieza. (Hernández 2001).

El tiempo que transcurre para que la humedad de un lote de madera se reduzca desde su valor inicial, hasta alcanzar el contenido deseado se conoce como período de secado. Para cada especie de madera en particular, existen diferentes factores que determinan este período. El primero es la humedad inicial. Para conocerla es necesario realizar un muestreo que considere los contenidos iniciales de humedad de las diferentes piezas. El segundo factor es el grosor de la pieza, que se puede considerar como la característica más importante para determinar el período de secado. Para fines prácticos, es preferible que el grosor no exceda las tres pulgadas. El tercer factor es la semejanza de especies de madera que están siendo secadas, ya que cada una tiene una rapidez de secado diferente. El cuarto factor es la ventilación adecuada. El quinto factor es la secuencia de secado, la cual es el tiempo que el secado recibe calentamiento efectivo. (Hernández 2001).

Gráfico No. 16: Gráfico de secado de madera



(<http://www.ingenierialpl.com.ar/secaderos/hornos1.gif>)

*b. Efecto del secado en la madera.* Durante el proceso de secado, las propiedades mecánicas de la madera se ven afectadas por los cambios que conlleva la pérdida de humedad por debajo del punto de saturación de la fibra vegetal. Propiedades tales como el módulo de elasticidad, módulo de ruptura, compresión paralela de la fibra, compresión perpendicular de la fibra, tensión perpendicular de la fibra y la gravedad específica aumentan al disminuir el contenido de humedad. Alrededor de los 70°F, la relación que describe estos cambios es:

$$P = P^{12} \left( \frac{P^{12}}{P^{\text{verde}}} \right)^{-\left( \frac{M-12}{M_p-12} \right)}$$

Donde **P** es la propiedad, **M** el contenido de humedad en porcentaje, **M<sub>p</sub>** el contenido de humedad donde se observan por primera vez los cambios en la propiedad por el secado. **P<sup>12</sup>** es el valor de la propiedad con un contenido de humedad de 12%, **P<sup>verde</sup>** es el valor de la propiedad para todos los contenidos de humedad. (Hernández 2001).

**c. La madera seca en la construcción.** Es importante utilizar la madera seca para la construcción, aun así sea más cara que la verde, pero es ésta la que nos brinda las propiedades y aspectos técnicos para realizar una buena, resistente y duradera estructura. (Rutte Fabián, 2008)

Estabilidad dimensional: Dentro de las ventajas que nos brinda la madera en su aplicación en la construcción se puede mencionar que no se deforma ni se modifican sus dimensiones al aplicarla, por lo tanto se corrige típicos problemas en las construcciones como:

- Deformación de tabiques, muros y cielos.
- Aplicación de clavos en los revestimientos.
- Agrietamientos debido a la deformación en la estructura.
- Rotura en los revestimientos por fallas en la viga.
- Desaplomes en estructuras de muros y pisos.

Mayor resistencia estructural: La resistencia de la madera aumenta considerablemente al trabajarla seca al 12% en comparación de su aplicación húmeda. Tales resultados se pueden apreciar al revisar los siguientes datos:

- Módulo de elasticidad aumenta en un 48%.
- Módulo de rotura en flexión aumenta en un 25%.
- Resistencia a la compresión aumenta en un 45%.

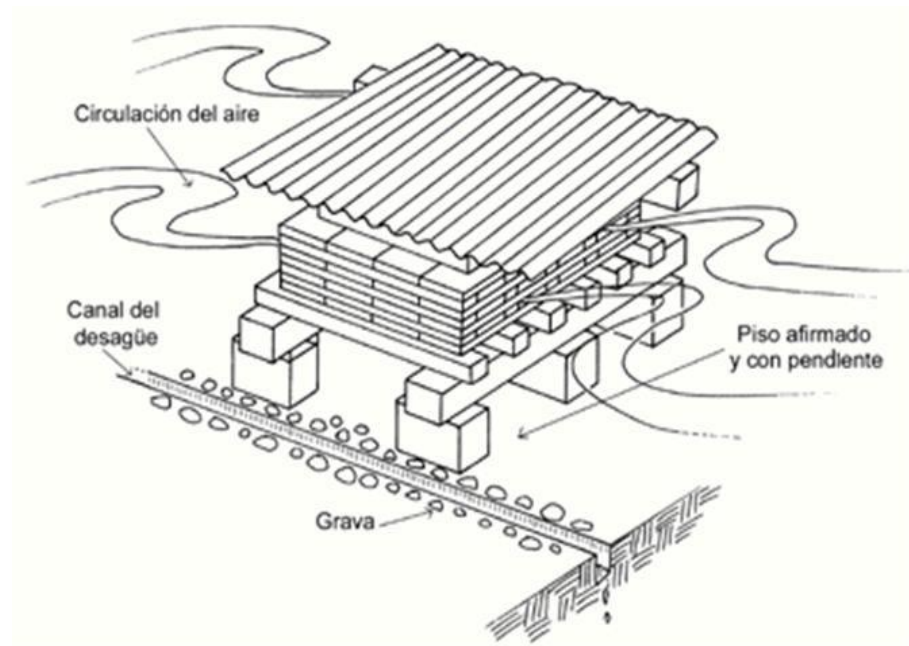
Compatible con revestimiento: Tiene un buen desempeño, en contra la madera húmeda. La madera húmeda propaga la humedad al resto de elementos.

Además se puede mencionar otros beneficios como su menor peso, se trabaja mejor y es más fácil de pintar y barnizar. (Rutte Fabián, 2008)

**d. Métodos para secar madera.** La variedad de métodos para secar madera es amplia y diversa. Existen procesos rápidos y poco económicos, como el secado en aceite hirviendo y al vacío; el secado en frío y el secado con gases calientes son ejemplos de procesos medianamente rápidos, aunque siguen siendo de costos elevados. Procesos de moderada rapidez y de un costo más accesible, se encuentran por ejemplo, el secado solar modificado. Así mismo, hay procesos lentos e incompletos, como el secado tradicional al aire y al sol. (Hernández 2001).

- **Secado natural (al aire):** Consiste en el método más simple y antiguo para secar madera. Ésta es expuesta al aire libre, protegiéndose de la lluvia y el sol hasta que el grado de humedad esté en equilibrio higroscópico con las condiciones del medio. La mayor ventaja de este método es la poca inversión inicial, sin embargo, la velocidad de secado es muy lenta si se cuenta con un clima desfavorable. El único factor sobre el cual se puede influir es la circulación de aire, utilizando adecuadamente un encastillado. El castillo se arma de modo que haya un contacto mínimo entre maderas, permitiendo un flujo libre de aire a través de ellas. Para ubicarlo de manera adecuada, debe estar situado en un lugar donde haya una buena circulación de aire y éste fluya fácilmente. Se debe tomar en cuenta la construcción de chimeneas dentro del castillo, las cuales permiten una óptima circulación de corrientes verticales. El tamaño se adecua al vehículo que lo transportará, sin embargo, el ancho y la altura no deben de sobrepasar los cinco metros. La circulación de aire en el castillo es la resultante de dos tipos de corrientes, horizontales y verticales. La horizontal es causa de los vientos locales que pasan a través de la madera, y puede ser regulada por la disposición del castillo. La circulación vertical es la más importante y se debe a diferencias de temperatura en el castillo. El vapor de agua de la madera absorbe el calor del aire situado en contacto con ella, por lo que el aire se hace más frío y por lo tanto más pesado, acumulándose en la parte baja. Consecuencia de este fenómeno, el secado es más lento en la parte inferior del castillo y aumenta el peligro de pudrición de la madera. Aumentando la circulación de corrientes horizontales en la parte inferior se puede remediar este problema. Las piezas se colocan con separadores entre ellas, permitiendo la libre circulación de la corriente de aire, además, cada separador resiste parte del peso del castillo. La presión que ejerce cada separador sobre las tablas, ayuda a evitar torceduras y encogimientos en el ancho. Finalmente, los castillos deben instalarse sobre bases sólidas y fuertes, generalmente se usa madera impregnada o concreto; deben tener un mínimo de 40cms desde el suelo para asegurar la circulación de aire bajo el castillo. (Hernández 2001).

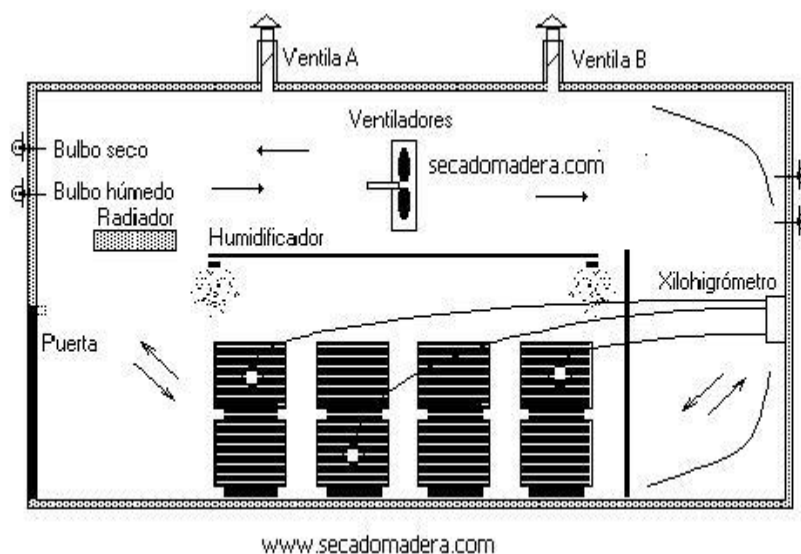
**Gráfico No. 17: Ejemplo de secado natural**



(<http://mueblefino.files.wordpress.com/2010/05/apilado.jpg>)

- Secado convencional:** Es la técnica más difundida en el secado de maderas. Se caracteriza por usar temperaturas no mayores a 85°C. Representa una gran flexibilidad ya que se adapta a cualquier programa de secado por las características del diseño y la disponibilidad de vapor, permitiendo lograr cualquier humedad relativa dentro de la cámara de secado. Generalmente se utilizan cámaras cerradas donde a través de programas de secados, basados en el contenido de humedad específico para cada especie y espesor, son aplicados progresivamente. Se parte con temperaturas bajas y humedades relativas altas; conforme va progresando el secado, se varían las condiciones incrementando la temperatura y disminuyendo la humedad relativa. Existen dos clases de cámaras: de compartimientos y progresivas. En las cámaras de compartimiento, la carga es constante durante el proceso de secado, siendo el operador el que varía las condiciones de temperatura y humedad relativa. En el secado progresivo, la carga se traslada lentamente a través de un túnel dividido en zonas, cada una con variables de secado y condiciones fijas. (Hernández 2001).

**Gráfico No. 18: Ejemplo cámara de secado para el secado convencional**

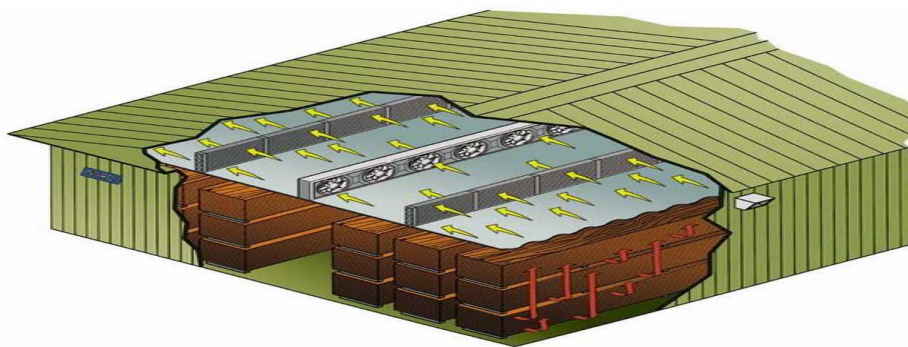


([http://www.secadomadera.com/images/camara\\_secado.JPG](http://www.secadomadera.com/images/camara_secado.JPG))

- Secado a bajas temperaturas o pre secado:** Se realiza con temperaturas menores a 45°C. Utiliza energía del medio ambiente, rayos solares o de fuentes artificiales. El aire cálido es obligado a pasar de manera horizontal a través de las pilas de madera. La finalidad del secado a bajas temperaturas es la de reducir el contenido de humedad desde el estado verde hasta un 20 a 30%, evacuando toda el agua libre y un máximo de la tercera parte del agua fija. Las ventajas de este sistema respecto al secado al aire libre, es que permite obtener un producto de mejor calidad al estar las tablas siempre protegidas del sol y la lluvia, además de llevar la madera a humedades semejantes, pero en menor tiempo. El sistema más elemental de pre secado se realiza bajo cubiertas temporales con ayuda de ventiladores. Las pilas de madera se colocan en un espacio rectangular cubierto con un material aislante e impermeable. Los ventiladores se colocan en una pared lateral, y del lado opuesto se deja libre para asegurar la salida de aire. Los otros lados y aberturas se cubren para evitar fugas y obligar al aire a pasar a través de las pilas. El espacio libre entre el techo y las pilas se cubre con desviadores para guiar el aire y evitar turbulencias. El aire puede ser empujado o succionado

por los ventiladores. Para lograr mejor distribución, es preferible atraerlo hacia los ventiladores, extrayéndolo de la cámara. La velocidad del secado depende de la temperatura, la humedad y la velocidad del aire. El secador “bajo cubierta” es otro del tipo de aire forzado, similar al anterior, aunque difiere en tener una cubierta permanente y los ventiladores son estacionarios. Dado que las condiciones climáticas varían constantemente, la temperatura ambiente no es suficiente para un proceso continuo de secado. Por este motivo, las mejoras se han orientado a elevar y mantener la temperatura y humedad relativa del aire. Las instalaciones de pre secado deben tener válvulas de entrada y salida de aire que permitan mantenerlo, o dejarlo salir según sea conveniente respecto a las condiciones interiores. Un pre secadero consiste normalmente de una gran bodega, climatizada a una temperatura aproximada de 40°C todo el tiempo. La capacidad para secar madera varía entre 100 y 2,000m<sup>3</sup>, secándola hasta un 20% de contenido de humedad. La bodega consta de al menos una puerta en un extremo, donde entra la madera, y otra en el lado opuesto para sacarla. Para mantener la humedad relativa del aire, se utilizan ventiladores que cambian el aire húmedo por fresco. El aire circula a una velocidad de alrededor de 1 m/s. Los pre secadores facilitan el pre secado rápido, y de forma simultánea de tablas de madera de diferentes especies, anchos y espesores. Se reducen los defectos que aparecen en el secado al aire libre; las condiciones constantes en el interior minimizan las tensiones en la madera, principalmente en la fase inicial de la evacuación de agua libre. (Hernández 2001).

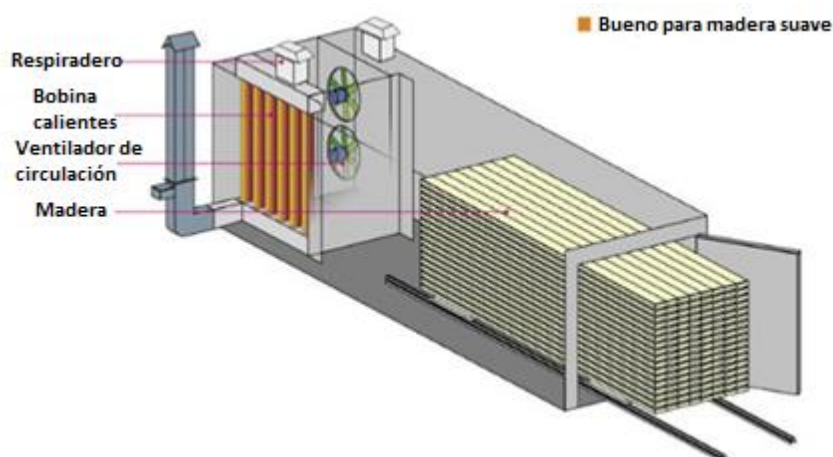
**Gráfico No. 19: Ejemplo de un sistema de pre secado de la madera**



(<http://www.nardi.it/img/dis/PRE-ESSICCATOIO.jpg>)

- **Secado a temperaturas normales:** Éste se realiza en cámaras u hornos, en los que se puede controlar la temperatura, humedad relativa y la velocidad del aire. Normalmente se utilizan temperaturas entre 45° y 90°C. Para calentar la cámara se pueden utilizar diferentes fuentes térmicas, siendo las más comunes el vapor de agua, agua caliente y calentadores a base de combustibles como el petróleo y la energía eléctrica. La madera, en forma de tablas, se coloca horizontalmente usando listones separadores especiales de un tamaño adecuado. Para realizar el secado, se sigue un programa que fue previamente establecido, en el que se realizan diferentes etapas climáticas que progresivamente se vuelven más secas y cálidas. Para llevar un control de las condiciones climáticas se cuenta con termómetros y sensores del equilibrio del contenido de humedad que permiten llevar un registro de las condiciones dentro de la cámara, los cuales son manejados con controles automáticos. En principio, son cuartos sellados herméticamente, aislados del medio ambiente natural, con sistemas de calefacción, ventiladores para que circule el aire, equipo de humidificación, válvulas para intercambiar el aire con cierres de mariposa y equipo para controlar y variar el clima dentro del secador, para obtener un secado progresivo de la madera hasta el contenido de humedad final que se desea. (Hernández 2001).

**Gráfico No. 20: Ejemplo de horno para secados a temperaturas normales**



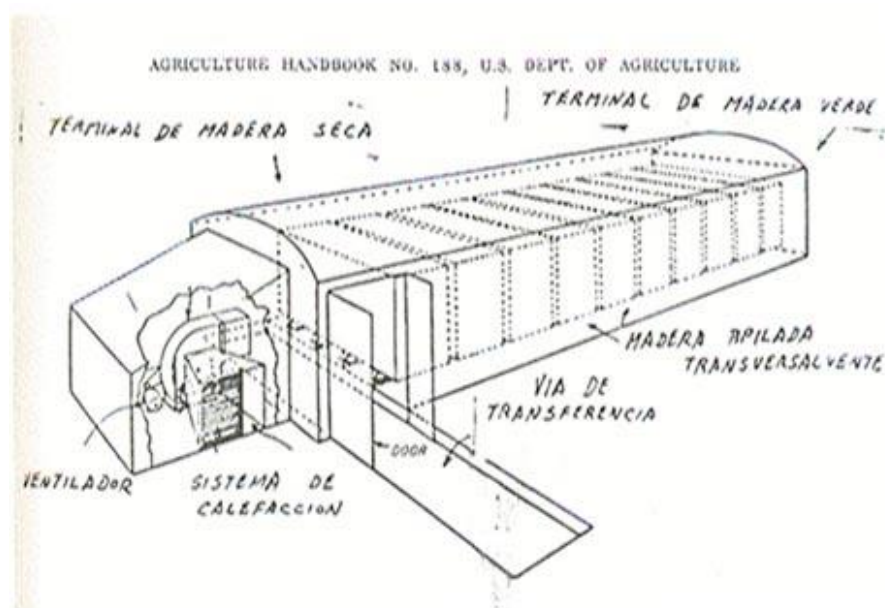
(<http://www.forwooddry.es/products/5-1.jpg>)

- **Secado con aire caliente:** Éste método se utiliza principalmente en países con desarrollo forestal importante por su alto costo. Utiliza una mezcla de

aire y vapor, y se puede considerar una extensión del secado artificial convencional. La madera se coloca dentro de un ambiente térmico aislado, donde mediante un proceso artificial, ya sea automático o manual, se calienta el aire y se hace circular; para regular la humedad interna, se ingresa aire externo o se expulsa aire interno. Se pueden observar tres etapas características en el proceso. La primera es cuando la superficie de la madera se encuentra saturada de humedad; se observa una evaporación abundante en esa zona y la razón de secado (% Contenido de Humedad/Tiempo) permanece constante, obviando los factores propios a la especie de madera y dependiendo principalmente de condiciones externas, como lo es la temperatura de bulbo seco, humedad relativa y velocidad del aire entre tablas. Estas variables condicionan la velocidad de secado, como la ocurrencia de gradientes de humedad que podrían provocar tensiones internas y deformar el material. Durante la segunda y tercera fase del proceso, la razón de secado decrece por lo que disminuye la tasa de evaporación. Los efectos inmediatos se evidencian en la temperatura de bulbo seco, que pasa a ser el parámetro más importante en el tiempo de secado, dejando a un lado las otras variables que ya no influyen de manera considerada, principalmente por debajo del 20% de humedad. En la industria se manejan temperaturas entre 105° y 135°C, llegando incluso a 200°C o más, aunque en estos casos es primordialmente para ensayos experimentales y cuando se utiliza vapor recalentado. El secado a alta temperatura disminuye el tiempo de estacionado de la madera entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{6}$  del tiempo de secado convencional, proporcionando diferentes ventajas, como disminuir la necesidad del espacio físico, reducción de inventarios y ahorro energético. Así mismo, logra disminuir conjuntamente el punto de saturación de las fibras, contenido de humedad de equilibrio y contracción. Sin embargo presenta una serie de inconvenientes, como la presencia de un color tostado debido a las altas temperaturas, aunque por ser superficial se elimina con el proceso de cepillado; provoca un gradiente de humedad importante, agudizando algunos defectos asociados al proceso, principalmente tensiones superficiales, grietas superficiales e internas y colapso para ciertas especies; maderas con alto contenido de resinas, provoca la exudación de ésta hacia la superficie, lo que posteriormente ocasiona problemas cuando se desea aplicar un recubrimiento

superficial o adhesivo. Además, el equipo que se requiere tiene precio elevado así como un costo de operación alto debido a que se necesitan combustibles o electricidad, aunque es a su vez efectivo y versátil; el proceso de secado tarda de 3 a 10 días. (Hernández 2001).

**Gráfico No. 21: Ejemplo de horno de aire caliente**

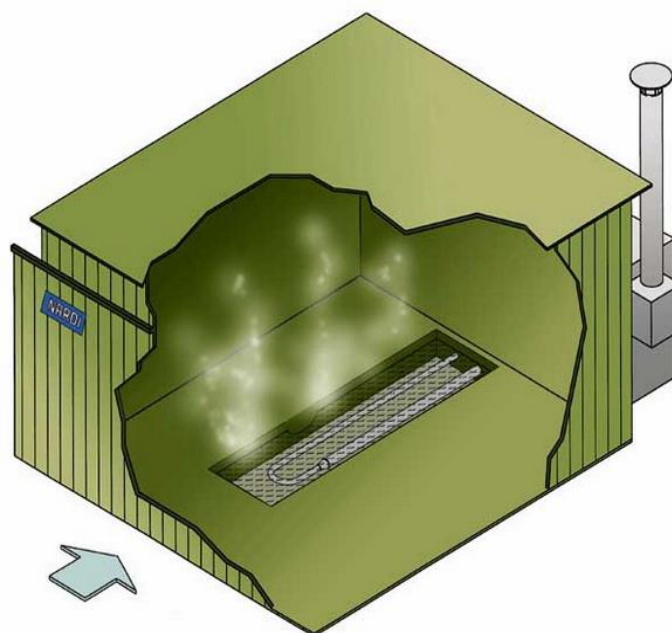


(<http://www.banrepcultural.org/sites/default/files/libros/65122/madera2d.jpg>)

- **Secado con vapor sobrecalentado:** Utilizando una cámara convencional se puede utilizar vapor sobrecalentado en lugar de aire para calentar y extraer la humedad de la superficie de la madera. Para lograr esto, es necesario que la cámara esté aislada correctamente y que sea resistente al vapor, además de tener una inyección y calentamiento de vapor adecuados. La velocidad de secado depende primordialmente de la tasa de transferencia de calor. Por lo tanto, se requiere de altas velocidades del aire y capacidad de los ventiladores para mover altos volúmenes de vapor. Cuando se inicia el proceso, el vapor se inyecta directamente dentro de la cámara hasta que se alcance una lectura de bulbo húmedo de 100°C. En ese momento, el aire en el interior es expulsado y se gradúa el bulbo seco para que los radiadores recalienten el vapor circulante hasta la temperatura que se desea, la cual puede ser de 120°C o más. Para evitar que la presión dentro de la cámara sea mayor a la atmosférica, es necesario que las ventanillas puedan abrirse libremente. A la

temperatura de 100°C, el agua libre en la madera empieza a evaporarse desde su superficie y el movimiento de la humedad de adentro hacia afuera es rápido. Es en este momento que ya no es necesario seguir inyectando vapor. Debido a las altas temperaturas, la tasa de movimiento del agua dentro de la madera así como la tasa de evaporación desde su superficie se incrementan. Conforme la madera pierde humedad por debajo del PSF, aumenta su temperatura hasta alcanzar la del bulbo seco, deteniéndose el proceso de secado. Finalmente la madera llega a un contenido de humedad de equilibrio que corresponde a la temperatura del vapor recalentado. Es posible controlar el contenido de humedad y aplicar el período de acondicionamiento como se hace en el secado convencional. Dado que el tiempo de secado es rápido, existe la posibilidad de que se presente un sobresecado y que hayan deformaciones poco comunes; es posible también de que aumente la amplitud en los gradientes y humedades finales antes del período de acondicionamiento. La madera verde que es sometida al proceso se contrae más de lo normal y puede llegar a presentar colapso celular. Los efectos comunes al proceso son la exudación de resina, liberación de nudos y endurecimiento por la acción combinada de la temperatura y el vapor. Este proceso es más eficiente que el secado convencional porque el aire no interviene para eliminar el vapor de agua que sale de la madera. Por esto, el secado es más rápido y el producto final es menos higroscópico y más estable que el realizado a bajas temperaturas. (Hernández 2001).

**Gráfico No. 22: Ejemplo de estructura de secado de vapor sobrecalentado**

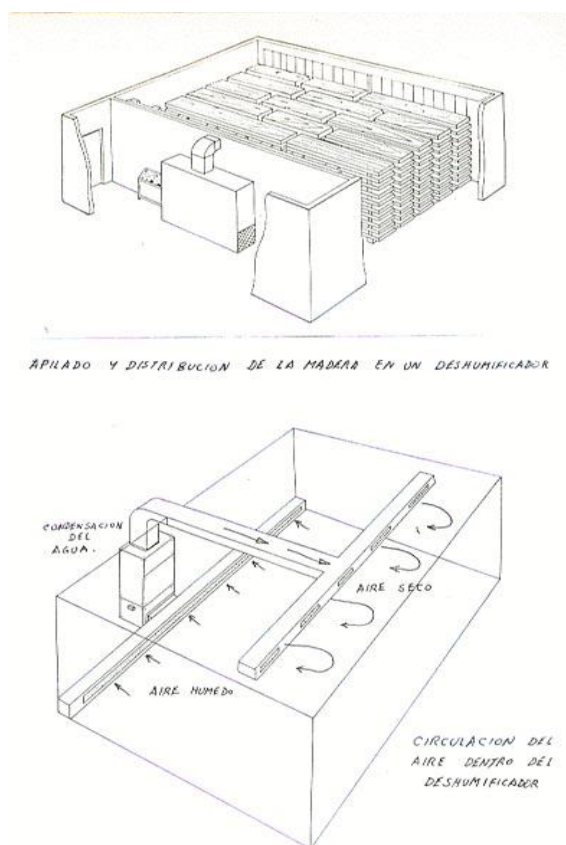


<http://www.nardi.it/img/dis/VAP.INDIRETTO.jpg>

- Secado por deshumidificación:** Surgió como una alternativa al secado convencional en la década del 70 para minimizar los costos con el constante incremento de los precios en combustibles y la alta inversión en equipo. Está conformado por una cámara que varía en tamaño según la capacidad de secado deseada, dimensiones de las piezas de madera, altura de los separadores, la especie a secar y el contenido de humedad. La variedad de materiales para construirlo varía según los costos en los que se desea incurrir, ya que puede ser como una obra civil tradicional de costos mayores hasta el uso de materiales más baratos como la madera. Una aislación térmica apropiada es el criterio técnico a tomar en cuenta para evitar las pérdidas de calor y humedad. En general, las temperaturas que alcanza el sistema no superan los 55°C. La humedad que se obtiene proviene sólo del proceso de evaporación del agua en las piezas de madera. A su vez, consta de resistencias eléctricas para calentar el aire dentro de la cámara así como de un condensador para eliminar el vapor de agua. En principio, el aire caliente que circula a través de las piezas se carga de la humedad de éstas y la elimina en el condensador. Entre las ventajas de este sistema se tiene la eficiente utilización del calor disponible, construcción simple, costos operativos y de

mantenimiento bajos, la posibilidad de secar simultáneamente piezas de diferentes especies, no utilizar una planta de vapor, no altera la estructura de la madera y no provoca decoloraciones. Se utiliza energía eléctrica para alimentar el proceso. Entre sus desventajas, el tiempo de secado es mayor con respecto al secado convencional, de 1.5 a 2 veces; es imposible minimizar las tensiones internas en la madera propia del secado y no se puede homogenizar el contenido de humedad. Dado que es un proceso lento, el consumo de electricidad es alto, por lo que no es rentable para secar madera para construcción, generalmente se utiliza para madera de alto precio.

**Gráfico No. 23: Ejemplificación de una cámara de deshumidificación**



<http://www.banrepcultural.org/sites/default/files/libros/65122/madera2f.jpg>

- **Secado en aceite hirviendo:** Consiste en sumergir la madera en un líquido repelente de la humedad cuyo punto de ebullición sea mayor al del agua y que se encuentre a una temperatura que produzca la evaporación de la humedad contenida en la pieza. El proceso consiste de tres etapas: La primera

es el período de calentamiento a temperaturas mayores a 100°C. La segunda etapa es el período de evaporación del agua libre a una temperatura máxima de 100°C; en esta etapa el agua se transfiere hacia la superficie de la pieza donde se convierte en vapor formando una capa que protege a la madera. La tercera etapa es el período de evaporación del agua fija, la cual se desarrolla por difusión del agua que está retenida en las paredes celulares media vez se ha evacuado toda el agua libre. Al ser el movimiento de agua fija lento, la capa de vapor que se forma en la segunda etapa se rompe, quedando expuesta la superficie de la madera al líquido hirviendo, lo que produce endurecimiento superficial que ayuda a la aparición de rajaduras y grietas. El costo de equipo y gastos operacionales son elevados, por lo que se recomienda sólo para maderas finas o cuando se necesita madera seca urgentemente. (Hernández 2001).

- **Secado al vacío:** Este método aumenta la velocidad del secado al aumentar la velocidad de circulación del agua en el interior de la madera. La acción del vacío disminuye a su vez el punto de ebullición del agua, aumentando la evaporación en la superficie. Como consecuencia, el gradiente de temperatura en la pieza aumenta, ya que la superficie se enfría más rápido que el centro de ésta. Es necesario además, suministrar energía calorífica para extraer el agua higroscópica y para pasar del estado líquido al gaseoso. Por este motivo, es indispensable calentar la madera, sin embargo en el vacío es imposible lograr esto ya que no transmite calor. Para este inconveniente, existen tres diferentes procedimientos a seguir: Colocar la madera en contacto con elementos calientes como placas metálicas; interrumpir el proceso de vacío a intervalos regulares durante los cuales se caliente la atmósfera y colocar sobre las piezas elementos que irradian calor. Una secadora al vacío consta de una cámara o celda con una serie de elementos mecánicos en la cual se colocan las piezas que van a secarse, un dispositivo de calefacción, un dispositivo para eliminar el agua e instrumentos para el control y regulación del proceso, y una bomba de vacío. Las principales ventajas de este método son: la acción sobre la temperatura y la presión del ambiente aumenta la velocidad de circulación del agua del interior hacia la superficie de la madera; al disminuir el punto de ebullición del agua, la tasa de evaporación del agua se incrementa en la superficie; al aumentarse la capacidad de absorción de vapor del aire se

disminuye el tiempo de secado, comparable al tiempo del secado a altas temperaturas; existen bajas diferencias entre el contenido final de humedad en el centro de la pieza y el de la superficie, así como una reducción en las tensiones internas. Entre sus desventajas están: los equipos disponibles tienen un espacio limitado, por lo que el volumen de madera a secar es menor; los aparatos y el manejo del ciclo de secado son más complejos que los métodos convencionales; es complicado alternar entre ciclos de vacío y ciclos de presión normal. (Hernández 2001).

**Gráfico No. 24: Cámara de secado de madera al vacío**

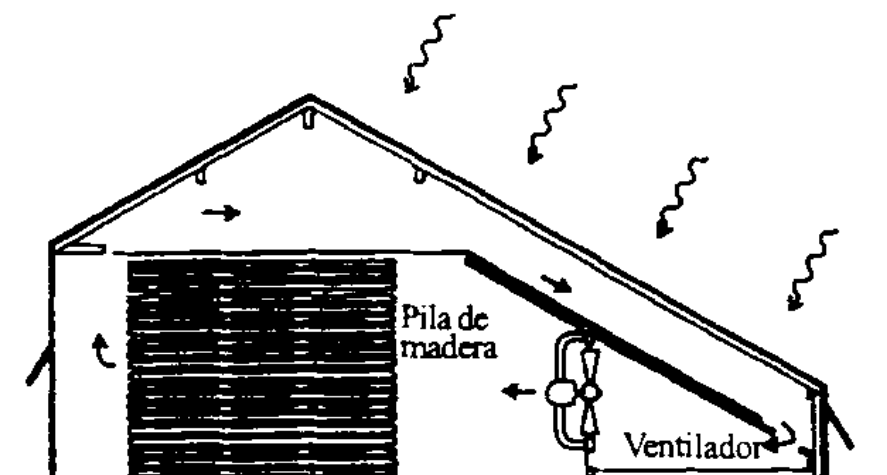


[http://www.ua.all.biz/img/ua/service\\_catalog/240156.jpeg](http://www.ua.all.biz/img/ua/service_catalog/240156.jpeg)

- **Secado solar:** El aire seco tiene la propiedad de absorber humedad del ambiente hasta que se satura; mientras más caliente esté, mayor será la cantidad de humedad que pueda absorber. Bajo este principio funciona el secado solar. Se hace circular aire seco y caliente entre las piezas de madera. El aire se obtiene del exterior y se hace entrar a una cámara de calentamiento, que aumenta su temperatura y de la cual circula hacia la cámara de secado. Pasa a través de ellas, cargándose de humedad y se expulsa. El calor que se produce en la cámara de calentamiento realiza dos funciones simultáneamente: aumentar la temperatura del aire e irradiar calor hacia la

cámara de secado, incrementando la temperatura superficial, evaporando el agua que ha migrado del interior de la pieza a la superficie de ésta. La calidad y velocidad del secado dependen de las condiciones de humedad del aire dentro de la cámara de secado, por lo que deben ser controladas y ajustadas regularmente por el usuario. Es necesario por lo tanto, instalar controles de humedad y temperatura dentro del secador. Para que circule el aire, se instalan ventiladores eléctricos, ya que sin ventilación no se puede realizar el secado. Entre las ventajas de este método están: el montaje de las instalaciones y del equipo tiene un costo menor a comparación de los métodos citados con anterioridad, y la operación es sencilla y económica (de 10 a 5 veces más baja que los que utilizan calefacción artificial). Es accesible para los pequeños y medianos productores, bajo consumo de energía, mantenimiento sencillo y no contamina el ambiente; la capacidad en el volumen depende de la demanda. Se debe tomar en cuenta las dimensiones de las piezas, de preferible que no excedan los 15m<sup>3</sup> ya que disminuye la eficiencia. (Hernández 2001).

**Gráfico No. 25: Diagrama de secador solar para madera**



[http://www.cd3wd.com/cd3wd\\_40/cd3wd/construc/sk01ae/es/SK01MS37.GIF](http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/cd3wd/construc/sk01ae/es/SK01MS37.GIF)

- **Métodos químicos de secado:** Existen diferentes procesos para el secado, desde utilizar solventes orgánicos que extraen el agua hasta sales higroscópicas que propician el movimiento de la humedad del interior hacia la superficie de la madera. El método de solventes químicos consiste en someter la pieza a la acción de un líquido afín al agua y miscible en ella. La

acetona es el solvente más utilizado y puede aplicarse mediante aspersión. Otra manera de realizar el proceso es por inmersión de la madera en el solvente. El agua tiende a mezclarse con el solvente, de esta manera es posible extraer la humedad y secarla. No es necesario aplicar calor, aunque es usual que se caliente el solvente a una temperatura entre 45° y 50°C para aumentar la tasa de extracción de agua. El proceso se realiza de la siguiente manera: se coloca la pieza en una cámara hermética donde se le aplica acetona constantemente por aspersión. La mezcla de acetona, agua y ciertos extractivos es recirculada, aunque una parte es sometida a destilación para recuperar la acetona y separar el agua. Como segundo paso, se inyecta aire caliente sobre la madera para completar el secado y remover por completo la acetona. Este sistema es una alternativa económicamente atractiva cuando al remover los extractivos, como la resina, mejora la calidad de la madera y cuando estos subproductos tienen un valor comercial. No es recomendable para madera de duramen o maderas impermeables. Además, ha demostrado tener una serie de ventajas, como ser más rápido que los sistemas tradicionales (entre la cuarta parte y mitad del tiempo en cámaras de secado), se pueden obtener subproductos comerciales como resinas y taninos. La madera que es secada de esta manera, queda relativamente libre de defectos y en especies resinosas mejora la calidad al extraerle la resina.

Secar con sales es utilizar sustancias higroscópicas que actúan como reguladores de la tasa de evaporación de la humedad, aliviando los esfuerzos de tensión generados. No es un proceso de secado como tal, más bien un tratamiento que mejora las condiciones de secado de la madera. Las sustancias normalmente utilizadas son la sal común, glicoldietileno, melazas y otros azúcares de bajo grado, urea, urea formaldehído, etc. Éstas se pueden aplicar por inmersión, brochado, remojo en una solución acuosa concentrada o mediante aspersión. El más eficiente es por inmersión, aunque requiere de una inversión mayor. El más económico y más usado es el de aspersión. Sin importar el método para aplicar las sales, la superficie debe quedar impregnada hasta una profundidad equivalente a una décima parte del espesor, quedando la mayor concentración en la superficie. La ventaja de este método es que reduce los defectos que ocurren por la contracción de la madera, como las grietas superficiales. Sin embargo, no presenta una ventaja

que justifique su utilización, ya que representa una inversión adicional y aumenta la duración del tiempo de secado. Un tratamiento más moderno en lugar de sales consiste en utilizar glicol polietileno (PEG) de alto peso molecular, el cual es soluble en agua y parecido a la emulsión de cera. Mediante éste, se estabiliza la madera ya que se penetra en las cavidades celulares por difusión, evitando defectos como grietas, rajaduras y deformaciones. En altas concentraciones, evita la pudrición y no afecta de manera considerable las propiedades de encolado y acabado de la madera. Para aplicarlo es necesaria la inmersión en una solución acuosa al 30% del peso; dependiendo de la pieza, puede aplicarse con brocha en una serie de capas sucesivas. Calentar la sustancia favorece la impregnación y reduce el tiempo del tratamiento. Se aplica a la madera verde y a medida que penetra en la cavidad celular, reemplaza el agua existente y evita la contracción de la pared celular que se da durante el proceso de secado. (Hernández 2001).

- **Secado con vapores orgánicos:** Este método consiste en exponer la madera a la acción de vapores producidos por líquidos orgánicos como el xilol y el percloroetileno que tienen un punto de ebullición más alto que el agua. Los vapores calientes se condensan en la superficie de la pieza promoviendo la evaporación de agua libre. A medida que la madera se calienta, la tasa de secado aumenta, formando un gradiente de humedad de afuera hacia adentro ya que el agua se evapora en la superficie. La madera alcanza una temperatura de hasta 150°C. La madera se expone dentro de una autoclave, de la cual se extrae la mezcla de vapor y solvente. Los líquidos son separados por gravedad, de tal forma que el solvente retorna al sistema de secado y el agua se puede medir como medio de control del proceso. Al finalizar el secado, se aplica vacío para extraer el solvente y completar el secado. La reducción de la humedad hasta un 35% aproximadamente se alcanza en un tiempo entre 10 y 16 horas según el tipo de la madera. La ventaja de este método es que ahorra costos de manipulación, ya que dentro de la misma autoclave se puede continuar con la inmunización por el sistema de vacío-presión. Sin embargo, las instalaciones son costosas y se requiere de mano de obra especializada. (Hernández 2001).

- **Secado por aplicación directa de electricidad:** Este se basa en el principio del calor que genera la resistencia de la madera al paso de una corriente eléctrica a través de ella y al rápido incremento de la misma con la eventual disminución del contenido de humedad. En un extremo de la pieza de madera se coloca el cátodo y en el otro extremo el ánodo. Cuando se aplica corriente continua se origina el fenómeno electrolítico, durante el cual, en el extremo expuesto al cátodo el contenido de humedad disminuye hasta la zona de saturación de fibras, en la cara opuesta, es decir la que está en contacto con el ánodo, se concentra la humedad alcanzando un contenido superior al 100%. Cuando se coloca la madera en un campo de corriente alterna de alta frecuencia (más de un millón de ciclos por segundo), ésta se calienta a una temperatura superior al punto de ebullición del agua por la fricción molecular que se da por las oscilaciones de las moléculas. La tasa con la cual se calienta la madera depende de las propiedades dieléctricas y el calor específico de la especie, además de la potencia de la corriente eléctrica; ésta puede ser entre 5° y 20°C por minuto según la especie. La madera húmeda en general se calienta rápida y uniformemente a través de su sección transversal. El gradiente de temperatura de la madera decrece de adentro hacia afuera, opuesto a lo que ocurre en el secado convencional debido a las pérdidas de calor y enfriamiento en su superficie por la evaporación de la humedad. Tras el período de calentamiento, se nivela la temperatura por encima de los 100°C y por debajo de la zona de saturación de las fibras ésta se incrementa. En maderas permeables, el secado dura entre dos y cuatro horas, ya que el movimiento de agua libre y vapor de agua se hace sin dificultad. No es recomendable para maderas de duramen, poco o nada permeables, es decir aquellas con estructura cerrada y densa, ya que se desarrollan altas presiones internas, elevándose la temperatura mucho más allá del punto de ebullición del agua, ocasionando explosiones y rupturas internas. Este sistema tiene ciertas limitaciones técnicas a considerar: el mayor costo lo representa el generador y el mantenimiento de éste; la frecuencia del generador debe adaptarse a los incrementos de voltaje deseados; para cada pieza se debe calcular la distancia entre los electrodos; cada programa de secado debe llevar una investigación previa según la especie de la madera; sólo es útil para maderas permeables al vapor de agua.

Comercialmente, este método está limitado a los productos laminados y al secado de artículos de madera pequeños, como mangos de herramientas, objetos torneados, culatas, moldes de madera, etc. La ventaja para utilizarlo en estos artículos es que pueden secarse en minutos con un contenido de humedad uniforme sin que haya defectos. (Hernández 2001).

**6. Tratamiento de la madera.** La madera es tratada con el objetivo de conferirle una mayor durabilidad. A excepción de la especie de madera que por su propia naturaleza es resistente a los agentes de degradación, tales como insectos xilófagos y hongos lignívoros, todos los productos de madera están en riesgo de sufrir ataques de estos entes.

Aún en condiciones libres de humedad (factor clave para la proliferación de hongos), la madera puede ser atacada por insectos, aunque en estos casos un tratamiento superficial con insecticida es suficiente para prevenirlos. Sin embargo no siempre las condiciones en las que se trabaja son así, y si la madera alcanza un grado de humedad suficiente para la aparición de hongos, éstos pueden pudrir todo el volumen que se maneje en ese momento. Por esto es importante prevenir el riesgo ya que económicamente, representa una pérdida cuantiosa a la empresa.

Europa maneja una serie de normas (normas EN) para la evaluación de los riesgos, la durabilidad natural de las especies y la elección de los tratamientos de protección. Sin embargo, no existe una norma universal, ya que cada región, país e incluso ciudad puede definir cuál es el método más efectivo para tratar madera, ya que además no todos están expuestos a las mismas amenazas.

En las normas europeas, la primera etapa consiste en determinar a través de una evaluación de riesgos, a cuál de las cinco clases de agente biológico se está enfrentando. Las clases se enumeran en el Cuadro No.7.

**Cuadro No. 7: Definición de riesgo de ataque biológico**

Clases de riesgos	Situación general en servicio	Exposición a la humedad en servicio	Humedad de la madera en servicio (1)	Aparición de agentes biológicos			
				Hongos	Coleópteros (2)	Termitas	Perforadores marinos
1	Fuera de contacto del suelo, en el interior (seco)	Ninguna	Siempre inferior a 20%		U	L	
2	Fuera de contacto del suelo, (riesgo de humedad)	Ocasional	Ocasionalmente superior a 20%	U	U	L	
3	Fuera de contacto del suelo, no abrigado	Frecuente	Frecuentemente superior al 20%	U	U	L	
4	En contacto con el suelo o agua dulce	Permanente	Superior al 20% permanentemente	U	U	L	
5	En agua salada	Permanente	Superior al 20% permanentemente	U	U	L	U
U: Universalmente presente en Europa							
L: Localmente presente en Europa							
(1) Información contenida en otra tabla de la norma, integrada en ésta para una mejor comprensión.							
(2) El riesgo de ataque puede ser insignificante en función de las situaciones específicas en servicio.							
* Protección de la madera: <a href="http://www.protecciondelamadera.com/portal%20proteccion/proteccion/proteccion3.htm">http://www.protecciondelamadera.com/portal%20proteccion/proteccion/proteccion3.htm</a>							

**(Norma EN 335)**

En general, todo producto de protección de la madera contiene tres elementos fundamentales:

- **Materias activas**, para conferir la eficacia biológica.
- **Un vehículo o disolvente**, para transportar las materias activas al interior de la madera.
- **Principios de fijación**, que asegura el mantenimiento de la protección durante el tiempo que dure la obra. (Protección de la madera, publicaciones varias)

Las materias activas son en general, pesticidas, que deben de presentar una eficacia fungicida y/o insecticida frente a los agentes que tratará. Según la naturaleza, serán eficaces contra uno u otro insecto y/u hongo.

Las materias activas usualmente utilizadas son:

- **Substancias minerales:** Particularmente sales metálicas a base de cobre, flúor, arsénico, utilizadas solas o en asociación.
- **Substancias de síntesis:** Moléculas químicas, más o menos complejas, como por ejemplo derivados del estaño, ázoos, piretroides, amonios cuaternarios, carbamatos, etc. Salvo ciertas ocasiones, estas substancias son fungicidas o insecticidas y suelen utilizarse en asociación. Por razones de toxicidad y ecológicos, moléculas utilizadas en el pasado han sido prohibidas o reglamentadas, como la aldrina y el pentaclorofenol. (Protección de la madera, publicaciones varias)

El vehículo es comúnmente llamado disolvente, y como se mencionó, su papel es transportar la materia activa en la madera, depositarla y eliminarse después, generalmente a través del secado natural. Se utilizan dos tipos de disolventes:

- **Los disolventes a base de petróleo**, de tipo aguarrás. Permiten solubilizar la mayor parte de las substancias de síntesis. Presentan una buena penetración y de difusión en la madera seca. Se distinguen dos tipos:
  - *Ligeros:* Combustión entre 40 y 80°C con evaporación relativamente rápida.
  - *Disolventes pesados:* Son más grasos, ofreciendo un buen poder de difusión, pero tienen ciertos inconvenientes: Secado lento, olor persistente, riesgos de manchas, problemas de pegado.

- **Agua:** Permite solubilizar todas las sustancias hidrosolubles, sales minerales y ciertas sales orgánicas, como amonios cuaternarios, etc. Permite además colocar en emulsión las sustancias de síntesis que no son solubles en agua. (Protección de la madera, publicaciones varias)

Los principios de fijación se identifican en relación a dos tipos de deterioro, por evaporación y por deslavado. Ciertos tipos de sustancias son por naturaleza insensibles a un tipo de deterioro. Por ejemplo, las sales metálicas no tienen pérdidas por evaporación. Por otra parte, para ciertos usos los riesgos de deterioro no existen. Por ejemplo, en los riesgos de clase 1 presentados en el Cuadro No. 2, no se tiene en consideración el riesgo de deslavado. En la práctica se distinguen dos principios de fijación:

- **La fijación por reacción química:** Como el cromo, que juega un papel importante como elemento fijador del cobre y del arsénico. Las sales CCA (cobre-cromo-arsénico) son un ejemplo de este mecanismo, y actualmente son los productos que presentan el grado de fijación más alto.
- **La fijación por resinas:** Actúan por pegado de las materias activas. Es usada principalmente para fijar las sustancias de síntesis.

Según el tipo de fijación, vehículos y materias activas se encuentra un cierto número de familias de productos, muy específicos de ciertos usos o procedimientos de tratamiento.

Entre los productos se tiene:

- **Sales sin fijación:** Son sales mono-componentes utilizadas en solución en el agua. Resistentes a la evaporación pero no al deslavado. Como ejemplo se tienen las flúor, boro o cobre.
- **Sales fijadoras:** Sales metálicas complejas que usan el cromo como elemento fijador de los metales activos. Son conocidas por su alta resistencia al deslavado y la durabilidad de la protección que confieren. Ensayos efectuados en los años 60, detallan de madera sin ataques tras 38 años de estar enterrada. Todas a excepción de las que contienen flúor son insensibles a la evaporación. Actualmente las combinaciones más utilizadas son CCA (cobre-cromo-arsénico), CC (cobre-cromo) y CCB (cobre-cromo-boro).
- **Productos orgánicos:** Son llamados de esta manera por contener disolventes a base de petróleo para solubilizar sustancias activas de síntesis. Son por lo

general buenos penetrantes y muy estables. Permetrina, lindano son algunos ejemplos de estos productos.

- **Emulsiones:** Utilizan el agua como vehículo, asociado a sustancias de síntesis que no son hidrosolubles y que se colocan en emulsión con el agua. Pueden ser más o menos finas, desde la gruesa próxima a los polvos mojados utilizados en productos fitosanitarios, hasta las micro-emulsiones que son característica de ciertos productos actuales de tratamiento de madera. Tienen, por lo general, una buena estabilidad, exceptuando casos de mezclas intempestivas. La fijación está asegurada a través de las resinas y/o por los sistemas tensoactivos.
- **Productos mixtos:** Estos asocian compuestos metálicos a moléculas de síntesis que tienen como función ya sea fijarlas o extender el espectro de eficacia. Actualmente, asociaciones a base de cobre y de moléculas orgánicas han satisfecho los ensayos de laboratorio realizados y están siendo propuestas para riesgos de clase 4 (Ver Cuadro No.2). Al ser de reciente creación (1986 aparecen los primeros productos) falta información y ensayos finales para evaluar su desempeño.
- **Creosota:** Es un producto muy común utilizado para tareas específicas (protección de cruces de vías de trenes y postes de línea principalmente). Se diferencia de los productos anteriores por dos peculiaridades: Las sustancias activas son un conjunto de numerosas moléculas que se obtienen de la destilación de la hulla. Además, no contiene vehículo o disolvente susceptibles a evaporarse de la madera. Todo el producto utilizado se queda de manera estable en la madera tratada, durante la duración del servicio requerido.

Para que un producto pueda ser utilizado en una clase de riesgo específica, solamente es necesario que satisfaga las pruebas biológicas de eficacia.

Dada la naturaleza de las sustancias activas, su formulación o sus principios de fijación, cada familia de productos puede que cubra o no ciertas clases de riesgos. A continuación se presenta un cuadro que resume los posibles casos. La definición de las clases de riesgo puede consultarse en el Cuadro No.7. Es importante destacar que la fiabilidad de ésta está condicionada además a la especie maderera y el procedimiento de tratamiento al que sea sometida.

**Cuadro No. 8: Clases de riesgos cubiertas por el tipo de producto**

TIPO DE PRODUCTO	CLASES DE RIESGO				
	1	2	3	4	5
Sales metálicas no fijadoras	X				
Sales metálicas fijadoras	X	X	X	X	X
Productos orgánicos	X	X	X		
Emulsiones	X	X	depende del procedimiento		
Productos "mixtos"	X	X	X	X	sin datos
Creosota (1)	uso desaconsejado	uso desaconsejado	uso restringido	X	uso desaconsejado
(1) Las restricciones de uso no surgen de una no fiabilidad técnica, sino de especificaciones reglamentarias, sanitarias o de simple confort.					
* Protección de la madera: <a href="http://www.protecciondelamadera.com/portal%20proteccion/proteccion/proteccion3.htm">http://www.protecciondelamadera.com/portal%20proteccion/proteccion/proteccion3.htm</a>					

Además de los riesgos de ataques de hongos e insectos antes mencionados, la madera y los productos derivados de ella pueden sufrir los efectos de mohos, bacterias y perforadores marinos.

El daño que producen los hongos a la madera puede deberse a tres factores generales: Falta de medidas de protección en el almacenamiento; corta fuera de temporada, almacenamiento o manipulación inadecuadas de la materia prima obtenida del tronco; y fallas en tomar medidas preventivas utilizando el producto final. La incidencia y proliferación de manchas, hendiduras y

degradaciones de la madera por ataques de hongos depende fuertemente de la temperatura y las condiciones de humedad.

El color de las manchas por hongos varía según la especie de hongo y árbol. Éstas pueden ser desde azul oscuro hasta amarillas e incluso rojas. Sin embargo no deben confundirse con las manchas causadas por la oxidación de la madera. Ésta se produce cuando es cortada fuera de temporada y es una reacción entre el oxígeno en el aire y ciertos constituyentes de la madera expuesta. La quemadura química café es particularmente dañina para la madera suave; para maderas duras sin embargo, las manchas son principalmente problemas de la temporada en que fue cortada y pueden evitarse secando rápidamente la madera a bajas temperaturas. (Gernandes 1987)

La especie de madera, la región del país y la época del año determinan qué precauciones deben tomarse en cuenta para evitar serios daños por hongos. En climas secos, una corta rápida por temporada permitirá la maduración del tronco, retardando el desarrollo de mohos y manchas. En regiones húmedas, la madera no puede secarse tan rápido al aire como para evitar pérdidas por hongos. Soluciones preservativas aprobadas, en pretemporada pueden remediar estas circunstancias.

Para los troncos, la rápida transformación en madera, o el almacenaje bajo aspersores con preservativos es la forma más segura de evitar daños por hongos. Los preservativos protegen las especies para almacenaje entre dos y tres meses. (Gernandes 1987)

**7. Cepillado.** El cepillado de madera es una técnica que consiste en rebarla extrayendo sucesivamente láminas finas de madera, con el objetivo de nivelarla, alisarla y llevarla a la medida deseada. Para realizar se utiliza lo que se conoce como cepillo de madera, el cual puede ser eléctrico o manual. (Bluebagages, artículos carpintería).

El cepillo puede clasificarse también de la siguiente manera:

- Cepillo en madera: Herramienta tradicional, con una cuchilla y contracuchilla sujetadas por una cuña.
- Cepillo metálico: Cuenta con un sistema de prensado que sirve de palanca, con un tornillo de reglaje que permite regular el corte. Consta además de una moleta de reglaje y dos agarradores. Es susceptible a la corrosión.

- Cepillo eléctrico: Portatil, con un porta-cuchillas rotativo que gira velozmente. Están equipados con una guía paralela para realizar ranuras y una guía lateral inclinada, que permite realizar biseles. Algunos vienen equipados con un sistema automático de protección para las cuchillas, una bolsa para viruta y un tubo de aspiración.
- Garlopa: Es un cepillo específico de gran tamaño, utilizado para desbastar piezas grandes de madera.
- Garlopín: De menor tamaño que la garlopa y con la cuchilla levemente redondeada.
- Guillamen de esquinar: Cepillo angosto, en el que la cuchilla sobresale ligeramente de la herramienta. Se utiliza para abrir ranuras.
- Cepillo dentado: Se utiliza para raspar la madera antes del uso. (Bluebagages, artículos carpintería).

Para realizar el cepillado se debe preparar el cepillo de madera ajustando la cuchilla para el tipo de madera y corte deseado.

La preparación se realiza colocando de primero la contra-cuchilla y luego la cuña. La contra-cuchilla se coloca 1 ó 2 mm por encima de la cuchilla. Se debe considerar que si se coloca muy alejado, la cuchilla vibrará, y de estar muy alejado, ésta se sobrecargará. (Casaactual, artículos varios).

La cuchilla debe estar a flor del durmiente con el bisel hacia atrás. Todo debe estar bloqueado por la cuña. Para que la cuchilla corte, debe de dársele unos pequeños golpes con el martillo en la parte de arriba de la misma para que sobresalga por debajo del durmiente. Mientras más sobresalga la cuchilla del durmiente, mayor será el grosor de la viruta. (Casaactual, artículos varios).

Para dismantelar la cuchilla del cepillo o para reducir lo que sobrepasa del durmiente, se debe golpear con el mazo sobre el talón del cepillo. (Casaactual, artículos varios).

Media vez ha sido preparado el cepillo, se debe fijar la pieza a una altura adecuada para el trabajo, de ser posible sobre un banco de carpintero con torno y tacos, o con la ayuda de mordazas para sujetarla. La superficie de la madera debe estar limpia, de tener pintura se tiene que decapar. De estar resinosa, se puede utilizar un disolvente. (Bluebagages, artículos carpintería).

Cuando se ha terminado de preparar la herramienta y la pieza, se procede a cepillar. La técnica de cepillado es igual sin importar si es un cepillo eléctrico o manual. Se cepilla en sentido del hilo de madera. Para reconocer éste, se puede colocar el cepillo sobre la madera y empujarlo suavemente con un dedo, si desliza quiere decir que se está en la dirección correcta del hilo, de lo contrario vibrará. Cuando se cepilla un canto, la herramienta debe estar paralela a la superficie, apoyando la punta del cepillo al principio de la trayectoria y empujando normalmente; al final del recorrido se debe apoyar sobre el talón sin soltar la punta, evitando así que se redondeen los extremos de la superficie cepillada. Para cepillar un nudo, se saca un poco de cuchilla y se cepilla con pequeños golpes, desde el contorno del nudo hacia el centro. Para realizar un bisel, se coloca el cepillo al bies, de acuerdo al ángulo deseado, cepillando repetidas veces y con poca cuchilla. (Casaactual, artículos varios).

**Gráfico No. 26: Proceso de cepillado de la madera**



<http://3.bp.blogspot.com/->

[BRdOMx5wPqM/TeB959S1r7I/AAAAAAAAA1I/nd4QiMLfrJw/s1600/md+cepillado+manual+de+madera.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-BRdOMx5wPqM/TeB959S1r7I/AAAAAAAAA1I/nd4QiMLfrJw/s1600/md+cepillado+manual+de+madera.jpg)

## I. Diámetros menores en Guatemala

**1. PINFOR.** El PINFOR es un Programa de Incentivos Forestales, otorgado por el estado de Guatemala como un pago en efectivo a los propietarios de tierras con vocación forestal. Con esto, se pretende que ejecuten proyectos de reforestación o manejo de bosques naturales. El incentivo es otorgado una sola vez de acuerdo a un plan de manejo que es aprobado por el INAB. (INAB, Guatemala).

La Ley Forestal, en su título VII, capítulo I, artículo 71, se refiere a los Incentivos Forestales, así:

« Incentivos. El estado otorgará incentivos por medio del Instituto Nacional de Bosques INAB, en coordinación con el Ministerio de Finanzas Públicas, conforme esta ley, a los propietarios de tierras, incluyendo a las municipalidades, que se dediquen a proyectos de reforestación y mantenimiento de tierras de vocación forestal desprovistas de bosques, así como al manejo de bosques naturales y las agrupaciones sociales con personería jurídica, que virtud a arreglo legal, ocupan terrenos de propiedad de los municipios.

Estos incentivos no se aplicarán a la reforestación derivada de los compromisos contraídos según los casos indicados en esta ley. Las plantaciones derivadas de programas de incentivos forestales se conceptúan como bosques plantados voluntarios».

El PINFOR es una herramienta de la Política Nacional Forestal a largo plazo que inició en 1997 y tiene vigencia hasta el año 2016. (INAB, Guatemala).

Los beneficiarios de este programa incluyen a municipalidades y comunidades de vocación forestal, así como pequeños, medianos y grandes propietarios y grupos sociales organizados.

La misión del PINFOR es:

«El PINFOR fomenta la creación de núcleos de producción forestal regional de alta productividad, para impulsar la oferta de productos forestales competitivos, reducir la deforestación, generar servicios ambientales y empleo en el área rural». (INAB, Guatemala).

La visión del PINFOR es:

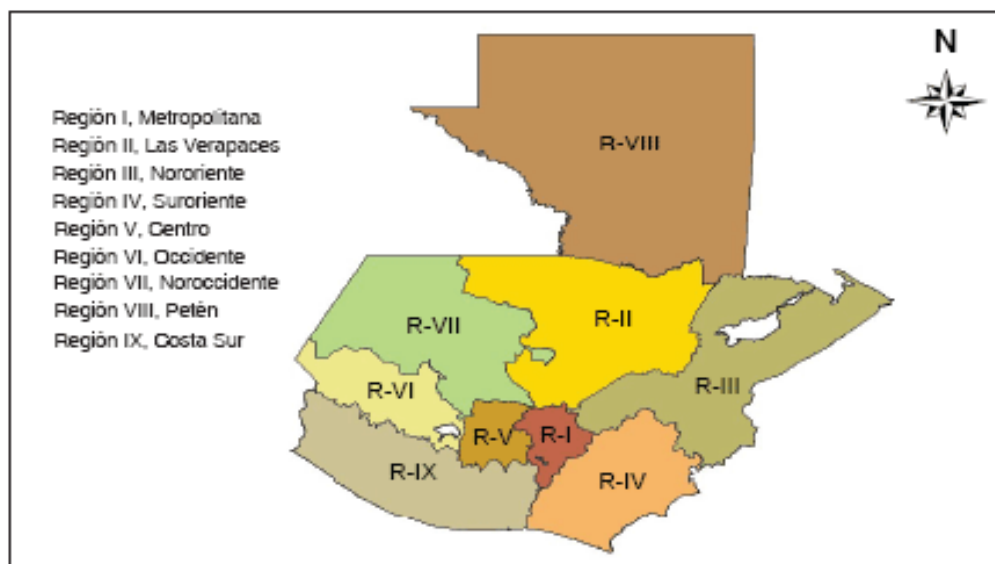
«Es el instrumento de la política forestal que promueve una mayor incorporación de la población guatemalteca al sector forestal. El PINFOR incentiva la inversión para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales, el manejo sostenido de bosques naturales y la silvicultura con fines ambientales. El PINFOR convierte a Guatemala en el líder de la producción de bienes y servicios ambientales de la región». (INAB, Guatemala).

Para poder optar al programa, se debe cumplir con ciertos requisitos de ingreso:

1. El área mínima para ingresar es de 2 hectáreas (3 manzanas), que estén ubicadas en el mismo municipio, de uno o varios propietarios. El área máxima es determinada por el Estado y los costos de Producción.
2. Un formulario de solicitud debidamente llenado.
3. Para proyectos de reforestación, se debe de adjuntar un formulario de calificación de tierras por capacidad de uso.
4. Plan de manejo de Plantaciones o Bosque Natural.
5. Una certificación extendida por el Registro de la Propiedad del Inmueble, que acredite la propiedad de la tierra.
6. Fotocopia del NIT (Número de Identificación Tributaria) del propietario.
7. Fotocopia de documento de identificación del propietario.
8. Contrato de cumplimiento para garantizar la ejecución total de las actividades planificadas y autorizadas en el plan de manejo. (INAB, Guatemala).

**a. Regiones beneficiadas.** La distribución de las regiones del país fue realizada a través del Programa Forestal Nacional y el Instituto Nacional de Bosques, INAB. En él, se contemplan nueve regiones forestales, detalladas en la Gráfica No.27.

**Gráfico No. 27: Distribución de las regiones forestales de Guatemala**



Programa Forestal Nacional de Guatemala

<http://www.fao.org/docrep/009/a0970s/a0970s08.htm>

Las áreas reforestadas a través del programa se detallan a continuación en el Cuadro No.9:

**Cuadro No. 9: Área reforestada por región del INAB**

Área reforestada por región del INAB	
Región	Área en (ha)
I	1,379.02
II	42,846.95
III	11,045.98
IV	2,002.72

Continuación Cuadro No. 9

V	1,818.34
VI	1,765.15
VII	5,777.27
VIII	24,773.05
IX	10,912.87
Totales	102,321.35
(INAB, Guatemala).	

A continuación se presenta el Cuadro No.10 con información relacionada a los montos de incentivo que otorga el estado en relación al tamaño de la tierra para aquellas que vayan a ser utilizadas con fines productivos.

**Cuadro No. 10: Manejo de bosques naturales para producción**

Manejo de bosques naturales para producción	
Área (ha)	Montos de incentivos para producción (Q.)
<5	2,807.04 por hectárea
5<15	14,035.20 + 581.65 Por ha adicional hasta 15 ha
15<45	19,851.70 + 271.23 Por ha adicional hasta 45 ha
45<90	27,988.60 + 188.18 Por ha adicional hasta 90 ha
>90	36,456.70 + 190.98 Por ha adicional
(INAB, Guatemala).	

Las regiones beneficiadas a través del PINFOR se encuentran en este momento en las primeras etapas de la Corta Anual Permisible. Algunos de estos programas ya han comenzado

con los primeros raleos, obteniéndose a través de ellos madera juvenil con potencial económico que no ha sido explotado debidamente.

En el Cuadro No.11 se puede apreciar la cobertura en hectáreas por especies plantadas a través del PINFOR.

**Cuadro No. 11: Área reforestada por especie**

1,998-2,011					
No.	Especie	Código	Nombre común	Ha.	%
1	Pinus Maximinoi	PINUMI	Pino Candelillo	18,956.47	17.59%
2	Tectona Grandis	TECTGR	Teca	17,003.56	15.78%
3	Pinus Caribaea var. Hondurensis	PINUCH, PINUCC, PINUCB	Pino de Peten o Caribe	9,611.04	8.92%
4	Gmelina Arborea	GMELAR	Melina	6,876.68	6.38%
5	Tabebuia Donnell Smithii	TABEDO, CYBIDO, ROSEDO	Palo Blanco	6,434.52	5.97%
6	Pinus Oocarpa	PINUOO	Pino Colorado	5,997.04	5.56%
7	Cedrela Odorata	CEDROD	Cedro	1,231.87	1.14%
8	Calophyllum Brasiliense	CALOBR	Santa María	1,071.09	0.99%
9	Swietenia Macrophylla	SWIEMA	Caoba	843.70	0.78%
10	Abies Guatemalensis	ABIEGU	Pinabete	62.63	0.06%
Total Área Especies Prioritarias				68,088.60	63.18%
Otras especies			OTRAS	39,675.99	36.82%
Total área				107,764.59	100.00%

Fuente: INAB (<http://inab.gob.gt/>)

Existe una diferencia en el manejo de los bosques, dependiendo si estos son para reforestación o para industrias.

En el primer caso, el INAB proporcionará el incentivo económico para la compra de los árboles y la posterior plantación de estos en el área designada.

Para la segunda situación, en la que la reforestación tiene un fin productivo, el INAB además de proporcionar el dinero para la compra de los árboles y la plantación, correrá con los gastos asociados al manejo del bosque durante los primeros cinco años.

La empresa o comunidad beneficiaria, deberá realizar el monitoreo y el cuidado del bosque, sin embargo, el INAB verá de que se esté realizando esto, y de ser así remunerará a la comunidad en el 100% de los gastos incurridos para el manejo del bosque durante cinco años.

Finalizado este tiempo, se estará llegando al momento del primer raleo, costo que ya no asume el INAB y a partir de ese momento todo lo que se realice deberá de ser financiado por la empresa o comunidad. (Pérez, entrevista 2012).

**2. Rendimiento de los diámetros menores en la industria guatemalteca.** Durante el proceso de corte, hay un factor a considerar en el momento de realizarlo y que depende del diámetro de la madera y es el rendimiento que éste puede ofrecer. Comúnmente se conoce como cortar los cachetes, es decir eliminar los bordes de la madera para dejar piezas rectangulares y eliminar la corteza que rodea la madera. En la Gráfica No.28 se puede apreciar una distribución idónea de los cortes realizados a una troza.

**Gráfico No. 28: Distribución de los cortes a una troza**



<http://imagenes.77ideas.es/2011/04/distribucion-de-los-cortes-en-troncos-de-madera/>

El diámetro, más que la edad de la madera determinará cuánto se desperdiciará y de qué tamaño serán las piezas finales.

Con piezas de un diámetro de rango 6 a 9 pulgadas, se obtiene sólo un 40% de rendimiento, con un máximo de 50%. El otro 60% - 50% se desperdicia y no puede ser utilizado para fabricación, ya sea estructural o de productos como muebles. Por ejemplo, de una pieza de 9 pulgadas de diámetro se puede obtener una pieza rectangular de un máximo de 5x5. Es decir, 5 pulgadas de ancho por 5 pulgadas de alto. El largo está determinado por la longitud de la pieza y en base a lo que se desee realizar. (Pineda, entrevista 2012).

Mientras mayor sea el diámetro de la pieza, aumenta su rendimiento. Piezas que están en un rango entre 10 y 12 pulgadas se obtiene un rendimiento entre el 60 y 65%. Obteniéndose piezas de hasta 8x8 pulgadas.

Es importante tomar este factor en consideración ya que las piezas que se obtienen producto del primer raleo son de diámetros pequeños. Estas piezas no son atractivas económicamente ya que el costo de extracción es muy elevado en comparación a la utilidad y rendimiento que éstas proporcionan. Estas piezas son dejadas en la plantación para ser aprovechadas como abono natural.

Otro factor importante para que la madera obtenida del primer raleo no tenga un valor económico aprovechable es que la médula, o corazón del árbol, es mayor que los anillos que éste ha formado, y ésta no puede ser utilizada. (Pérez, entrevista 2012).

Las piezas que se obtienen a partir del segundo y tercer raleo, que están entre 6 a 9 pulgadas y 10 a 12 pulgadas respectivamente son más atractivas económicamente para la industria en general.

Es importante mencionar que el número de raleos lo determinará la calidad del bosque. Normalmente se realizan hasta 3 raleos, en los años 5, 8 y 12. Sin embargo, si se observa que la calidad de la madera que se obtiene es buena, pueden realizarse más para obtener más piezas y además permitir que las finales sean aún mejor. Los diámetros que se obtienen en los raleos extras son mayores, por consiguiente el rendimiento aumenta, siendo más atractivos. Nuevamente, esto dependerá de la calidad del bosque y los beneficios económicos que la empresa esté deseando obtener así como de la especie de madera.

Los diámetros menores son más atractivos para la industria de muebles ya que es posible realizar productos con piezas de 2x2 pulgadas como mesas y sillas. Sin embargo, los volúmenes que se obtienen producto de un raleo son altos, permitiendo incluso que un aserradero opere durante varios años sólo con esta madera, pero al obtenerse un rendimiento bajo del corte, no es factible utilizar el 100% de la madera que se obtiene en el raleo. Diámetros mayores son más rentables. Es de considerar que el raleo es una práctica necesaria ya que permite que los bosques crezcan más y por lo tanto aumenten su grosor.

La elaboración de los muebles dependerá de la demanda y el interés del productor por realizar cierto grupo de muebles. Sin embargo, considerando los rendimientos que se obtienen en los diferentes raleos, y el tamaño máximo de piezas que pueden cortarse (8x8 pulgadas), se

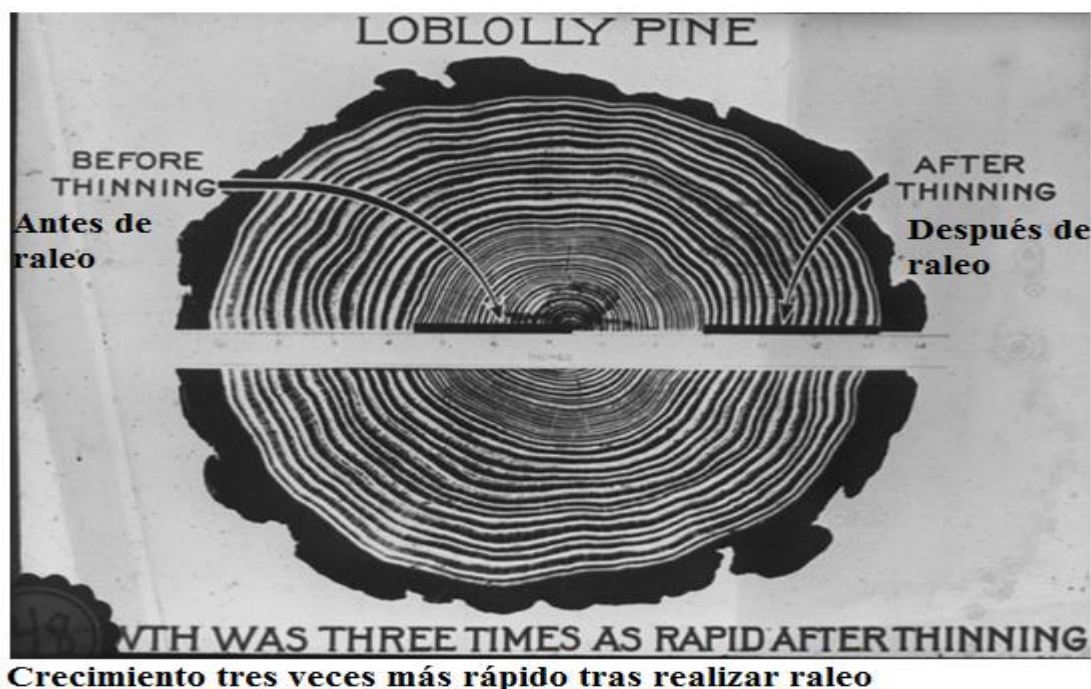
adecúa más para la producción de sillas, mesas, repisas, etc. Muebles que no necesiten de piezas grandes para su elaboración.

**3. Mal manejo forestal. Daño a los bosques e industria.** El Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) sólo cubre el manejo del bosque previo al primer raleo. A partir de ese momento, los beneficiarios deben de empezar a cubrir los gastos relacionados al manejo forestal. Estos gastos incluyen los raleos y rondas realizadas para determinar la calidad del bosque.

El costo del raleo depende de la especie forestal a la que se le realizará. Las maderas duras son las que tienen un costo superior en comparación con las blandas. Además del costo implicado en el raleo, el transporte de la troza obtenida es a su vez elevado. Las plantaciones manejan el costeo de la corta y el transporte en relación a los metros cúbicos extraídos.

El raleo se hace paulatinamente cada cierto tiempo, el cual es determinado por un experto que decidirá, en relación a una serie de parámetros, los metros cúbicos a extraer. La finalidad del raleo es permitir un ensanchamiento mayor de los árboles que no sean cortados. En la Gráfica No.29 se puede apreciar la diferencia en el crecimiento del árbol tras haberse realizado el raleo:

**Gráfico No. 29: Crecimiento del tronco tras realizarse un raleo**



Como se puede observar, tras realizarse el raleo, el árbol aumentó su grosor de una forma más pronunciada. Esto se debe a que al hacerse un raleo, se extraen las unidades que el experto consideró inapropiadas para la plantación, así como aquellas que se encontraban enfermas, evitando que los árboles restantes se vean afectados también. Con el raleo se permite además que las unidades restantes absorban más los nutrientes del suelo y crezcan sanamente; el árbol cuenta así mismo con más espacio para expandirse. Finalmente, con el raleo se extraen las ramas con el objetivo de permitir que el árbol crezca lo más recto posible.

Como se puede apreciar en esta breve descripción y en la imagen, el raleo representa un beneficio, ya que se obtienen mejores unidades al finalizar el periodo de crecimiento de la especie.

En una plantación que se realizó un manejo adecuado, realizándose los raleos en los años establecidos así como un control apropiado de los árboles, se puede aprovechar hasta un 85% del bosque. El 15% restante son árboles que no llegaron a crecer lo suficiente, están enfermos o han muerto, ya que aún con un manejo adecuado, no es posible aprovecharse el 100% de la plantación ni evitar que un porcentaje enferme o muera. (Pineda, entrevista 2012).

Los árboles que crecen en plantaciones que han tenido un buen manejo, pueden llegar a alcanzar su diámetro máximo, que dependerá de la especie de árbol. En el capítulo VI, inciso B, sección 2 se hace referencia a lo importante que es para la industria, árboles de buen tamaño ya que es posible obtener mejores rendimientos y se desperdicia menos, además de maquinarse piezas de mayor tamaño.

Al no realizarse un raleo, no se disminuye la densidad del bosque por lo que los árboles tienen un espacio reducido para poder crecer. Cada árbol absorbe menos nutrientes y al no haberle hecho la poda de las ramas, éstas generan un esfuerzo a los lados, por lo que el tronco no crece de una forma recta. Además al dejarse los árboles enfermos, existe la posibilidad de que estos infecten a los que están alrededor de ellos, teniendo en consideración que la distancia entre estos es menor al no haberse hecho el raleo.

Un bosque al que no se le realizó un raleo y un manejo adecuado puede aún así llegar a la edad adulta en su totalidad. Sin embargo la productividad de éste se reduce considerablemente. Los factores que afectan esta baja productividad son:

- Árboles maduros, pero de diámetros pequeños.

- Los troncos no son rectos siendo necesario enderezarlos, representando materia prima desperdiciada producto de este proceso.
- Existe la posibilidad que un alto porcentaje de los árboles hayan muerto, tengan plaga y estén enfermos.

De un bosque sin manejo adecuado puede aprovecharse un máximo del 20% de su volumen total. Ejemplificándolo, de una plantación de 1000 árboles, sólo 200 tendrían un atractivo económico. Estos 200 árboles a su vez cuentan con un rendimiento bajo, ya que a pesar de ser madera adulta, con propiedades físico-mecánicas atractivas para usarse como elemento estructural, son de diámetros pequeños. Los 800 árboles restantes podrían estar muertos, enfermos o torcidos, siendo prácticamente obsoletos para la industria, y con un valor de rescate equivalente al precio de leña por metro cúbico, ya que sería ésta el único producto que se puede realizar con ellos. (Pineda, entrevista 2012).

Para la industria de aserraderos en Guatemala, principalmente para aquellas que se dedican a la elaboración de casas, los bajos rendimientos de la madera adulta en un bosque con un mal manejo representan un aumento de los costos, ya que se aprovecha menos de un tronco y es necesario extraer más y por ende, maquinar más, lo que representa horas de trabajo con una baja productividad, así como el aumento de las horas/máquina, que repercute en un mayor consumo de energía.

De igual manera se ven afectadas las industrias que elaboran muebles, ya que de ser un diámetro menor, no es posible obtener planchas con un ancho lo suficientemente grande como para realizar con una sola pieza, una mesa por ejemplo. Como consecuencia, de la misma forma que la industria de casas, necesitan maquinar más piezas.

## **J. Situación actual en la industria de la transformación primaria y secundaria de la madera**

«En la industria primaria existen 261 aserraderos (Castillo, 2003). El 58% de las empresas operan desde hace más de 15 años y sólo un 5% se consideran empresas nuevas. Entre industria primaria y secundaria existen 96 empresas exportadoras. El aprovechamiento promedio es del 55% y el restante 45% se pierde en el aserrío. El aserrín y la viruta son comercializados como subproductos». (FAO, informe de la subregión de Centroamérica y México)

Existen 213 empresas dedicadas a la transformación secundaria de la madera y 60 pequeñas y medianas carpinterías.

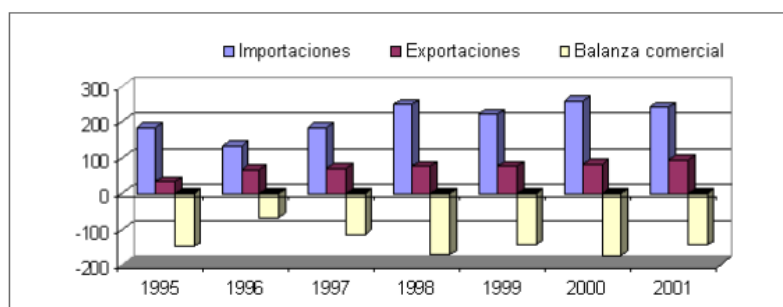
«La venta de madera y sus productos se da en 604 locales comerciales (depósitos de madera y ventas de materiales para construcción)». (FAO, informe de la subregión de Centroamérica y México)

Según la FAO el 70% de la madera utilizada en producción procede de bosques de coníferas.

Para tener un panorama del mercado de la industria de la madera en Guatemala, según la FAO, de toda la madera procesada en un año, el 90% se queda en el país y únicamente un 10% se utiliza para exportar. Dentro de los países a los que más se exporta se encuentra: El Salvador, Estados Unidos y República Dominicana. Los productos que se exportan a éstos países son madera aserrada, chapa y madera contrachapada. Según el mismo informe, únicamente el 6% de empresas en la industria de la madera se dedican a la exportación, lo que muestra una clara falta de ingreso a posibles mercados fuertes en el mundo, como podría ser Europa.

La siguiente imagen muestra la balanza comercial para Guatemala, respecto a importaciones y exportaciones.

**Gráfico No. 30: Balanza comercial en el sector de la madera en Guatemala**



Fuente: Informe de la subregión de Centroamérica y México.

<http://www.fao.org/docrep/009/j7354s/j7354s07.htm>

## K. Demanda de manufacturas de madera para el mercado europeo

En Europa se le da amplia importancia a los productos a base de madera y se puede apreciar con los siguientes datos: La Unión Europea es el mercado más grande para la madera, y está dividido en 4 sectores que en total equivalen al 90% del consumo alrededor del mundo. En el 2005 se consumió en la UE 1700 mil millones m<sup>3</sup> de madera. Como se ha mencionado antes, se consume mucho lo que es madera aserrada y madera en rollo, en la siguiente tabla se puede apreciar el consumo en diferentes partes del mundo comparado con países de la UE.

**Gráfico No. 31: Consumo per cápita de madera**

Consumo per/capita por mayores consumidores de la UE, según tipo de madera  
(Dado en m<sup>3</sup>/habitante)

Madera en Rollo		Madera Aserrada		Paneles de Madera	
Mundo	531	Mundo	64	Mundo	34
EU	804	EU	162	EU	86
Suiza	8502	Finlandia	1136	Estonia	280
Estonia	5878	Estonia	835	Eslovenia	217
Lituania	3866	Suecia	701	Austria	186
Austria	2946	Austria	634	Bélgica	165
EEUU	14971	EEUU	416	Alemania	142
Japón	219	Japón	178	EEUU	192

La demanda industrial se puede dividir en diferente segmentos como el sector de construcción (casas, edificios, etc.), DIY (es una modalidad donde se venden productos que ya mandan las piezas terminadas pero no unidas, por lo tanto, es el consumidor el encargado de terminar de armar la pieza), y el proceso de complemento industrial (relacionado con el que termina la cadena productiva, como lo es la fabricación de tarimas, muebles para la industria, marcos, ventanas, pisos, puertas, ventanas, etc.)

El sector que tiene más aplicación en la UE es el de construcción con aproximadamente un 70%, seguido de la industria de procesamiento y en menor cantidad la de DIY.

En el mercado de Europa se tiene varias oportunidades, entre éstas se encuentra que se busca que la madera importada o utilizada en aplicaciones industriales tiene que tener certificados de que no fue cortada ilegalmente y que no se está dañando al medio ambiente, por lo tanto sí se tiene un negocio de madera hay que cuidar de tener todos los certificados. Otro factor es que la

producción de madera en la UE ha disminuido en los últimos años debido a sus altos precios de mano de obra, por lo que se abre una ventana para nuestro país para exportar.

## **L. Generalidades de casas de madera**

**1. Combustibilidad.** Para eliminar esta idea y disminuir la probabilidad de arder de la madera, es necesario darle el correcto tratamiento. (Rutte Fabián, 2008)

**2. Exposición al calor.** La madera puede arder fácilmente o las altas temperaturas pueden afectar sus propiedades mecánicas, por lo que una regla clave es realizar la construcción en lugares donde no se exceda la temperatura de 75 Celsius por períodos largos. Además es buen aislante del calor. (Rutte Fabián, 2008)

**3. Requisitos estructurales.** Para brindar la mayor seguridad en caso de incendio, la resistencia al fuego se mide con base en los siguientes factores: Estabilidad, integridad y aislamiento térmico. No todos los elementos estructurales podrán responder a todas las especificaciones pero dependerá de la función en la estructura. (Rutte Fabián, 2008)

Para aumentar la resistencia al fuego se puede adherir un entarimado a las vigas. También ayuda agregar planchas yeso-cartón. Para aumentar la resistencia de los pisos, es de ayuda trabajo con un aislamiento protector. (Rutte Fabián, 2008)

Los tableros machihembrados o contrachapados son un apropiado revestimiento para la protección de las paredes ya que aumenta el tiempo de carbonización. También ayuda utilizar fibra mineral en el interior de la pared como aislante y retardador de combustión. (Rutte Fabián, 2008)

A pesar de la mala fama que tiene la madera como un producto muy sensible a prender fuego, es aún mucho más resistente que otros materiales como lo son el acero. (Rutte Fabián, 2008)

**4. La madera como estructura antisísmica.** A diferencia de otros elementos estructurales, la madera es uno de los elementos estructurales más seguros al momento de un terremoto. (Rutte Fabián, 2008)

**5. Resistencia a las vibraciones.** La madera es muy utilizada en zonas que son muy propensas a sufrir sismos, por ejemplo California, ya que es un material fuerte pero al mismo tiempo ligero, por lo que los movimientos de la tierra no generan tanta energía sobre las estructuras como lo hace en otros materiales, además, debido a que la madera es flexible, esto permite que absorba y libere la energía de una manera más fácil y conveniente, disminuyendo los daños a la estructura y a los que la habitan. (Rutte Fabián, 2008)

Un tipo de estructura ligera que es muy utilizado en la actualidad es el llamado estilo occidental, el cual utiliza vigas livianas colocadas una muy cercana a la otra, los pisos se construyen uno a uno. (Rutte Fabián, 2008)

Este tipo de estructura combina tres componentes básicos: Vigas verticales (estructuras de las paredes), vigas horizontales (base del piso) y entramados que son los encargados de soportar el techo. Con la ayuda de estos tres elementos, permite que la estructura resista efectos de gravedad, viento y de terremotos brindándole una muy grande estabilidad. (Rutte Fabián, 2008)

## **6. Características de diseños antisísmicos.**

- a. Atención a debilidades en la planta baja.
- b. Cimientos sólidos en terrenos estables.
- c. Muros bien unidos a los cimientos, utilizando pernos de anclaje.
- d. Resistencia lateral en paredes menores.
- e. Clavado adecuado de los otros componentes.

Lo mencionado anteriormente no quiere decir que su aplicación evite en todo momento algún daño o destrucción de la estructura, pero brinda más seguridad. (Rutte Fabián, 2008)

**7. Respuesta ante los ataques.** Dos aspectos de muy común preocupación dentro del mercado es, la fragilidad de las casas de madera a ser atacadas por termitas o a arder fácilmente con el fuego. Estas situaciones pueden ser fácilmente evitadas realizándole el correcto tratamiento a la materia prima y siguiendo las especificaciones técnicas elaboradas para trabajar con madera. (Rutte Fabián, 2008)

## M. Industrialización de viviendas

Es una forma de construcción donde se construyen las piezas en una fábrica o antes de montarse la obra para reducir accidentes y costos. Se divide en dos formas:

- Módulos tridimensionales o panelizados.
- Módulos tridimensionales

Una forma de construcción que se basa en la fabricación de la casa en una fábrica que está dividida en diferentes estaciones hasta lograr completar la casa. Una vez finalizada la casa, dentro de las instalaciones de la fábrica, ésta se transporta y se coloca en el terreno previamente definido. (Rutte Fabián, 2008)

**Gráfico No. 32: Casa producida en fábrica**



Fuente: (Rutte Fabián, 2008)

- Módulos panelizados

Son módulos bidimensionales, como cerchas, los cuáles se ensamblan posteriormente en el lugar de la obra.

Se consideran dos tipos de módulos panelizados:

1. Estructuras de entramados: Tiene un grado más bajo de industrialización ya que solo se prefabrican las piezas, sin realizar aún las instalaciones.
2. Estructuras de placas: Mayor grado de industrialización, contienen ya las placas OSB que le brinda rigidez a la estructura.

### Gráfico No. 33: Paneles prefabricados



Fuente: (Rutte Fabián, 2008)

- Sistema constructivo modular estandarizado

Se basa en la utilización de productos estandarizados como puertas y ventanas, se trabaja con placas modulares resistentes al fuego en el interior de muros y entresijos y además para combatir las pérdidas y ganancias de calor dentro de la casa, se forra ésta con materiales aislantes. (Rutte Fabián, 2008)

Este tipo de casas son construidas en su totalidad dentro de una fábrica, con todas sus instalaciones incorporadas y transportadas en su totalidad al terreno requerido, como cualquier otro producto. (Rutte Fabián, 2008)

Cuando se llega al lugar, éstas son instaladas sobre fundaciones previamente elaboradas y ya solo se termina de acoplar las instalaciones eléctricas, de agua, etc. (Rutte Fabián, 2008)

El hecho de que sea fabricada totalmente en una línea de producción disminuye las posibilidades de fallas dentro de la estructura y aumenta la calidad del producto. (Rutte Fabián, 2008)

**1. Características del sistema.** Este sistema productivo permite la construcción de paneles industrializados para viviendas con requerimientos específicos, paneles industrializados para viviendas repetitivas y viviendas industrializadas modulares tridimensionales. (Rutte Fabián, 2008)

Dentro de este tipo de fábricas se pueden construir viviendas que van de 20 hasta 200 m<sup>2</sup>. Además, este tipo de construcción brinda la facilidad de construir una pequeña vivienda en un

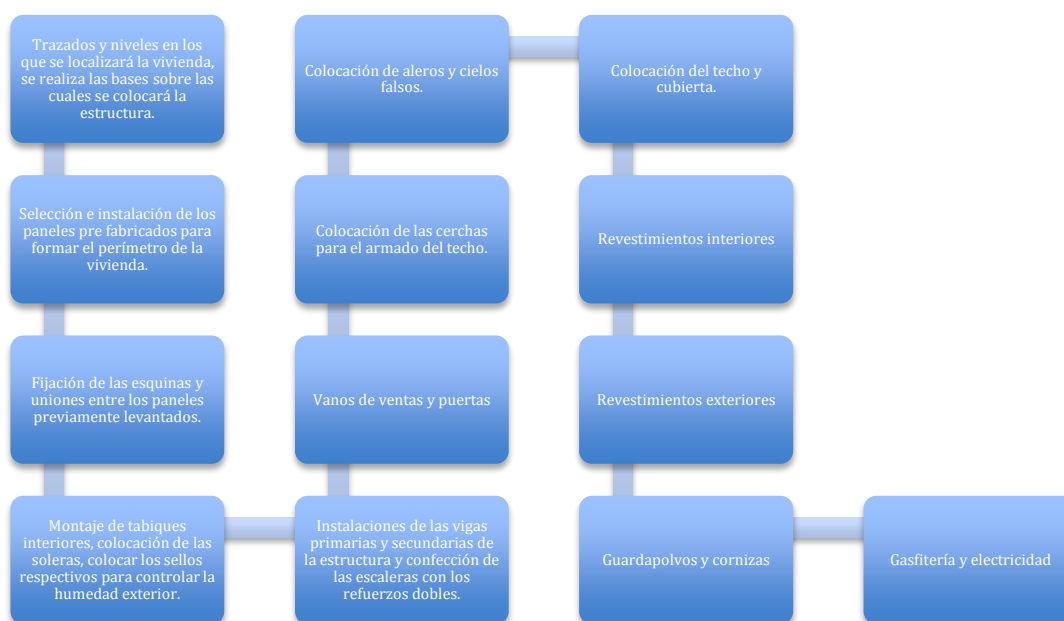
inicio, e irle agregándole nuevas partes con el tiempo para ampliaciones (una vez el terreno le permita seguir expandiéndose). (Rutte Fabián, 2008)

**2. Especialización de la mano de obra.** Uno de los inconvenientes que hay en los países latinoamericanos es que son las mismas personas las que realizan todo el proceso y la fabricación de una casa, esto hace que los resultados obtenidos no sean satisfactorios y que la casa, en términos de calidad, no cumpla con las expectativas. (Rutte Fabián, 2008)

Por lo tanto, la industrialización implica especialización de la mano de obra, esto significa que habrá diferentes cuadrillas involucradas en el proceso de construcción, las cuáles se especializan en el montaje y fabricación de una parte en específico dentro de la vivienda, de tan manera habrá un equipo especializado en el montaje de puertas, otro en la fabricación y montaje de pisos, otro en el techo, y así hasta tener la casa totalmente terminada. Esta correcta división del trabajo nos permite tener una mayor especialización y aumentar el rendimiento de productividad y por lo tanto entregar una mejor producto en menos tiempo. (Rutte Fabián, 2008)

**3. Descripción proceso de construcción *in situ*.** A continuación se muestra un proceso de construcción de casas *in situ* observado en un manual de construcción con acero galvanizado liviano. (Cerde Cristian, 1999).

**Gráfico No. 34: Proceso de construcción *in situ***



Fuente: Cerde Cristian, 1999

**4. Casas prefabricadas.** En los países del primer mundo cada vez toma más importancia y aplicación la compra de casas pre fabricadas, éstas se producen en una planta de producción por partes, como si fuera un rompe cabezas de piezas grandes, se transporta al terreno que compró el cliente, y se arma en tal lugar, de esta manera se ahorran costos en el precio total de la vivienda.

El hecho de que las casas sean producidas en una fábrica con condiciones reguladas y controladas de clima, colabora a que la madera a utilizar en la construcción de la vivienda no sufra alteraciones o se humedezca, este factor elimina la posibilidad de malos acabados y de mala calidad de la casa.

Debido a que las casas se producen en una planta de producción, con maquinas que operan en serie, ésta planta automatizada normalmente logra entregar el producto final en un tercio del tiempo que toma la construcción de una vivienda construida en el terreno. Estos ahorros de tiempo tienen influencia también en los ahorros de costos.

Para la construcción de paredes, la mayoría de las casas pre fabricadas utilizan estructuras de 2x6, esto permite añadir más aislamiento en la pared, lo que ayuda a garantizar una mayor eficiencia energética. Además de esto, se le agrega otras propiedades que ayudan a que la estructura sea lo suficientemente rígida para aguantar un terremoto.

La durabilidad de éstas casas es bastante larga, según experiencias en los Estados Unidos, en donde se dice que llegar a durar hasta 70 años manteniendo una calidad sobresaliente en el producto y sin dar ningún problema.

**5. Diferencias con una casa tradicional.** Este tipo de casas son construidas por partes en una fábrica automatizada, que tiene diferentes departamentos especializados en las diferentes partes que llevará la casa. Al final todas las partes se unen en el terreno donde estará ubicado la vivienda.

En los Estados Unidos, las casas modulares se diferencian de las casas pre fabricadas en que las últimas tienen mayores requerimientos federales lo que hace más complejo encontrar un área en la que me permitan construir, esto no sucede con las casas modulares ya que no tienen tantos requisitos.

**6. Beneficios de casas modulares.** Este tipo de casas son fabricadas en plantas que cuentan con la mayor tecnología industrial, y el hecho que tengan diferentes líneas de producción, ayuda a acelerar el proceso y garantizar la calidad del producto final.

Como toda planta de producción, se requiere contar con muchos estándares de calidad que le permitan operar, por lo tanto se toman en cuenta herramientas como manufactura esbelta y demás controles de calidad, para garantizar la eficiencia del proceso, reducción de desperdicios y reducción de costos de producción brindando siempre un producto de alta calidad.

Debido a que necesitan contar con la materia prima necesaria para responder a la demanda, las fábricas compran madera, tornillos, herramientas, etc. en muy grandes cantidades, esto permite disminuir el precio unitario de todos los suministros y se ve reflejado en el precio final por vivienda ofrecido en el mercado.

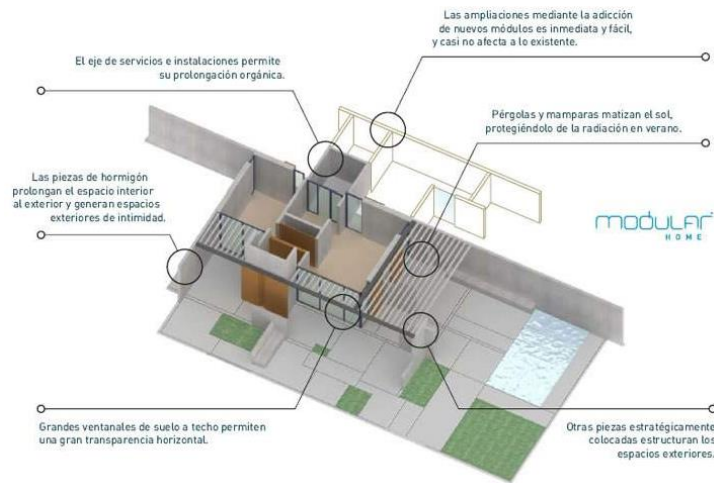
El hecho de que se trabaje en una fábrica, en condiciones aisladas, permite ahorrarse los inconvenientes de condiciones climatológicas perjudiciales para la construcción, como lo podría ser lluvias fuertes, tormentas, que no solo pueden afectar la materia prima, sino que causan retrasos en la producción, es por eso que el tiempo de entrega de éste tipo de viviendas es rápido en comparación a las viviendas convencionales.

Debido a los altos estándares en producción que se tienen en las fábricas, se obtiene un producto que no necesita de mantenimiento alguno durante un lapso de tiempo, lo que permite ahorro respecto a otras casas.

Las diferentes partes producidas en la planta se transportan al terreno y son ensambladas como si fuera un rompecabezas, parte sobre parte por medio de grúas que permiten mover grandes partes con mucho peso.

Además debido a la naturaleza de la construcción de la vivienda, se le puede realizar modificaciones fácilmente como lo es la expansión en diferentes ambientes.

### Gráfico No. 35: Ampliación casa modular



Fuente: <http://www.modularhome.es/>

## 7. Ejemplos diseños de casas modulares.

### Gráfico No. 36: Ejemplo diseños casas modulares



Fuente: <http://www.modularhome.es/>

Fuente: <http://blog.is-arquitectura.es/>

## **VI. PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS DESTRUCTIVAS**

Mediante el uso de distinta maquinaria de carpintería, se prepara las muestras para los diferentes ensayos, por lo que las piezas son cortadas, cepilladas. Las muestras son cortadas con la sierra circular:

**Gráfico No. 37: Sierra circular**



**Gráfico No. 38: Sierra circular 2**



Además de ser cepilladas y enderezadas para tener ángulos de  $90^\circ$  para así formar cubos.

**Gráfico No. 39: Enderezadora**



**Gráfico No. 40: Cepilladora**



**Gráfico No. 41: Cepilladora final**



**Gráfico No. 42: Cepilladora 2**



**Gráfico No. 43: Introducción de madera**



Según las normas ASTM 143-94 (2000), las diferentes muestras deberán utilizarse para pruebas de compresión, de dureza, corte, flexión, y gravedad específica.

Para las pruebas de compresión las muestras deberán ser cortadas y cepilladas, con medidas de 50 x 50 x 150 mm, para la prueba de compresión perpendicular, dureza, gravedad específica y extracción de clavos, y de 50 x 50 x 200 mm para la prueba de compresión paralela a la fibra. Con estas muestras introduce las muestras al horno, que reducirá la humedad de las diferentes muestras.

**Gráfico No. 44: Muestras para ensayos**



Una de las de este método, es la capacidad de la madera de deformarse durante el secado, debido a que la madera se tuerce en cuanto pierde humedad.

Con estas muestras más secas se pretende luego, tomar medidas, calcular el cambio de humedad, ya que se reducen en volumen. Sin embargo se puede observar que la madera más densa se agrieta al momento de ser secado en horno, debido a que las fibras de las maderas densas crecen más unidas, esto hace que su resistencia sea mayor que las maderas que tienen menor cantidad de fibras unidas.

Luego las muestras son sometidas a diferentes cargas controladas como un medidor de compresión y medidor de dureza.

**Gráfico No. 45: Prueba de dureza**

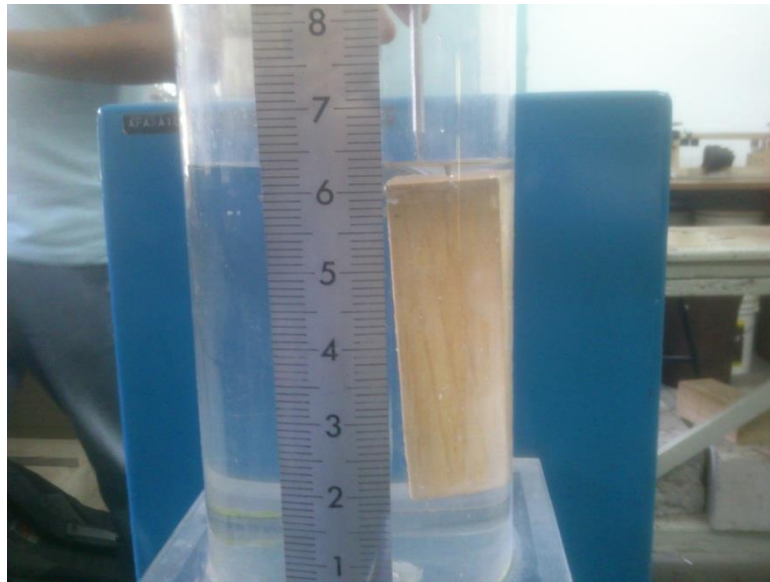


**Gráfico No. 46: Extracción de clavo**

En el caso de maderas consideradas duras, se optó por lubricar el clavo para su introducción a las muestras, debido a que el clavo constantemente fallaba al entrar en la veta. Sin embargo debido a su dureza, éstas resultaban muy difíciles de extraer por lo que los aparatos e instrumentos del laboratorio fueron imprecisos para la lectura de las muestras.

**Gráfico No. 47: Compresión paralela a las fibras**

**Gráfico No. 48: Medición gravedad específica**



**Gráfico No. 49: Medición de corte**



**Gráfico No. 50: Medición de flexión**



## VII. RESULTADOS PRUEBAS DESTRUCTIVAS

### A. PINO (Pino Maximinoi)

Árbol comúnmente utilizado en Guatemala debido a su popularidad, además de ser fácil de encontrar

#### 1. Propiedades físicas.

**Cuadro No. 12: Características físicas del pino**

Características	Descripción
Olor	Aromático
Color	Amarillento
Sabor	No distintivo
Grano	Recto
Textura	Gruesa por partes

**Gráfico No. 51: Corte longitudinal pino**



## 2. Propiedades mecánicas

**Cuadro No. 13: Propiedades mecánicas del pino**

Propiedad		Esfuerzo Unitario		Desviación estándar	Coeficiente de variación	Normalización (lb/pulg2)
		lb/pulg2	Kg/cm2			
Corte	Radial	2,162.50	152.07	272.23	12.59%	1,590.82
	Tangencial	391.67	27.54	51.49	13.15%	283.53
Compresión paralela		12,830.00	902.25	2,104.78	16.41%	8,409.96
Compresión perpendicular		9,050.00	636.43	2,264.62	25.02%	4,294.30
Dureza	Radial	316.82	22.28	122.34	38.61%	59.92
	Tangencial	267.18	18.79	97.32	36.43%	62.80
	Axial	767.60	53.98	144.26	18.79%	464.65
Extracción de clavo	Radial	115.11	8.10	35.32	30.68%	40.94
	Tangencial	72.44	5.09	10.05	13.87%	51.35
	Axial	100.44	7.06	30.95	30.81%	35.45
Flexión		1,850.00	0.36	70.71	3.82%	1,627.26
Modulo de elasticidad MOE (psi)	Compresión paralela	203,650.79				203,650.79
	Flexión	5,138.89				5,138.89

Gravedad específica		
	Densidad kg/m3	Normalización (kg/m3)
Media	441.19	381.17
Desviación estándar	28.58	
Coeficiente de variación	6.48%	

El comportamiento que se observa en la dureza, en promedio, muestra los valores obtenidos que oscilan entre las 267 y 317 libras de presión tangencial y radialmente, mientras que axialmente, la dureza es del doble, y esto es debido a que la dureza de las fibras, es mayor cuando sus fibras están en la dirección de la carga. Además de poseer, valores elevados en compresión paralela, que va desde 12,830 libras de presión, el pino puede soportar cargas estructurales, precisas en la industria de la construcción.

La norma para definir la resistencia de las piezas del percentil 5%, por lo que los valores correspondientes al percentil del 5%, se muestran en la Tabla 6. Este valor es el límite inferior de resistencia aceptable que garantiza un valor del 95% de las muestras.

## B. SANTA MARÍA (*Calophyllum brasiliense* Cambess)

Especie de madera sumamente resistente a diferentes fuerzas y cargas, debido a su gran densidad y fortaleza.

### 1. Propiedades físicas.

**Cuadro No. 14: Características físicas de Santa María**

Características	Descripción
Olor	Aromático
Color	Rojizo
Sabor	No distintivo
Grano	Recto
Textura	Fina

**Gráfico No. 52: Corte longitudinal de Santa María**



## 2. Propiedades mecánicas.

**Cuadro No. 15: Propiedades mecánicas de Santa María**

Propiedad		Esfuerzo Unitario		Desviación estándar	Coeficiente de variación	Normalización lb/pulg <sup>2</sup>
		lb/pulg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>			
Corte	Radial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Tangencial	1,000.00	70.32	92.58	0.09	814.84
Compresión paralela		22,500.00	1,582.28	2,677.06	0.12	15,325.47
Compresión perpendicular		19,366.15	1,361.90	1,653.96	0.09	14,933.53
Dureza	Radial	649.00	45.64	373.74	0.58	(72.33)
	Tangencial	1,054.90	74.18	347.16	0.33	242.55
	Axial	964.15	67.80	432.47	0.45	55.96
Extracción de clavo	Radial	283.17	19.91	34.26	0.12	203.01
	Tangencial	290.00	20.39	29.44	0.10	221.11
	Axial	223.50	15.72	27.23	0.12	159.79
Flexión		2,400.00	168.78	400.00	0.17	1,464.00
Módulo de elasticidad MOE (psi)	Compresión paralela	179,521.28				179,521.28
	Flexión	5,255.47				5,255.47

Gravedad específica	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Normalización kg/m <sup>3</sup>
Media		
Desviación estándar	6.619624423	
Coeficiente de variación	0.85%	

Es apreciable como la dureza de Santa María es mayor, ya que es una madera cuyas fibras se encuentran más unidas, por ende contiene una mayor densidad. La Santa María es una madera semi dura, sin embargo es una madera costosa, por lo que no parece viable para la elaboración de estructura. Sin embargo en un escenario en el cual el precio no sea una incomodidad, esta madera puede sostener cargas muy elevadas. Además esta madera puede sostener cargas de 22,500 lb/pulg<sup>2</sup> a compresión perpendicular, y 19,366 lb/pulg<sup>2</sup>, lo que hace de Santa María una especie de madera apta para la industria de la construcción.

No se logra la obtención de datos en corte radial, debido a la escasez de muestras, sin embargo, su corte tangencial soporta hasta 1000 lb/pulg<sup>2</sup>, lo que hace de esta madera, una especie apta para la elaboración de distintas columnas y vigas, además de poseer una dureza que oscila entre 600 a 1000 lb/pulg<sup>2</sup>.

## C. CHICHIPATE (*Acosmium panamense*)

Especie de madera sumamente fuerte y densa, extraída del Quiché.

### 1. Propiedades físicas.

**Cuadro No. 16: Características físicas de Chichipate**

Características	Descripción
Olor	Aromático
Color	Marrón
Sabor	No distintivo
Grano	Recto
Textura	Fina

**Gráfico No. 53: Corte longitudinal de Chichipate**



## 2. Propiedades mecánicas.

**Cuadro No. 17: Características mecánicas de Chichipate**

Propiedad		Esfuerzo Unitario		Desviación estándar	Coeficiente de variación	Normalización lb/pulg <sup>2</sup>
		lb/pulg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>			
Corte	Radial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Tangencial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Compresión paralela		37,500.00	2,637.13	2,958.04	7.89%	29,572.45
Compresión perpendicular		27,600.00	1,940.93	1,319.09	4.78%	24,064.84
Dureza	Radial	2,181.78	153.43	54.42	2.49%	2,010.36
	Tangencial	2,133.42	150.03	148.75	6.97%	1,664.85
	Axial	2,594.70	182.47	44.41	1.71%	2,454.82
Extracción de clavo	Radial	458.60	32.25	39.56	8.63%	375.53
	Tangencial	458.00	32.21	23.87	5.21%	407.86
	Axial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Flexión		4,400.00	309.42	0.70	0.02%	4,397.80
Módulo de elasticidad MOE (psi)	Compresión paralela	321,919.97				321,919.97
	Flexión	6,285.71				6,285.71

Gravedad específica	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Normalización kg/m <sup>3</sup>
Media	892.69	840.55
Desviación estándar	24.83	
Coeficiente de variación	0.03	

El chichipate resulta en comparación con el Pino y Santa María, una madera mucho más dura y más soportable a las cargas. Es una madera cuyas propiedades la hacen perfecta para la elaboración de elementos estructurales, sin embargo su costo así como su abundancia es una limitante. Además comparado con el Pino, el chichipate, puede soportar las cargas elevadas. Resulta ideal debido a que presenta valores muy altos, las fuerzas capaces de soportar, sin embargo las limitantes de esta especie reside en su costo.

Debido a la fortaleza que se tiene, este tipo de madera es capaz de soportar altas cargas, ya que alcanza 37,500 lb/pulg<sup>2</sup> a compresión paralela, lo que hace una madera ideal para estructuras, o cualquier campo de construcción, además de poseer una dureza muy alta ya que no disminuye de los 2000 lb/pulg<sup>2</sup>. Debido a su densidad elevada este tipo de madera presenta propiedades aptas para la elaboración de pisos, y paredes, ya que es una especie que contiene una alta dureza.

## D. Cedro (*Cedrela* spp)

Especie de madera sumamente aromática, con colores rojizos.

### 1. Propiedades físicas.

**Cuadro No. 18: Características físicas de Cedro**

Características	Descripción
Olor	Aromático
Color	Rojizo
Sabor	No distintivo
Grano	Recto
Textura	Fina

**Gráfico No. 54: Corte longitudinal de Cedro**



## 2. Propiedades mecánicas.

**Cuadro No. 19: Características mecánicas Cedro**

Propiedad		Esfuerzo Unitario		Desviación estándar	Coeficiente de variación	Normalización lb/pulg2
		lb/pulg2	Kg/cm2			
Corte	Radial	1,175.00	82.63	46.29	3.94%	1,077.79
	Tangencial	450.00	31.65	53.45	11.88%	337.75
Compresión paralela		15,100.00	1,061.88	651.92	4.32%	13,730.97
Compresión perpendicular		6,900.00	485.23	1,496.66	21.69%	3,757.01
Dureza	Radial	435.08	30.60	155.21	35.67%	109.14
	Tangencial	476.69	33.52	112.99	23.70%	239.41
	Axial	685.47	48.20	87.97	12.83%	500.74
Extracción de clavo	Radial	123.40	8.68	6.38	5.17%	110.00
	Tangencial	123.60	8.69	26.22	21.21%	68.54
	Axial	75.30	5.30	12.28	16.31%	49.50
Flexión		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Módulo de elasticidad MOE (psi)	Compresión paralela	141,651.03				141,651.03
	Flexión	N/A				N/A

Gravedad específica	Densidad kg/m3	Normalización kg/m3
Media	375.35	352.76
Desviación estándar	10.75	
Coeficiente de variación	0.03	

Es apreciable como el Cedro resulta en comparativa con el Pino muy similar, ya que los valores de este tipo de madera, son idénticos, lo cual hace del Cedro una madera que puede ser utilizada para la elaboración de cualquier tipo de estructura. Sin embargo entre las limitaciones que encuentra, se tiene el costo de la misma ya que es un poco elevado, sin embargo es un tipo de madera, que puede trabajarse de manera muy sencilla.

## E. PALO BLANCO (*Tabebuia donnell-smithii* Rose)

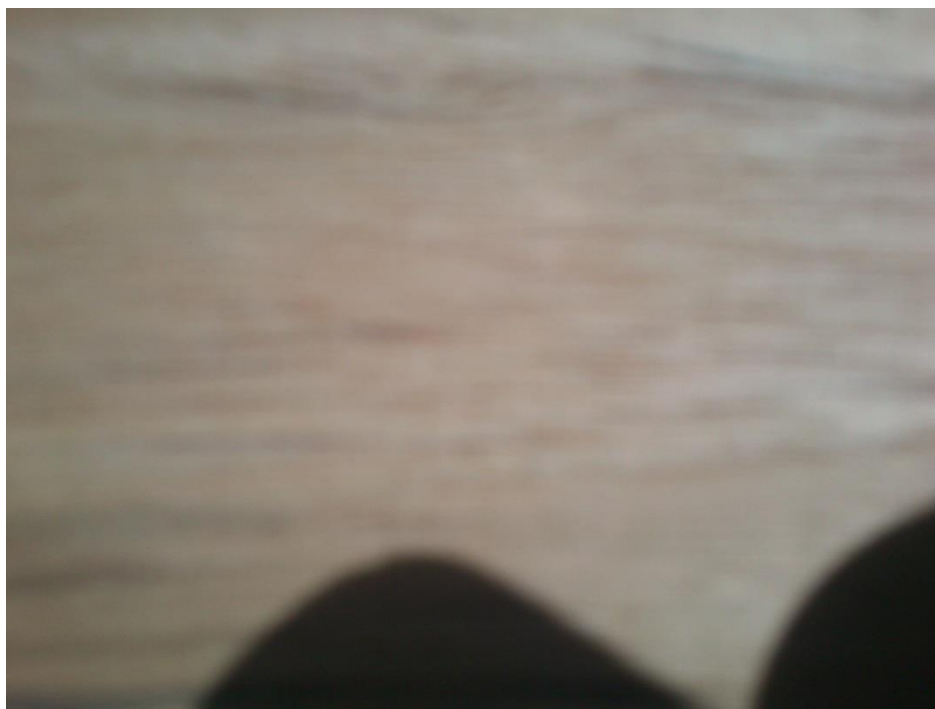
Especie de madera de rápido crecimiento, que además contiene dentro de su tronco, pocos nudos.

### 1. Propiedades físicas.

**Cuadro No. 20: Características físicas de Palo Blanco**

Características	Descripción
Olor	Poco aromático
Color	Blanco
Sabor	No distintivo
Grano	Recto
Textura	Fina

**Gráfico No. 55: Corte longitudinal de Palo Blanco**



## 2. Propiedades mecánicas.

**Cuadro No. 21: Características mecánicas Palo Blanco**

Propiedad		Esfuerzo Unitario		Desviación estándar	Coeficiente de variación	Normalización
		lb/pulg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>			
Corte	Radial	5121.875	360.19	507.8732793	9.92%	4,055.34
	Tangencial	931.25	65.49	92.34059624	9.92%	737.33
Compresión paralela		17,000	1,195.50	1683.250823	9.90%	13,465.17
Compresión perpendicular		15,400	1,082.98	489.8979486	3.18%	14,371.21
Dureza	Radial	1300.86	91.48	80.02670665	6.15%	1,132.80
	Tangencial	1272.39	89.48	125.6905587	9.88%	1,008.44
	Axial	1491.39	104.88	40.72472495	2.73%	1,405.87
Extracción de clavo	Radial	267.50	18.81	7.168604389	2.68%	252.45
	Tangencial	253.00	17.79	11.35292424	4.49%	229.16
	Axial	161.00	11.32	9.067647006	5.63%	141.96
Flexión		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Modulo de elasticidad MOE (psi)	Compresión paralela	85,000.00				85,000.00
	Flexión	N/A				N/A

Gravedad específica	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Normalización kg/m <sup>3</sup>
Media	460.68	442.07
Desviación estándar	8.86	
Coeficiente de variación	0.02	

Como se puede apreciar en la Tabla 2, esta especie de madera posee características mecánicas elevadas, debido a esto, el palo blanco es una especie de madera que puede ser utilizada para la elaboración de vigas, y columnas, además de poseer una resistencia al desgaste sumamente alto, ya que presenta una dureza que va desde 1,272.39 lb/pulg<sup>2</sup>, hasta 1481.39 lb/pulg<sup>2</sup>, lo que hace que el palo blanco sea ideal para la formación de paredes, pisos, puertas, etc. Así también presenta características elevadas para soportar cargas y esfuerzos más elevados, que pueden ser presenciados en la industria de la construcción.

## F. Teca (*Tectona grandis* L)

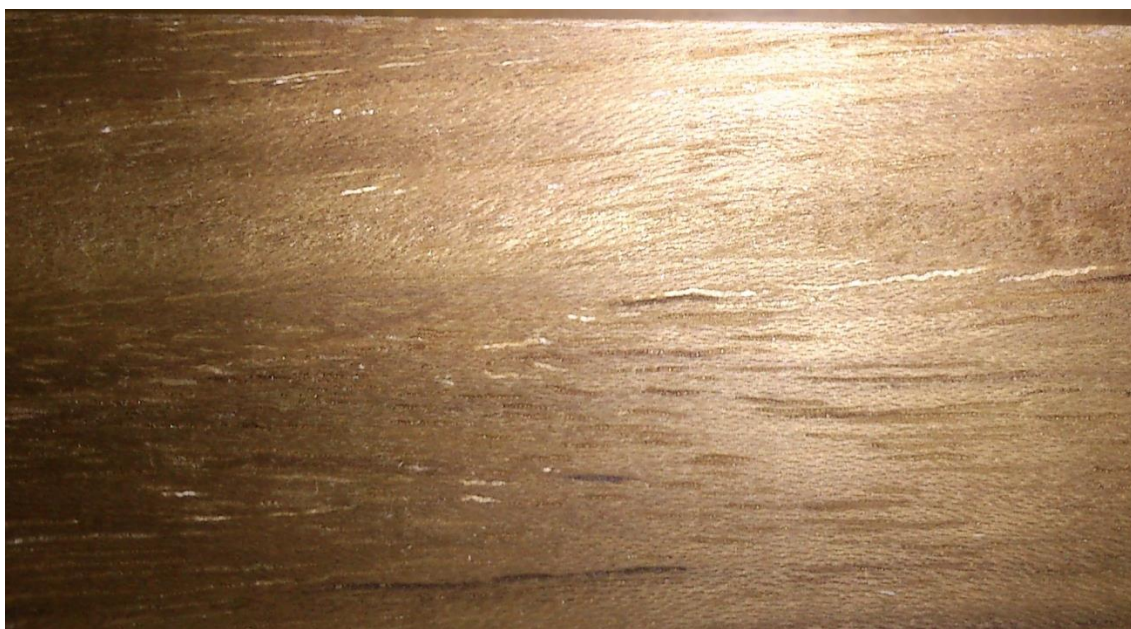
Especie de madera sumamente aromática, con colores rojizos.

### 1. Propiedades físicas.

**Cuadro No. 22: Características físicas de Teca**

Características	Descripción
Olor	Aromático
Color	Café
Sabor	No distintivo
Grano	Recto
Textura	Muy fina

**Gráfico No. 56: Corte longitudinal de Teca**



## 2. Propiedades mecánicas.

**Cuadro No. 23: Características mecánicas Teca**

Propiedad		Esfuerzo Unitario		Desviación estándar	Coeficiente de variación	Normalización lb/pulg2
		lb/pulg2	kg/cm2			
Corte	Radial	4915.625	345.68	631.1748541	12.84%	3,590.16
	Tangencial	893.75	62.85	114.7590644	12.84%	652.76
Compresión paralela		20,500	1,441.63	2263.846285	11.04%	15,745.92
Compresión perpendicular		16,500	1,160.34	1140.175425	6.91%	14,105.63
Dureza	Radial	1040.98	73.21	100.8116814	9.68%	829.28
	Tangencial	1073.1	75.46	90.26322002	8.41%	883.55
	Axial	1248.3	87.78	30.39232359	2.43%	1,184.48
Extracción de clavo	Radial	129.38	9.10	6.781013409	5.24%	115.13
	Tangencial	105.63	7.43	4.172614802	3.95%	96.86
	Axial	140.63	9.89	4.955156045	3.52%	130.22
Flexión		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Modulo de elasticidad MOE (psi)	Compresión paralela	227,272.73				227,272.73
	Flexión	N/A				N/A

Gravedad específica		Normalización kg/m3
	Densidad kg/m3	
Media	468.13	415.99
Desviación estándar	24.83	
Coeficiente de variación	0.05	

La Teca es una especie de madera, que posee la característica de mantener las fibras unidas, debido a que, se realizaron pruebas de corte en donde el resultado fue un corte en el cual se seguían el patrón de las mismas fibras. Además es una madera que posee grandes características estructurales debido a la magnitud de sus esfuerzos, ya que comparado con el Pino, la madera más utilizada por la industria de la construcción, la Teca presenta valores de casi el doble, lo que hace que sea ideal para la construcción.

Además de esto se puede apreciar el valor que tiene para resistir el desgaste, lo que hace una madera tanto estética como ideal para la formación de paredes, columnas, y mueblería en general.

## **G. Comparativa propiedades físico-mecánicas pino juvenil vs pino adulto**

Para la determinación de las propiedades físico-mecánicas de la madera juvenil se realizaron una serie de pruebas destructivas a muestras con dimensiones requeridas por las normas ASTM 143-94 del año 2000.

La especie de madera a la que se le realizaron las pruebas fue *Pino Maximinoi*, proveniente del tercer raleo. Conjuntamente se realizaron pruebas a madera adulta de la misma especie para hacer un análisis comparativo.

Las pruebas realizadas fueron de dureza, compresión perpendicular y compresión paralela, gravedad específica y extracción de clavo.

Para la prueba de dureza, las muestras fueron sometidas a presiones axiales, tangenciales y radiales. Los resultados de esta prueba en comparación con la madera adulta reflejan que la dureza de la madera juvenil es similar e incluso, para las pruebas tangenciales y radiales, mayor que la madera adulta. En consideración que la madera juvenil es mayoritariamente duramen, es factible que éste haya sido el resultado. Para la prueba axial, se observó que la madera adulta es más dura que la juvenil, sin embargo, no existe una variación considerable siendo mínima la diferencia entre una y otra. En los anexos se pueden observar los resultados de las pruebas obtenidos.

En la prueba de compresión perpendicular se observa la diferencia de utilizar madera juvenil y adulta. En compresión perpendicular el valor máximo obtenido en una muestra de madera juvenil fue de 9,000lbs, en cambio para la madera adulta fue de 11,900lbs. Con una media de 7470lbs para la madera juvenil y de 9050lbs para la adulta, se determinó que la juvenil es un 17.46% más débil que la adulta para la especie *Pino Maximinoi*. En los anexos se incluye un gráfico de dispersión comparando los resultados de la prueba para madera juvenil y adulta, así como la tabla con los resultados obtenidos.

De igual manera que la prueba de dureza, para la de extracción de clavo se realizaron pruebas axiales, radiales y tangenciales. Los resultados de la prueba de extracción tangencial

determinaron que la madera juvenil es 7.26% más débil que la adulta. Sin embargo, para las pruebas radiales y tangenciales se observó una diferencia más abultada entre la especie adulta y juvenil. Para la prueba radial, la madera juvenil es un 41.7% menos resistente que la adulta. En la prueba axial la madera juvenil es 55.97% menor. Estos factores son importantes a considerar para la industria de muebles, ya que indica que la madera juvenil es más débil en su cara axial. Se puede observar las tablas con los resultados obtenidos en los anexos.

En la prueba de compresión paralela además de determinar la fuerza máxima a la cual cede la madera, se determinó la deformación que ésta sufre. La madera juvenil sufrió de deformaciones más altas en comparación con la madera adulta. Además, con una media de 7,093.75lbs frente a una media de 12,212.50lbs, la madera juvenil es 41.91% más débil que la madera adulta. En los anexos se puede observar un gráfico que muestra la deformación de las muestras de madera juvenil en relación a la fuerza aplicada.

La prueba de gravedad específica determinó que la madera juvenil es ligeramente más densa que la madera adulta. Con una media de 5.008kg/m<sup>3</sup> respecto a 4.412kg/m<sup>3</sup> de la madera juvenil y adulta respectivamente. La madera juvenil es un 13.51% más densa que la adulta, lo cual a su vez conllevaría a corroborar los datos de las pruebas de dureza en los que se determinó que la madera juvenil es más dura que la adulta. En los anexos se puede encontrar la tabla con los resultados de la prueba de gravedad específica.

## **VIII. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PARA PROPUESTA DE DISEÑO DE PLANTA INDUSTRIAL DE CASAS**

A continuación se detallan los procesos implicados en la propuesta de planta para industrialización de casas de madera.

Para este fin, se realizó una planta con capacidad para responder a una demanda de 1000 casas al año. Éste es un proyecto que se está llevando a cabo actualmente con casas que serán subsidiadas por el gobierno en el interior del país. La planta tiene capacidad para producir más de 1000 casas pero no estará operando al 100% en este análisis, pero deja la puerta abierta a un poder de respuesta a la demanda si ésta se llegara a incrementar, tanto por la capacidad instalada de las máquinas, como por el espacio utilizado para la planta, ya que permite la adquisición de más maquinaria sin tener que comprar más terreno.

Los procesos aquí descritos se determinaron después de realizarse visitas a diferentes plantas industriales de madera en Guatemala, así como de entrevistas realizadas a especialistas en el área de casas de madera industrializada y con experiencia en otros países. La información recabada de entrevistas, visitas e investigación se complementa con criterios que yo pude ir desarrollando a través de estos tres semestres que considero ayudarán a tener una mayor productividad en planta.

Antes de iniciar el la descripción del proceso completo de fabricación de paneles de madera para la construcción in situ de casas del mismo material, es importante mencionar que la selección de la materia prima es primordial para la obtención de un producto final de calidad. Ya que estos paneles serán colocados a la intemperie y deberán soportar diversas cargas a lo largo de su ciclo de vida, el cual con un debido tratado será amplio, se busca utilizar troncos como pino blanco o amarillo, el cual es muy utilizado en los Estados Unidos.

## **A. Recepción de la materia prima**

El proceso inicia con la recepción de los troncos de madera extraídos de los bosques. Todo el proceso de corte y envío constituye la industria primaria de la transformación de la madera.

Al recibir el camión con los troncos de la materia prima, éstos son descargados en un área dispuesta por la empresa, la cuál puede ser al aire libre, en donde simplemente serán descargados para facilitar el flujo de ingreso de los camiones. Cuando los troncos ya se encuentren descargados, se procede a la clasificación de estos. Esta clasificación se deberá de realizar en base a la longitud, tamaño. También es importante identificarlos con el día que fueron cortados, la fecha que ingresó a las instalaciones de la planta, el proveedor, la zona de la que proviene, esto se realizará para tener un mejor control sobre la materia prima, y en caso de detectar un fallo, poder identificar que lote es el que puede haber llegado dañado.

## **B. Área de aserradero**

Cuando los troncos ya están listos para continuar el proceso, se trasladan al área de aserradero. En esta área se van colocando en una cinta transportadora que los llevará a las distintas fases de corte.

Lo interesante de este proceso es como se aprovecha casi la totalidad del tronco y es una parte muy pequeña del mismo la que no formará parte del producto final (se puede comercializar como leña).

El primer corte se realiza a través de una sierra que se encarga de cortar los “cachetes” o áreas laterales de la troza y después la máquina le da la medida requerida de anchura (Tablas aún con el ancho no requerido para su aplicación final) al interior de la troza, después es cortada por tablas y la máquina misma las va sacando para que lleguen a la cinta transportadora y continúen su proceso. Inmediatamente después de pasar la primera máquina, se encuentra una sierra que se encarga de cortar las tablas aún del largo de la troza (aproximadamente 5 metros) en las medidas requeridas (8 o 4 pulgadas de largo según el lote que se esté produciendo).

Las trozas de madera obtenidas en este proceso pasan ahora a la siguiente fase que se encarga de ir cortando la pieza en las tablas con la dimensión requerida final. Lo bueno de la máquina utilizado en éste proceso es que, después de ser programada, ella misma va rotando las piezas alrededor de ella, y cuando éstas ya cuentan con la dimensión requeridas, son colocadas en la banda que automáticamente las retira para que ya sean apiladas y organizadas por el operario.

De las zonas curvas o “cachetes” que fueron retiradas en el primer proceso, aún se pueden obtener tablas que pueden ser utilizadas más adelante. De tal manera que estas piezas pasan ahora por otra sierra más pequeña que permite cortar las zonas curvas para dejar las tablas totalmente cuadradas.

Estas tablas más pequeñas tendrán otro uso ya que sus dimensiones menores, ya no le permitirán formar parte de los paneles, los cuales tienen todas las tablas de la misma dimensión, pero de igual manera podrán ser utilizadas para la construcción del marco de las puertas, de las vigas de madera laminada, etc.

Para darle a estas últimas piezas las dimensiones requeridas, pasan por una máquina despuntadora la cual realiza cortes más finos y las deja listas para continuar en el proceso de producción.

En el siguiente gráfico se puede apreciar como del tronco original se puede obtener diferentes tamaños de piezas según sean requeridas en la aplicación industrial que se desee.

#### **Gráfico No. 57: Corte del tronco**



Fuente: Molina, Sergio

<http://imagenes.77ideas.es/2011/04/distribucion-de-los-cortes-en-troncos-de-madera/>

De tal manera a lo largo de todo el proceso se logró aprovechar la mayor parte del tronco, reduciendo de esta manera los desperdicios de materia prima.

Cuando ya se terminó el proceso de corte de las piezas, con sus diferentes dimensiones, son trasladadas al área de almacenaje en donde esperaran hasta que avanzan al proceso de cepillado.

Para almacenar las tablas en este proceso es importante hacerlo de manera que éstas no se doblen para evitar caer en desperdicios debido a rajaduras o fisuras en las piezas.

### **C. Área de secado**

Después de cortada la madera, se traslada al área de secado. El secado se hace después del corte ya que si fuera realizado antes, se astilla la madera, que causa un deterioro en la calidad del producto. Para este proceso se utiliza calderas de vapor u hornos industriales con alta capacidad, en donde se ingresa la materia prima apilada. Hay que tener especial cuidado en la manera en que se ingresan los troncos al horno, ya que si estos se ingresan uno encima del otro sin dejar mucha área para contacto, se podrá caer en el defecto de que no toda la materia prima o todas las partes del tronco tengan el mismo grado de secado, por lo tanto es importantes que se coloquen soportes entre los troncos para que haya un pequeño espacio entre los mismos en el apilamiento y de tal manera el secado podrá llevarse a cabo en la misma magnitud en todas las zonas de éste.

El secado consiste de varias fases para realizar el secado completo. Los hornos modernos tienen sensores en los troncos, mientras estos están en el proceso de secado, que permite ver el grado de humedad que poseen. El grado óptimo de humedad en la madera que permitirá hacer un buen trabajo con ella es del 12%, aunque es importante mantenerse en un rango del 12% al 15%.

El proceso de secado es el más lento, ya que dependiendo del grado de madurez que traiga la madera y de las características de la misma (longitud, diámetro, calidad), será el tiempo que le tome llegar al grado de secado buscado. Aproximadamente el proceso puede durar 15 días.

Cuando la madera ya alcanzó los niveles requeridos, se retira de los hornos de secado y se traslada a un lugar seco con temperatura aproximadamente de 20 Celsius, en donde ya estará disponible para el proceso siguiente. Es importante recalcar que el lugar en donde se almacenen los troncos tiene que ser seco ya que de lo contrario, ésta se vuelve a humedecer y por lo tanto se

tiene que repetir nuevamente el largo proceso de secado, o en caso de que continúe en el proceso de producción, resultaría en la elaboración de un producto final de mala calidad (si no se raja o quiebra en algún otro paso del proceso).

## **D. Área de cepillado y fresado**

Son trasladadas ahora las tablas de madera al área de cepillado de manera clasificada, es decir, se trasladan lotes según el tamaño de las piezas.

Algunas de las piezas son pasadas por una fresadora para que se les elabore unas ranuras que servirán para su fácil unión al momento de realizar la construcción. Cuando ya finalizó el proceso de fresado, estas piezas pasan ahora a una máquina cepilladora que se encarga de remover la aspereza a la tabla.

En este momento se tiene un punto de evaluación de piezas para corroborar que tengan las medidas necesarias, las piezas que no cuenten con las medidas necesarias tendrán que pasar por la despuntadora hasta contar con las especificaciones requeridas para la construcción.

La mayoría de tablas no tienen que pasar por el proceso de fresado, por lo que éstas avanzan directamente a otra máquina cepilladora para completar el proceso.

Al finalizar el cepillado y fresado (en algunas de las tablas), éstas son guardadas en bodega para esperar a juntar un lote suficientemente grande para pasar al proceso de impregnado.

## **E. Impregnado**

En el siguiente proceso, se le adhiere a las piezas un químico (CCA), que ayuda a mantener la calidad de la pieza a lo largo de su vida útil, y que garantiza que ésta puede responder a su uso en aplicaciones de construcción y a la intemperie.

Para esto son nuevamente colocadas las piezas en orden, y se van ingresando, a un cilindro, el cuál una vez en operación, suelta agua y el químico CCA. Estos componentes penetran en las piezas a base de presión. Este proceso puede durar alrededor de tres horas.

La concentración a utilizar del químico CCA, depende de la aplicación que se le vaya a dar a la pieza en cuestión, por ejemplo, las bases de la casa que se colocan debajo de la tierra, necesitan un 60% de concentración del químico.

Una vez finalizado el proceso de impregnado, las piezas son colocadas nuevamente al sol, para un secado natural. Éste nuevo secado puede durar hasta diez días, según el tamaño de la pieza. Para ésta área de secado se necesita un patio grande para poder ir colocando los diversos lotes producidos.

## **F. Ensamble**

Por último, las piezas son transportadas al área de ensamblaje, en ésta parte las piezas son unidas de manera manual, es un proceso más artesanal.

Para la unión de los tableros se tienen diferentes puestos de trabajo, en este caso son cuatro. Cada punto cuenta con dos operarios los cuáles por medio de una pistola de clavos se encargan de unir las diferentes piezas del panel hasta que estos estén totalmente formados.

Otra de las piezas que se elabora en el área de ensamble son las vigas, que se van uniendo por un proceso de encolado y después pegadas a presión. Para esto también se cuenta con dos mesas de dos operarios cada una, en donde se encola cada pieza, y después por medio de una prensa a presión se pegan las tablas hasta formar la totalidad de la viga.

No todas las piezas tienen que pasar a carpintería ya que hay algunas que son solo tablas, y no tienen que ser unidas en la fábrica sino que son ensambladas hasta llegar al punto de construcción (tablas para piso, tablas para techo, soleras largas), por lo que después del proceso de cepillado pasan directamente a almacenarse en la bodega de producto terminado. Las piezas que sí pasan por ensamblado, al ser finalizadas, se transportan a la bodega de producto terminado en donde hay un área específica para cada pieza para una fácil ubicación de éstas cuando ingresen los camiones a traer el producto.

Para la construcción del panel, primero son colocados los studs y soleras sobre la mesa en la posición final que éstos llevarán. La siguiente fase es el clavado para dejar unido todo el marco del panel. Es fundamental asegurarse que el panel esté recto y no haya quedado torcido. A los paneles que se vayan a colocar en las esquinas de la casa, se le coloca una tabla en diagonal para asegurar la estabilidad de la estructura. El siguiente paso consiste en colocar cada tabla del

machimbre sobre el panel e inmediatamente se clava hasta completar la primera cara del panel. Después se voltea el panel y se vuelve a colocar y clavar una a una el machimbre en la cara inversa del panel. Cuando se finalizó el panel, se procede a guardarlo en la bodega de producto terminado.

Para la fabricación de las vigas se tiene dos opciones. La primera que es la más sencilla, consiste en el encolado tablas de 2"x4" y unir las hasta lograr la longitud requerida. Cuando ya se tiene la luz requerida de la viga, ésta se fija por medio de una prensa que a presión y después de 15 minutos habrá quedado lista para su posterior uso.

Estas uniones son realizadas por medio de una técnica que se llama unión en z, en donde a las orillas de las tablas se le corta 1 pulgada de alto y 6 pulgadas de profundidad, y son unidos los extremos como se aprecia en la siguiente figura.

**Gráfico No. 58: Unión de vigas por método "z"**



Fuente: Timber Frame construction details.

<http://timberframehq.com/timberframeconstructiondetails/tag/scarf-joint/>

La otra alternativa consiste en utilizar finger joint, en donde son cortados dientes a la orilla de las tablas y de esta manera éstas son unidas unas con otras a través de encolado mediante la unión de tales dientes.

Para el trabajo se utilizó la técnica de unión de tablas por medio de encolado y no la de finger joint.

Cuando ya se tiene el largo requerido de las vigas, se coloca el triángulo como marco y se unen las esquinas por medio de cubrejuntas de metal (gusset) y clavado. Por último es colocado el king post (el que determina la altura) y las vigas miembros de la red (web members), las cuales también son unidas a la cercha por medio de cubrejuntas de metal o gussets.

El tiempo total de producción es de aproximadamente 11 días.

## IX. CASA MODELO Y UNIDADES QUE LA COMPONENTEN

Como se mencionó anteriormente, la planta de producción se diseñó para proveer las partes necesarias para la construcción de 1000 casas de madera al año. El diseño de la casa modelo sobre la que se está trabajando se puede ver en el anexo.

Según la casa modelo se definió las partes que implican su construcción y la cantidad de unidades que hay que construir de éstas por mes para poder satisfacer la demanda. La casa tiene dimensiones de 36 ft x 24 ft (10.97 m x 7.31 m).

En la siguiente tabla se pueden apreciar todas las piezas que componen la casa, ya sea para la construcción del panel en sí o como pieza individual que en conjunto formarán el panel completo, las vigas, etc.

**Cuadro No. 24: Partes que implican la construcción de la casa modelo**

Pieza	Detalle
Panel para pared	Muro sin agujero
Panel para ventana	Con espacio para ventana
Panel para puerta	Con espacio para puerta
Solera larga	Solera superior para sujetar todos paneles
Solera inferior	Tabla individual para ancho de panel
Solera Superior	Tabla superior para ancho de panel
Stud para panel	Tabla individual para altura de panel
Asegurador (elemento diagonal en panel)	Tabla que atraviesa el panel de orilla
Machimbre interior	Tabla individual para soporte panel
Machimbre exterior	Tabla individual para soporte panel
Viga longitudinal	Viga sobre la cual se sostiene la cercha
Duela para piso	Pieza para formación del piso
Duela para techo	Tabla que cubre la parte de arriba del techo
Cercha	De forma triangular
Cuerda inferior cercha	Viga que atraviesa la casa
Elemento web 1	Paral corto de la web
Elemento web 2	Paral largo de la web
Viga corta cercha	Vigas que dan alto a la cercha
Cuerda superior cercha	Viga que soporta tablas de techo

Es importante resaltar que se hizo la división de tres tipos de paneles diferentes, uno que es un muro completo, otro que tiene el agujero para la puerta y otro que tiene el agujero para la ventana. La cercha es colocada a un metro de distancia separada una de la otra.

La cercha final está compuesta por tres partes diferentes, la viga inclinada, viga larga y viga corta, todas las cuales serán unidas posteriormente en un proceso de encolado y selladas a presión.

Ahora se define las dimensiones que tendrá cada una de las piezas y la cantidad a producir por casa.

**Cuadro No. 25: Dimensiones y unidades a producir por casa**

Pieza	Área	Largo	Unidades
Panel para pared	4' x 8'		35
Panel para ventana	4' x 8'		6
Panel para puerta	4' x 8'		5
Cercha			11
Tabla para piso	1" x 4"	6'	432
Asegurador (elemento diagonal en panel)	1" x 4"	9'	8
Viga longitudinal	2" x 6"	36'	1
Tabla superior cercha	1" x 4"	48"	156
Stud para panel	2" x 4"	8'	184
Solera inferior	2" x 4"	4'	45
Solera Superior	2" x 4"	4'	45
Machimbre interior	3/4" x 6"	4'	720
Machimbre exterior	3/4" x 6"	4'	720
Solera larga	2" x 4"	8'	10
Cuerda inferior cercha	2" x 4"	26'	11
Elemento Web 1	2" x 4"	2'	22
Elemento web 2	2" x 4"	6'	22
Viga corta cercha	2" x 4"	4'	33
Cuerda superior cercha	2" x 4"	12' 6"	22

Entonces, ahora se puede determinar la cantidad de unidades necesarias para producir 84 casas por mes (1000 al año), de cada una de las piezas involucradas en el armado final de las casas.

**Cuadro No. 26: Unidades para producción mensual**

<b>Pieza</b>	<b>Unidades</b>
Panel para pared	2.940
Panel para ventana	504,00
Panel para puerta	420
Cercha	917
Tabla para piso	36.000,00
Asegurador (elemento diagonal en panel)	667
Viga longitudinal	83
Tabla superior cercha	13.000,00
Stud para panel	15.333
Solera inferior	3.750,00
Solera Superior	3.750,00
Machimbre interior	60.000,00
Machimbre exterior	60.000,00
Solera larga	833
Cuerda inferior cercha	917
Elemento web 1	1.833
Elemento web 2	1.833
Viga corta Cercha	2.750
Viga inclinada	1.833
<b>Total de paneles</b>	<b>3.864</b>

De este total de unidades a producir mensualmente se puede determinar que se necesita 3,864 paneles (entre sus diferentes modalidades), para poder proporcionar las piezas necesarias para la construcción de las casas.

Las cerchas a producirse, en este caso según por requerimientos de la casa modelo, son tipo Howe. Este tipo de cercha se ilustra en la siguiente gráfica.

**Gráfico No. 59: Cercha Howe**

Fuente: Universidad Nacional de Colombia.

<http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/ESTRUCTURA/Armaduras.htm>

Es muy importante mencionar que para determinar las unidades a producir y saber qué producir, además que se está atendiendo a la demanda de una casa en específico, se determinó las medidas brindadas por el arquitecto encargado del proyecto, pero la planta podrá producir tablas y unidades de diferentes dimensiones de acuerdo al ingeniero o arquitecto encargado del proyecto. De tal manera sólo es necesario programar las máquinas para cortar a otra medida y de tal manera es posible diseñar otro estilo de casas y no encasillarse en una solamente.

## **X. MAQUINARIA INVOLUCRADA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN**

Los procesos anteriormente descritos, fueron realizados con base en maquinaria moderna identificada actualmente entre las mejores, con mayor productividad, precisión garantizada y larga vida en el mercado.

Para las especificaciones de toda la maquinaria descrita a continuación se consultó las empresas que fabrican dicho producto. Para obtener información acerca de los precios en el mercado, se cotizó a diferentes lugares, para las máquinas en el área de corte se llamó a una distribuidora de maquinaria industrial en Guatemala, y se pidió precios de las distintas máquinas cortadoras y horno. Para determinar el precio de la autoclave se utilizó una cotización elaborada por un empresario guatemalteco que tiene proceso de impregnación en su aserradero y que estuvo de acuerdo en proveerme de dicha información. Para el resto de máquinas se utilizó el precio encontrado en internet.

A lo largo del proceso se identifican cinco áreas de producción diferentes (aserradero, secado, cepillado y tornado, impregnado y carpintería), con maquinaria específica para cada una de ellas.

El número de máquinas a comprar en la planta se determinó en base a la necesidad de producción que tendrá la empresa y a la capacidad de producción de dicha máquina. Para determinar la cantidad de madera (un estimado) necesaria para construir la casa modelo se utilizó como fuente una revista de construcción colombiana, en la que un biólogo involucrado en el desarrollo de la construcción de casas de madera en el país, indica que la cantidad de madera necesaria para una casa de 42 metros<sup>2</sup> es de 6.5 metros<sup>3</sup>, también se utilizó como fuente la revista de construcción del Arquitecto español Angels Manzano en el que indica que la cantidad de madera necesaria (haciendo equivalencias al tamaño de la casa modelo) en volumen sería de 12.5m<sup>3</sup>.

Las dimensiones de la casa modelo es de 24'x 36' que representa un área de 80.26 metros<sup>2</sup>. Esto da un estimado de 10.5 m<sup>3</sup> de madera aserrada para producir la casa propuesta. Con base en este dato se trabajó para obtener la cantidad de máquinas en la planta. Se utilizó 10.5 como valor estimado ya que en ambas fuentes se tiene un valor promedio de 13m<sup>3</sup>, pero en ambos casos son

casas en las que se considera la fabricación de cocinas, baños y demás detalles que no están contemplados a producirse en éste modelo de planta industrial.

**Cuadro No. 27: Volumen requerido de madera por casa**

<b>Aspecto</b>	<b>Medida</b>
Dimensiones de la casa modelo	24' x 36'
Área casa modelo (metros cuadrados)	80,27
Volumen de madera aserrada requeridas por casa (m3)	10,5
Producción casas al mes	84
Volumen necesario de madera aserrada por mes (m3)	882,00

De acuerdo a lo anterior se determinó cuántas máquinas comprar y que rendimiento aproximado tendría cada una de ellas según nuestros niveles de producción.

Para obtener las capacidades de las máquinas, como se mencionó anteriormente, se utilizó la información obtenida a través de las cotizaciones y de las páginas de internet de las empresas productoras de las máquinas. Se supuso que la planta operará por 48 horas a la semana por cuatro semanas al mes.

Por lo tanto, todas las máquinas están sujetas a estos tiempos de trabajo excepto los hornos, los cuáles no pueden ser detenidos mientras estén desarrollando el proceso de secado, por lo tanto, la capacidad de los hornos se definió en torno a días y no a horas hábiles a la semana.

Según el informe final de consultoría, elaborado por Claudio Cabrera, en el proceso de secado se pierde un 10% del volumen de la madera, y aproximadamente un 20% se pierde en los procesos de cepillado y corte, por lo tanto para la determinación de volumen de madera necesitado para el proceso de impregnado, se trabajó bajo un volumen menor del trabajado al inicio del proceso de corte.

Además se determinó con base en información recabada de entrevistas a vendedor autorizado de Wood Mizer en Guatemala, que el 25% de la madera procesada en el primer paso por la LT3000 pasa a la HR1000 y por lo tanto el otro 25% pasa por la EG300.

Además de la maquinaria pesada definida anteriormente, también es necesario contar con otro equipo de trabajo que sirve para el transporte de las trozas o materia prima dentro de la planta, o como herramientas auxiliares, para tratamiento de las sierras en las máquinas.

El equipo auxiliar es equipo más pequeño como desarmadores, tornillos, lijas, etc. que no vale la pena detallarlo de manera unitaria y se utilizó como texto auxiliar, así como para otras partes del análisis que se detallarán posteriormente, un informe de consultoría elaborado en el 2003 por un equipo liderado por Claudio Cabrera llamado “Propuesta de inversión para el desarrollo industrial forestal de la federación de cooperativas de las Verapaces”.

## **A. Descripción de la maquinaria**

**1. LT 3000.** Es la primera máquina en el área de aserradero y es la que recibe las trozas enteras como se recibieron en el patio de recepción de materia prima. Es la máquina más eficiente de la compañía europea Wood Mizer la cual fue diseñada precisamente para atender necesidades industriales.

La máquina puede trabajar hasta 16500 board ft/día (en días de 10 horas), y tiene un pequeño controlador al lado de la máquina desde donde un operador calificado controla todo el proceso, desde la recepción de la troza hasta el transporte de la tabla al siguiente proceso de corte.

La LT3000 facilita y hace más rápidos los procesos y disminuye considerablemente la cantidad de operarios a tener por máquina ya que, desde la cabina de mando, el operador se encarga de ir agregando una a una las trozas al proceso de corte, puede variar las velocidades de la sierra y las dimensiones requeridas de cada corte, le da la vuelta a la troza con la ayuda de manipuladores, lo que le permite cortar y llegar a todo el tronco. Además viene incorporada con una cinta transportadora que permite llevar la tabla cortada el siguiente proceso. Todo es realizado por un solo operario. El motor disponible es de 22 kw.

Además de la sierra viene equipada con el montador de carga (donde se coloca la materia prima antes de ser procesada), rampa para transporte al siguiente proceso y mesa de rodillos (para retirar las tablas del proceso en caso de que ya no se desee continuar con otro proceso de corte).

**Gráfico No. 60: Wood Mizer LT3000**

Fuente: woodmizer.es

**2. HR 1000.** También de la casa Wood Mizer, esta máquina fue diseñada con varias cabezas de corte en una misma máquina. Esta máquina no puede recibir elementos de una longitud mayor a 2.4 m. Por lo tanto esta máquina recibe madera escuadrada del proceso anterior, que corta en elementos más pequeños a lo largo de todo el proceso con las distintas cabezas de corte.

La cantidad de cabezas de corte que posee la máquina es opcional, aunque por lo general se tiene una de 6 cabezas de corte, lo que quiere decir que de una madera escuadrada se puede obtener 6 tablas o piezas más pequeñas, cortadas a lo largo de todo el proceso. La misma máquina, que está equipada con sensores, mide cuando la tabla ya tiene las medidas requeridas y ella misma se encarga de irlas retirando para que el operador al final del proceso solo tenga que retirarlas del transportador de cinta automático para colocarlas en el siguiente proceso.

**Gráfico No. 61: HR 1000**

Fuente: woodmizer.es

**3. EG300.** También de la familia Wood Mizer, esta sierra permite cortar las orillas o “cachetes” retirados en el primer proceso para poder aprovechar el máximo del tronco y poder sacar piezas de éstas secciones.

Esta sierra viene equipada con dos sierras de disco (una fija y otro móvil), que permiten cortar ambas caras de la tabla al mismo tiempo. Las sierras se encuentran dentro de una caja que está oculta a la vista ya que de esta manera el operador es protegido y el riesgo por corte o accidente personal es disminuido. Para trabajar la sierra son necesarios dos operadores, uno al inicio y otro al final. El que está colocado al inicio se encarga de colocar la tabla en la mesa de rodillos para que ingrese a la zona de corte, y el operario final está encargado únicamente de retirar la tabla y apilarla para el siguiente proceso. Esta máquina es el perfecto complemento para la LT3000 ya que se encarga de aprovechar la madera desechada del primer proceso, además que también permite ajustar las medidas requeridas a las tablas para que no haya necesidad de pasar a otro proceso de corte posterior.

Tiene un motor de 15 kw.

**Gráfico No. 62: EG 300**

Fuente: woodmizer.es

**4. Horno de secado.** Los hornos de secado permiten reducir la humedad de la madera hasta un 12% idealmente, esto permite tener una madera capaz para resistir largas temporadas y además dar la rigidez para poder ser manipulada y utilizada en construcción.

Los hornos de secado vienen equipados con equipo de alta tecnología, y software que permite tener un control total sobre lo que está ocurriendo dentro de ellos durante el proceso. Por lo tanto en las computadoras se puede ver en qué etapa del proceso se encuentra (ya que puede llegar a tener hasta siete etapas, cada una reduciendo en mayor cantidad la humedad), tener control de temperatura, presión, estado de la madera. Además tiene todos los sensores indicadores de algún posible riesgo. Las cabinas de control de los hornos se ubican cerca de ellos en cuartos aparte para tener cuidado especial del equipo (ya que éste no puede estar expuesto a la temperatura alta emanada por el horno).

Todo el equipo involucrado en el horno, y la instalación vienen incluidos y forman parte del servicio de la empresa, en éste caso toda la información fue consultada en Nova Dry klin. El horno consultado tiene capacidad de almacenar hasta 34, 333 board ft/Lote. Tiene una potencia de 15 kw cada horno.

**Gráfico No. 63: Horno de secado**



Fuente: <http://www.novadrykiln.com/lgkilns.php>

**5. Cepilladora.** Para la máquina cepilladora, después de contemplar varias alternativas, se seleccionó la Bonfanti 422. Esta máquina está automatizada y permite cepillar todas las caras de la pieza en una sola vez.

Es una máquina francesa que tiene 4 ejes de madera, 4 motores, tiene una velocidad de 6000 rev/minuto. Posee unos rodillos antes de ingresar a la máquina en donde son depositadas las piezas que automáticamente van ingresando a la cámara de cepillado, y una vez finalizado el proceso, éstas son retiradas en la parte de atrás para ser almacenadas y estar dispuestas a utilizarse en el siguiente proceso. La máquina cepilla 16 metros por minuto y realiza acabados precisos de alta calidad. La máquina tiene una potencia de 3 kw.

**Gráfico No. 64: Bonfanti 422**



Fuente: [www.exapro.es](http://www.exapro.es)

**6. Fresadora universal.** Esta máquina es utilizada para realizar las ranuras a las tablas destinadas a utilizarse en los pisos de las casas. Se cotizó una máquina fresadora universal con centro de mecanización CNC para garantizar la precisión en los cortes realizados y disminuir controles y posibilidad de errores y reprocesos en las piezas.

La máquina a utilizar es la CAT 3D M8 de DATRON. La programación se realiza por mediante un lenguaje de programación potente de macros cat3d. La máquina viene equipada con el software de programación y solo es necesario un solo operario capacitado por cada máquina a utilizar.

Tiene diferentes tipos de aplicación, y se aplica también para trabajar con aluminio y mecanizado. Posee un motor de 3 kW.

**Gráfico No. 65: Fresadora universal**



Fuente: <http://www.tendu.com/datron.htm>

**7. Autoclave.** En el autoclave se desarrolla la impregnación o el tratamiento por CCA (Cobre, Cromo y Arsénico), los cuales por medio de presión se impregnan en las células de la madera fortaleciéndola de tal manera contra el ataque de los mosquitos, hongos y demás agentes que suelen atacar la madera y destruirla.

Este tratamiento ayuda a alargar el tiempo de vida de la madera y a evitar ser un objeto de alimento a los insectos. Este tratamiento no es dañino para las personas y está aprobado internacionalmente con el fin de extender la vida útil de la madera.

Las tablas son ingresadas al autoclave de manera manual y una vez ya se encuentra completado el lote, se cierra la compuerta. Entonces se deja fluir agua con CCA (la concentración de CCA depende de la aplicación que tendrá la madera, por ejemplo, para madera que está será utilizado debajo de la tierra se utiliza aproximadamente 60%) y por medio de presión, el químico penetra la madera.

El autoclave cotizado tiene 1.2 metros de diámetro y 12 metros de largo. Viene equipado con rieles internos y externos para deslizar los carros que transportar la madera que se ingresa a la máquina. Incluye cañerías, válvulas, válvulas de seguridad, filtros, manómetros, tablero de control, carros para ingresar y transportar la madera.

La capacidad de cada máquina de autoclave es de 5 m<sup>3</sup>/Lote.

La máquina pertenece a la casa de producción ECASO S.A., la cual es una marca chilena con experiencia en la producción de máquinas de autoclave, ellos brindan todo el servicio de instalación del equipo.

**Gráfico No. 66: Máquina de autoclave marca ECASO**



Fuente: <http://www.ecaso.cl>

## XI. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

Para realizar la distribución de la planta primero se definieron las áreas que se tendrán en el proceso productivo así como otras áreas de interés como pueden ser sanitarios, administración, comedor, parqueo, entradas para carros particulares.

En el siguiente cuadro se pueden apreciar las distintas áreas consideradas al momento de diseñar la planta.

**Cuadro No. 28: Ambientes en planta**







<b>Sección</b>	<b>Área</b>
1	Recepción de materia prima/patio descarga de trozas
2	Aserradero
3	Secado de madera
4	Cepillado y fresado
5	Impregnado
6	Carpintería
7	Administración
8	Parqueo
9	Entrada/Salida camiones con materia prima
10	Baños públicos
11	Entrada y salida de carros
12	Comedor
13	Bodega producto terminado

El siguiente paso fue realizar las tablas de relaciones entre las distintas áreas detalladas en el cuadro anterior.

Primero, se tomó como consideración un cuadro que indica los diferentes tipos de relaciones que puede existir entre los diferentes ambientes dentro de la planta, además también nos permite plasmar estas relaciones a través de unas líneas para ir realizando paso a paso la correcta distribución.

En el siguiente cuadro se puede apreciar el tipo de relaciones que puede haber y la manera que en éste trabajo se utilizó la convención de líneas.

**Cuadro No. 29: Relaciones entre áreas de ambientes de trabajo**

Valor	Prioridad de cercanía	Código de líneas
A	Absolutamente	
E	Especialmente	
I	Importante	
O	Importancia	
U	Indiferente	
X	Indeseable	

En el caso en que haya una relación a considerar entre distintas áreas, es importante colocar el porqué de tal importancia, en la siguiente tabla se detalla las razones por las cuáles porque un área podría tener relación con otra.

**Cuadro No. 30: Tipos de relaciones entre actividades**

Código	Razón
1	Flujo de trabajo
2	Espacio y/o equipo
3	Seguridad e higiene
4	Personal común
5	Facilidad de suoversión
6	Contacto necesario
7	Psicología

El siguiente paso es elaborar una matriz en donde se detallan todas las áreas o ambientes en planta y se van determinando las relaciones que tienen unas con otras. En la matriz se denota S1 como Recepción materia prima y patio / descarga de trozas, y así sucesivamente hasta S13 de acuerdo a la numeración detallada en el cuadro No. 28 “Ambientes en planta”.

Cuando ya se tiene lista la matriz se procede a realizar la parte gráfica de la distribución. Para éste caso se colocan las actividades con mayor relación cerca la una de la otra, y las actividades que tienen una relación indeseable, se van colocan lo más lejos posible la una de la otra. Una vez finalizada la colocación de las actividades con mayor relación una de otra, se procede a colocar la actividad con menor grado de relación (lo más distante posible la una de la otra).

Cuando ya se terminó por primera vez de representar la matriz de manera gráfica, ya que seguramente no se tiene un diseño óptimo, se vuelve a realizar uno nuevo hasta lograr tener todas las áreas o ambientes importantes cerca el uno del otro y las indeseables lo más lejano el uno del otro.

En la sección de Anexos se tiene la distribución final u óptima (desarrollado de acuerdo a los criterios anteriores), de la planta.

En la vista en planta de la distribución se puede apreciar cómo se dejó espacios grandes que permiten la expansión por parte de la empresa, ya sea hacía un mayor volumen de producción de las unidades que ya se están vendiendo, o de diversificarse a la producción de otra clase de productos.

En la mayoría de casos en que se tiene una relación “muy importante” dentro de las diferentes áreas o ambientes, se debe a que va con el flujo de producción según mi interpretación de lo que es el correcto orden de los procesos.

El término “indeseable” se utilizó entre ambientes que no tienen que ver unos con otros, o que al tenerlos cerca podía causar daño a la salud de los trabajadores, o por comodidad del personal administrativo, mientras más lejos esté de áreas que provocan mucho ruido, se podrá atender mejor al cliente cuando éste llegue de visita.

## **XII. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA Y DIMENSIONES DEL TERRENO**

La propuesta de localización de la planta descrita es en el Rancho, El Progreso, Guastatoya. Dicha determinación se realizó con base al método cualitativo por puntos. El método es una herramienta que permite determinar la mejor opción entre varias, por medio de la definición de factores importantes implícitos en la localización. Al tener definidos los factores, se procedió a calificar cada uno de estos (entre 0 a 10). La mejor localización fue El Rancho, ya que al sumar cada uno de los factores ponderados, fue el punto que obtuvo el mayor puntaje.

Las opciones consideradas en la localización fueron: El Rancho, El Progreso; Ciudad de Guatemala y Cobán, Alta Verapaz.

Para consultar la matriz con la calificación de cada uno de los factores correspondiente a cada posible localización, consultar anexos.

El terreno a comprar para la construcción de la planta tendría que ser de 5400 m<sup>2</sup>. Estas dimensiones se determinaron después de determinar la maquinaria necesaria y sus dimensiones, además de considerar todas las áreas de importancia que debería de tener la planta.

Además también se consideró no comprar un terreno que se ajuste al límite de lo requerido actualmente, sino que se consideró dejar espacio en caso de que la empresa crezca y tenga necesidad de ampliarse y comprar maquinaria nueva. En específico, a cerca del área de cepillado y torneado, se tiene un amplio espacio teniendo en cuenta que la empresa pueda incluir una línea de finger joint o alguna línea para producción de puertas, muebles, etc. Para consultar las dimensiones de la planta ir a la sección de anexos.

### **XIII. ANÁLISIS FINANCIEROS**

Es importante mencionar los criterios que se tomó en cuenta al momento de desarrollar los flujos de efectivo. El flujo se desarrolló en US \$ para los análisis de la planta y los métodos de laboratorio debido a que la mayor parte de la inversión, maquinaria pesada, tiene basados sus precios en dólares americanos. Para facilidad de los cálculos, y debido a que la tasa de cambio se ha mantenido en un rango similar durante los últimos años, se determinó una tasa de cambio de Q8.00 por \$1.00. Para los análisis financieros de la madera juvenil se trabajó en Quetzales.

Para realizar las proyecciones se utilizó una tasa de inflación del 3.5% anual, la cuál es la tasa de inflación esperada por parte del fondo monetario de Guatemala para el año 2012.

Para determinar los aumentos en energía eléctrica anuales a utilizar para la proyección, se utilizó el cambio en los precios spot de energía eléctrica desde el 2007. En promedio, el aumento ha sido del 9% anual. Es importante mencionar que se espera que nuevos generadores inicien operaciones en el país lo que puede provocar que los precios disminuyan (al mantenerse constante la demanda), éste último factor no se tomó en cuenta.

Para determinar el aumento anual en mano de obra, se consultó en el ministerio de trabajo de Guatemala cómo ha ido aumentando el pago por día de salario mínimo desde el año 2008. En promedio el aumento ha sido del 9.2% por lo que se utilizó tal valor para proyectar salarios.

## A. Viabilidad de los métodos destructivos vs. Métodos no destructivos

**1. Métodos destructivos.** Se inicia el análisis de método destructivo por medio del cálculo del volumen necesario para la realización de las distintas pruebas que se elaboran en laboratorio, los cuales son medidos por pies tablares y son usados para las distintas pruebas.

**Cuadro No. 31: Pies tablares por especie de madera**

PIES TABLARES POR ESPECIE						
Pruebas	compresión paralela	compresión perpendicular	Dureza	Corte paralelo	corte perpendicular	Flexión
Volumen en pulgadas por muestra	500	375	125	18.5	18.5	120
volumen en 20 muestras	10000	7500	2500	370	370	2400
1 pie tablar = 144 pl2	144	144	144	144	144	144
Pie tablar por ensayo	69.44	52.08	17.36	2.57	2.57	16.67
					total	<b>160.69</b>

**Cuadro No. 32: Pies tablares por especie de madera**

PIES TABLARES POR ESPECIE						
Pruebas	compresión paralela	compresión perpendicular	Dureza	Corte paralelo	corte perpendicular	Flexión
Volumen en pulgadas por muestra	500	375	125	18.5	18.5	120
volumen en 20 muestras	10000	7500	2500	370	370	2400
1 pie tablar = 144 pl2	144	144	144	144	144	144
Pie tablar por ensayo	69.44	52.08	17.36	2.57	2.57	16.67
					total	<b>160.69</b>

Esto demuestra que para los distintos ensayos, se necesitan de aproximadamente 160 pies tablares por especie, es decir, este resultado aproxima la cantidad de 120 piezas o muestras para los diferentes ensayos que se deben elaborar.

Sin embargo los precios de las diferentes especies de madera fluctúan, por lo que el total a financiar para la recolección de muestras, lo que suma Q26,112.85. Esto demuestra que solamente los materiales tienen un costo elevado.

**Cuadro No. 33: Precios por pie tablar de especies de madera**

Muestras	Quetzales por pie tablar	Total pies tablares	Quetzales 120 muestras
Pino	5.8	161	Q932.03
Cipres	7.7	161	Q1,237.35
Cedro	19	161	Q3,053.19
Caoba	22	161	Q3,535.28
Cenicero	11	161	Q1,767.64
Chichipate	17	161	Q2,731.81
Santa maria	19	161	Q3,053.19
Teka	26	161	Q4,178.06
Rosul	17	161	Q2,731.81
Palo Blanco	11	161	Q1,767.64
Matilisguate	7	161	Q1,124.86
		<b>Total</b>	<b>Q26,112.85</b>

Debido a que las diferentes muestras de las especies de madera, provienen de diferentes lugares. Se somete al proceso de carpintería, en donde los costos son de Q 1,360.00. Sin embargo es necesario para la evaluación de las muestras, optar por estandarizar los ensayos, según las normas ASTM 143-96 (2000), así tener datos más certeros.

A continuación se muestran los diferentes costos de carpintería, asumiendo que todas muestras deben ser sometidas por todos los procesos.

**Cuadro No. 34: Costos de carpintería**

Costos por maquina	Quetzales/1pie	Quetzales / 20 muestras
Costo por cortar	Q1.25	Q200.87
Costo por enderezado	Q0.50	Q80.35
Costo por cepillado	Q1.00	Q160.69
Costo por transporte		Q50.00
Costo por hora hombre	Q68.00	Q1,360.00

El siguiente paso, consiste en analizar las diferentes muestras mediante el método destructivo para así obtener las propiedades físicas y mecánicas de cada especie de madera. Los costos implícitos en este proceso varían según el ensayo. Sin embargo debido a la cantidad de muestras que deben ser sometidas a estudio, los costos se elevan. Se toma en cuenta el tiempo necesario para cada ensayo, así se puede tomar calcular la cantidad de ciclos efectivos que se puede realizar bajo cada especie de madera.

**Cuadro No. 35: Cantidad de pruebas trimestrales**

<b>Pruebas trimestrales</b>	
Horas efectivas al día	6.4
Ciclos de trabajo efectivo	0.58
Días efectivos de trabajo trimestral	66.00
Numero de ciclos por trimestre	38.48

**Cuadro No. 36: Tiempo de ensayo maquinas destructivas**

<b>Método destructivo</b>	<b>Tiempo de elaboración de ensayos por especie</b>			
<b>Ensayo</b>	<b>Tiempo preparación (horas)</b>	<b>Tiempo promedio prueba (horas)</b>	<b>Tiempo salida de prueba (horas)</b>	<b>Total tiempo de de pruebas (horas)</b>
Compresión perpendicular	0.2	1.03	0.016	1.246
Compresión paralela	0.008	0.95	0.016	0.974
Extracción de clavo	0.16	1.5	0.016	1.676
Gravedad específica	0.03	0.33	0.016	0.376
Prueba de dureza	0.008	3	0.016	3.024
Prueba de corte (paralela y perpendicular)	0.008	0.8	0.016	0.824
Prueba de flexión	0.012	0.8	0.016	0.828
Carpintería	0.03	2	0	2.03
*costos calculados a 20 ensayos por prueba			<b>Total prueba</b>	<b>10.978</b>
			Nivel de servicio	80%

**Cuadro No. 37: Costos de ensayos**

Costo unitario por prueba	Quetzales por unidad	Costo por prueba	Margen de ganancia	Precio unitario por prueba
Compresión Paralela	106.66	Q132.90	150.00%	Q199.35
Compresión Perpendicular	106.66	Q103.89	150.00%	Q155.83
Extracción de clavo	106.66	Q178.76	150.00%	Q268.14
Gravedad Específica	106.66	Q40.10	150.00%	Q60.16
Prueba de dureza	106.66	Q322.54	150.00%	Q483.81
Prueba de corte	106.66	Q87.89	150.00%	Q131.83
Prueba de flexión	106.66	Q88.31	150.00%	Q132.47
Carpintería	106.66	Q216.52	150.00%	Q324.78
*costos calculados a 20 ensayos por prueba	Total	Q954.39		Q1,756.37

Para la elaboración de análisis de costos, se asume que las pruebas deben ser realizadas, en un futuro de diez años debido a que la industria de la construcción, deberá seguir elaborando pruebas para diferentes especies de madera, la madera que más convenga utilizar.

Así se toman diez años, ya que se asume que las pruebas deberán ser repetidas cada año debido a la extracción de madera. Se toma una tasa de interés del 5% proporcionada por el Banco de Guatemala, y así se muestran los diferentes valores; la suma que se deberá financiar en una fecha futura dado una tasa de 5%, en un período de diez años. Se puede observar que la suma alcanza un monto de Q 160,477.63. Los diferentes costos, se proyectaron por medio de tasa inflacionaria de 3.5% anual.

En el caso de renovar los equipos, los montos alcanzarían un monto de Q134, 238.76, en diez años aproximadamente por lo que el método destructivo conlleva a una inversión cuantosa para la elaboración de las distintas pruebas.

**Cuadro No. 38: Inversión de maquinaria de laboratorio. Datos obtenidos de ELE internacional**

Inversión maquinaria	Dólares	Quetzales
Medidor de compresión	\$13,000.00	Q104,260.00
Durómetro	\$3,298.00	Q26,449.96
Horno	\$440.00	Q3,528.80
Total	<b>\$16,738.00</b>	<b>Q134,238.76</b>

**Cuadro No. 39: Costo por año (método destructivo)**

Estado de resultados	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		Q270,319.10	Q279,780.27	Q289,572.58	Q299,707.62	Q310,197.39	Q321,054.30	Q332,291.20	Q343,921.39	Q355,958.64	Q368,417.19
Costo unitario		Q146,888.65	Q152,029.75	Q157,350.79	Q162,858.07	Q168,558.10	Q174,457.63	Q180,563.65	Q186,883.38	Q193,424.30	Q200,194.15
Ganancia bruta		Q123,430.46	Q127,750.52	Q132,221.79	Q136,849.55	Q141,639.29	Q146,596.66	Q151,727.55	Q157,038.01	Q162,534.34	Q168,223.04
Sueldos		Q48,000.00	Q52,320.00	Q57,028.80	Q62,161.39	Q67,755.92	Q73,853.95	Q80,500.81	Q87,745.88	Q95,643.01	Q104,250.88
Costos de iluminación		Q20,000.00	Q20,700.00	Q21,424.50	Q22,174.36	Q22,950.46	Q23,753.73	Q24,585.11	Q25,445.59	Q26,336.18	Q27,257.95
Agua, luz teléfono, Secado		Q2,000.00	Q2,070.00	Q2,142.45	Q2,217.44	Q2,295.05	Q2,375.37	Q2,458.51	Q2,544.56	Q2,633.62	Q2,725.79
Depreciaciones		Q2,000.00	Q2,070.00	Q2,142.45	Q2,217.44	Q2,295.05	Q2,375.37	Q2,458.51	Q2,544.56	Q2,633.62	Q2,725.79
EBIT		Q51,430.46	Q53,230.52	Q55,093.59	Q57,021.87	Q59,017.63	Q61,083.25	Q63,221.16	Q65,433.90	Q67,724.09	Q70,094.43
Impuestos		Q15,943.44	Q16,501.46	Q17,079.01	Q17,676.78	Q18,295.47	Q18,935.81	Q19,598.56	Q20,284.51	Q20,994.47	Q21,729.27
EAT		Q35,487.02	Q36,729.06	Q38,014.58	Q39,345.09	Q40,722.17	Q42,147.44	Q43,622.60	Q45,149.39	Q46,729.62	Q48,365.16

Se puede analizar como los costos son muy elevados debido a la elaboración y recolección de las muestras a las que deben ser sometidas a ensayos para su posterior evaluación.

**Cuadro No. 40: Valores presentes de método destructivo**

Valores método destructivo	
Tasa	5%
Valor Presente Neto	Q160,477.63
Tasa Interna de Retorno	24%

Además de los costos elevados, el método tradicional conlleva a un tiempo de aproximadamente dos semanas para la evaluación de una especie de madera, lo que hace el tedioso, y muestra costos elevados. Se puede apreciar una tasa de retorno de 24% que demuestra que el método destructivo es viable económicamente.

**2. Comparativa de métodos no destructivos.** En cuanto a la utilización del método tradicional, se ha mencionado anteriormente las posibles limitaciones del mismo, por lo que se elaboró un análisis financiero que compara tanto las ventajas económicas como las desventajas de los diferentes métodos, tomando así diferentes escenarios con los cuales se pueden observar los diferentes resultados a lo largo de diez años, tomando como suposición la realización o elaboración de estudios para obtener las propiedades mecánicas de los materiales a analizar.

El primer escenario contempla el análisis de método tradicional o método destructivo en el cual a lo largo de diez años se estima el costo de realizar los estudios. Debido a que la industria de la construcción sigue en auge, las nuevas alternativas para la elaboración o producción de viviendas contemplan la madera, lo que indica que la madera estructural será utilizada a lo largo de estos años, por lo que el estudio de diferentes especies será necesario. Se elabora un análisis comparativo de tiempo, en donde se aproximan los tiempos necesarios para la obtención de datos en método no destructivo.

**Cuadro No. 41: Tiempo de ensayo máquina no destructiva**

Tiempo de elaboración de ensayos Método no destructivo				
Ensayo	Tiempo preparación (horas)	Tiempo promedio prueba (horas)	Tiempo salida de prueba (horas)	Total tiempo de de pruebas (horas)
Compresión perpendicular	0.01	0.33	0.001	0.341
Compresión paralela	0.01	0.33	0.001	0.341
Extracción de clavo	0.16	1.5	0.016	1.676
Gravedad específica	0.1	0.33	0.001	0.431
Prueba de dureza	0.008	0.66	0.016	0.684
Prueba de corte (paralela y perpendicular)	0.008	0.8	0.016	0.824
Prueba de flexión	0.01	0.33	0.001	0.341
			Total prueba	4.638
			Nivel de servicio	80%

**Cuadro No. 42: Costo método no destructivo**

Costo unitario por prueba	Quetzales por unidad	Costo por prueba	Margen de ganancia	Precio unitario por prueba
Compresión paralela	78.66	Q26.82	200.00%	Q53.65
Compresión perpendicular	78.66	Q26.82	200.00%	Q53.65
Extracción de clavo	78.66	Q131.83	200.00%	Q263.67
Gravedad específica	78.66	Q33.90	200.00%	Q67.80
Prueba de dureza	78.66	Q53.80	200.00%	Q107.61
Prueba de corte	78.66	Q64.82	200.00%	Q129.63
Prueba de flexión	78.66	Q26.82	200.00%	Q53.65
Carpintería	78.66	Q159.68	200.00%	Q319.36
		Total		Q1,049.01

Debido a que lo que se analiza son costos, se puede observar como existen ensayos en los cuales la máquina no destructiva no obtiene los datos, por lo que se toman los valores obtenidos mediante el método destructivo. Así también se puede observar el tiempo se ve reducido casi a la mitad, lo que indica que los ensayos no destructivos, al utilizar métodos ultrasónicos, disminuyen el tiempo de recolección de datos. Sin embargo al no obtener la ciertos valores (extracción de

clavo, prueba de dureza, prueba de corte), mediante la aproximación de los valores que se obtienen mediante éste método, se procede a clasificar la madera hacia el eurocódigo 5.

Cabe mencionar, que existe un tiempo de calibración de la máquina ultrasónica, que determina la aproximación de la misma, hacia el eurocódigo 5.

Comparado con el método tradicional, los costos son considerablemente más bajos, debido a que no se debe adquirir la misma cantidad de muestras para el estudio que se desea realizar, además que las muestras no deben ser secadas por medio de un horno, lo que permite el ahorro de este proceso. En los casos de métodos destructivos se debe seguir el proceso de secado para tener datos más certeros. También se debe considerar que las pruebas pueden ser extrapoladas mediante el eurocódigo 5, por lo que existe ahorro de tiempo.

**Cuadro No. 43: Pruebas trimestrales método no destructivo**

Pruebas trimestrales	
Horas efectivas	6.4
Ciclos de trabajo efectivo	1.38
Días efectivos de trabajo trimestral	66.00
Número de ciclos por trimestre	91.07

**Cuadro No. 44: Estado de resultados método no destructivo**

Estado de resultados	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		Q382,148.96	Q395,524.18	Q409,367.52	Q423,695.39	Q438,524.72	Q453,873.09	Q469,758.65	Q486,200.20	Q503,217.21	Q520,829.81
Costo unitario		Q191,074.48	Q197,762.09	Q204,683.76	Q211,847.69	Q219,262.36	Q226,936.55	Q234,879.32	Q243,100.10	Q251,608.60	Q260,414.91
Ganancia bruta		Q191,074.48	Q197,762.09	Q204,683.76	Q211,847.69	Q219,262.36	Q226,936.55	Q234,879.32	Q243,100.10	Q251,608.60	Q260,414.91
Sueldos		Q48,000.00	Q49,680.00	Q51,418.80	Q53,218.46	Q55,081.10	Q57,008.94	Q59,004.26	Q61,069.40	Q63,206.83	Q65,419.07
Costos de iluminación		Q20,000.00	Q20,700.00	Q21,424.50	Q22,174.36	Q22,950.46	Q23,753.73	Q24,585.11	Q25,445.59	Q26,336.18	Q27,257.95
Secado		Q2,200.00	Q2,277.00	Q2,356.70	Q2,439.18	Q2,524.55	Q2,612.91	Q2,704.36	Q2,799.01	Q2,896.98	Q2,998.37
Depreciaciones		Q2,622.50	Q2,714.29	Q2,809.29	Q2,907.61	Q3,009.38	Q3,114.71	Q3,223.72	Q3,336.55	Q3,453.33	Q3,574.20
EBIT		Q118,251.98	Q122,390.80	Q126,674.48	Q131,108.09	Q135,696.87	Q140,446.26	Q145,361.88	Q150,449.54	Q155,715.28	Q161,165.31
Impuestos		Q51,494.43	Q53,296.73	Q55,162.12	Q57,092.79	Q59,091.04	Q61,159.23	Q63,299.80	Q65,515.29	Q67,808.33	Q70,181.62
EAT		Q66,757.55	Q69,094.07	Q71,512.36	Q74,015.29	Q76,605.83	Q79,287.03	Q82,062.08	Q84,934.25	Q87,906.95	Q90,983.69
Flujo de efectivo											
Ingresos		Q66,757.55	Q69,094.07	Q71,512.36	Q74,015.29	Q76,605.83	Q79,287.03	Q82,062.08	Q84,934.25	Q87,906.95	Q90,983.69
Mantenimiento		Q200.00	Q207.00	Q214.25	Q221.74	Q229.50	Q237.54	Q245.85	Q254.46	Q263.36	Q272.58
Depreciaciones		Q2,622.50	Q2,714.29	Q2,809.29	Q2,907.61	Q3,009.38	Q3,114.71	Q3,223.72	Q3,336.55	Q3,453.33	Q3,574.20
Capacitaciones		Q24,127.00	Q24,971.45	Q25,845.45	Q26,750.04	Q27,686.29	Q28,655.31	Q29,658.24	Q30,696.28	Q31,770.65	Q32,882.62
Calibraciones		Q10,000.00	Q10,350.00	Q10,712.25	Q11,087.18	Q11,475.23	Q11,876.86	Q12,292.55	Q12,722.79	Q13,168.09	Q13,628.97
Total	-Q157,698.00	Q39,808.05	Q41,201.33	Q42,643.38	Q44,135.90	Q45,680.66	Q47,279.48	Q48,934.26	Q50,646.96	Q52,419.60	Q54,254.29

**Cuadro No. 45: Costo de muestras no destructivo**

Muestras	Quetzales por	pie tablar	Quetzales 30 muestras
1. Pino	5.8	33	Q193.31
2. Ciprés	7.7	33	Q256.64
3. Cedro	19	33	Q633.27
4. Caoba	22	33	Q733.26
5. Cenicero	11	33	Q366.63
6. Chichipate	17	33	Q566.61
7. Santa maria	19	33	Q633.27
8. Teca	26	33	Q866.58
9. Rosul	17	33	Q566.61
10. Conacaste	11	33	Q366.63
11. Matilisguate	7	33	Q233.31
		<b>Total</b>	<b>Q5,416.13</b>

Como se puede apreciar a continuación se estiman los costos en el mismo período de tiempo por lo que el costo en una fecha futura es mucho menor al método destructivo. Debido a que las muestras al no ser destruidas pueden ser utilizadas para la obtención de datos de métodos destructivos, no obtenibles mediante el método ultrasónico.

**Cuadro No. 46: Método no destructivo (ultrasónico)**

Tasa	5%
Valor Presente Neto	Q197,959.69
Tasa Interna de Retorno	25%

Se puede observar una ganancia en comparativa con el método destructivo, debido a la cantidad de ensayos realizables en un mismo período de tiempo.

Entre las posibles limitantes están el aproximar los posibles valores en arboles que poseen muchos nudos, o presentan señales de polillas, los cuales podrían generar una variante en los datos o en los resultados que se esperan obtener. Mediante el método no destructivo los costos se reducen considerablemente.

**Cuadro No. 47: Tiempo ultrasónico en árbol vivo**

Método destructivo	Tiempo de elaboración de ensayos por especie			Total tiempo de de pruebas (horas)
	Tiempo preparación (horas)	Tiempo promedio prueba (horas)	Tiempo salida de prueba (horas)	
Ensayo				
Compresión perpendicular	0.01	0.33	0	0.34
Compresión paralela	0.01	0.33	0	0.34
Gravedad específica	0.1	0.33	0	0.43
Prueba de flexión	0.01	0.33	0	0.34
			Total prueba	1.45
			Nivel de servicio	55%

Debido a la gran cantidad de incentivos forestales que se encuentran en el PINFOR, la industria maderera, específicamente para la construcción, se encuentra la necesidad de aproximar los valores que las diferentes plantaciones puedan tener, es decir, encontrar las propiedades mecánicas que pueden tener las plantaciones para así obtener las que más se adecúen para la industria de la construcción de viviendas, o estructuras, etc.

Ante la posible demanda de toma de datos en arboles en pie, se toma un total de prueba de 1.45 horas, sin embargo se puede observar que se tiene un nivel de servicio bajo, y esto es debido a que el traslado de las diferentes localizaciones para tomar los datos, dificulta el proceso de recolección de datos.

**Cuadro No. 48: Tiempos árbol vivo**

Pruebas trimestrales	
Horas efectivas	4.4
Ciclos de trabajo efectivo	3.03
Días efectivos de trabajo trimestral	66.00
Número de ciclos por trimestre	200.28

**Cuadro No. 49: Costos árbol vivo**

Costo unitario por prueba	Quetzales por unidad	Costo por prueba	Margen de ganancia	Precio unitario por prueba
Compresión paralela	126.66	Q43.06	150.00%	Q64.60
Compresión perpendicular	126.66	Q43.06	150.00%	Q64.60
Gravedad específica	126.66	Q54.46	150.00%	Q81.70
Prueba de flexión	126.66	Q43.06	150.00%	Q64.60
*costos en árbol de pie		Q183.66		Q275.49

Se puede observar la reducción considerable de costos mediante la utilización de métodos debido a que mediante este método se procede a aproximar los valores mediante la guía de eurocódigo 5. Así no es necesario realizar las pruebas destructivas ya que caería dentro de los costos anteriormente calculados. Sin embargo se deberá realizar pruebas de calibración en donde se puedan comparar valores tomados con método ultrasónico en árbol en pie, y en muestras estandarizadas.

**Cuadro No. 50: Valores árbol vivo**

Tasa	5%
Valor Presente Neto	Q75,020.91
Tir	14%

Se puede observar, como en árbol vivo disminuye el porcentaje de retorno, y esto es debido a que los costos varían con el servicio que se pueda proporcionar, ya que no se tendrá una eficiencia en costo debido al traslado que se pueda tener.

### 3. Lineamientos para máquina no destructiva (ultrasónica).

Para clasificar y caracterizar las propiedades físicas de la madera de carácter estructural, se puede optar por la utilización de máquinas ultrasónicas que ayudan mediante el método de transmisión ultrasónica. Con esto se puede predecir con el mayor grado de acierto sin dañar o destruir las diferentes muestras de madera, sus características resistentes, ya que no se ven afectada su integridad.

Para la determinación de las velocidades longitudinales y tangenciales, se trabajará por transmisión ultrasónica con generador de 30 kHz a 45 kHz de frecuencia y dos palpadores, emisor y receptos respectivamente, situados a una distancia conocida (L), midiéndose el tiempo (t) que tarda la onda ultrasónica en llegar de uno a otro.

La velocidad de paso de la onda deberá determinarse por la relación:

$$v_l = L/t$$

Se deberá atender la relación que existe entre velocidad de propagación ultrasónica en un material con sus propiedades elásticas.

$$E = \rho * V^2$$

En donde: E = Módulo de elasticidad longitudinal.

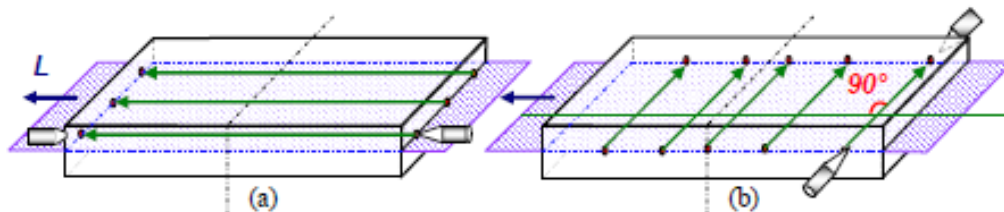
P= densidad de la madera.

V = la velocidad de propagación de la onda ultrasónica.

Es recomendable utilizar algún tipo de indentor con el fin de realizar orificios donde los palpadores puedan situarse. Se crean orificios cónicos de 5 mm de diámetro exterior y 1 cm de

profundidad, de manera que los palpadores puedan situarse de manera tangencial y longitudinal. (Dr Luis Acuña Rello, 2010).

**Gráfico No. 67: Modo de uso de transductores o palpadores**



Fuente: Sylvatest Inia, 2010

Para realizar los ensayos, se deberá introducir el parámetro de humedad, que deberá encontrarse entre el 0 y el 30%. Este parámetro deberá ser determinado por medio de un medidor de humedad, el cual es un penetrómetro de dos puntas que calcula el porcentaje de humedad que se encuentra en la madera. Una diferencia abrupta de humedad en diferentes partes de la viga puede suponer riesgo de corrosión o podredumbre.

Determinada la humedad de la viga o tronco a medir, se deberá determinar la distancia entre los puntos en los cuales se aplicarán los transductores en donde la distancia mínima entre transductores debe ser de 1 metro.

La medición se podrá elaborar directa o indirectamente. Para medidas indirectas, es necesario agujerear con un taladro para introducir en la madera el cono del transductor.

**a. Lineamiento en árbol vivo.** En general se debe efectuar un reporte de calidad de 20 árboles al día, trabajando con medidas nominales por comparación con otros individuos de la misma especie. Se deberá insertar los palpadores completamente dentro del árbol que se desea analizar, esto debido a la necesidad de eliminar la corteza para obtener los datos internos del árbol mediante la aproximación.

Se deberá calibrar el aparato por medio de métodos destructivos, para obtener una correcta aproximación de valores.

Sin embargo el método ultrasónico, no obtiene las propiedades de corte, dureza y extracción de clavos, por lo que son ensayos que deben realizarse de manera destructiva. Por otro

lado las propiedades que son obtenidas mediante la utilización de método ultrasónico, son de flexión, compresión, y gravedad específica.

**4. Limitantes.** El presente trabajo toma en cuenta las diferentes propiedades de distintas especies de madera en Guatemala, que son utilizadas más frecuentemente en el comercio del país. Sin embargo las maderas poseen distintas características que las hacen útiles en la rama de la construcción y de ornamentación.

De las distintas especies de madera en Guatemala se buscó la formación de la guía con las especies más comerciales que son utilizadas ya sea para elaborar algún diseño ornamental, como la elaboración de vigas y columnas estructurales, que son utilizados en casas, cabañas, etc. A pesar que la mayoría de especies de madera son utilizadas comercialmente, no todas son usadas para elaborar diseños estructurales debido al alto costo que representa crear una estructura.

Mediante la entrevista con David Pineda (2012) se pudo comentar las posibles limitaciones. A pesar que el mercado Guatemalteco opta primordialmente por estructuras de concreto, se ha establecido que la madera puede considerarse, para el diseño de diferentes estructuras, por lo que la guía se ha de tomar para definir el mejor uso, o el mas apropiado de las maderas que contiene, así facilitando la obtención de datos, y tener así las características mas adecuadas para la diferente estructura que se usara. Sin embargo el actual mercado Guatemalteco, no elige las diferentes especies de madera según su dureza, contrario a lo que se piensa, ya que las maderas no son conocidas por sus resistencias mecánicas, si no que la madera es nombrada dura o no dura, esto crea cierta incertidumbre al momento de la creación de diferentes estructuras, ya que las maderas están clasificadas como duras, son maderas resinosas, que son procedentes regiones frías y templadas, por lo que son mas apropiadas para la construcción por sus características de trabajo y resistencia mecánica. Es decir que las maderas duras proceden de árboles cuyo crecimiento es más lento por lo que al ser maderas más densas soportan mucho mejor las cargas que se les infiere con la producción de una casa o algún elemento estructural.

Cabe mencionar que tanto las características físicas como mecánicas de las diferentes especies de madera, se ven sujetas a los diferentes cambios climáticos, altura a la que se encuentran, y sobre todo la cantidad de nutrientes que puedan encontrar en el área geográfica en donde hayan sido cultivados, o hayan crecido, por lo que el aprovechamiento de estos nutrientes interfiere con las características de la misma especie, creando así un distinto patrón de anillos de crecimiento, por ende diferencia notable de las características tanto físicas como mecánicas.

Debido al cambio de altura, de factores climáticos como la cantidad de lluvia que pueda caer en cierto período de tiempo, la albura que se forma con los diferentes años que reciba lluvia y aprovechamiento de nutrientes, se forman los diferentes anillos que varían en tamaño y densidad por lo que una madera contiene más anillos, es decir que posea más madurez, por ende, su lento crecimiento provoca que las maderas sean más densas, las cuales al ser más densas provocan escasez. Esto logra que las maderas varíen el precio no solo por la escases de especie, sino también por la escases de la dureza que presentan debido a el aprovechamiento de los nutrientes. Esto crea que ciertas maderas no puedan ser utilizadas para la construcción, debido a que pueden ser no solamente escasas en especie, sino que también pueden ser escasas de dureza, por lo que se aprovechan para uso ornamental. Cabe mencionar que las maderas pueden ser utilizadas de adornos como pérgolas, las cuales no poseen ningún tipo de carga que deban soportar, por lo que ciertas maderas no serían utilizadas con el propósito de crear algún diseño estructural, por lo que se opta por las maderas más comunes para la elaboración de estructuras como casas.

Los precios de las diferentes especies fue obtenida a través de la cotización de un aserrado popular en Guatemala. En cuanto al precio de las diferentes maderas que se trabajan, hablando específicamente para la construcción de casas, en Guatemala, el más utilizado por excelencia, es el pino el cual se encuentra a un precio de Q5.80 por pie tablar, siendo la especie más encontrada en el territorio guatemalteco, por lo que es la de menor precio comparado a especies de mayor costo, como puede ser la caoba que se encuentra en Q22 por pie tablar, o la teka que se encuentra a Q26 por pie tablar. Esto hace que el pino sea por excelencia el material para la elaboración de casas de madera, sin embargo se encuentran especies que no poseen el precio elevado de las maderas mencionadas, pero no son significativamente mas costosas que el pino como lo son el albaricoque que se encuentra a Q 7 por pie tablar, y el ciprés que se encuentra a Q7.70 por pie tablar. Cabe mencionar que los precios indicados son de los materiales o maderas rusticas, es decir sin ningún tipo de tratamiento, lo que le da más valor a las diferentes especies lo cual eleva el precio de las mismas.

Lo que se considera primordialmente de las diferentes especies de madera, es la cantidad o abundancia que hay en el mercado actual, debido a que la principal limitante en cuanto a la abundancia, está en la procedencia de la madera, ya que en muchos lados de Guatemala los árboles son talados, pero no son reforestados los lugares en los cuales se taló.

El PINFOR es un programa de incentivos forestales que busca que los propietarios de tierras, incluyendo a las municipalidades, que se dediquen a proyectos de reforestación y mantenimiento en tierras de vocación forestal desprovistas de bosque, así como al manejo de bosques naturales y las agrupaciones sociales con personería jurídica, que virtud a arreglo legal, ocupan terrenos de propiedad de los municipios.

Mediante el uso de un medidor de compresión y un durómetro se consiguen los resultados de las especies de madera, mediante la utilización de las normas ASTM 143-96 (2000).

De cierta manera el tiempo que se utiliza en la elaboración de las muestras, así como los ensayos que se realizan con éstas muestras, son muy considerables, debido a que la realización de las muestras considera tanto el horneado de las mismas, como el corte y formación de estas. Esto hace que el método estándar o el método que se ha utilizado sean mucho menos productivos o menos eficientes para la obtención de datos, además de ser un método tedioso.

Se considera también en el método tradicional, la utilización de diferentes maquinas las cuales ayudan a obtener los valores de las diferentes muestras, sin embargo para cada máquina, se debe poseer ciertas medidas proporcionadas por las normas ASTM 143-96 (2000), las cuales poseen diferentes medidas para cada tipo de máquina, creando así una variedad de muestras para evaluar. Esta variedad de muestras crea un inventario de muy grande, es decir, las muestras varían por cada tipo de prueba, por lo que se encuentra una limitante del método tradicional o destructivo.

Tanto el tiempo como el costo del método destructivo es un factor limitante debido a que ambas manejan magnitudes muy grandes, es decir, por la cantidad de muestras a evaluar, el tiempo para la toma de valores de las diferentes muestras depende del volumen que se tenga. Contrario al método no destructivo, el aparato no precisa de tantas muestras para llegar a los resultados, debido a que con el mismo aparato y la misma muestra se pueden crear distintos resultados.

Otro factor que limita el proceso de formación de la guía, está en el proceso de horneado, que además de secar o reducir la cantidad de humedad que se encuentra en las diferentes muestras, el proceso crea una deformación dentro de las mismas muestras, lo que hace que éstas tiendan a deformarse en algún lado, o cara de cada muestra. Esto hace que algunos resultados varíen en los ensayos, ya que las fibras no se encuentran en las mismas posiciones, o direcciones. Sin embargo existen también rajaduras dentro de la madera, debido a la densidad de las fibras,

debido a que en una muestra de madera de una especie mas dura, las fibras están mas unidas, por lo que al reducir la cantidad de humedad que se encuentre en las mismas muestras, éstas se rajan, y se deforman.

**Gráfico No. 68: Rajadura por secado de madera**



Las pruebas no destructivas garantizan un posterior uso a las muestras de madera, las cuales varían de precio, según su uso, además de facilitar la obtención de datos, debido a que es un método mucho mas rápido, y tabulado electrónicamente. Esto representa un ahorro de costos, ya sea por transportación, así como de costos de operación, es decir, en lugar de utilizar maquinaria de método estándar mucho tiempo, se utiliza el método no destructivo, lo que ahorra tiempo, y permite utilizar el tiempo para realizar otras pruebas.

El costo de oportunidad de utilizar éste método reside en la capacidad del aparato, ya que maximiza el tiempo de pruebas para realizar, por lo que al tener este método al alcance garantiza la optimización del costo de oportunidad. El tiempo es dinero, por lo que al maximizar el tiempo de uso, se maximiza el dinero invertido en el aparato.

En el corto plazo el aparato representa una inversión significativa, sin embargo en el largo plazo se justifica por el ahorro de tiempo, espacio, transporte, y costos de operación.

En comparativa con el método tradicional, el método no destructivo halla resultados distintos al tradicional, ya que se basa en la propagación de ondas a través del material que se

desea ser probado, a medida que el material es puesto a prueba, se encuentran las diferentes velocidades que se tienen o se hallan, por lo que con éstos resultados son tabulados, e introducidos dentro de la anterior formula descrita, para así encontrar su respectivo módulo de elasticidad.

Iniciando con el método destructivo los ensayos que se manejan son: tensiones, compresiones, corte, flexión, por lo que las magnitudes que se representan con dichas pruebas son de cargas máximas por unidad de superficie que soporta cada probeta, las cuales representan fuerzas aplicadas sobre un área. Esto crea resultados específicamente de resistencias de fuerzas en la aplicación de un área, por lo que a comparación de los métodos no destructivos son tediosos, llevan mucho tiempo de hacer, y exige que los materiales cuenten con un estándar de medidas.

Una de las ventajas del método no destructivo, permite utilizar una muestra varias veces ya que esta no se pierde, ni es alterada, además se puede realizar la prueba en el mismo árbol sin la necesidad de que éste sea talado. Desde un punto de vista económico, los resultados son más rápidos, por lo que el método demuestra un ahorro de costos por hora máquina, hora hombre, y además de materia prima ya que se puede analizar las propiedades de la madera a utilizar mucho antes que el árbol sea talado, o incluso decidir si la madera llega a ser útil, antes de gastar en la manipulación, corte y transporte del mismo.

Sin embargo las limitaciones que se pueden encontrar, están las variables del estudio, ya que pueden ser sujetos a ruidos y alteraciones que se encuentren en el ambiente, esto puede crear que los resultados poco confiables, o variados, pero de realizarse en un ambiente controlado como un laboratorio universitario, estas variaciones se pueden reducir e incluso eliminar debido a la cantidad de aislación que pueda tener.

Además se requiere de una única inversión, ya que la máquina en diferentes posiciones, obtiene diferentes resultados ya sea por medio de análisis paralelo o perpendicular, e incluso una alternativa de datos en diagonal a la fibra

## **B. Análisis de factibilidad madera juvenil**

Para el análisis financiero se realizaron dos escenarios. Para ambos casos, se asume que es una empresa que está realizando un buen manejo forestal, por lo que realiza los raleos requeridos para la productividad futura del bosque. El giro de negocio de la empresa no es la realización de muebles, siendo éstos un producto secundario como aprovechamiento del buen manejo forestal de las plantaciones.

El área del bosque es de 1 hectárea para el primer escenario y de 15 hectáreas para el segundo. Se asume que la plantación es de *Pino Maximinoi*, al ser la especie con mayor cobertura forestal.

A través de la investigación, se determinó que para esta especie, se plantan aproximadamente 1100 árboles por hectárea. La fase de crecimiento del pino establece que alcanza la edad adulta a partir del año 20 tras ser sembrado. En un buen manejo forestal, se estima que haya para ese año, entre 300 y 400 árboles por hectárea. Para llegar a esto, se estimó para ambos escenarios la realización de tres raleos, en los años 5, 8 y 12. Extrayéndose 20m<sup>3</sup>, 40m<sup>3</sup> y 40m<sup>3</sup> por hectárea, respectivamente.

En ambos escenarios, se toma como año 0 el año del primer raleo. Esto se debe a que el PINFOR asume los costos asociados al manejo del bosque durante los primeros 5 años. A partir del primer raleo, los costos los asume la comunidad o empresa beneficiada.

Las proyecciones se realizaron hasta el año 10 a partir del primer raleo; la especie para ese determinado momento tiene 16 años de crecimiento. Se proyectó para ese año ya que no se asumen más raleos después del tercero, y en relación al volumen extraído y el rendimiento que este proporciona, es posible producir durante dos años. Las ventas se asume que serán realizadas en el año del raleo y que la producción permitirá vender durante 4 años más a partir de ese momento.

El costo del metro cúbico de leña se obtuvo de la página del INAB en el que hacen referencia a éste por especie, siendo de Q.23.00 para el *Pino Maximinoi* para el año 2012.

Se realizó un estudio de posibles productos realizados a base de diámetros menores. Los productos pueden realizarse con las piezas que se obtienen de los raleos. El trabajo de investigación determinó que las empresas dedicadas a la elaboración de muebles en Guatemala utilizan diámetros menores en la elaboración de sus productos, por lo que es factible que los elaborados en el catálogo (ver anexos) se produzcan con estos. Los cinco productos diseñados son:

- Sillas.
- Mesas de centro.
- Repisas.
- Vineros.
- Mini Bares.

Se definieron estos productos en relación al tamaño de las piezas requeridas para realizarlos, ya que no son necesarias piezas superiores a 8x8 pulgadas. Tanto la mesa de centro como la repisa es posible manufacturarlos a partir del segundo raleo por las dimensiones de las piezas.

El precio de venta para cada producto se determinó a través del precio en el mercado que ofrecen diferentes empresas de estos productos.

En relación al volumen de madera requerida para producir cada producto, se determinó cuántos se es posible realizar con un metro cúbico. El volumen está relacionado a cuántos pies tablares son necesarios para armar cada mueble, sin embargo, las piezas no necesariamente tienen esta medida. Un pie tablar cuenta con 144 pulgadas<sup>3</sup>, por lo que en relación al tamaño de las piezas, se determinó cuántas pulgadas cúbicas eran necesarias, realizándose posteriormente la conversión a pies tablares para determinar cuántas unidades se pueden producir en 1 metro cúbico, ya que éste es aproximadamente 423 pies tablares. (Ver anexos).

Los costos relacionados al proceso de manufactura de la madera fueron proporcionados por una empresa que pidió el anonimato. Se establecieron cuatro procesos, el corte, la impregnación, el cepillado y el secado al horno.

Además de los cuatro procesos previamente descritos, está el proceso de armado y el de acabado. Se asume un operador para cada uno de éstos, al que se le paga el salario mínimo. Todos los trabajadores reciben sus prestaciones.

**1. Análisis primer escenario – Plantación de una hectárea.** Este escenario contempla la utilización de la madera obtenida de los raleos, por lo que la empresa incurre en costos de producción. A través del análisis realizado, se determinó que el mejor producto para realizar es la repisa, ya que en relación al volumen de producción así como la ganancia total por metro cúbico, es el producto más rentable para la empresa, ya que se realizó sobre una hectárea. Finalmente, se determinó producir la repisa ya que además por su tamaño, es posible realizarla con los diámetros obtenidos a partir del segundo raleo. (Ver anexos).

Para este escenario se asume a su vez que se vende el 100% de la producción ya que se considera que el número de unidades producidas en relación al volumen y demanda que se produce en Guatemala se es posible vender todas las unidades.

Finalmente, se asume una tasa del 5%, ya que esta es la tasa mínima que ofrecen los bancos.

En los años 3 y 7 se tiene el mayor costo de producción, ya que en esos años se corta el 100% de la madera extraída en el raleo. Tomando en consideración el rendimiento de la madera juvenil en Guatemala, se determinó el porcentaje de madera aprovechable tras el corte, siendo el 50% para el raleo del año 3 y el 65% para el raleo del año 7. En ambos casos se asumió que es posible aprovechar el rendimiento máximo acorde al diámetro del árbol en pie para ese determinado año.

La madera que no es posible aprovechar, es vendida como leña, vendiéndose el 50% de la madera cortada en el año 3 y el 35% en el año 7.

Los posteriores procesos, impregnación, cepillado y secado trabajan durante dos años. Se determinó así ya que algunos de estos procesos toman tiempo considerable, como el secado.

**Cuadro No. 51: Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno Escenario 1**

Ítem	Valor
Tasa de Interés	5%
Valor Presente Neto	Q3,508.98
TIR	5%

El valor presente de la inversión se puede considerar bajo. Esto se debe a que en los primeros años la empresa no produce, sin embargo contrae obligaciones salariales e incurre en gastos administrativos que son independientes de si vende o no. Además, es en estos años cuando la empresa ya no recibe remuneración económica por parte del PINFOR. Se puede observar que la tasa de retorno de la inversión es igual a la tasa mínima que ofrecen los bancos.

Sin embargo, a pesar de contar con pérdidas cuantiosas en los primeros tres años, aún se obtiene un valor presente positivo, lo cual indica que es factible producir la madera obtenida de los raleos ya que además a partir de ese momento, la empresa obtiene utilidades netas positivas. Además, es de considerar que los programas PINFOR son para extensiones superiores a 15 hectáreas.

**2. Análisis segundo escenario – Plantación de 15 hectáreas.** Este escenario asume que la empresa realiza un buen manejo forestal de la plantación, por lo que realiza los raleos necesarios en vista de una mayor productividad futura. Al ser mayor la extensión de la plantación la empresa diversifica su producción realizando y comercializando todos los diseños propuestos.

Los costos de producción y obtención de materia prima aumentan al ser mayor el volumen que se extrae.

Se asumen los rendimientos máximos que proporcionan las trozas producto de cada raleo. Siendo de 50% para el segundo y 65% para el tercero.

Se asume que en el primer año del raleo se realiza el corte del 100% de la troza obtenida. Los procesos de impregnación, secado y cepillado se realizan durante dos años y el taller de carpintería donde se ensamblan los muebles opera durante cuatro años tras la realización del raleo. Los gastos administrativos y obligaciones salariales se mantienen.

**Cuadro No. 52: Valor Presente Neto, TMAR y TIR escenario 2**

Ítem	Valor
Tasa de Interés	5%
Valor Presente Neto	Q1,532,189.28
TMAR	21%
TIR	24%

Como se puede observar en la Tabla No.8, el valor presente neto de la inversión es de Q1, 532,189.28 a 10 años. Se utilizó una tasa del 5% de interés al ser esta la que utilizan los bancos del país.

Con una Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) de 21% y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 24%, el proyecto es viable económicamente y atractivo para los inversionistas y empresarios. A pesar de contar con pérdidas los primeros tres años al no producir.

**3. Comparación escenarios.** Utilizar la madera juvenil producto de la práctica de raleo representa un beneficio para las empresas que realizan un buen manejo forestal y no conocen las ventajas de aprovechar los diámetros menores.

En el primer escenario el retorno de la inversión es limitado ya que los gastos administrativos son cuantiosos y el volumen obtenido del raleo es bajo. Sin embargo aprovechando la madera juvenil permite cubrir los costos de un buen manejo forestal y las obligaciones salariales de la empresa, además de generar ingresos.

Considerando que el raleo es una práctica subjetiva que dependerá finalmente de la calidad de la plantación, tierra y especie, si existiera la posibilidad de hacer más raleos durante los próximos años a partir del séptimo, beneficiaría a la empresa en el primer escenario ya que los rendimientos de los diámetros mejoran al ser éstos mayores en raleos posteriores.

La empresa en el segundo escenario al ser mayor la extensión de la plantación, el volumen extraído es mayor, aunque aumenta los costos de producción y de materia prima; las obligaciones salariales son diluidas entre las proyecciones de ventas, por lo que su utilidad después de impuestos es mayor.

Dado que la empresa su giro de negocio no son los muebles y que utiliza la madera producto del raleo para la elaboración de éstos al ser un producto secundario, la empresa se

beneficia de ello en ambos escenarios, ya que el aprovechamiento en los dos casos cubre el costo asociado al buen manejo forestal y contribuye a la productividad futura del bosque.

## **C. Costos de inversión y costos de transformación del producto para casas de madera**

A continuación se detallan los costos en los que debe de incurrir para poner en marcha la planta. Para todos los precios detallados se utilizó una convención de Q8.00 por \$1.00 para facilitar conversiones entre divisas.

**1. Materia prima.** Se determinó que la materia prima a utilizar a lo largo del proceso es pino radiata. Según el trabajo consultado de consultoría de Claudio Cabrera el precio por m<sup>3</sup> de pino puesto para la industria (troza cortada lista para procesarse), es de \$54.00.

La cantidad de materia prima necesaria por mes es de 882m<sup>3</sup> como se mencionó anteriormente en el trabajo.

La inversión mensual en materia prima sería de \$78,257.26. Se determinó que aproximadamente se requiere 140 clavos por panel armado (555,744 clavos al mes), 7,392 gussets o uniones para cercha al mes y aproximadamente 168 galones de cola para madera al mes.

**2. Mano de obra.** Para determinar los costos de mano de obra, se definió las diferentes tareas a realizarse dentro de la planta. Según las tareas a realizarse se definió los salarios por operario. La mayoría de salarios fueron definidos sobre salario mínimo (Q2, 324.00).

Además se definió otro tipo de salarios para trabajos que demandan más responsabilidad y preparación por parte de los operarios (operadores de la maquinaria de los hornos, de autoclave).

Los salarios de los trabajadores involucrados en el proceso de producción son de \$21,819.11 al mes.

**3. Consumo eléctrico.** Para determinar el consumo eléctrico dentro de la planta de producción, primero se determinó en número de luminarias a tener en cada área dentro de la planta.

El primer paso fue determinar ciertos factores que según especificaciones son necesarios para determinar la iluminación en un lugar.

Los elementos que fueron considerados fueron los siguientes.

**Cuadro No. 53: Factores a considerar para determinar cantidad de luminarias por área**

Factor de mantenimiento	0,6
Factor de utilización	0,5
Número de tubos	4
Número de watts por tubo	40
Lúmenes por watt	80
Lúmenes por tubo	3.200
Watts por lámpara	160

Teniendo en cuenta estos factores ya se pueden determinar el número de lámparas, con la potencia descrita, por área. Los Lux requeridos por área fueron determinados según el trabajo que se realizará en cada lugar. La única área en donde se requiere una mayor cantidad de Lux es en carpintería, esto debido a que es el único lugar con un procedimiento más artesanal, y el encolado y clavado de las piezas demanda una mayor precisión y por lo tanto mejor iluminación.

**Cuadro No. 54: Número de luminarias por área**

	Sección	Lux Requeridos	Área (m2)	Luminarias
Área de Planta	Aserradero	250	465.00	31
	Secado	250	150.00	10
	Cepillado y tornado	250	250	17
	Impregnado	250	350.00	23
	Ensamblado	450	120.00	15
	Administración	250	262.50	18
	Baños públicos	250	76.80	5
	Comedor	250	144.00	10
	Bodega producto terminado	250	600.00	40
				<b>169</b>

Saber el número de luminarias permite ahora determinar el costo por iluminación mensual. Para determinar la tarifa de cobro se utilizó el precio más caro emitido en el último

pliego tarifario emitido por la CNEE (Agosto-Octubre), para DEORSA. El precio publicado es de Q1.6/kwh

Los costos por iluminación en toda la planta se detallan a continuación.

**Cuadro No. 55: Costo de iluminación en la planta**

	Sección	NL	Horas al Día	kWh / mes	Costo / mes
Área de Planta	Aserradero	31	8.00	872.96	Q 1,396.74
	Secado	10	24.00	844.80	Q 1,351.68
	Cepillado y tornado	17	8.00	478.72	Q 765.95
	Impregnado	23	8.00	647.68	Q 1,036.29
	Ensamblado	15	8.00	422.40	Q 675.84
	Administración	18	10.00	633.60	Q 1,013.76
	Baños públicos	5	4.00	70.40	Q 112.64
	Comedor	10	8.00	281.60	Q 450.56
	Bodega producto terminado	40	8.00	1126.40	Q 1,802.24
					<b>Q 8,605.70</b>

Para determinar el gasto por consumo de energía de maquinaria se tomó en cuenta la potencia reportada en las especificaciones de cada máquina, las horas en operación de cada una de ellas y se determinó 80% como factor de utilización de dicha potencia. Al igual que el valor que se utilizó para determinar el costo para luminarias, se volvió a utilizar Q.1.6/kwh.

En la siguiente tabla se detalla el costo mensual por maquinaria.

**Cuadro No. 56: Costo de energía mensual por maquinaria**

Cantidad	Equipo	Potencia	Tiempo de Operación	kWh / día	Costo / Día
1	LT 3000	22	8,00	131,24	Q 209,99
1	HR 1000	15	8,00	89,48	Q 143,17
1	Guillotina para disminucuión de piezas	5	8,00	29,83	Q 47,72
1	EG 3000	15	8,00	89,48	Q 143,17
2	Horno modular de secar madera	25	24,00	894,84	Q 1.431,74
3	Despuntadora	1	3,00	6,71	Q 10,74
2	Bonfanti RM 422	3	8,00	35,79	Q 57,27
2	Fresadora Universal	3	8,00	35,79	Q 57,27
3	Autoclave	20	8,00	357,94	Q 572,70
1	Paletizadora	5	2,50	9,32	Q 14,91
1	Computadoras, accesorios.	2	9,00	13,42	Q 21,48
<b>Costo diario</b>					<b>Q 2.673,78</b>
<b>Costo mensual</b>					<b>Q 58.823,20</b>
<b>Costo anual</b>					<b>Q 705.878,43</b>

Los costos de energía que intervienen directamente en la producción de los paneles son las de luminarias en el área de corte, secado, cepillado, impregnado, ensamblado y el de toda la maquinaria utilizada.

Los costos implicados por energía eléctrica en la transformación de la madera es de aproximadamente \$7,960.00

**4. Infraestructura.** Para determinar los costos de infraestructura se utilizó una tabla con los costos aproximados por metro cuadrado en los que se incurre por ambiente dentro de la planta.

El costo total de infraestructura es de \$921,187.5

**5. Terreno.** Como se explicó a lo largo del proceso, la planta necesita un área de 50 m x 108 m en el área del rancho, El Progreso. Se cotizó el precio en dólares por vara cuadrada en la región mencionada en un terreno cercano a la carretera y se obtuvo un precio de \$70.

Por lo tanto la inversión estimada para comprar el terreno requerido es de \$563,220.00.

**6. Transporte.** Para trabajar con los costos de transporte se utilizó un valor de Q66.3/m<sup>3</sup> de madera transportada. Se consideró con fines de estimación este mismo valor para transportar la materia prima (las trozas a la planta), y para transportar el producto terminado a su lugar de destino. Este valor expresado en dólares es de US \$12,572.14

**7. Maquinaria principal y auxiliar.** Como se detalló antes en el trabajo, se dividió la inversión en maquinaria pesada (descrita en el capítulo de maquinaria) y maquinaria auxiliar que consiste en vehículos de transporte, mantenimiento para piezas o herramientas de menor tamaño e inversión (pistola de clavos, cierra circular, etc.).

La inversión en maquinaria pesada tiene un valor de \$717,182.00. La inversión en maquinaria auxiliar fue de \$177,868.00

En total la inversión esperada en maquinaria y equipo para la operación de la planta se estima que es de \$895,050.00

Es importante mencionar que para las cotizaciones realizadas para la maquinaria, los precios colocados en las tablas son el precio que cuesta tenerlas en Guatemala, por lo que no es necesario incurrir en costos adicionales de transporte o seguro.

## **D. Análisis financiero para planta industrial**

Para llevar a cabo un análisis sobre la inversión, hay que estudiar el conjunto de la planta en operación. Por lo tanto es importante considerar los ingresos que va a generar la empresa a un plazo largo, en éste caso será 10 años, que permite determinar si la inversión se recuperará y por lo tanto si vale la pena invertir en un proyecto de la magnitud del desarrollado en éste trabajo.

La inversión inicial que se determinó para poner en marcha la planta fue de US \$2, 379,457.5, que está compuesta por maquinaria terreno e infraestructura.

Se determinó que el préstamo a conseguir es por US \$1, 500,000.00 a una tasa de interés anual del 5%. Las amortizaciones fueron anuales y se determinó un plazo para pagar de deuda por 10 años.

Para realizar el costo del producto se tomó los rubros de costos de fabricación (el costo por cada uno de los procesos de transformación por los que paso la madera), materia prima, energía eléctrica, transporte de trozas hasta la fábrica y mano de obra.

El margen de utilidad utilizado para determinar el precio de venta fue del 35%. La industrialización de transformación de la madera suele tener márgenes altos, más representado en muebles. De igual manera se hizo escenarios utilizando diferente margen de utilidad, en un caso del 30% (margen bajo en transformación de madera) y en otro caso 40% que es un margen utilizado en la industria de muebles de madera.

Los distintos activos de la empresa fueron depreciado conforme lo determinado por la ley guatemalteca.

Se utilizó 30% como valor mínimo que los inversionistas estaría interesados en tener como retorno de su inversión para poner en marcha el proyecto, por lo tanto si la TIR es mayor a tal valor, es un negocio atractivo para los inversionistas. Tal valor fue determinado de acuerdo a consulta a inversionistas, a los cuales se les contó en qué consiste el proyecto, el monto de la inversión a realizarse y los flujos elaborados. Con base en esta información, en promedio, el valor

mínimo de retorno que ellos esperarían, considerando los riesgos implícitos, es el mencionado al inicio del párrafo.

Se utilizó mil como el número de casas a producir y a vender por año. El diseño de la planta y dimensiones permiten tener crecimiento para poder producir una mayor cantidad de piezas anuales, es decir, está hecha para permitir su crecimiento. Para determinar el rendimiento con la capacidad y demanda actual se trabajó con un valor constante de unidades al año.

Se determinó 6% para el primer año y 7% para el segundo hasta el décimo año como valor a pagar anualmente de impuestos, esto utilizando los nuevos decretos publicados por parte de la SAT para Guatemala a partir del próximo año.

En la siguiente tabla se puede apreciar los flujos proyectados a 10 años, con el valor de VAN y % obtenido de TIR.

**Cuadro No. 57: Resumen flujos con 35% de margen de venta**

Tasa esperada por accionistas	30%
VAN	181,999
TIR	35%

**Cuadro No. 58: Resumen flujos con 30% de margen de venta**

Tasa esperada por accionistas	30%
VAN	(253,345)
TIR	22%

**Cuadro No. 59: Resumen flujos con 40% de margen de venta**

Tasa esperada por accionistas	30%
VAN	689,899
TIR	49.85%

Con base en los resultados obtenidos se puede apreciar como la inversión es aceptada con los términos anteriormente descritos. Se obtuvo una VAN de \$181,999. Este el valor actual neto de todos los flujos de efectivo a proyección de diez años. Al ser el valor mayor a cero, se muestra que la inversión si es factible, pero sólo trabajando bajo éste criterio no se puede aceptar la inversión.

El valor obtenido como TIR fue de 35%. El valor esperado como mínimo de parte de los inversionistas fue de 30%, ya que la TIR fue mayor que el retorno esperado, se define la inversión como factible y atractiva para incurrirse en ella. Es importante resaltar que estos cálculos fueron realizados como un escenario pesimista ya que se espera que los precios de energía eléctrica bajen, los salarios fueron tomados con un aumento alto anual, y se definió que la demanda y producción de casas no aumenta en los periodos proyectados.

El terreno de la planta permite una expansión de la misma en el momento que se desee producir una mayor cantidad de casas o que se desee producir más productos para las casas, como pueden ser puertas, muebles, techos, etc. Que demandaría una mayor inversión, pero podría dar como resultado (hay que hacer el estudio), una mayor cantidad de ingresos y de captación de mercado.

Los resultados obtenidos con los otros márgenes de utilidad fueron muy distintos el uno del otro. El primer escenario (margen del 30%), no le presenta un valor agregado a la empresa ya que su valor actual neto es negativo, y su tasa interna de retorno es menor a la mínima esperada.

En el caso más atractivo (con una margen de utilidad del 40%), se muestra un valor actual neto de la inversión de \$689,899 y una TIR del 49.85%. Estos resultados hacen ver el proyecto como muy atractivo para los empresarios o inversionistas que quisieran incursionar en la producción de casas de madera.

A pesar de que el retorno es muy atractivo, se decidió trabajar y adoptar el primer escenario (35% de margen de utilidad), ya que la casa aún no está totalmente terminada y no se está proveyendo el total de las piezas necesarias para la construcción total de la casa al cliente (firma de construcción). Al no poder darle aún ese valor agregado total, se decidió trabajar con un margen menor.

Además, por medio de investigación de otras empresas productoras de casas (casas canadienses), se preguntó por el precio de una casa con las dimensiones especificadas en este trabajo, y se tiene un precio de Q60, 000.00 con todo instalado, es decir la totalidad de la fachada y todos los baños, regaderas y equipo.

Por lo tanto, en comparación con algunos precios ofrecidos en el mercado local para los productos que se están produciendo en la planta, se está ofreciendo un precio de venta por paquete por casa que es competitivo respecto a lo que las otras empresas ofrecen, y permite en el caso de expansión de la empresa, llegar a tener precios similares o aún menores.

## XIV. CONCLUSIONES

1. Con base en las estadísticas de INAB, se escogieron seis especies, las cuales son muy utilizadas en el mercado, y así son clasificadas mediante la tabla del Eurocódigo 5, para su aplicación en Guatemala, obteniendo:
  - Pino: Especies coníferas C 30
  - Cedro: Especies coníferas C27
  - Palo Blanco: Especies coníferas C40
  - Teca: Especies coníferas C40
  - Santa María: especies frondosas D50, D60
  - Chichipate: especies frondosas D60, D70
2. La máquina ultrasónica o no destructiva, es una inversión a largo plazo, pero los beneficios que se obtienen con la misma son una reducción de costos principalmente de materiales así como de tiempo. Se concluye que los beneficios obtenidos de los diferentes años es de Q197, 959.69 para el método no destructivo y de Q 75,020.91 para el método de árbol vivo.
3. Se concluye que es viable utilizar la madera juvenil producto del raleo para elaborar muebles fomentando la diversidad ofertada y permitiendo que la empresa obtenga ingresos durante la mayor parte del ciclo de vida de la plantación, con un valor presente neto de Q1, 532,189.28 y una tasa interna de retorno del 24% para una plantación de 15 hectáreas.
4. Los productos realizados en el catálogo son viables económicamente, representando una disminución en el impacto de los costos del buen manejo forestal, además de ser posibles de elaborar con la madera obtenida de los raleos. Por el tipo de producto y su posible uso, las propiedades físico-mecánicas no son una limitación para que la industria de muebles guatemalteca los realice.
5. La secuencia determinada para los procesos implicados en el correcto tratamiento de la madera para la producción de paneles son: corte, secado, cepillado y fresado, impregnado y ensamblado.
6. La distribución propuesta de los procesos permite minimizar rajaduras y deformaciones consecuencia de la humedad; así como evita la proliferación de plagas e insectos en el producto final.

7. La maquinaria principal involucrada en la planta propuesta de producción de paneles, a partir de la obtención de la troza, son: Sierras, Hornos de Secado, Cepilladoras, fresadoras (para perfiles en las piezas), autoclaves, prensas y pistolas de clavos.
8. Según la inversión implicada en la maquinaria descrita en el informe, así como terreno e infraestructura, se determinó una inversión inicial de US \$ 2,379,457.5 y un flujo a 10 años (considerando los gastos administrativos detallados en el informe) se tiene una Tasa Interna de Retorno del 35% que indica que el proyecto es atractivo, debido a que como se mencionó en el trabajo, se determinó una Tasa de Retorno Mínima esperada del 30%.

## **XV. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda realizar las pruebas mecánicas (impacto, tensión, contracción), de las normas ASTM 143-94, para así poseer una perspectiva mucho más amplia de las capacidades de las distintas maderas comerciales en Guatemala.
2. Se recomienda desarrollar un prototipo de máquina ultrasónica ya que representa, la mayor eficacia en cuanto a costo, tiempo, y menor deterioro de muestras y de medio ambiente.
3. De las muestras analizadas el pino presenta buenas características mecánicas, por lo que se recomienda para la utilización de carácter estructural, debido a que es una madera cuyo costo más accesible, en comparación con Santa María y Chichipate.
4. Se recomienda el uso de un sistema de clasificación de Eurocódigo 5, adaptado a nuestro medio (tropicalizado).
5. Se recomienda realizar un estudio económico que incluya los últimos años del ciclo de vida de la plantación para determinar cómo se puede beneficiar la empresa con el uso de la madera adulta en conjunto con la madera juvenil.
6. Realizar un estudio de mercado para determinar otros productos que puedan elaborarse a través de diámetros menores para contribuir al enriquecimiento y variedad ofertada por la industria de Guatemala.

## XVI. BIBLIOGRAFÍA

- American Forest & Paper Association, Inc., Washington, Estados Unidos, 2006. Wood I-Joist Awareness Guide. <http://www.woodaware.info/PDFs/I-joists.pdf>
- Ángels, Manzano. Todo sobre las casas prefabricadas. España 2011. [http://www.jular.pt/images//PDFs\\_treehouse/100703\\_Revista\\_Arquitectura\\_Diseño\\_Jul-2010.pdf](http://www.jular.pt/images//PDFs_treehouse/100703_Revista_Arquitectura_Diseño_Jul-2010.pdf)
- Apuntes sobre el diseño de estructuras de madera según el DB SE-M. José Manuel Cabrero. Consultada en: <http://dspace.unav.es/dspace/bitstream/10171/4677/1/aptesMadera-dadun.pdf>. Abril 2012
- Avaro Antonio Gonzáles Morales. Tesis. *Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de 5 especies forestales ubicadas en el bosque muy húmedo tropical cálido*. Ingeniería Forestal. 2005
- Cabrera, Claudio; Escobedo, Mario; Krabatsch, Daniel; Leal, Tomás. *Propuesta de inversión para el desarrollo industrial forestal de la federación de cooperativas de las verapaces –FEDECOVERA-*. Guatemala, Octubre del 2003. 44 ppp.
- Cerda, Cristián; Velez, Álvaro. *Manual de construcción con acero galvanizado liviano*. 2da Edición. Metalcom. Año de publicación: 1999. 35 ppp
- Comercial de ingeniería. Sylvatest. Documentación de curso Saint Sulpice. Julio 2005
- Demers, Paul; y Teschke, Kay, 2005. Industria de la madera. Sectores basados en recursos biológicos. 13 ppp. [http://www.infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_71\\_laminadaEst.pdf](http://www.infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_71_laminadaEst.pdf)

- Demers, Paul; y Teschke, Kay. *Industria de la madera. Sectores basados en recursos biológicos*. Año de publicación 2005. 13 ppp.
- Deposito de documentos de la FAO. “Informe de la subregión de Centroamérica y México”. Evolución y situación actual del sector forestal. Página consultada el 25 de Octubre, 2011. <http://www.fao.org/docrep/009/j7354s/j7354s07.htm>
- Diccionario de arquitectura y construcción. Consultada en: <http://www.parro.com.ar/definicion-de-madera+estructural>. Febrero 2012
- Ensayo de Tracción de Materiales. Profesor Yesid Aguilar. Noviembre 2009. <http://es.scribd.com/doc/22416183/Ensayo-de-Traccion-de-Materiales-par-una-varilla-de-acero-y-madera>
- Ferninan P. Beer, E. Russel Johmton Jr, John T. Dewolf. *Mecánica de materiales*. Cuarta edición. McGraw hill.
- Gernandes, Francisco. 1987. *Wood handbook: Wood as an engineering material*. Washington, DC. U.S. Department of Agriculture. 466pp.
- Hernández, Alejandra. 2001. *Diagnóstico del secado industrial de madera en Guatemala*. Tesis Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias y Humanidades. Universidad del Valle de Guatemala. 88 pp.
- <http://www.bluebagages.com/carpinteria/cepillo-de-madera.php>
- <http://www.casaactual.com/articulo.asp?Id=53>
- Ing. Carrillo, Oldemar. “*Mercadeo e Industrialización de madera proveniente de plantaciones forestales*”. Costa Rica. Año de publicación: 2001. 29 ppp.
- Ing. Roberto Godo. *Importancia de la madera del país frente a la globalización*. Universidad del Valle de Guatemala. 2005
- Instituto Nacional de Bosques. 2001. *Manual para la elaboración de planes de manejo forestal en bosques de coníferas (modelo centroamericano)*. Ed. PROFACOR. Guatemala. 264pp.
- Instituto Nacional de Bosques: <http://200.30.150.38/Paginas%20web/Pinfor.aspx>

- James Gere. *Mecánica de materiales*. Sexta edición. Thomson.
- James M. Gere, Barry J. Goodno. *Mecánica de Materiales*. Editorial Cengage. 2009
- Laboratorio de Investigación de Materiales Universidad de Santiago. Madera Laminada. Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile.  
[http://web.usach.cl/~lab\\_made/MAderaLaminada1.htm](http://web.usach.cl/~lab_made/MAderaLaminada1.htm)
- Luis Fernando Vásques Mendoza. Tesis. *Determinación de propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales ubicadas en el bosque muy Húmedo subtropical cálido*. 2004
- Luis Gerardo Bonilla Hidalgo. Tesis. *Determinación de las principales propiedades físicas y mecánicas de madera de Cordia dodecandra (Siricote), Mastichodendron capiri var, Tempisque (Tespisque), Bucida buceras (Pucte), Swartzia cubensis (Llora sangre), y Astronium graveolens (Jobillo)*. Departamento Ingeniería Forestal. 2007.
- Madera – Determinación de las propiedades mecánicas. Instituto nacional de Normalización. 1986.
- Madison, W. *Uses For Small-Diameter Trees*. Forest Products Journal. Estados Unidos, septiembre 2001, vol. 51, No.9. 13pp.
- MAGA, PAFG, INAB, CONAP. *Guatemala, Guatemala. Política Forestal de Guatemala*. 31ppp
- Meza, Alejandro; Simón Dani, 2007. Costa Rica. Kurú:Revista Forestal. “Aserrío de trozas de diámetros menores”.  
[http://www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista\\_Kuru/anteriores/anterior10/pdf/Solucion%202.pdf](http://www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/anteriores/anterior10/pdf/Solucion%202.pdf)
- Obad Hidalgo Barrera. Tesis. *Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de 4 especies arbóreas situadas en bosque tropical húmedo*. Ingeniería Forestal.2005.
- Oportunidades de Negocio. Manufactura de madera. Página visitada el 20 de Octubre de 2011. [http://www.negociosgt.com/main.php?id=190&show\\_item=1&id\\_area=142](http://www.negociosgt.com/main.php?id=190&show_item=1&id_area=142)

- Oytel, Singer. *Resistencia de materiales*. Sexta edición. Editorial Alfaomega.
- Pablo Alejandro Castillo Mazariegos. Tesis. *Propiedades mecánicas de la madera de Palo Blanco (Tabebuia donnell-smithii), Pucté (Bucida buceras), y Manchiche (Lonchorcarpus castilloi)*. Ingeniería Forestal. 2003
- PECHO, ROBERT; ANANIAS, RUBÉN A.; BALLERINI,ALDO; CLOUTIER; ALAIN. *Influencia de la madera juvenil de pino radiata sobre las propiedades físicas y mecánicas de tableros OSB*. Valdivia, Chile. Año de publicación: 2004.13 ppp
- Programa Forestal Nacional de Guatemala: <http://www.fao.org/docrep/009/a0970s/a0970s08.htm>
- Protección de la Madera. Publicaciones varias: <http://www.protecciondelamadera.com/portal%20proteccion/proteccion/proteccion3.htm>
- Rafael Capúz Lladro. *Materiales Orgánicos: Madera*. Universidad politécnica de Valencia. 2005
- Robles J. 2007. *Comparaciones de las cantidades ofertadas y demandas de madera de diámetros menores (8-18cm) proceden del primer raleo, en plantaciones del programa de incentivos forestales, en la región II del Instituto Nacional de Bosques*. Tesis. Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Roy R. Craig, Jt . *Mecánica de materiales*. 2002. Editorial Ceca.
- Rutte Gonzalez, Fabián Alejandro. *Análisis del proceso de industrialización de estructuras de madera para viviendas de un sector socioeconómico medio de la población*. Tesis Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Año 2008.
- Somoza Veiga, Luis. *La Madera Laminada Encolada. Historia y Definición*. La Coruña, España. Año de publicación: 1985. 5ppp
- Tabares, Héctor. 2011. *Vivienda de interés social con madera: Techos posibles, rentables y necesarios*. Colombia. [http://www.revista-mm.com/ediciones/rev73/arquitectura\\_vis.pdf](http://www.revista-mm.com/ediciones/rev73/arquitectura_vis.pdf)

- WOLFE, Ronald†; Moseley, Cassandra. *SMALL-DIAMETER LOGEVALUATION FOR VALUE-ADDED STRUCTURAL APPLICATIONS*. Estados Unidos. Año de publicación: 2000. 11 ppp.
- [www.Definición.de](http://www.Definición.de) Página consultada el 2 de Junio 2012.
- Zamora C, Rene. Barrera Hoffman, Ingrid. *Diagnóstico y Marco de referencia de la estrategia y plan de acción para el desarrollo Foresto-Industrial de Guatemala*. Guatemala, Guatemala. Año de publicación: 2010. 155 ppp.
- Zona de consulta popular. <http://www.slideshare.net/cjvial/diseo-madera>
- Zona de Ingeniería. Consultada en: <http://ingenieria-civil2009.blogspot.com/2009/07/propiedades-fisicas-de-la-madera.html>. Febrero 2012

## XVII. GLOSARIO

Palabra	Definición
<b>Aislamiento térmico</b>	Capacidad de una estructura de evitar que el calor del exterior ingrese dentro de las instalaciones. (Rutte Fabián, 2008)
<b>Albura</b>	Capa blanda de la madera de los árboles, de color blanquecino, situada entre la corteza y el duramen
<b>Antisismico</b>	Capacidad de un elemento de resistir en caso de sismo. (Rutte Fabián, 2008)
<b>Área Basal</b>	Es la superficie de una sección transversal del tallo o tronco a una determinada altura del suelo. Medida que sirve para determinar el volumen de especies arbóreas.
<b>Armaduras de madera Joist</b>	Tipo de armadura para fabricación de pisos, entre otros. Existe además el I-joist y web joist. (www.Definición.de)
<b>Automatización</b>	Pasar de procesos manuales a procesos realizados por máquinas aumentando de ésta manera la eficiencia en producción. (www.Definición.de)
<b>Board feet</b>	Pie tablar. Tabla de 1 pie * 1 pie * 1 pulgada de espesor.
<b>Calidad</b>	Diferenciación de atributos cualitativo o cuantitativo en relación a otros productos parecidos. (www.Definición.de)
<b>Cimiento</b>	Parte de una estructura que se localiza debajo de la tierra y que sostiene la misma. (www.Definición.de)
<b>Cientes</b>	Persona que adquiere un producto o servicio a través de un pago.(www.Definición.de)
<b>Combustión</b>	Reacción química que desprende grandes cantidades de energía. (www.Definición.de)
<b>Compresión</b>	Acción y efecto de reprimir y contener

<b>Palabra</b>	<b>Definición</b>
<b>Compresión</b>	Fuerzas opuestas aplicadas a un objeto que lo llevan a reducir su dimensión de volumen.(www.Definición.de)
<b>Corteza</b>	Parte externa de las raíces y tallos de las plantas fanerógamas.
<b>Costos</b>	Es una inversión que se realiza esperando tener un retorno en el futuro.(www.Definición.de)
<b>Cupla</b>	Par de fuerzas.
<b>DAP</b>	Diámetro a la Altura del Pecho.
<b>Deformación</b>	Alteración de las características morfológicas o anatómicas de una parte de un organismo u objeto.
<b>Demanda</b>	Cantidad de bienes o servicios que pueden ser consumidos por los clientes. (www.Definición.de)
<b>Densidad</b>	Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el sistema internacional de medidas es el kilogramo/metro cúbico.
<b>Diámetros menores</b>	Se entiende por diámetros menores a la madera en troza con un diámetro dentro de un rango de 8 a 18 cm.
<b>Duramen</b>	Parte central mas seca, oscura y dura de un troco, y de las ramas más gruesas de un árbol
<b>Duramen</b>	Parte central, más seca, dura y oscura del tronco y de las ramas más gruesas de un árbol.
<b>Elasticidad</b>	Propiedad de los cuerpos en virtud de la cual recobran su extensión y figura primitivas, tan pronto como cesa la fuerza que las alteraba
<b>Entramado</b>	Armazón, en el contexto de éste trabajo de madera, que sirve para la realización de paredes, suelos, etc. (www.Definición.de)

Palabra	Definición
<b>Esfuerzo</b>	Fuerza que actúa sobre un cuerpo y que tiene a estirlarla (tracción), aplastarla (compresión), doblarla (flexión), cortarla (corte) o retorcerla (torsión).
<b>Esfuerzo cortante</b>	Esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico.
<b>Estabilidad</b>	Cualidad que describe una estructura que no cambia de lugar continuamente y que no es fácil de alterar. (www.Definición.de)
<b>Estandarización</b>	Proceso mediante el cual se tiene un estándar para la realización de un mismo producto o servicio. (www.Definición.de)
<b>Fibra</b>	Cada uno de los filamentos que entran en la composición de los tejidos orgánicos vegetales o animales, de ciertos minerales y de algunos productos químicos.
<b>Helicoidal</b>	En figura de hélice, estría.
<b>Higroscópico</b>	Propiedad de algunos cuerpos de absorber y de exhalar la humedad.
<b>Higroscópico</b>	Cuerpo o compuesto químico que absorbe la humedad del aire.
<b>Humedad relativa</b>	Es el porcentaje de saturación en el aire a una temperatura y presión determinadas.
<b>Industria secundaria de transformación de la madera</b>	Exclusivamente encargada de la fabricación del producto final utilizando la madera. (www.Definición.de)
<b>Industrialización <i>In Situ</i></b>	Producción de paneles y partes de la casa en fábrica para su armado en el lugar de construcción
<b>Lignívoro</b>	Animal que se alimenta de madera.

<b>Palabra</b>	<b>Definición</b>
<b>Línea de producción</b>	Conjunto de etapas automatizadas que llevan a la transformación de la materia prima a un producto final.(www.Definición.de)
<b>Madera encolada</b>	Láminas de madera unidas por pegamento duradero lo que aumenta la durabilidad del producto. (www.Definición.de)
<b>Madera húmeda</b>	Humedad contenida en una pieza de madera medida como porcentaje con relación al peso de la misma totalmente seca.(www.Definición.de)
<b>Madera laminada</b>	Láminas delgadas que se unen por adhesión hasta formar el producto final. (www.Definición.de)
<b>Madera seca</b>	Madera que ya paso por un proceso de secado después de haberse talado del bosque.(www.Definición.de)
<b>Manejo forestal</b>	Se refiere a intervenciones silviculturales como raleos y podas.
<b>Módulo panelizado</b>	Sistema industrializado de construcción de viviendas que se basa en el uso de paneles que son ensamblados después en el lugar de construcción de la obra. (Rutte Fabián, 2008)
<b>Modulo tridimensional</b>	Sistema industrializado de construcción de viviendas que se basa en la construcción total de la casa dentro de una fábrica, en donde después es únicamente colocada en el terreno determinado por el cliente. (Rutte Fabián, 2008)
<b>Muro</b>	Obra estructural que permite sostener el techo y cerrar un espacio dentro de una construcción. (www.Definición.de)

<b>Palabra</b>	<b>Definición</b>
<b>Organolépticas</b>	Propiedades de sustancias orgánicas e inorgánicas, que pueden apreciarse por los sentidos
<b>Panel</b>	Elemento prefabricado que permite la división de una estructura. (www.Definición.de)
<b>Peso</b>	Fuerza de atracción de la Tierra, cuyo valor viene determinado por la masa de los cuerpos.
<b>Pie tablar</b>	Tabla de madera de 1 pie * 1 pie * 1 pulgada de espesor.
<b>Porosidad</b>	Que tiene poros, espacios entre las moléculas de los cuerpos.
<b>Proceso</b>	Conjunto de etapas sucesivas que en su consecución llevan a la obtención de un producto final. (www.Definición.de)
<b>Productividad</b>	Relación entre unidades producidas en comparación a lo que ingresó a la planta (o lo que se pudo haber producido) (Rutte Fabián, 2008)
<b>Propiedad mecánica</b>	Capacidad de los materiales de resistir a acciones o cargas de fuerzas mientras se les está dando una aplicación.(www.Definición.de)
<b>Punto de Saturación de la Fibra (PSF)</b>	Punto en el que las fibras de madera están saturadas pero las cavidades celulares no contienen agua.
<b>Raleo</b>	El raleo es un práctica que tiene como objetivo favorecer el crecimiento en volumen de un árbol.
<b>Resistencia</b>	Capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, deformarse o de alguna manera deteriorarse.(www.Definición.de)

Palabra	Definición
<b>Revestimiento</b>	Efecto de revestir. Colocar una capa sobre la superficie que le permite protegerse a ésta ante cualquier ataque y ayuda a la estabilidad y rigidez de la estructura. (www.Definición.de)
<b>Rodal</b>	Agrupación o conjunto de árboles de una o varias especies determinadas, establecido de forma natural o artificial.
<b>Saturación</b>	Disolver o empapar una cosa en otra hasta que se agote la capacidad de asimilación de ésta y no pueda admitir más de aquella.
<b>Silvicultura</b>	Ciencia destinada a la formación y cultivo de bosques.
<b>Sismo</b>	Movimiento en el interior de la tierra que genera una liberación repentina de energía que se propaga en forma de ondas a través del suelo. (www.Definición.de)
<b>Subproceso</b>	Etapas dentro del proceso completo de producción. La unión de los subprocesos da como resultado el proceso final. (www.Definición.de)
<b>Tabique</b>	Muro que separa dos áreas en una estructura y que no soporta las cargas de la estructura.
<b>Tablero OSB</b>	Tablero que debido a sus partículas orientadas y cruzadas le dan características apropiadas para la construcción, y por lo tanto a llegado a sustituir el contrachapado. (www.Definición.de)
<b>Temperatura de bulbo húmedo</b>	La temperatura de bulbo húmedo es una medida de la humedad del aire. Se mide usando un termómetro con el bulbo cubierto de un lienzo mojado.

<b>Palabra</b>	<b>Definición</b>
<b>Temperatura de bulbo seco</b>	Es la temperatura a la que se encuentra el aire medida con un termómetro común.
<b>Tensión</b>	Estado de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas que lo estiran.
<b>Torsión</b>	Acción y efecto de torcer o torcerse una cosa en forma helicoidal.
<b>Tratamientos</b>	Conjunto de medios que se utilizan para evitar que las características de un producto cambien y afecte la calidad del mismo.(www.Definición.de)
<b>Variables dasométricas</b>	Variables de mediciones forestales.
<b>Vasos</b>	Recipientes unidos por conductos que permiten el paso de un líquido de unos a otros. Si el líquido es homogéneo, la superficie libre de éste queda en todos los recipientes a igual altura. Conducto por el que circula en el vegetal la savia o el látex.
<b>Viga</b>	Elemento que ayuda a sostener los techos o asegurar las estructuras para evitar que éstas se derrumben. (www.Definición.de)
<b>Xilófago</b>	Insectos que roen madera.

## XVIII. ANEXOS

**Cuadro No. 60: Inversión carpintería**

<b>MÉTODO DESTRUCTIVO</b>		
<b>Inversión carpintería</b>	<b>Dólares</b>	<b>Quetzales</b>
Sierra	\$3,990.00	Q31,999.80
Enderezadora	\$795.00	Q6,375.90
Cepilladora	\$1,175.00	Q9,423.50
<b>total</b>	<b>\$5,960.00</b>	<b>Q47,799.20</b>

**Cuadro No. 61: Inversión maquinaria método destructivo**

<b>Inversión maquinaria</b>	<b>Dólares</b>	<b>Quetzales</b>
Medidor de compresión	\$13,000.00	Q104,260.00
Durómetro	\$3,298.00	Q26,449.96
Horno	\$440.00	Q3,528.80
<b>Total</b>	<b>\$16,738.00</b>	<b>Q134,238.76</b>

**Cuadro No. 62:**  
**destrutivo**

**Proyecciones método**

Estado de resultados	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		Q270,319.10	Q279,780.27	Q289,572.58	Q299,707.62	Q310,197.39	Q321,054.30	Q332,291.20	Q343,921.39	Q355,958.64	Q368,417.19
Costo unitario		Q146,888.65	Q152,029.75	Q157,350.79	Q162,858.07	Q168,558.10	Q174,457.63	Q180,563.65	Q186,883.38	Q193,424.30	Q200,194.15
Ganancia bruta		Q123,430.46	Q127,750.52	Q132,221.79	Q136,849.55	Q141,639.29	Q146,596.66	Q151,727.55	Q157,038.01	Q162,534.34	Q168,223.04
Sueldos		Q48,000.00	Q52,320.00	Q57,028.80	Q62,161.39	Q67,755.92	Q73,853.95	Q80,500.81	Q87,745.88	Q95,643.01	Q104,250.88
Costos de iluminación		Q20,000.00	Q20,700.00	Q21,424.50	Q22,174.36	Q22,950.46	Q23,753.73	Q24,585.11	Q25,445.59	Q26,336.18	Q27,257.95
Agua, luz teléfono, Secado		Q2,000.00	Q2,070.00	Q2,142.45	Q2,217.44	Q2,295.05	Q2,375.37	Q2,458.51	Q2,544.56	Q2,633.62	Q2,725.79
Depreciaciones		Q2,000.00	Q2,070.00	Q2,142.45	Q2,217.44	Q2,295.05	Q2,375.37	Q2,458.51	Q2,544.56	Q2,633.62	Q2,725.79
EBIT		Q51,430.46	Q53,230.52	Q55,093.59	Q57,021.87	Q59,017.63	Q61,083.25	Q63,221.16	Q65,433.90	Q67,724.09	Q70,094.43
Impuestos		Q15,943.44	Q16,501.46	Q17,079.01	Q17,676.78	Q18,295.47	Q18,935.81	Q19,598.56	Q20,284.51	Q20,994.47	Q21,729.27
EAT		Q35,487.02	Q36,729.06	Q38,014.58	Q39,345.09	Q40,722.17	Q42,147.44	Q43,622.60	Q45,149.39	Q46,729.62	Q48,365.16
Flujo de efectivo		Q35,487.02	Q36,729.06	Q38,014.58	Q39,345.09	Q40,722.17	Q42,147.44	Q43,622.60	Q45,149.39	Q46,729.62	Q48,365.16
Mantenimiento		Q500.00	Q517.50	Q535.61	Q554.36	Q573.76	Q593.84	Q614.63	Q636.14	Q658.40	Q681.45
Depreciaciones		Q2,000.00	Q2,070.00	Q2,142.45	Q2,217.44	Q2,295.05	Q2,375.37	Q2,458.51	Q2,544.56	Q2,633.62	Q2,725.79
Total	<b>-Q134,238.76</b>	Q32,987.02	Q34,141.56	Q35,336.52	Q36,573.29	Q37,853.36	Q39,178.23	Q40,549.46	Q41,968.70	Q43,437.60	Q44,957.92

**Cuadro No. 63: Inversión máquina ultrasónica**

Inversión	Moneda extranjera	Quetzales
Medidor de humedad	\$2,200.00	Q17,622.00
Medidor ultrasónico	€10,000.00	Q104,900.00
Capacitación	€2,400.00	Q25,176.00
Calibración Inicial		Q10,000.00
<b>Total</b>		<b>Q157,698.00</b>

**Cuadro No. 64: Costo de muestras**

Muestras	Quetzales por pie tablar	pies tablar	Quetzales 30 muestras
Pino	5.8	33	Q193.31
Cipres	7.7	33	Q256.64
Cedro	19	33	Q633.27
Caoba	22	33	Q733.26
Cenicero	11	33	Q366.63
Chichipate	17	33	Q566.61
Santa maria	19	33	Q633.27
teka	26	33	Q866.58
Rosul	17	33	Q566.61
Conacaste	11	33	Q366.63
Matilisguate	7	33	Q233.31
		<b>Total</b>	<b>Q5,416.13</b>

**Cuadro No. 65: Costos de maquinado**

Costos por maquina	Quetzales/1pie	Quetzales / 1
Costo por cortar	Q1.25	Q200.87
Costo por enderezado	Q0.50	Q80.35
Costo por cepillado	Q1.00	Q160.69
Costo por transporte		Q50.00
Costo por hora hombre	Q68.00	Q1,360.00
<b>Total por pieza</b>	<b>Q2.75</b>	

**Cuadro No.  
método no**

**66: Proyecciones  
destrutivo**

Estado de resultados	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		Q382,148.96	Q395,524.18	Q409,367.52	Q423,695.39	Q438,524.72	Q453,873.09	Q469,758.65	Q486,200.20	Q503,217.21	Q520,829.81
Costo unitario		Q191,074.48	Q197,762.09	Q204,683.76	Q211,847.69	Q219,262.36	Q226,936.55	Q234,879.32	Q243,100.10	Q251,608.60	Q260,414.91
Ganancia bruta		Q191,074.48	Q197,762.09	Q204,683.76	Q211,847.69	Q219,262.36	Q226,936.55	Q234,879.32	Q243,100.10	Q251,608.60	Q260,414.91
Sueldos		Q48,000.00	Q49,680.00	Q51,418.80	Q53,218.46	Q55,081.10	Q57,008.94	Q59,004.26	Q61,069.40	Q63,206.83	Q65,419.07
Costos de iluminación		Q20,000.00	Q20,700.00	Q21,424.50	Q22,174.36	Q22,950.46	Q23,753.73	Q24,585.11	Q25,445.59	Q26,336.18	Q27,257.95
Secado		Q2,200.00	Q2,277.00	Q2,356.70	Q2,439.18	Q2,524.55	Q2,612.91	Q2,704.36	Q2,799.01	Q2,896.98	Q2,998.37
Depreciaciones		Q2,622.50	Q2,714.29	Q2,809.29	Q2,907.61	Q3,009.38	Q3,114.71	Q3,223.72	Q3,336.55	Q3,453.33	Q3,574.20
EBIT		Q118,251.98	Q122,390.80	Q126,674.48	Q131,108.09	Q135,696.87	Q140,446.26	Q145,361.88	Q150,449.54	Q155,715.28	Q161,165.31
Impuestos		Q51,494.43	Q53,296.73	Q55,162.12	Q57,092.79	Q59,091.04	Q61,159.23	Q63,299.80	Q65,515.29	Q67,808.33	Q70,181.62
EAT		Q66,757.55	Q69,094.07	Q71,512.36	Q74,015.29	Q76,605.83	Q79,287.03	Q82,062.08	Q84,934.25	Q87,906.95	Q90,983.69
<b>Flujo de efectivo</b>											
Ingresos		Q66,757.55	Q69,094.07	Q71,512.36	Q74,015.29	Q76,605.83	Q79,287.03	Q82,062.08	Q84,934.25	Q87,906.95	Q90,983.69
Mantenimiento		Q200.00	Q207.00	Q214.25	Q221.74	Q229.50	Q237.54	Q245.85	Q254.46	Q263.36	Q272.58
Depreciaciones		Q2,622.50	Q2,714.29	Q2,809.29	Q2,907.61	Q3,009.38	Q3,114.71	Q3,223.72	Q3,336.55	Q3,453.33	Q3,574.20
Capacitaciones		Q24,127.00	Q24,971.45	Q25,845.45	Q26,750.04	Q27,686.29	Q28,655.31	Q29,658.24	Q30,696.28	Q31,770.65	Q32,882.62
Calibraciones		Q10,000.00	Q10,350.00	Q10,712.25	Q11,087.18	Q11,475.23	Q11,876.86	Q12,292.55	Q12,722.79	Q13,168.09	Q13,628.97
<b>Total</b>	<b>-Q157,698.00</b>	Q39,808.05	Q41,201.33	Q42,643.38	Q44,135.90	Q45,680.66	Q47,279.48	Q48,934.26	Q50,646.96	Q52,419.60	Q54,254.29

## Cuadro

No. 67:

Estado de resultados	Año 0	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		Q220,692.38	Q220,692.38	Q220,692.38	Q220,692.38	Q220,692.38	Q220,692.38	Q220,692.38	Q220,692.38	Q220,692.38
Costo unitario		Q147,128.26	Q147,128.26	Q147,128.26	Q147,128.26	Q147,128.26	Q147,128.26	Q147,128.26	Q147,128.26	Q147,128.26
Ganancia bruta		Q73,564.13	Q73,564.13	Q73,564.13	Q73,564.13	Q73,564.13	Q73,564.13	Q73,564.13	Q73,564.13	Q73,564.13
Sueldos		Q4,500.00	Q4,500.00	Q4,500.00	Q4,500.00	Q4,500.00	Q4,500.00	Q4,500.00	Q4,500.00	Q4,500.00
Gastos varios		Q20,000.00	Q20,000.00	Q20,000.00	Q20,000.00	Q20,000.00	Q20,000.00	Q20,000.00	Q20,000.00	Q20,000.00
Viaticos		Q16,560.00	Q17,139.60	Q17,739.49	Q18,360.37	Q19,002.98	Q19,668.09	Q20,356.47	Q21,068.94	Q21,806.36
Agua, luz teléfono		Q2,000.00	Q2,000.00	Q2,000.00	Q2,000.00	Q2,000.00	Q2,000.00	Q2,000.00	Q2,000.00	Q2,000.00
Depreciaciones		Q228,416.62	Q236,411.20	Q244,685.59	Q253,249.59	Q262,113.32	Q271,287.29	Q280,782.34	Q290,609.73	Q300,781.07
EBIT		Q48,800.71	Q48,800.71	Q48,800.71	Q48,800.71	Q48,800.71	Q48,800.71	Q48,800.71	Q48,800.71	Q48,800.71
Impuestos		Q15,128.22	Q15,128.22	Q15,128.22	Q15,128.22	Q15,128.22	Q15,128.22	Q15,128.22	Q15,128.22	Q15,128.22
EAT		Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49
<b>Flujo de efectivo</b>										
Ingresos		Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49	Q33,672.49
Mantenimiento		Q500.00	Q500.00	Q500.00	Q500.00	Q500.00	Q500.00	Q500.00	Q500.00	Q500.00
Depreciaciones		Q2,714.29	Q2,809.29	Q2,907.61	Q3,009.38	Q3,114.71	Q3,223.72	Q3,336.55	Q3,453.33	Q3,574.20
Capacitaciones		Q24,127.00	Q24,127.00	Q24,127.00	Q24,127.00	Q24,127.00	Q24,127.00	Q24,127.00	Q24,127.00	Q24,127.00
Calibraciones		Q10,000.00	Q10,000.00	Q10,000.00	Q10,000.00	Q10,000.00	Q10,000.00	Q10,000.00	Q10,000.00	Q10,000.00
<b>Total</b>	<b>-Q157,698.00</b>	<b>Q30,458.20</b>	<b>Q30,363.20</b>	<b>Q30,264.87</b>	<b>Q30,163.11</b>	<b>Q30,057.78</b>	<b>Q29,948.77</b>	<b>Q29,835.93</b>	<b>Q29,719.16</b>	<b>Q29,598.29</b>

## Proyecciones árbol vivo

**Cuadro No. 68: Costos procesos primarios análisis madera juvenil**

Proceso	Costo	Unidad
Corte	Q 1.00	Pie tablar
Impregnación	Q 2.24	Pie tablar
Cepillado	Q 0.80	Pie tablar
Secado al horno	Q 1.20	Pie tablar

**Cuadro No. 69: Costos materia prima madera juvenil**

Proceso	Costo	Unidad
Raleo	Q 23.40	m3
Transporte raleo	Q 66.30	m3

**Cuadro No. 70: Costos materia prima indirecta para madera juvenil**

Ítem	Costo	Unidad	Total Anual
Cola Blanca madera	Q120.00	Galón	Q 6,000.00
Clavos 2"	Q 11.00	Libra	Q 660.00
Clavos 4"	Q 11.00	Libra	Q 660.00
		<b>Total Materia Prima indirecta</b>	<b>Q 7,320.00</b>

**Cuadro No. 71: Costo mano de obra carpintería para madera juvenil**

Mano de Obra Directa	Salario Día	Salario Mensual	Salario Anual	Bono Incentivo	Total
Armador	Q 56.00	Q 1,120.00	Q 16,240.00	Q 3,000.00	Q 19,240.00
Barnizador	Q 56.00	Q 1,120.00	Q 16,240.00	Q 3,000.00	Q 19,240.00
		<b>Total Anual</b>	<b>Q 32,480.00</b>	<b>Q 6,000.00</b>	<b>Q 38,480.00</b>

**Cuadro No. 72: Gastos administrativos madera juvenil**

Salarios Administrativ	Salario Mensual	Salario Anual	Bono Incentivo	Total	IGGS Patronal
Secretaria	Q 3,500.00	Q 50,750.00	Q 3,000.00	Q 53,750.00	Q 5,321.40
Gerente de Producción	Q 5,500.00	Q 79,750.00	Q 3,000.00	Q 82,750.00	Q 8,362.20
Gerente Ventas	Q 5,500.00	Q 79,750.00	Q 3,000.00	Q 82,750.00	Q 8,362.20
Gerente General	Q 7,000.00	Q 101,500.00	Q 3,000.00	Q 104,500.00	Q 10,642.80
<b>Total Anual</b>		<b>Q 311,750.00</b>	<b>Q 12,000.00</b>	<b>Q 323,750.00</b>	<b>Q 32,688.60</b>

**Cuadro No. 73: Producción muebles y ganancia por metro cúbico**

Producto	Pies tablares	Unidades a producir/m3	Precio venta/unidad	Ganancia total/m3
Mesa de centro	29.12	14	Q 1,000.00	Q 14,000.00
Mini bar	19.61	21	Q 1,700.00	Q 35,700.00
Repisa	1.92	220	Q 800.00	Q 176,000.00
Silla	14.01	30	Q 1,200.00	Q 36,000.00
Vinero	62.57	6	Q 3,000.00	Q 18,000.00

**Cuadro No. 74: Análisis financiero escenario 1 madera juvenil -  
parte 1**

Item	Desglose	Descripción	Costo	Dimensionales	Cantidad	Descripción2	0	1	2
<b>Ventas</b>									
	Ventas producto primario	Venta de muebles							
<b>Otros ingresos</b>									
	Venta producto desecho	Leña	Q. 23.00	m3					
<b>Costo de ventas</b>						<b>Total Ventas</b>			
<b>Materia Prima</b>									
	Raleos	Primer Raleo	Q. 23.40	m3	20 M3 extraídos	Q. 468.00			
		Segundo Raleo	Q. 23.40	m3	40 M3 extraídos				
		Tercer Raleo	Q. 23.40	m3	40 M3 extraídos				
	Transporte MP	Segundo Raleo	Q. 66.30	m3	40 M3 transportados				
		Tercer Raleo	Q. 66.30	m3	40 M3 transportados				
<b>Procesos</b>									
	Corte	Corte troza	Q. 1.00	Pie tablar					
	Impregnación	Tratamiento troza	Q. 2.24	Pie tablar					
	Cepillado	Cepillado troza	Q. 0.80	Pie tablar					
	Secado al horno	Secado troza	Q. 1.20	Pie tablar					
<b>Mano de obra directa</b>									
	Carpintería								
<b>Gastos indirectos</b>									
	Materia Prima indirecta								
	Otros gastos (luz, agua, etc)								
<b>Utilidad Bruta</b>						<b>Total costos ventas</b>	Q. 468.00	Q. -	Q. -
							Q. (468.00)	Q. -	Q. -
<b>Gastos Operacionales y administrativos</b>									
	Salarios						Q. 323,750.00	Q. 351,807.50	Q. 382,390.18
	IGSS Patronal						Q. 32,688.60	Q. 35,630.57	Q. 38,837.33
	Consumo Eléctrico						Q. 9,461.60	Q. 10,271.51	Q. 11,150.75
	Insumos de Oficina						Q. 3,237.50	Q. 3,518.08	Q. 3,823.90
	Agua, teléfono, Internet, otros						Q. 16,187.50	Q. 16,754.06	Q. 17,340.45
						<b>Total Gastos operacionales</b>	Q. 385,325.20	Q. 417,981.72	Q. 453,542.61
						<b>Utilidad Antes de impuestos</b>	Q. (385,793.20)	Q. (417,981.72)	Q. (453,542.61)
						<b>ISR</b>	Q. -	Q. -	Q. -
						<b>Utilidad Meta</b>	Q. (385,793.20)	Q. (417,981.72)	Q. (453,542.61)

**Cuadro  
Análisis  
escenario  
juvenil -**

**No. 75:  
financiero  
1 madera  
parte 2**

(continuación)

3	4	5	6	7	8	9	10
Q 880,000.00	Q 910,800.00	Q 942,678.00	Q 975,671.73	Q1,144,000.00	Q 1,184,040.00	Q 1,225,481.40	Q 1,268,373.25
Q 510.01				Q 409.67			
Q 880,510.01	Q 910,800.00	Q 942,678.00	Q 975,671.73	Q1,144,409.67	Q 1,184,040.00	Q 1,225,481.40	Q 1,268,373.25
Q 1,037.76				Q 1,190.85			
Q 2,940.32				Q 3,374.08			
Q 18,794.22				Q 21,566.80			
Q 10,524.76	Q 10,893.13			Q 15,700.63	Q 16,250.15		
Q 3,758.84	Q 3,890.40			Q 5,607.37	Q 5,803.63		
Q 5,638.27	Q 5,835.60			Q 8,411.05	Q 8,705.44		
Q 48,062.54	Q 51,848.17	Q 55,974.51	Q 60,472.21	Q 65,374.71	Q 70,718.43	Q 76,543.09	Q 82,891.97
Q 7,320.00	Q 7,576.20	Q 7,841.37	Q 8,115.81	Q 8,399.87	Q 8,693.86	Q 8,998.15	Q 9,313.08
Q 4,806.25	Q 5,184.82	Q 5,597.45	Q 6,047.22	Q 6,537.47	Q 7,071.84	Q 7,654.31	Q 8,289.20
<b>Q 102,882.96</b>	<b>Q 85,228.32</b>	<b>Q 69,413.32</b>	<b>Q 74,635.25</b>	<b>Q 136,162.83</b>	<b>Q 117,243.35</b>	<b>Q 93,195.55</b>	<b>Q 100,494.25</b>
Q 777,627.05	Q 825,571.68	Q 873,264.68	Q 901,036.48	Q1,008,246.84	Q 1,066,796.65	Q 1,132,285.85	Q 1,167,879.00
Q 415,725.29	Q 452,060.57	Q 491,666.02	Q 534,835.96	Q 581,891.20	Q 633,181.40	Q 689,087.73	Q 750,025.63
Q 42,332.68	Q 46,142.63	Q 50,295.46	Q 54,822.05	Q 59,756.04	Q 65,134.08	Q 70,996.15	Q 77,385.80
Q 12,105.26	Q 13,141.47	Q 14,266.38	Q 15,487.58	Q 16,813.32	Q 18,252.54	Q 19,814.96	Q 21,511.12
Q 4,157.25	Q 4,520.61	Q 4,916.66	Q 5,348.36	Q 5,818.91	Q 6,331.81	Q 6,890.88	Q 7,500.26
Q 17,947.37	Q 18,575.53	Q 19,225.67	Q 19,898.57	Q 20,595.02	Q 21,315.85	Q 22,061.90	Q 22,834.07
Q 492,267.86	Q 534,440.80	Q 580,370.19	Q 630,392.53	Q 684,874.49	Q 744,215.69	Q 808,851.61	Q 879,256.87
Q 285,359.19	Q 291,130.88	Q 292,894.48	Q 270,643.96	Q 323,372.36	Q 322,580.96	Q 323,434.23	Q 288,622.13
Q 88,461.35	Q 90,250.57	Q 90,797.29	Q 83,899.63	Q 100,245.43	Q 100,000.10	Q 100,264.61	Q 89,472.86
Q 196,897.84	Q 200,880.31	Q 202,097.19	Q 186,744.33	Q 223,126.93	Q 222,580.86	Q 223,169.62	Q 199,149.27

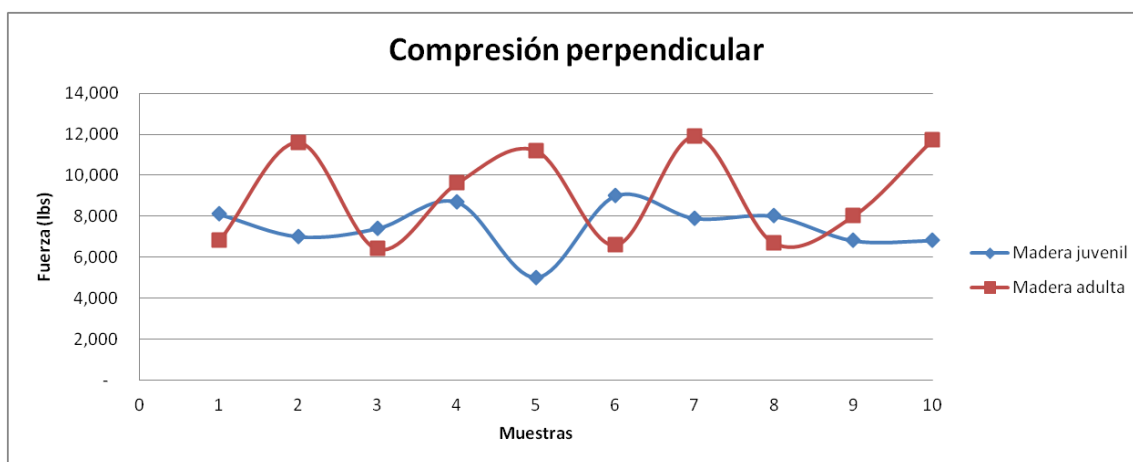


Cuadro No. 77: Análisis financiero escenario 2 madera juvenil - parte 2 (continuación)

3	4	5	6	7	8	9	10
Q1,468,425.00	Q1,519,819.88	Q1,573,013.57	Q1,628,069.05	Q1,908,952.50	Q1,975,765.84	Q2,044,917.64	Q2,116,489.76
Q 7,650.15				Q 6,145.11			
Q1,476,075.15	Q1,519,819.88	Q1,573,013.57	Q1,628,069.05	Q1,915,097.61	Q1,975,765.84	Q2,044,917.64	Q2,116,489.76
Q 15,566.40				Q 17,862.80			
Q 44,104.80				Q 50,611.27			
Q 281,913.26				Q 323,501.95			
Q 157,871.43	Q 163,396.93			Q 235,509.42	Q 243,752.25		
Q 56,382.65	Q 58,356.05			Q 84,110.51	Q 87,054.38		
Q 84,573.98	Q 87,534.07			Q 126,165.76	Q 130,581.56		
Q 48,062.54	Q 51,848.17	Q 55,974.51	Q 60,472.21	Q 65,374.71	Q 70,718.43	Q 76,543.09	Q 82,891.97
Q 7,320.00	Q 7,576.20	Q 7,841.37	Q 8,115.81	Q 8,399.87	Q 8,693.86	Q 8,998.15	Q 9,313.08
Q 4,806.25	Q 5,184.82	Q 5,597.45	Q 6,047.22	Q 6,537.47	Q 7,071.84	Q 7,654.31	Q 8,289.20
<b>Q 700,601.31</b>	<b>Q 373,896.23</b>	<b>Q 69,413.32</b>	<b>Q 74,635.25</b>	<b>Q 918,073.76</b>	<b>Q 547,872.33</b>	<b>Q 93,195.55</b>	<b>Q 100,494.25</b>
Q 775,473.84	Q 1,145,923.65	Q 1,503,600.25	Q 1,553,433.80	Q 997,023.85	Q 1,427,893.51	Q 1,951,722.09	Q 2,015,995.51
Q 415,725.29	Q 452,060.57	Q 491,666.02	Q 534,835.96	Q 581,891.20	Q 633,181.40	Q 689,087.73	Q 750,025.63
Q 42,332.68	Q 46,142.63	Q 50,295.46	Q 54,822.05	Q 59,756.04	Q 65,134.08	Q 70,996.15	Q 77,385.80
Q 12,105.26	Q 13,141.47	Q 14,266.38	Q 15,487.58	Q 16,813.32	Q 18,252.54	Q 19,814.96	Q 21,511.12
Q 4,157.25	Q 4,520.61	Q 4,916.66	Q 5,348.36	Q 5,818.91	Q 6,331.81	Q 6,890.88	Q 7,500.26
Q 17,947.37	Q 18,575.53	Q 19,225.67	Q 19,898.57	Q 20,595.02	Q 21,315.85	Q 22,061.90	Q 22,834.07
Q 492,267.86	Q 534,440.80	Q 580,370.19	Q 630,392.53	Q 684,874.49	Q 744,215.69	Q 808,851.61	Q 879,256.87
Q 283,205.98	Q 611,482.85	Q 923,230.05	Q 923,041.27	Q 312,149.36	Q 683,677.82	Q 1,142,870.48	Q 1,136,738.64
Q 87,793.85	Q 189,559.68	Q 286,201.32	Q 286,142.79	Q 96,766.30	Q 211,940.12	Q 354,289.85	Q 352,388.98
Q 195,412.13	Q 421,923.17	Q 637,028.74	Q 636,898.48	Q 215,383.06	Q 471,737.70	Q 788,580.63	Q 784,349.66

**Cuadro No. 78: Resultados comparativos compresión perpendicular madera juvenil**

Muestra	Juvenil	Adulto
	Fuerza (lbs)	Fuerza (lbs)
1	8,100	6,800
2	7,000	11,600
3	7,400	6,400
4	8,700	9,600
5	5,000	11,200
6	9,000	6,600
7	7,900	11,900
8	8,000	6,700
9	6,800	8,000
10	6,800	11,700
<b>Media</b>	<b>7470</b>	<b>9050</b>
<b>Variación %</b>	<b>17,46%</b>	

**Gráfico No. 69: Gráfico de dispersión compresión perpendicular madera juvenil**

**Cuadro No. 79: Resultados prueba gravedad específica madera juvenil**

	Altura desplazada	Desde	h (Dm)	Altura (cm)	Altura (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Masa (Kg)	Pino Joven	Pino Adulto
								Densidad kg/m <sup>3</sup>	Densidad kg/m <sup>3</sup>
1	6.4	5.8	0.6	1.8	0.018	0.0318	0.1272	3.999	4.929
2	6.4	5.8	0.6	1.8	0.018	0.0318	0.1702	5.351	4.131
3	6.4	5.8	0.6	1.8	0.018	0.0318	0.1746	5.489	4.049
4	6.4	5.8	0.6	1.8	0.018	0.0318	0.1828	5.747	4.572
5	6.4	5.8	0.6	1.8	0.018	0.0318	0.1726	5.426	4.736
6	6.4	5.8	0.6	1.8	0.018	0.0318	0.1231	3.870	4.716
7	6.4	5.8	0.6	1.8	0.018	0.0318	0.1445	4.543	4.215
8	6.4	5.8	0.6	1.8	0.018	0.0318	0.1775	5.580	4.433
9	6.4	5.8	0.6	1.8	0.018	0.0318	0.1449	4.555	4.027
10	6.4	5.8	0.6	1.8	0.018	0.0318	0.1756	5.521	4.311
<b>Media</b>								<b>5.008</b>	<b>4.412</b>
<b>Variación %</b>								<b>13.51%</b>	

**Cuadro No. 80: Resultados prueba extracción de clavo madera juvenil – Fuerza en libras**

	Pino joven			Pino adulto		
	Tangencial	Radial	Axial	Tangencial	Radial	Axial
1	54	46	62	55	86	98
	56	46	45	55	86	98
2	60	52	71	71	98	111
	58	54	57	71	98	111
3	62	94	42	66	200	156
	62	90	41	66	200	156
4	69	64	39	86	120	70
	65	64	45	86	120	70
5	68	70	38	62	128	108
	70	73	31	62	128	108
6	77	65	44	80	97	122
	71	60	38	80	97	122
7	64	66	48	84	120	115
	67	64	48	84	120	115
8	81	78	40	68	67	82
	77	82	70	68	67	82
<b>Media</b>	<b>66.31</b>	<b>66.75</b>	<b>47.44</b>	<b>71.50</b>	<b>114.50</b>	<b>107.75</b>
<b>Variación %</b>	<b>7.26%</b>	<b>41.70%</b>	<b>55.97%</b>			

**Cuadro No. 81: Resultados prueba de dureza madera juvenil - resultado en Libras**

	Pino joven						Pino adulto		
	Tangencial	Radial	Axial	Fuerza (lbs)			Tangencial	Radial	axial
1	2.82	2.15	3.95	564	430	790	540.2	438	627.8
	2.4	2.32	3.93	480	464	786	386.9	452.6	883.3
2	2.41	3.45	3.83	482	690	766	350.4	438	832.2
	2.43	3.8	3.84	486	760	768	233.6	365	963.6
3	3.13	4.4	4.44	626	880	888	394.2	182.5	540.2
	2.16	2.85	4.23	432	570	846	87.6	175.2	978.2
4	0.23	0.13	0.43	167.9	94.9	313.9	292	657	730
	0.24	0.4	0.63	175.2	292	459.9	182.5	292	598.6
5	0.29	0.15	0.74	211.7	109.5	540.2	233.6	219	657
	0.34	0.34	0.74	248.2	248.2	540.2	299.3	365	730
6	0.63	0.93	1.02	459.9	678.9	744.6	328.5	277.4	949
	0.69	0.53	0.82	503.7	386.9	598.6	277.4	379.6	876
7	0.75	0.53	0.92	547.5	386.9	671.6	219	284.7	1022
	0.89	0.75	0.93	649.7	547.5	678.9	240.9	211.7	817.6
8	0.43	0.43	0.83	313.9	313.9	605.9	189.8	189.8	715.4
	0.34	0.43	1.04	248.2	313.9	759.2	211.7	211.7	715.4
9	0.78	0.75	0.92	569.4	547.5	671.6	292	233.6	627.8
	0.63	0.43	0.83	459.9	313.9	605.9	204.4	306.6	613.2
10	0.75	0.43	0.96	547.5	313.9	700.8	219	204.4	876
	0.83	0.43	0.83	605.9	313.9	605.9	160.6	452.6	598.6
Total	23.17	25.63	35.86	8778.6	8655.8	13341.2	5343.6	6336.4	15351.9
Media	1.1585	1.2815	1.793	438.93	432.79	667.06	267.18	316.82	767.595

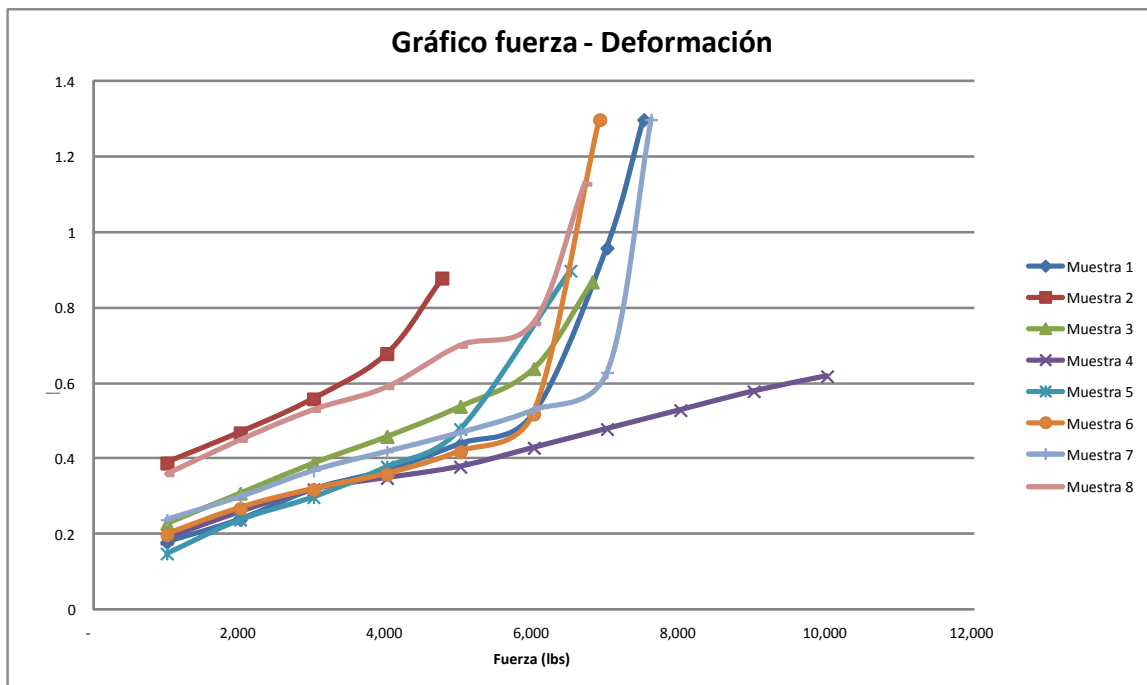
**Cuadro No. 82: Resultados prueba compresión paralela madera juvenil**

Muestra	Fuerza (lbs)	Deformación
1	1,000	0.18
	2,000	0.24
	3,000	0.32
	4,000	0.37
	5,000	0.44
	6,000	0.52
	7,000	0.96
	7,500	1.3
2	1,000	0.39
	2,000	0.47
	3,000	0.56
	4,000	0.68
	4,750	0.88
3	1,000	0.23
	2,000	0.31
	3,000	0.39
	4,000	0.46
	5,000	0.54
	6,000	0.64
	6,800	0.87

**Cuadro No. 83: Resultados prueba compresión paralela madera juvenil - Continuación**

4	1,000	0.19
	2,000	0.26
	3,000	0.32
	4,000	0.35
	5,000	0.38
	6,000	0.43
	7,000	0.48
	8,000	0.53
	9,000	0.58
	10,000	0.62
5	1,000	0.15
	2,000	0.24
	3,000	0.30
	4,000	0.38
	5,000	0.48
	6,500	0.90
6	1,000	0.20
	2,000	0.27
	3,000	0.32
	4,000	0.36
	5,000	0.42
	6,000	0.52
	6,900	1.3
7	1,000	0.24
	2,000	0.30
	3,000	0.37
	4,000	0.42
	5,000	0.47
	6,000	0.53
	7,000	0.63
	7,600	1.3
8	1,000	0.36
	2,000	0.45
	3,000	0.53
	4,000	0.59
	5,000	0.70
	6,000	0.76
	6,700	1.13

**Gráfico No. 70: Gráfico fuerza - Deformación prueba de compresión paralela madera juvenil**

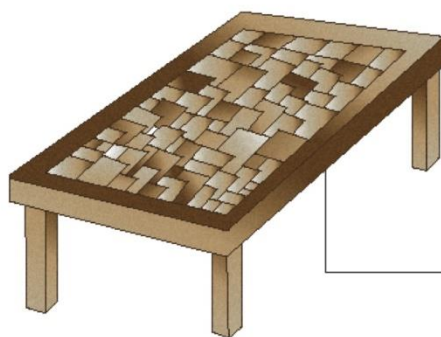


**Cuadro No. 84: Medidas y piezas mesa de centro opción 1**

Producto	Alto (pulg)	Largo (pulg)	Espesor (pulg)	No. De piezas	Vol. Por pieza (pulg <sup>3</sup> )	Vol. Total (pulg <sup>3</sup> )	Pies tablare
<b>Mesa de centro</b>	0.55	2.36	1.97	2	2.56	5.13	
	2.36	23.62	3.94	2	219.68	439.37	
	3.15	6.30	1.57	96	31.24	2999.42	
	3.15	3.15	1.57	48	15.62	749.86	
						4193.77	29.12

**Gráfico No. 71: Bocetos propuesta mesa de centro**

*Proyecto de Grado Julio Tejada*  
*Bocetos de propuestas para Mesa de Centro*

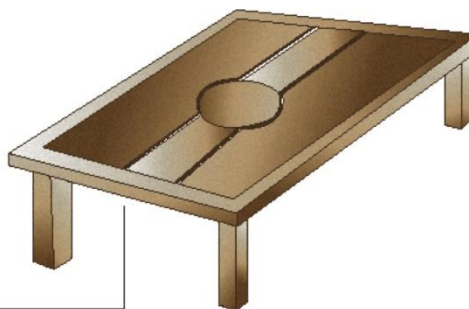


Opción 1

Opción de mesa de centro tradicional con elementos decorativos realizados con piezas de madera de tamaño pequeño, para dar un efecto de textura en el centro de la mesa.

Opción 2

Opción de mesa de centro tradicional con detalle circular en el centro como elemento decorativo. Entre cada tabla del centro hay un pequeño espacio que hace ver como un elemento de sustracción del centro total de la mesa.



**Cuadro No. 85: Medidas y piezas silla opción 1**

Producto	Alto (pulg.)	Largo (pulg.)	Espesor (pulg.)	No. De piezas	Vol. Por pieza (pulg <sup>3</sup> )	Vol. Total (pulg <sup>3</sup> )	Pies tablere
Silla	5.51	27.56	1.57	3	239.21	717.63	
	16.54	18.50	1.57	1	481.84	481.84	
	16.54	2.76	2.76	4	125.59	502.34	
	3.15	1.57	1.57	19	7.81	148.41	
	2.36	2.36	1.57	19	8.79	166.96	
							2017.19

**Gráfico No. 72: Bocetos propuesta silla**

*Proyecto de Grado Julio Tejada  
Bocetos de propuestas para Silla*



Opción 1

Opción de silla tradicional con detalle en el centro del respaldo, hecho a partir de pedazos de madera de un tamaño pequeña, para dar un efecto de "mosaico" y decorativo a la silla.



Opción 2

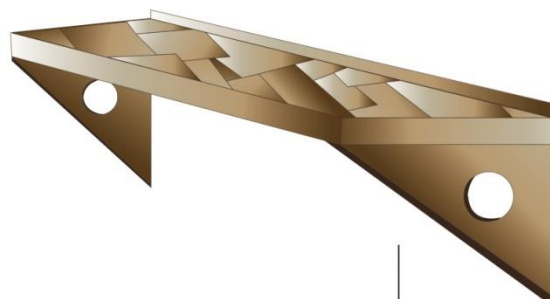
Opción silla tradicional con una extracción en el respaldo como detalle decorativo. Este elemento también se incorporó a la silla para permitir que el respaldo de la misma sea construido a partir de piezas de madera relativamente pequeñas.

**Cuadro No. 86: Medidas y piezas repisa opción 2**

Producto	Alto (pulg)	Largo (pulg)	Espesor (pulg)	No. De piezas	Vol. Por pieza (pulg <sup>3</sup> )	Vol. Total (pulg <sup>3</sup> )	Pies tableros
Repisa	1.57	24.02	1.57	2	59.56	119.12	
	1.57	4.13	1.57	2	10.25	20.50	
	5.51	7.87	1.57	2	68.35	136.69	
						276.31	1.92

**Gráfico No. 73: Bocetos propuesta repisa**

*Proyecto de Grado Julio Tejada  
Bocetos de propuestas para Repisa*

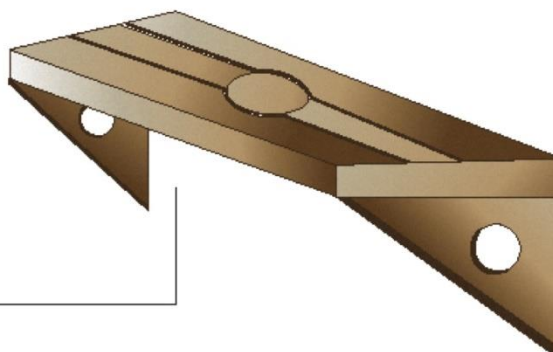


Opción 1

Opción de repisa para colocar objetos, con la parte superior simulando un mosaico formado de diferentes piezas de madera de un tamaño pequeño. A los lados se colocaron círculos como elementos decorativos.

Opción 2

Opción de repisa realizada con tablas de madera y un círculo en la parte del centro para simular una sustracción (de la misma forma) en la tabla de madera superior, colocado con la finalidad de elemento decorativo.

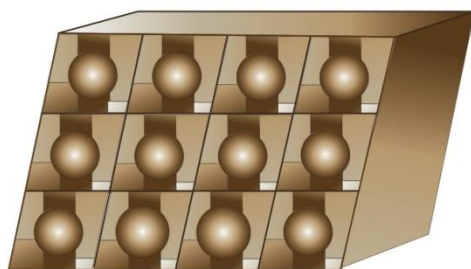


**Cuadro No. 87: Medidas y piezas viñero opción 2**

Producto	Alto (pulg)	Largo (pulg)	Espesor (pulg)	No. De piezas	Vol. Por pieza (pulg <sup>3</sup> )	Vol. Total (pulg <sup>3</sup> )	Pies tableros
Viñero	4.72	36.22	1.57	3	269.48	808.44	
	13.78	19.69	1.57	10	427.16	4271.64	
	13.78	36.22	1.57	5	785.98	3929.91	
						9009.98	62.57

**Gráfico No. 74: Bocetos propuesta viñero**

*Proyecto de Grado Julio Tejada  
Bocetos de propuestas para Viñero*

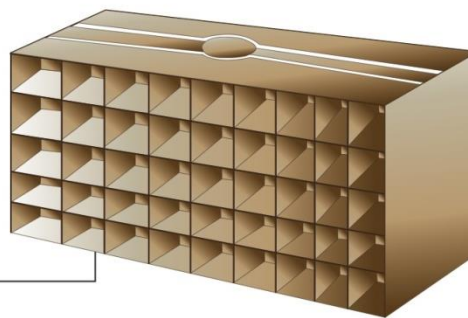


Opción 1

Opción de viñero utilizando el concepto de piezas de madera pequeñas que conforman en su totalidad el espacio donde se introducen los vinos.

Opción 2

Opción de viñero utilizando el concepto de sustracción en la parte superior como elemento decorativo.

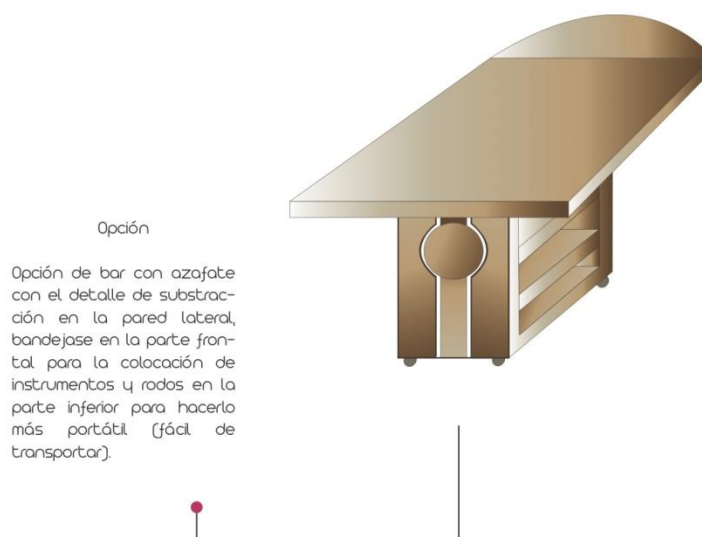


**Cuadro No. 88: Medidas y piezas mini bar**

Producto	Alto (pulg.)	Largo (pulg.)	Espesor (pulg.)	No. De piezas	Vol. Por pieza (pulg <sup>3</sup> )	Vol. Total (pulg <sup>3</sup> )	Pies tablere
Mini Bar	1.97	28.35	1.57	3	87.87	263.62	
	17.72	17.72	1.57	1	494.29	494.29	
	12.20	27.56	0.79	2	264.84	529.68	
	21.26	27.56	0.79	2	461.34	922.67	
	12.20	21.26	0.79	3	204.31	612.92	
						2823.19	19.61

**Gráfico No. 75: Boceto propuesta mini bar**

*Proyecto de Grado Julio Tejada  
Bocetos de propuesta para Bar*



**Gráfico No. 76: Render 3D mini bar**



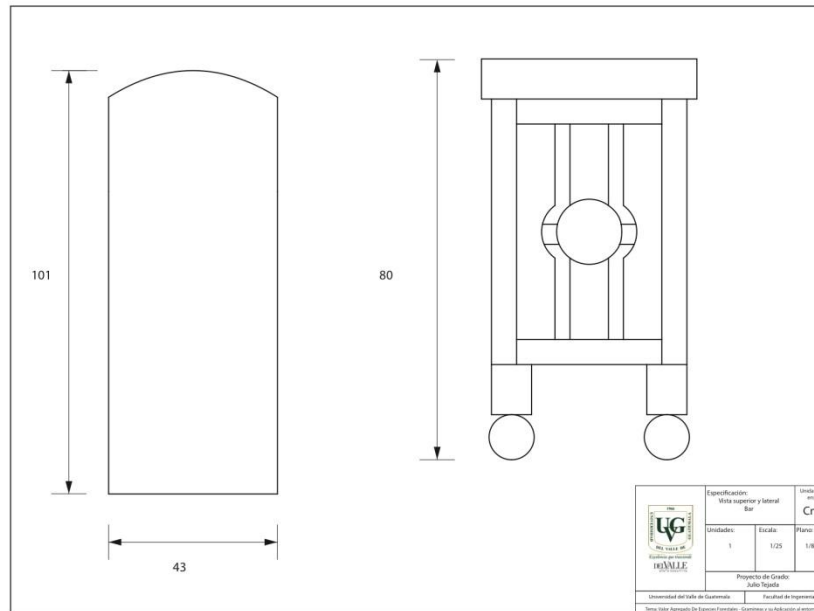
**Gráfico No. 77: Render 3D Mini bar variación**



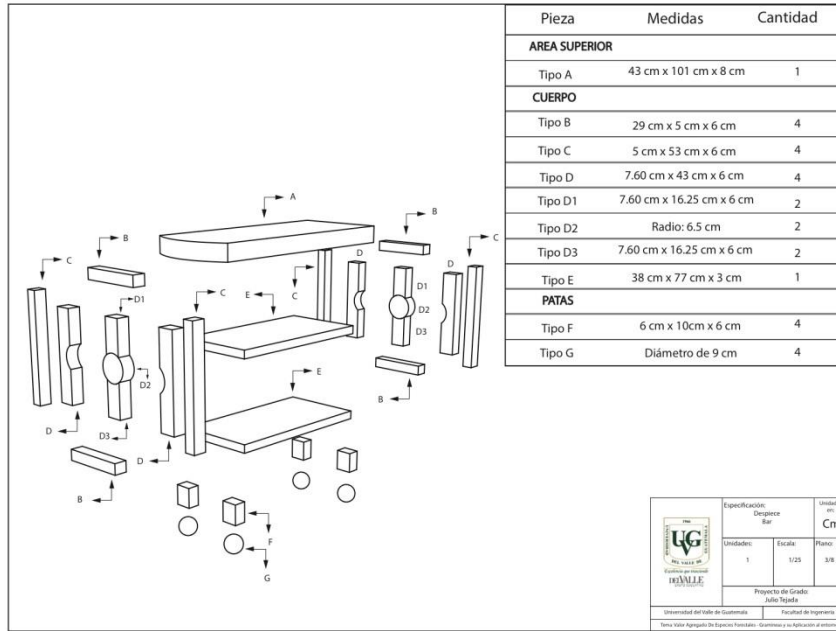
**Gráfico No. 78: Plano vista frontal y perspectiva mini bar**



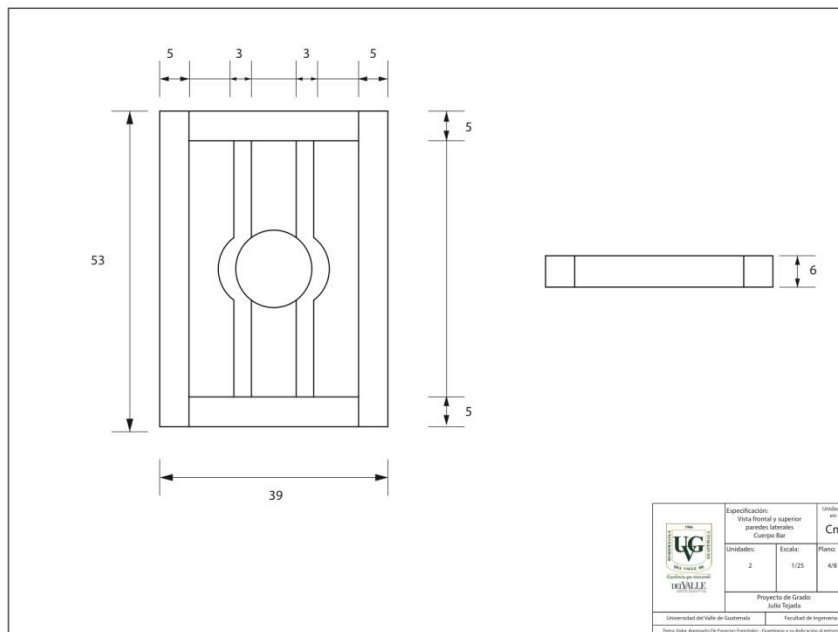
**Gráfico No. 79: Plano vista superior y lateral mini bar**



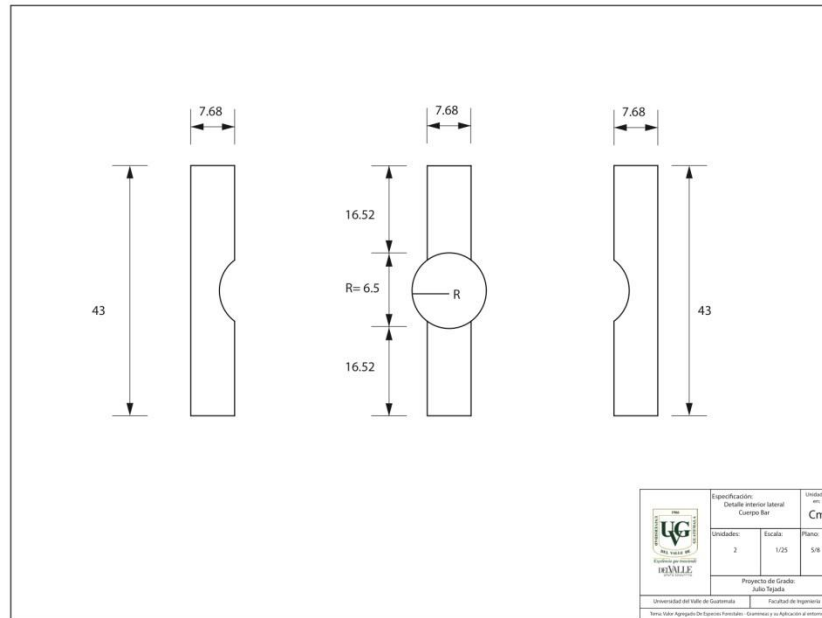
**Gráfico No. 80: Plano desglose de mini bar**



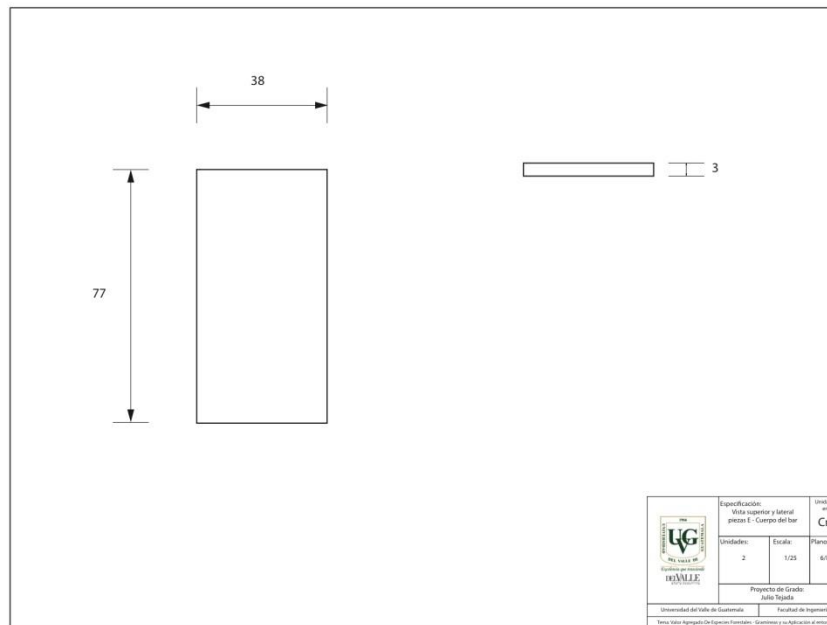
**Gráfico No. 81: Plano vista frontal y superior parades laterales mini bar**



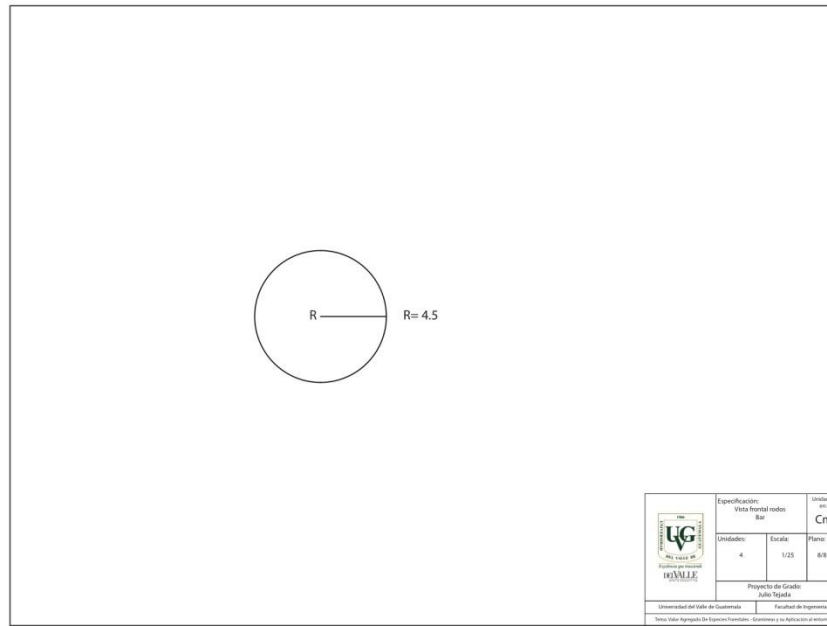
**Gráfico No. 82: Plano detalle interior lateral mini bar**



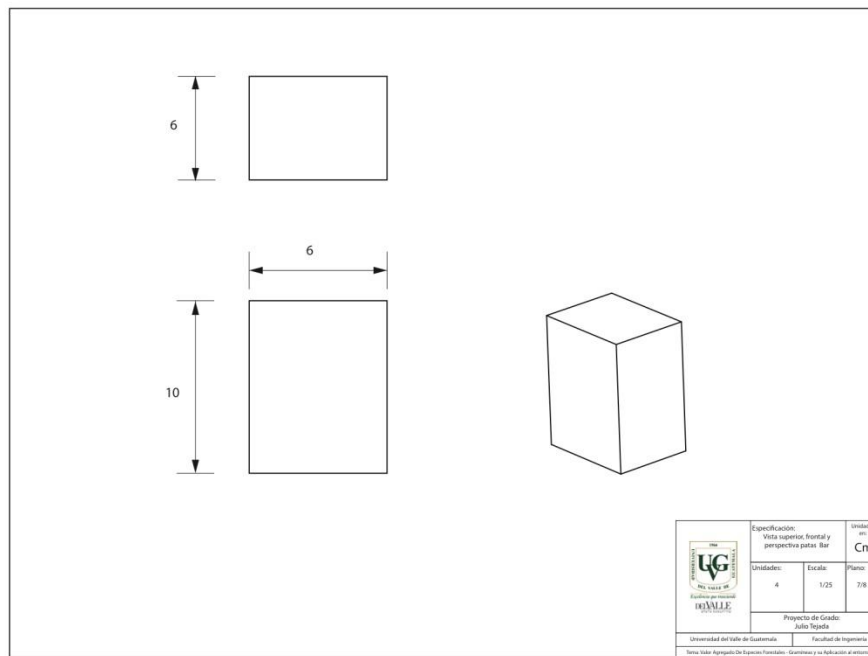
**Gráfico No. 83: Plano vista superior y lateral piezas E mini bar**



**Gráfico No. 84: Plano vista frontal rodos mini bar**



**Gráfico No. 85: Plano vista superior, frontal y perspectiva patas mini bar**



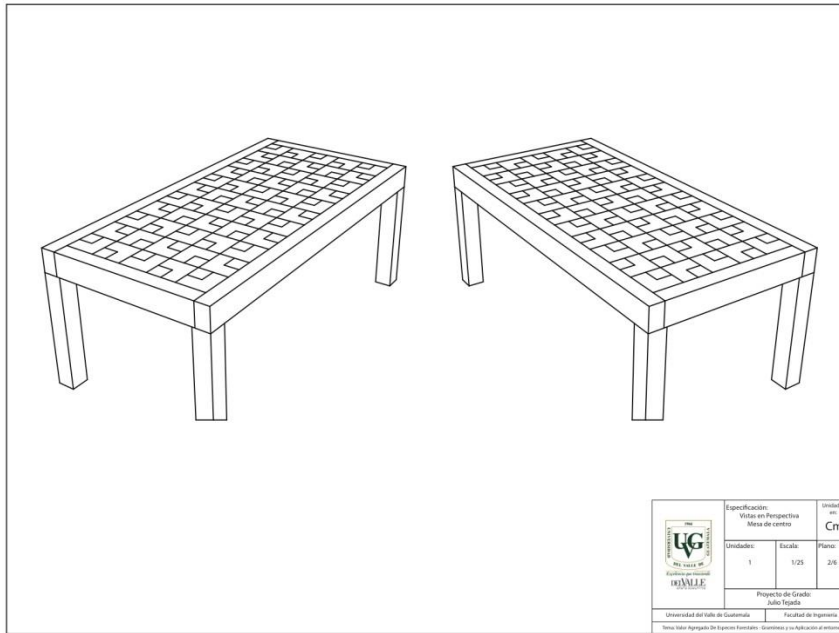
**Gráfico No. 86: Render 3D mesa de centro**



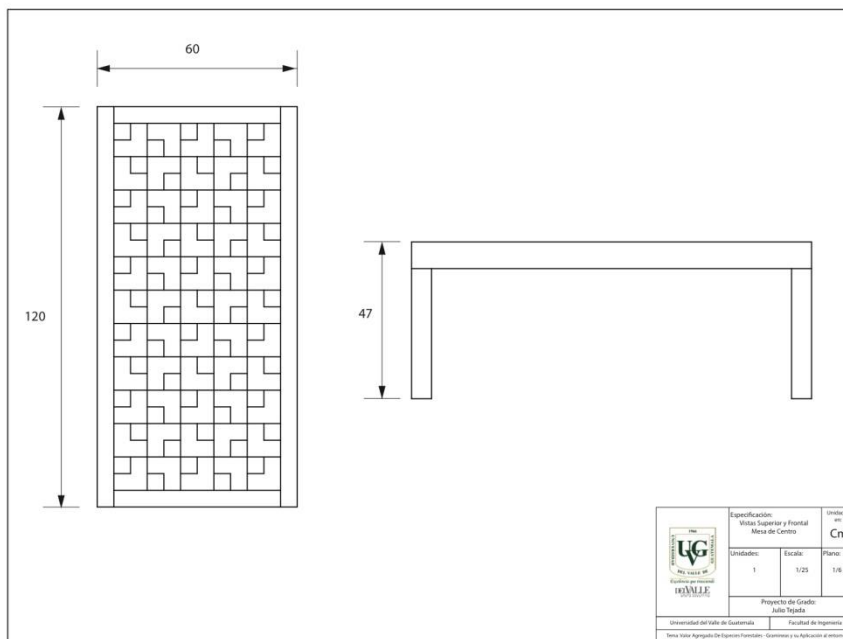
**Gráfico No. 87: Render 3D mesa de centro variación**



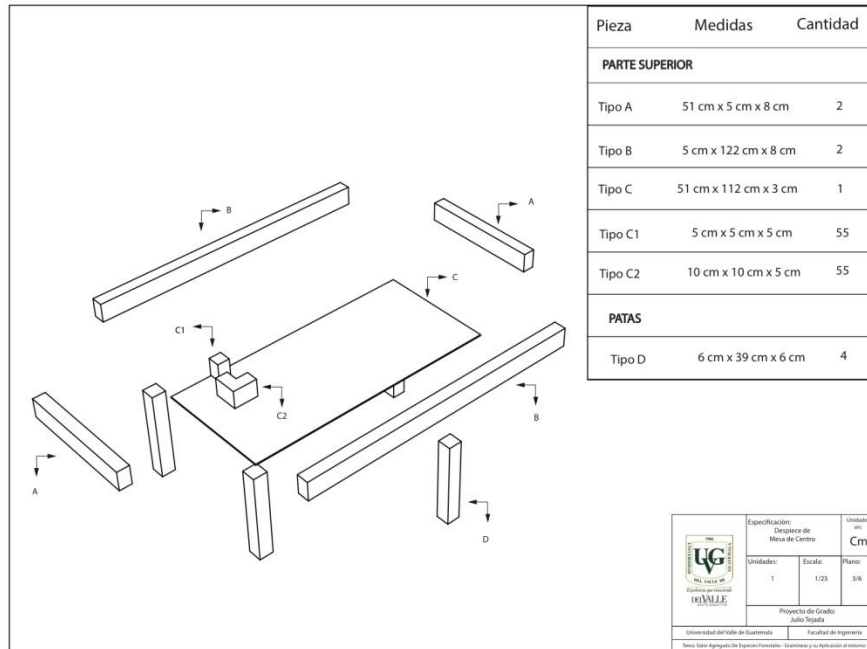
**Gráfico No. 88: Plano perspectiva mesa de centro**



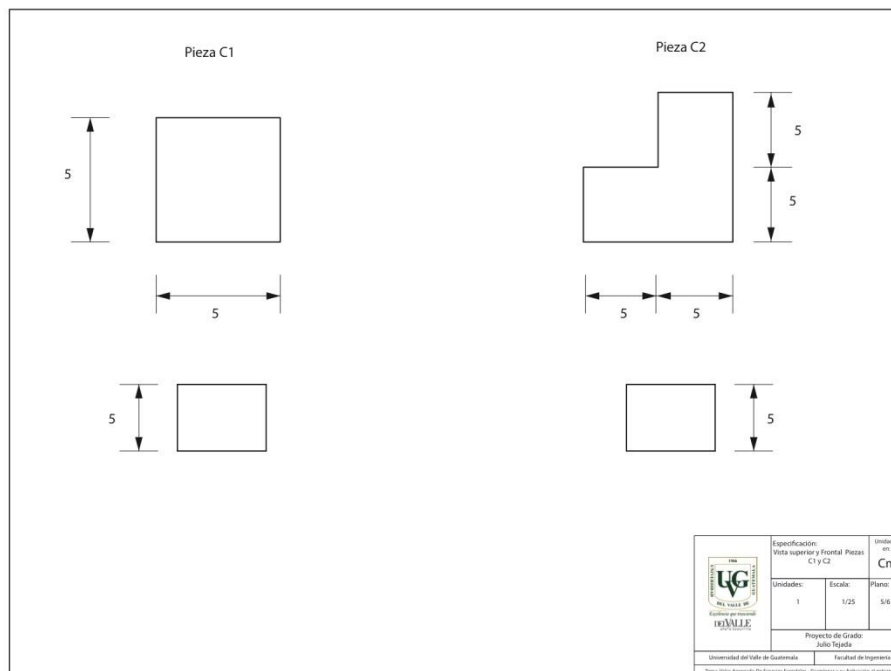
**Gráfico No. 89: Plano vista superior y frontal mesa de centro**



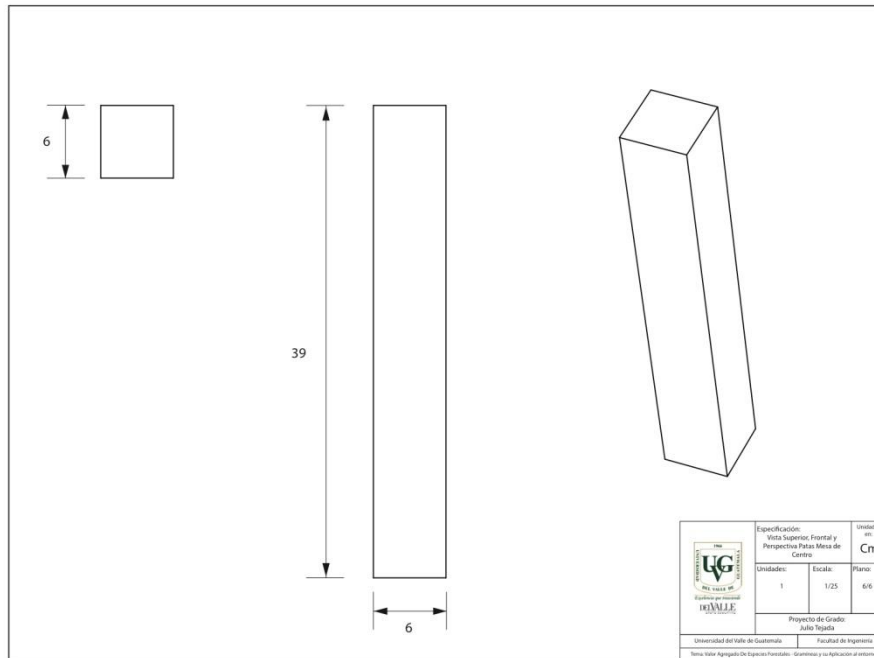
**Gráfico No. 90: Plano desglose mesa de centro**



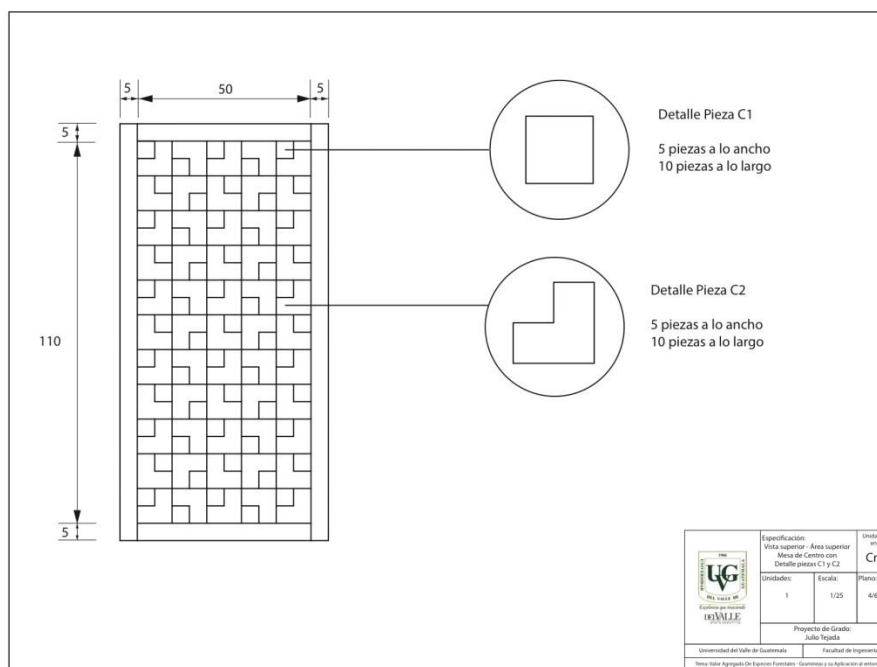
**Gráfico No. 91: Plano vista superior y frontal piezas C1 y C2 mesa de centro**



**Gráfico No. 92: Plano vista superior, frontal y perspectiva patas mesa de centro**



**Gráfico No. 93: Plano vista superior - Área superior mesa de centro con detalle piezas C1 y C2**



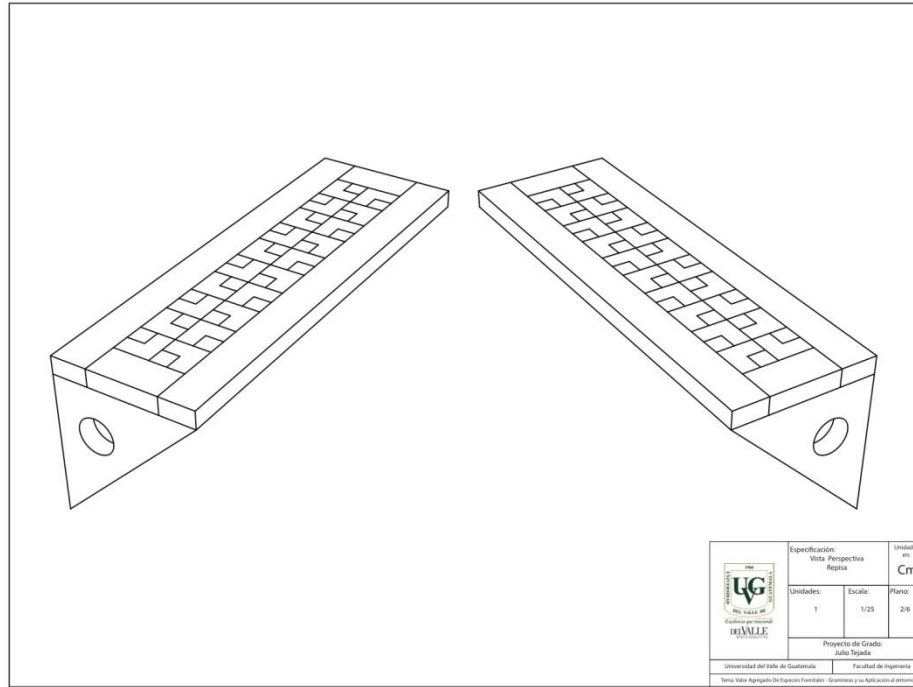
**Gráfico No. 94: Render 3D repisa**



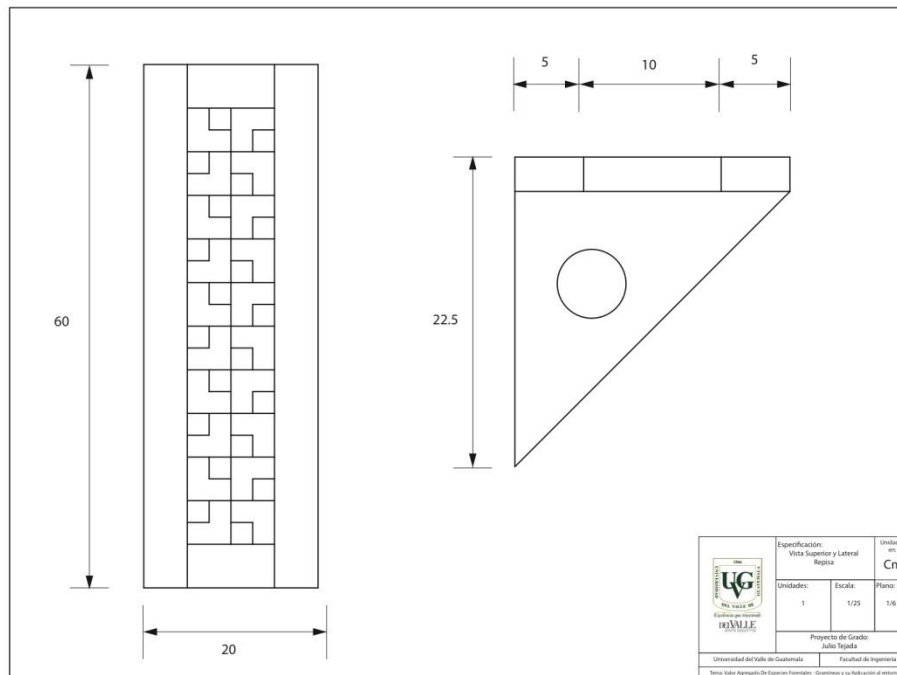
**Gráfico No. 95: Render 3D repisa variación**



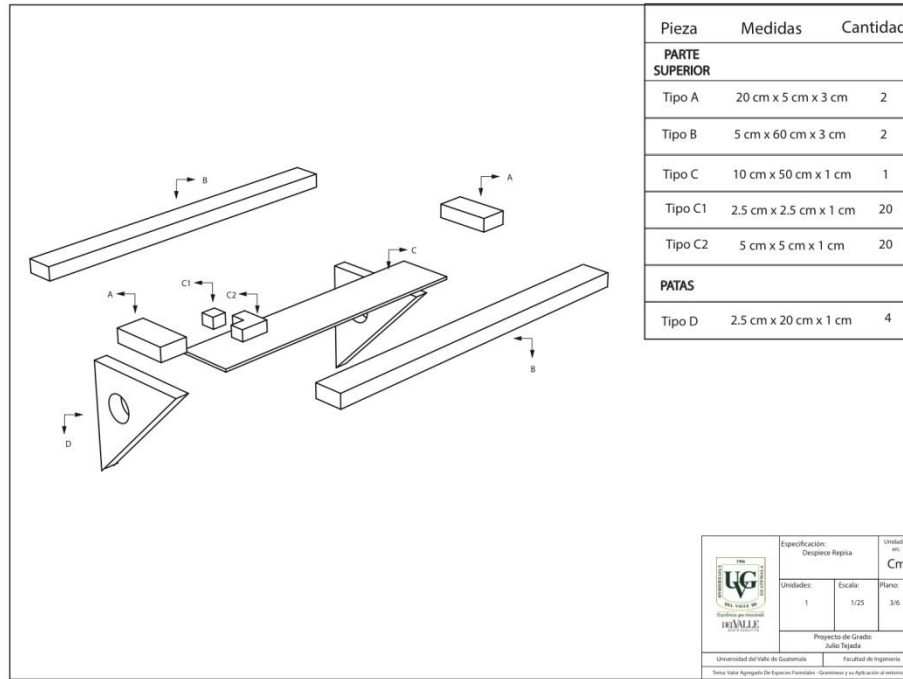
**Gráfico No. 96: Plano vista perspectiva repisa**



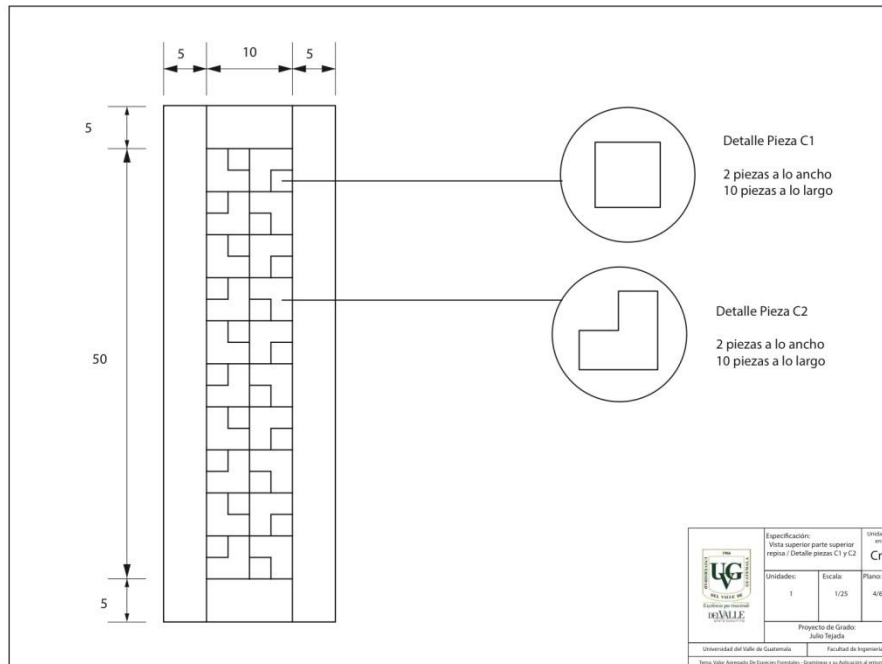
**Gráfico No. 97: Plano vista superior y frontal repisa**



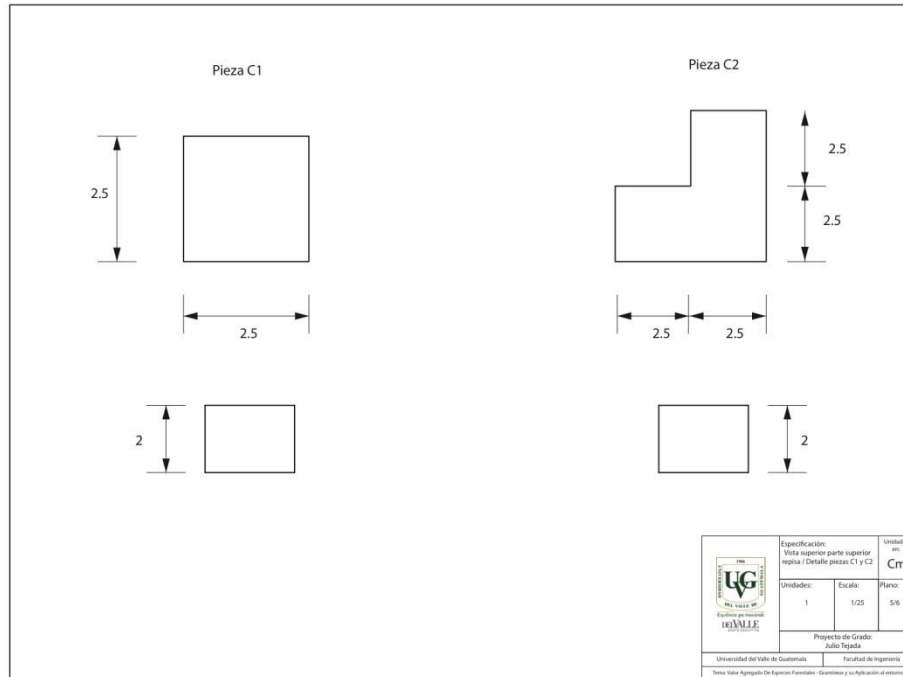
**Gráfico No. 98: Plano desglose repisa**



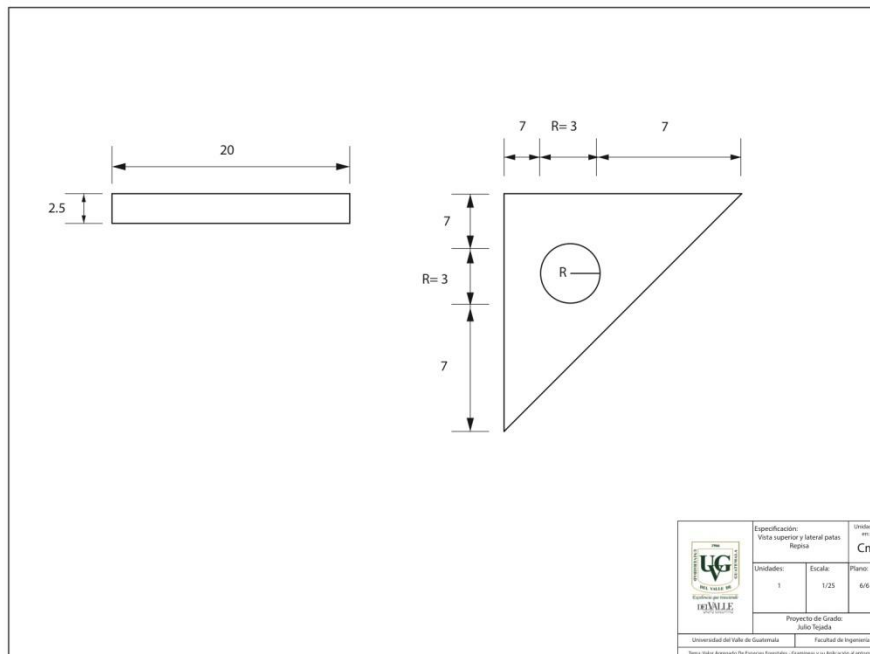
**Gráfico No. 99: Plano vista superior repisa - detalles piezas C1 y C2**



**Gráfico No. 100: Vista superior y lateral piezas C1 y C2 repisa**



**Gráfico No. 101: Plano vista superior y lateral patas repisa**



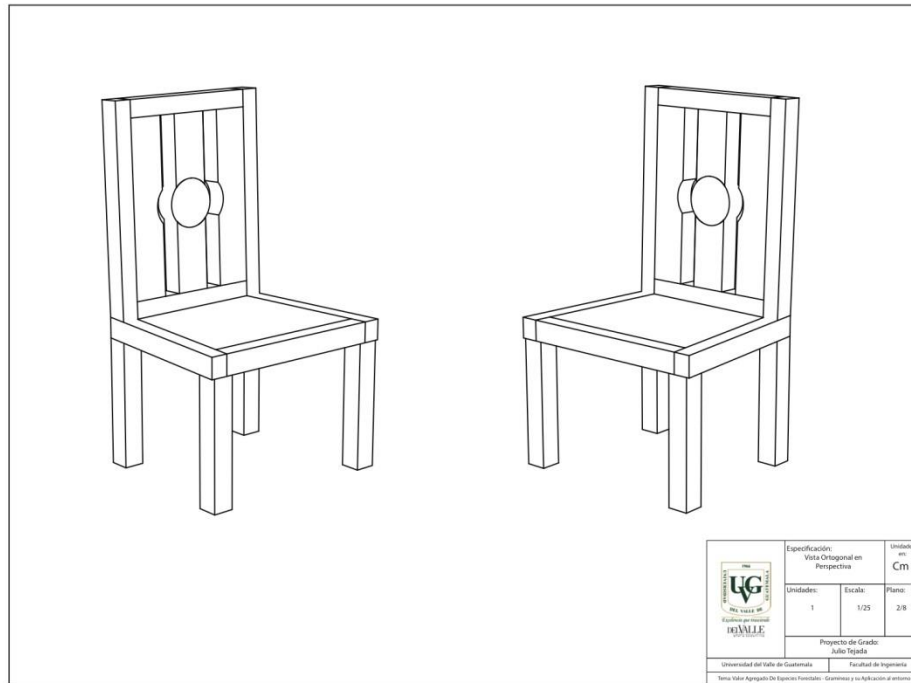
**Gráfico No. 102: Render 3D silla**



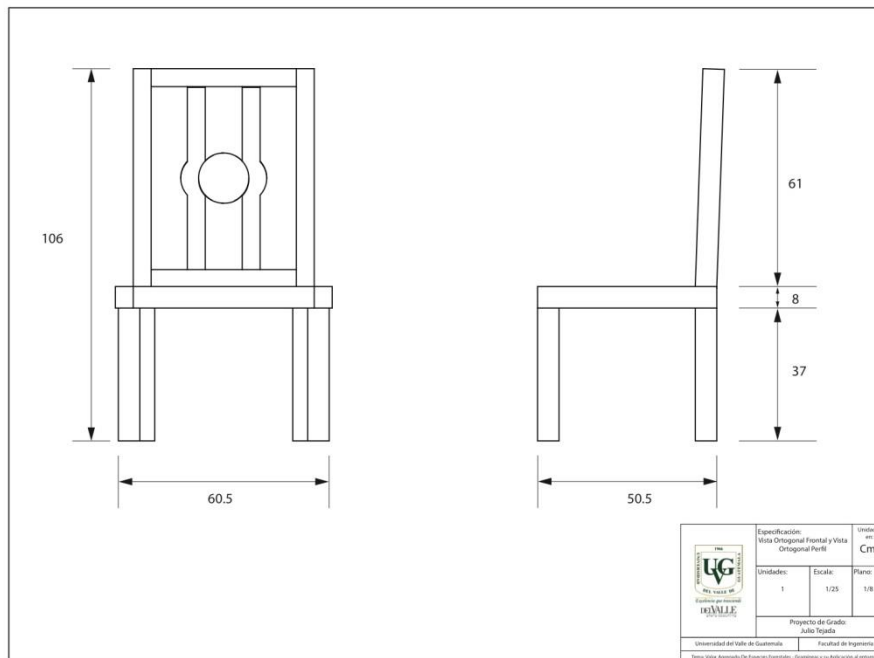
**Gráfico No. 103: Render 3D silla variación**



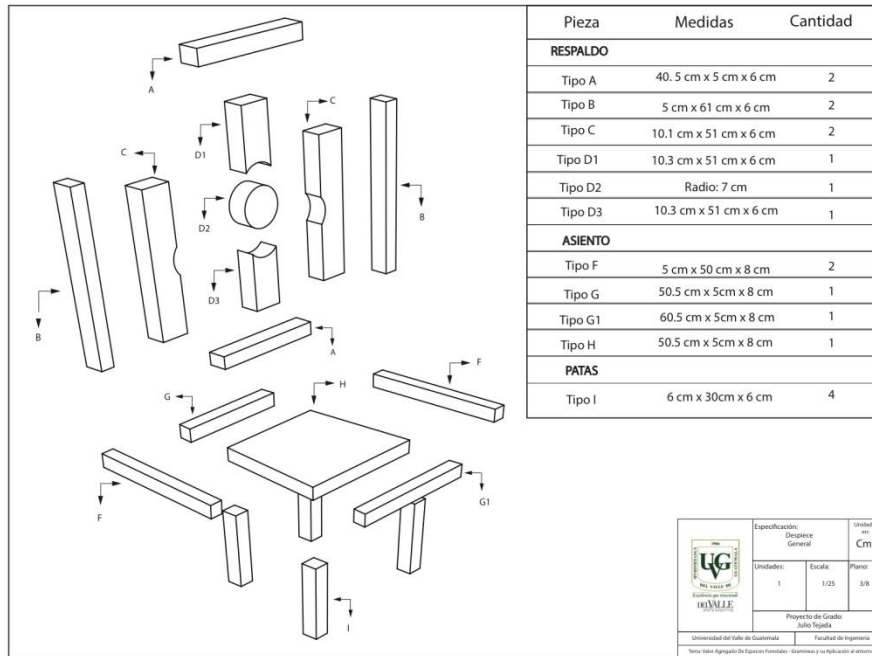
**Gráfico No. 104: Plano vista ortogonal en perspectiva silla**



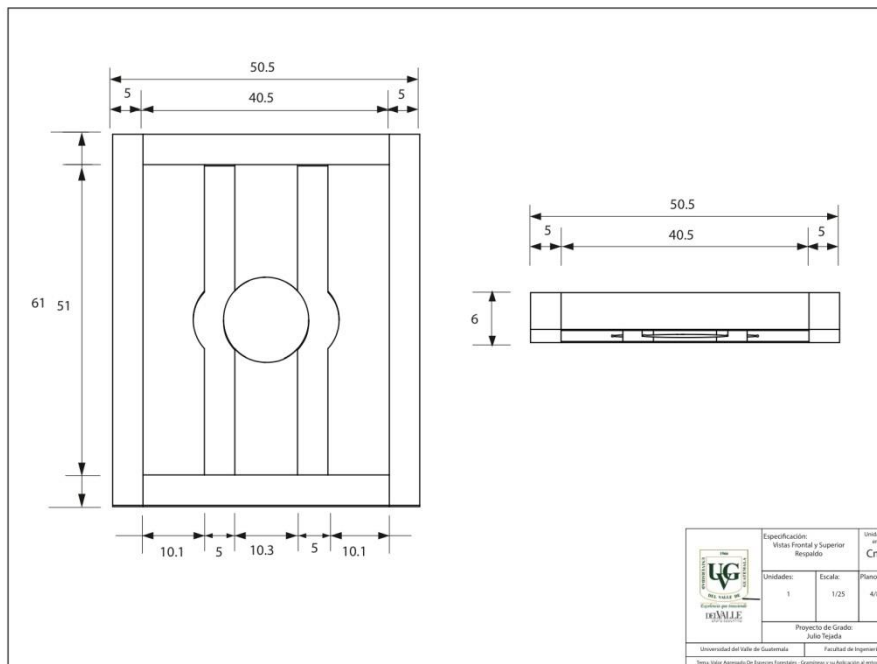
**Gráfico No. 105: Plano vista ortogonal frontal y perfil silla**



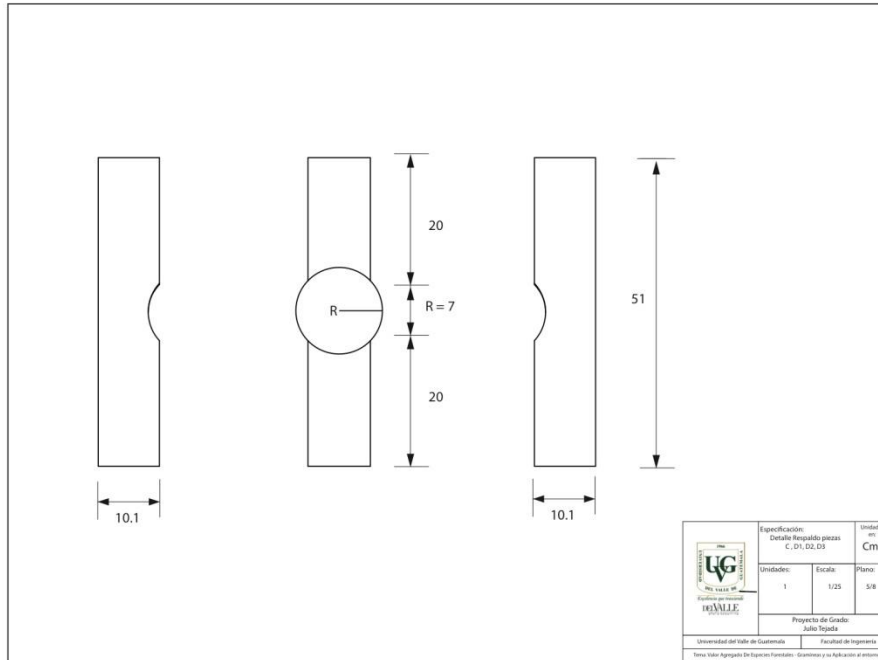
**Gráfico No. 106: Plano desglose silla**



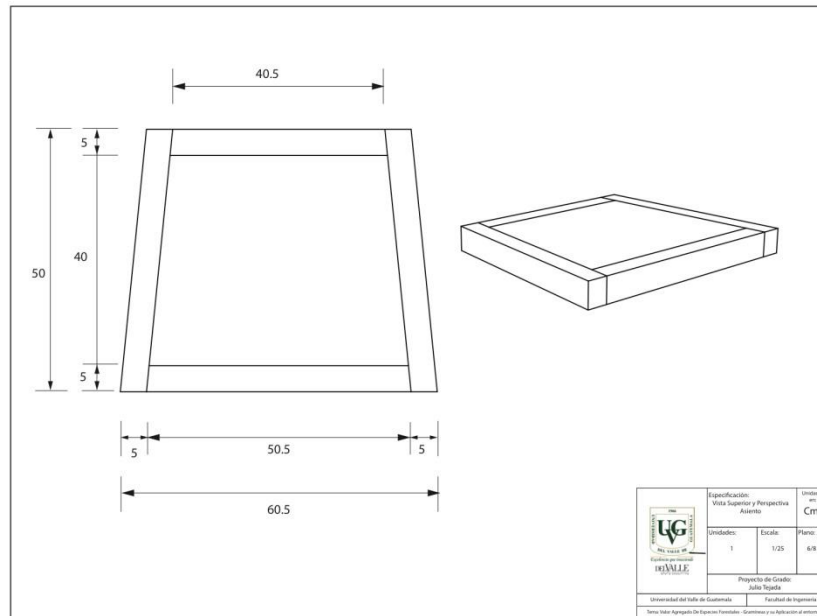
**Gráfico No. 107: Plano vista frontal y superior respaldo**



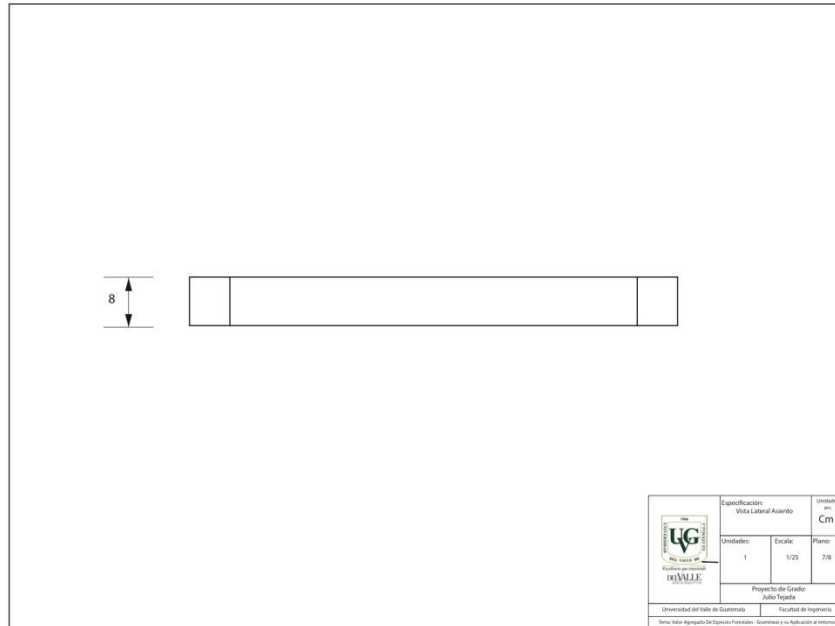
**Gráfico No. 108: Plano detalle respaldo piezas C, D1, D2, D3 silla**



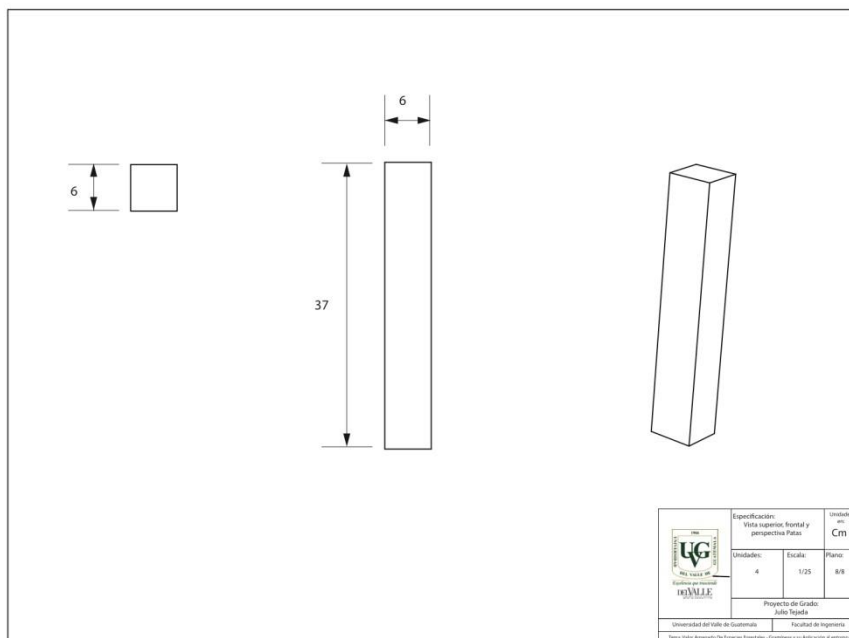
**Gráfico No. 109: Plano vista superior y perspectiva asiento silla**



**Gráfico No. 110: Plano vista lateral asiento silla**



**Gráfico No. 111: Plano vista superior, frontal y perspectiva patas silla**



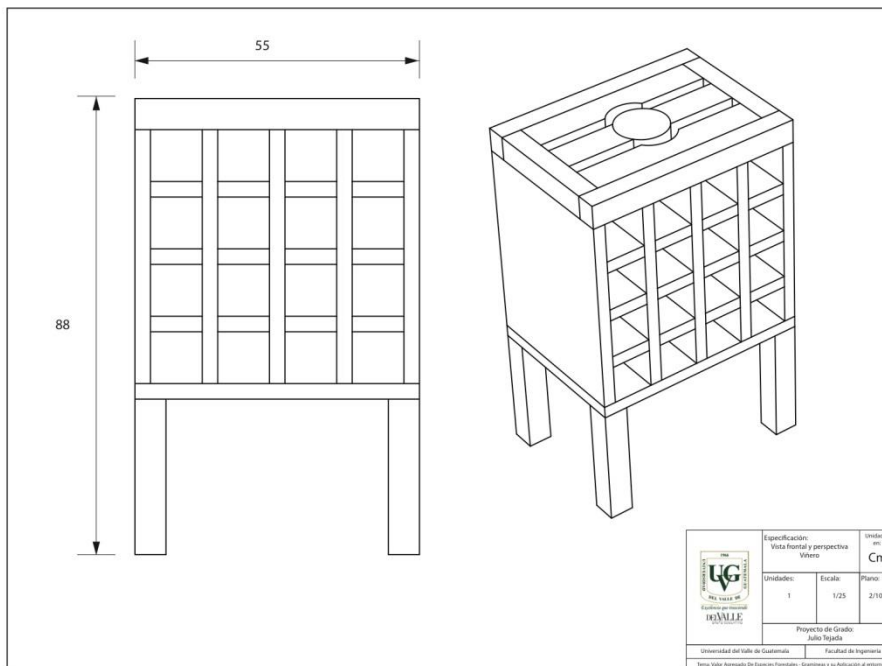
**Gráfico No. 112: Render 3D viñero**



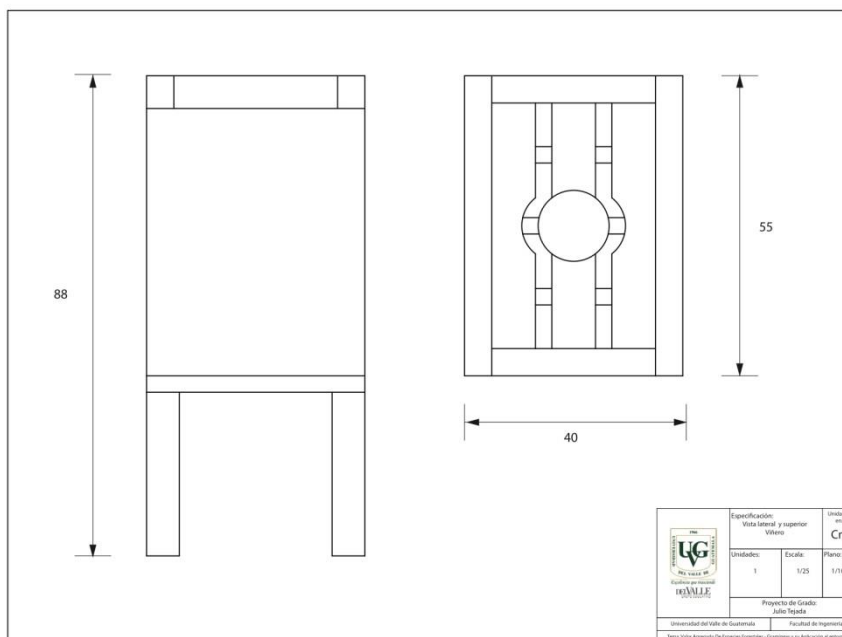
**Gráfico No. 113: Render 3D viñero variación**



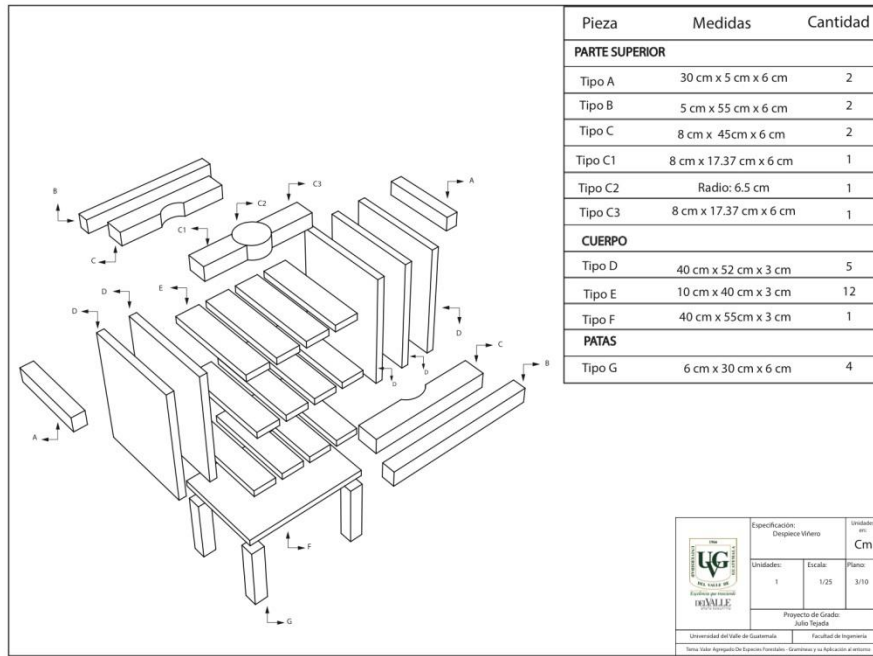
**Gráfico No. 114: Plano vista frontal y perspectiva viñero**



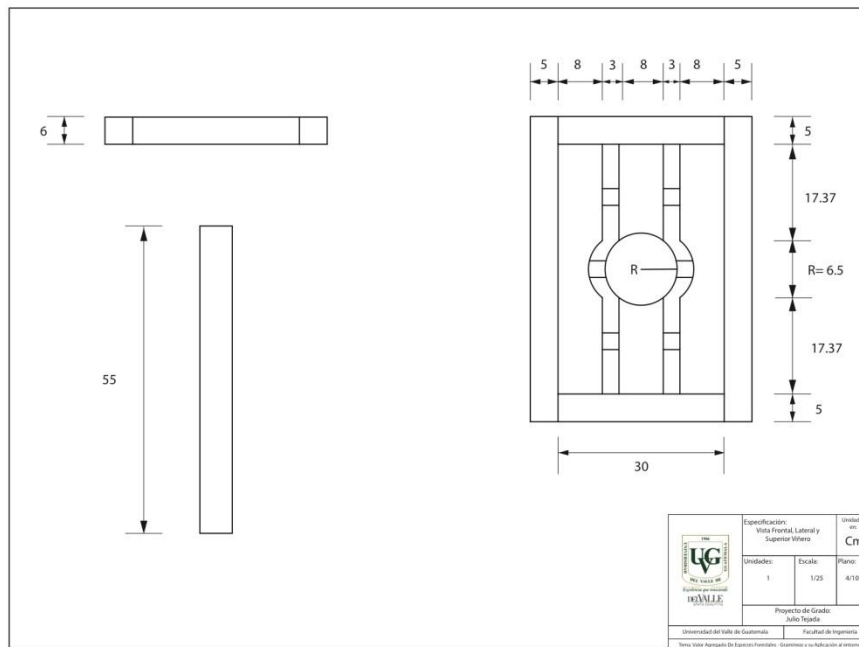
**Gráfico No. 115: Plano vista lateral y superior viñero**



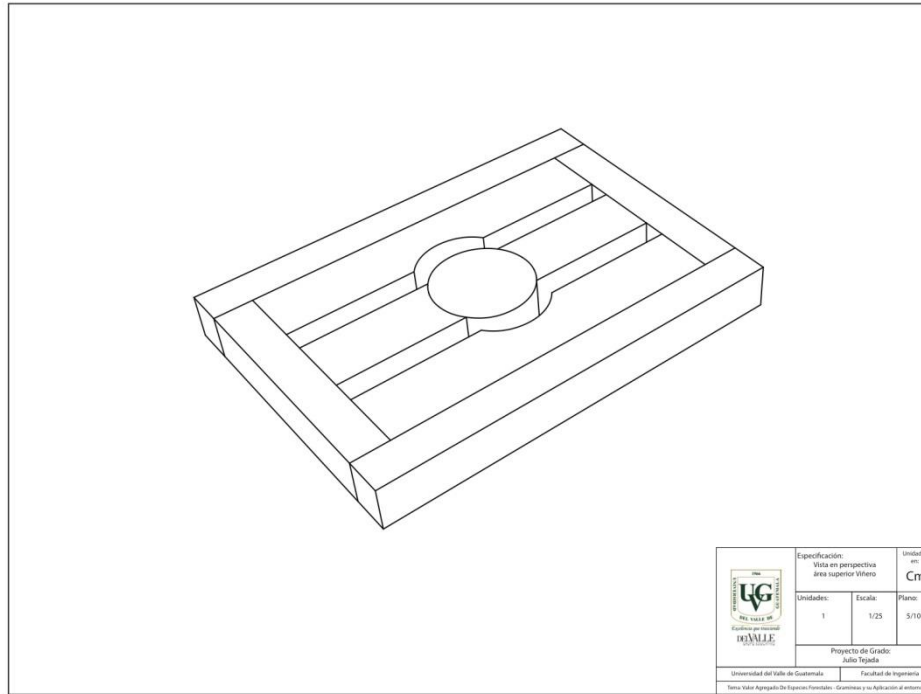
**Gráfico No. 116: Plano desglose viñero**



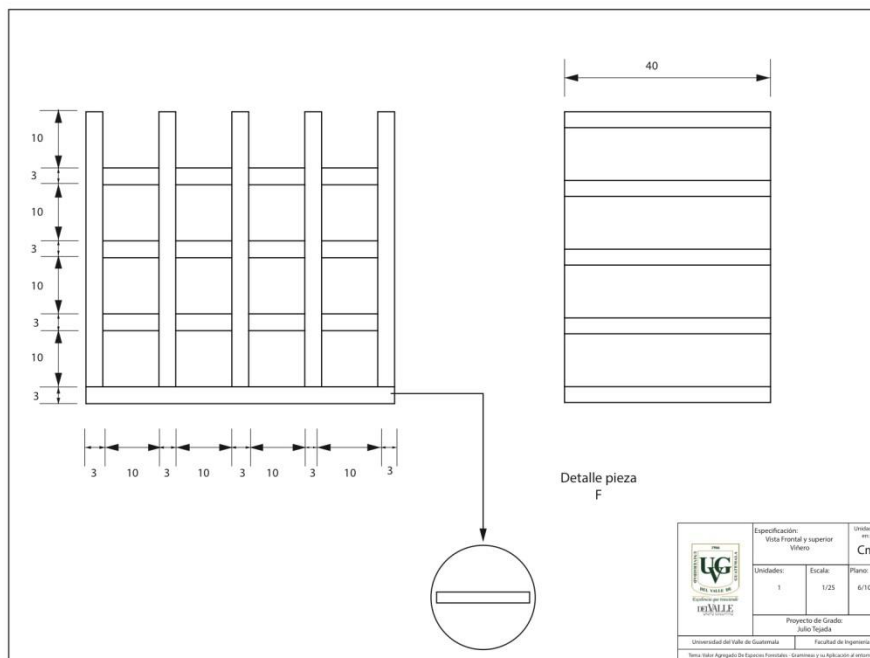
**Gráfico No. 117: Plano vista frontal, lateral y superior viñero**



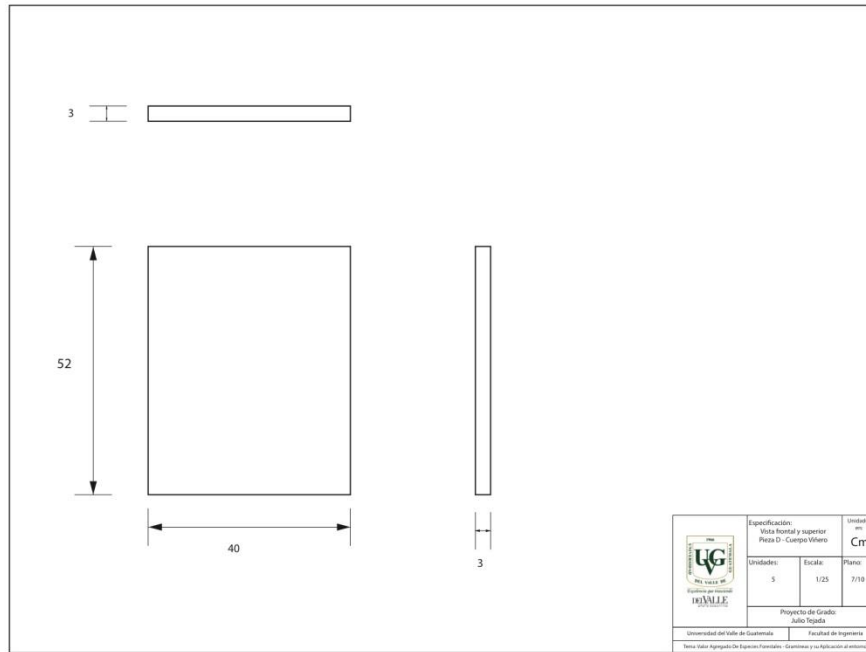
**Gráfico No. 118: Plano vista en perspectiva área superior viñero**



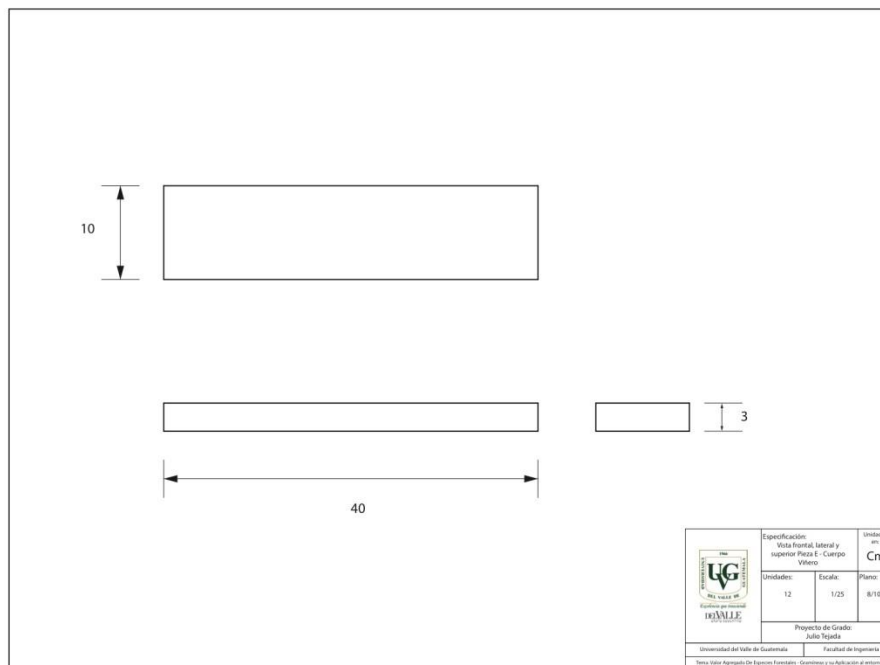
**Gráfico No. 119: Plano vista frontal y superior viñero**



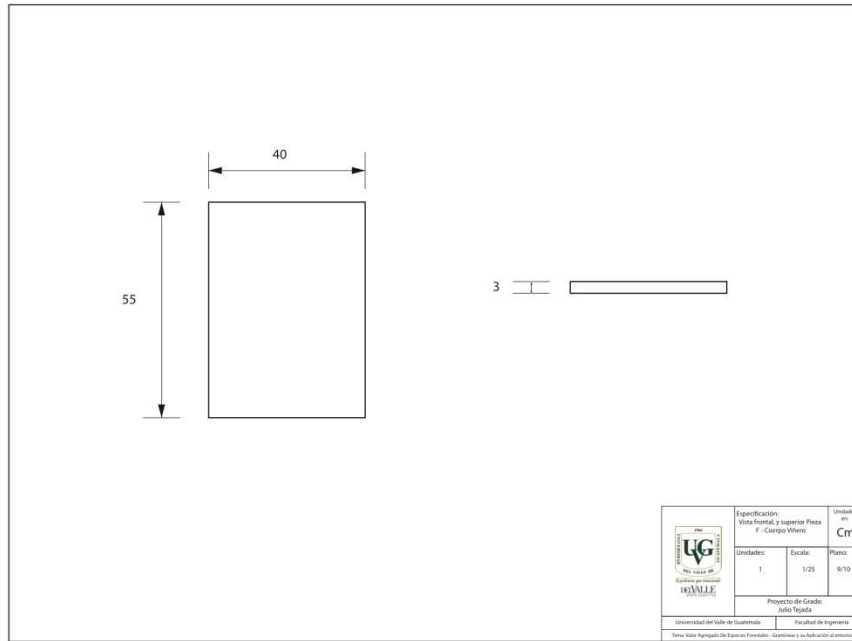
**Gráfico No. 120: Plano vista frontal y superior pieza D - cuerpo viñero**



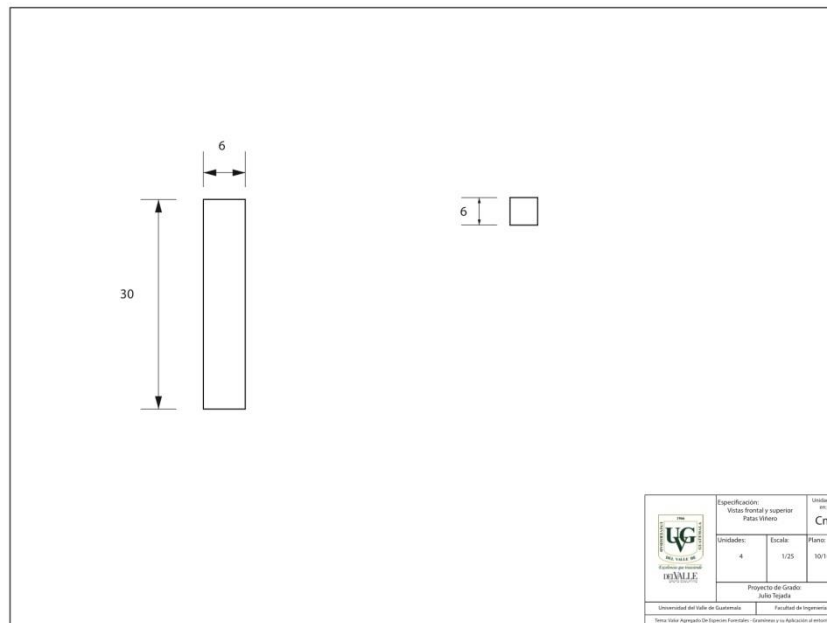
**Gráfico No. 121: Plano vista frontal, lateral y superior pieza E - cuerpo viñero**



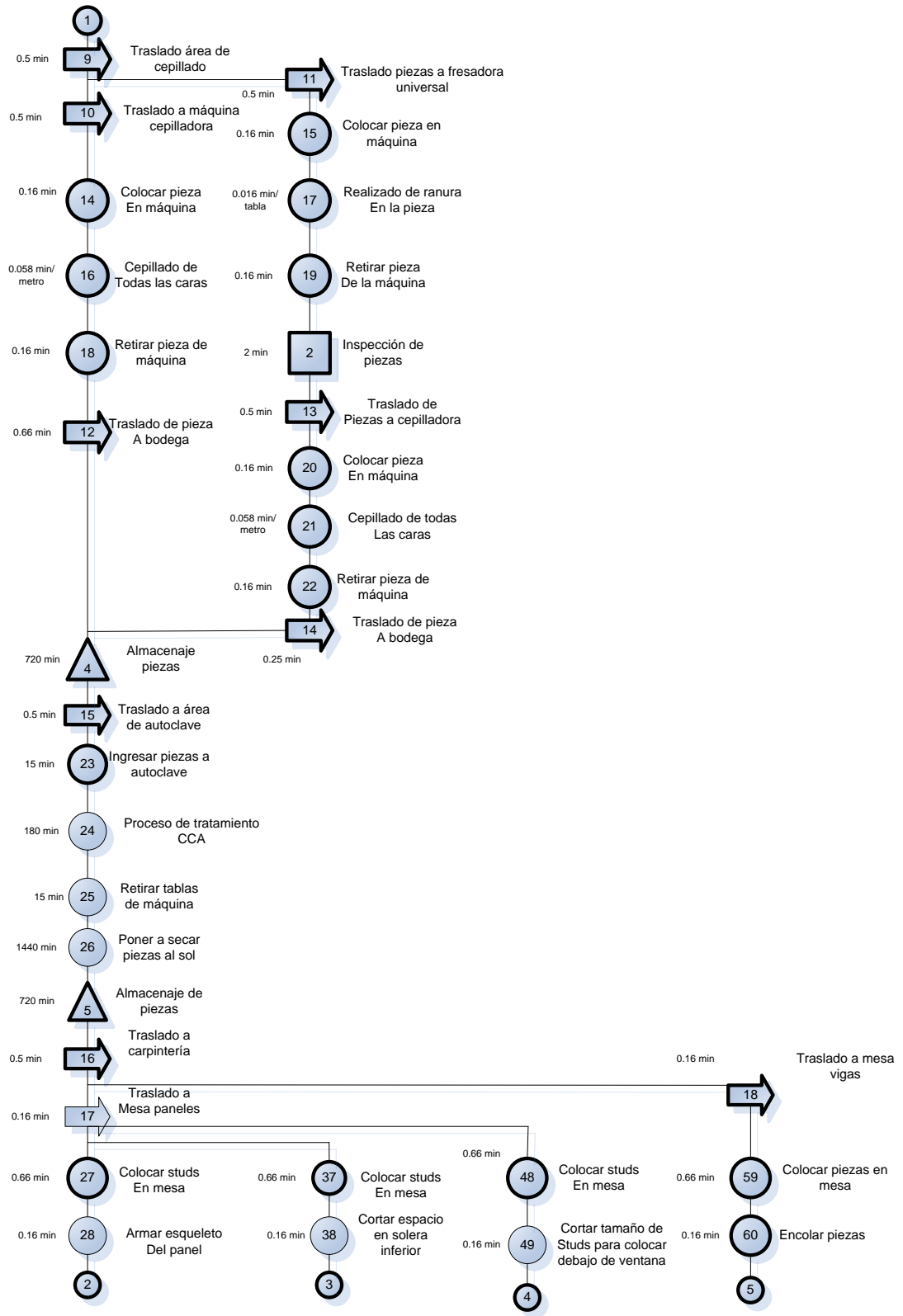
**Gráfico No. 122: Plano vista frontal y superior pieza F - cuerpo viñero**



**Gráfico No. 123: Plano vista frontal y superior patas viñero**







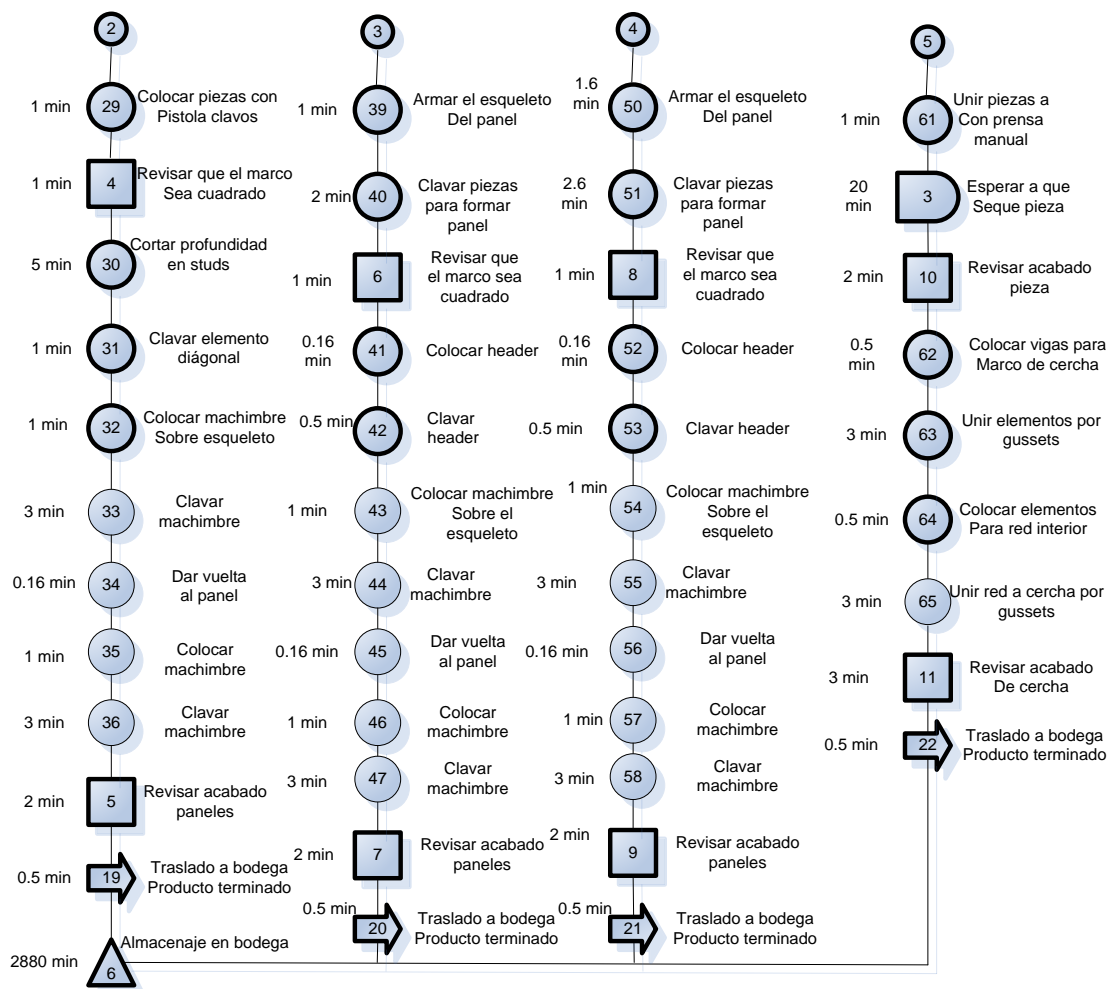


Tabla Resumen de actividades

Actividad	Símbolo	Número	Tiempo
Operación		65	8,970.63 minutos
Transporte		22	13.46 minutos
Inspección		11	19 minutos
Retraso		2	860 minutos
Almacenaje		6	18,720 minutos

**Cuadro No. 89: Especificaciones de maquinaria a utilizar en el proceso productivo**

<b>Máquinaria y Equipo en producción</b>	<b>Función</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad de maquinas</b>	<b>Precio total</b>
<b>LT 3000</b>	Corta cachetes de troza, y va a sacando tablas grandes de la troza de en medio	8.5 x 1.1 m2	\$130.000	1	\$ 130.000,00
<b>HR 1000</b>	Cortar el centro de la troza en tablas de diferentes tamaños después de que los "cachetes" y centro de la troza fueron cortados en el proceso anterior	4.2 x 5.1 m2	\$41.770	1	\$ 41.770,00
<b>Guillotina para disminución largo piezas</b>	Le da la longitud a las piezas cortadas en el primer proceso	2.4 x 1.6 m2	\$8.000	1	\$ 8.000,00
<b>EG 3000</b>	Retirar los "Cachetes" de las piezas cortadas	4.8 x 1.7 m2	\$22.000	1	\$ 22.000,00
<b>Horno modular de secar madera</b>	Horno para secar madera después de ser	10,4 x 6.55 x 5.33 m3	\$80.000	3	\$ 240.000,00
<b>Despuntadora</b>	Deja las tablas a la medida requerida	1 x 0.8 m2	\$6.000	4	\$ 24.000,00
<b>Bonfanti RM 422</b>	Primera máquina cepilladora	3.39 x 1.1 m2	\$18.000	2	\$ 18.002,00
<b>Fresadora universal</b>	Maquina para realizar perfiles a las piezas	1,64 x 1,87 m2	\$17.000	2	\$ 34.000,00
<b>Autoclave</b>	Tratamiento CCA	1.2 x 12 m2	\$66.470	3	\$ 199.410,00

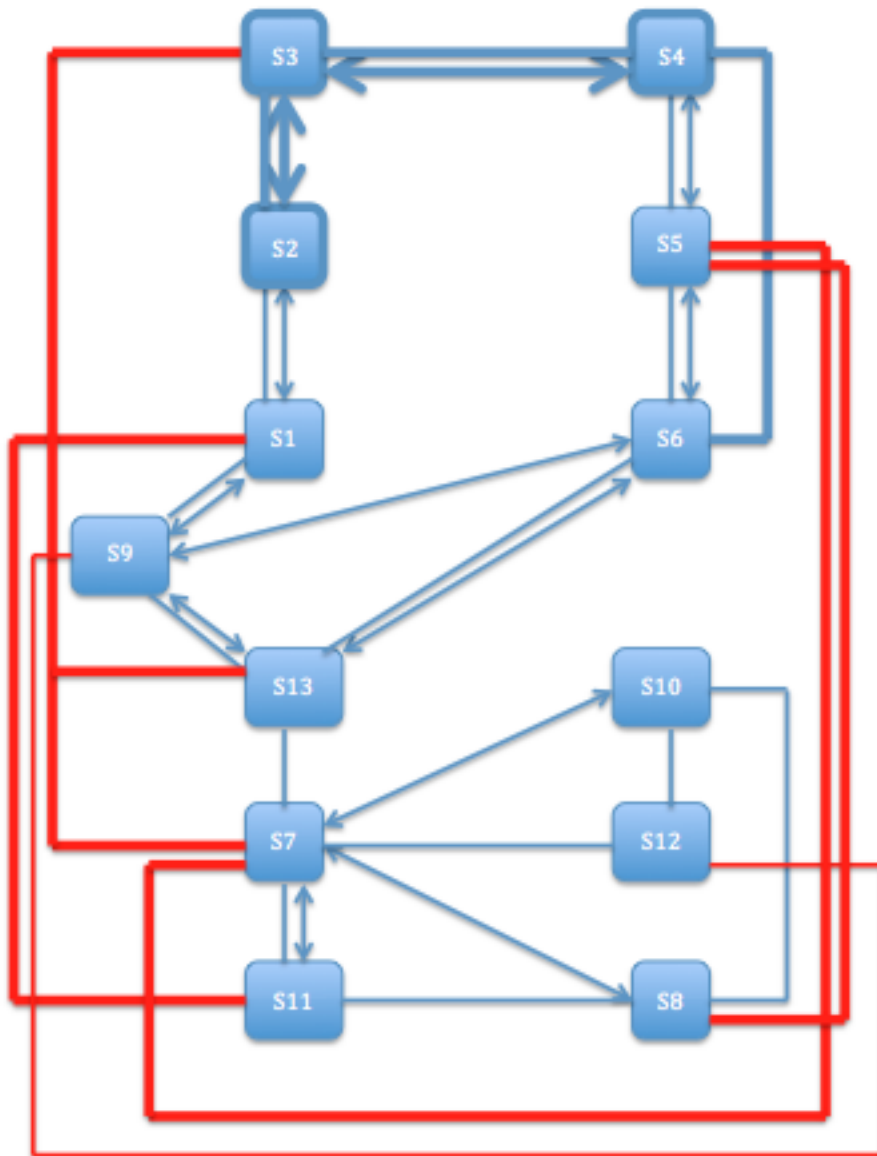
**Cuadro No. 90: Maquinaria auxiliar en el proceso productivo**

Equipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total (\$)
Tractor con pluma para cargamento de trozas	2	\$25,000	50000
Montacargas de gas o diesel	4	\$15,000	60000
Carretas de transporte	5	\$1,000	5000
Empaquetadora de plástico	1	\$8,000	8000
Afiladora múltiple para sierras	1	\$10,000	10000
Mesa equipada con prensa	2	\$500	1000
Rieles para carros en autoclave	1	\$2,000	2000
Herramientas de apoyo			10000
Mesas para medición	3	\$100	300
Mesas para encolar	2	\$2,000	4000
Mesas para clavar	4	\$50	2000
Pulidora pequeña Bosch	4	\$165	1320
Sierra circular Bosch	4	\$187	748
Pistola Clavadora	12	\$1,900	22800
Prensa manual	2	\$350	\$700.00

**Cuadro No. 91: Capacidades de las máquinas en el proceso productivo**

Área	Máquina	Carga / Volumen / Unidades por tiempo	Estimado capacidad de producción	Estimado producción mensual	Capacidad operativa
Aserradero	LT 3000	16000 board ft/día	906.13 m3/mes	882 m3	97,34%
	HR 1000	12000 board ft/día	680 m3/mes	661.5 m3	97,28%
	Guillotina para disminución largo piezas	18 cortes / minuto	207360 cortes	182436 Cortes	87,98%
	EG3000	10000 board ft/día	452 m3/mes	220.5 m3	48,78%
	Despuntadoras (Área de corte)	1 cortes/minuto	10560 cortes		Rendimiento bajo
Secado	Horno modular de secar madera	34333 board ft/Lote	972 m3	793 m3	81,58%
Fresado Y Cepillado	Fresadora universal	2 metros / min	23467 Tablas	18000 Tablas	76,70%
	Bonfanti RM 422	16 metros / minuto	212200 Tablas	182436 Tablas	85,97%
Impregnado	Autoclave	5 m3/Lote	660 m3	635 m3/mes	96,21%



**Gráfico No. 125: Distribución de la planta**

**Cuadro No. 94: Área necesaria por proceso a incluir en la planta de producción**

<b>Componente</b>	<b>Área necesaria (m2)</b>
Patio de acopio de materia prima	450
Aserradero	465
Secado de madera	811.62
Cepillado	250
Impregnado	350
Ensamblado	120
Administración	262.5
Parqueo	120
Baños públicos	76.8
Comedor	144
Bodega producto terminado	600
<b>Área total terreno a comprar</b>	<b>5400</b>

**Cuadro No. 95: Cantidad de clavos requeridos al mes**

<b>Unidad</b>	<b>Número de clavos</b>
Panel unitario	140
Paneles en casa	6440
Paneles al mes	540960
Cercha unitaria	16
Cercha en casa	176
Cercha al mes	14784
<b>Total de clavos al mes</b>	<b>555744</b>

**Cuadro No. 96: Cantidad de gussets o uniones para cerchas al mes**

<b>Unidad</b>	<b>Número de gussets</b>	<b>Costo US \$</b>
Gusset por cercha	8	4
Gusset por casa	88	44
<b>Gusset al mes</b>	<b>7392</b>	<b>3696</b>

**Cuadro No. 97: Costos por metro cuadrado para construcción de planta de producción**

<b>Construcción</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Precio (\$/m2)</b>
Galera de área de corte	15 x 20	300
Galera bodega área de corte	10 x 15	300
Área de hornos de secado	24.5 x 10.5	350
Cabina para control de hornos	6x9	350
Galera área de cepillado	10 x 15	300
Bodega producto cepillado	10 x 10	300
Galera área de máquinas autoclave	7.5 x 28	300
Galera área de ensamblaje	10 x 12	300
Área de comedor y baños	12 x 12	500
Edificio administrativo	10.5 x 25	500
Galera producto terminado	20 x 30	500

Cuadro No. 98: Tabla salarios en la planta

Área	Función	Trabajadores	Salario
Patio de acopio	Clasificación y manejo de maquinaria	2	Q7,000.00
Aserradero	Colocar trozas a alimentador LT 3000	2	Q4,648.00
	Controlador LT 3000	1	Q4,500.00
	Controlador de guillotina	1	Q2,324.00
	Transporte tablas a otras maquinas	1	Q2,324.00
	Colocar tablas en HR 1000 y EG300	2	Q2,324.00
	Recibir y apilar tablas a la salida de maquinas	2	Q2,324.00
	Encargados de revisión	2	Q2,324.00
	Encargado área	1	Q3,500.00
	<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>Q31,268.00</b>
Secado	Meter y sacar madera de horno	9	Q20,916.00
	Control de horno en operación y software	2	Q9,000.00
	<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>Q29,916.00</b>
Cepillado	Operación Cepilladora	2	Q6,000.00
	Operación torno	2	Q7,000.00
	Revisión	1	Q2,324.00
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>Q15,324.00</b>
Autoclave	Apilar, meter y sacar tablas	6	Q13,944.00
	Encargado de área y accionar autoclave	1	Q3,500.00
	<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>Q17,444.00</b>
Ensamble	Armado de paneles	8	Q18,592.00
	Armado de cerchas	4	Q9,296.00
	Control de calidad	2	Q4,648.00
	<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>Q32,536.00</b>
Administración	Secretaria	1	Q4,000.00
	Gerente de ventas	1	Q5,500.00
	Gerente de producción	1	Q5,500.00
	Gerente de compras	1	Q5,500.00
	Gerente general	1	Q7,000.00
	Colaboradores	4	Q16,000.00
	<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>Q43,500.00</b>
	Encargados bodega producto terminado	2	Q4,648.00
	Porteros	2	Q4,648.00
	Mantenimiento	2	Q4,648.00
	<b>Total</b>	<b>64</b>	<b>Q183,932.00</b>

**Cuadro No. 99: Mano de obra en el área de producción**

Función	Cantidad	Salario mensual	Bono incentivo	Total	Prestaciones	Prestaciones total	Salario fijo total
Clasificación y manejo de maquinaria	2	Q3.250,00	250	\$ 437,50	55,43125	110,86	\$ 875,00
Colocar trozas a alimentador LT 3000	2	Q2.074,00	250	\$ 290,50	36,80635	73,61	\$ 581,00
Controlador LT 3000	1	Q3.250,00	250	\$ 437,50	55,43125	55,43	\$ 437,50
Controlador de guillotina	1	Q2.074,00	250	\$ 290,50	36,80635	36,81	\$ 290,50
Transporte tablas a otras maquinas	1	Q3.250,00	250	\$ 437,50	55,43125	55,43	\$ 437,50
Colocar tablas en HR 1000 y EG300	2	Q2.074,00	250	\$ 290,50	36,80635	73,61	\$ 581,00
Recibir y apilar tablas a la salida de maquinas	2	Q3.250,00	250	\$ 437,50	55,43125	110,86	\$ 875,00
Encargados de revisión	2	Q2.074,00	250	\$ 290,50	36,80635	73,61	\$ 581,00
Encargado área	1	Q3.250,00	250	\$ 437,50	55,43125	55,43	\$ 437,50
Meter y sacar madera de horno	9	Q2.074,00	250	\$ 290,50	36,80635	331,26	\$ 2.614,50
Control de horno en operación y software	2	Q3.250,00	250	\$ 437,50	55,43125	110,86	\$ 875,00
Operación Cepilladora	2	Q2.074,00	250	\$ 290,50	36,80635	73,61	\$ 581,00
Operación torno	2	Q3.250,00	250	\$ 437,50	55,43125	110,86	\$ 875,00
Revisión	1	Q2.074,00	250	\$ 290,50	36,80635	36,81	\$ 290,50
Apilar, meter y sacar tablas	6	Q3.250,00	250	\$ 437,50	55,43125	332,59	\$ 2.625,00
Encargado de área y accionar autoclave	1	Q2.074,00	250	\$ 290,50	36,80635	36,81	\$ 290,50
Armado de paneles	8	Q3.250,00	250	\$ 437,50	55,43125	443,45	\$ 3.500,00
Armado de cerchas	4	Q2.074,00	250	\$ 290,50	36,80635	147,23	\$ 1.162,00
Control de calidad	2	Q3.250,00	250	\$ 437,50	55,43125	110,86	\$ 875,00
Mantenimiento	2	Q2.074,00	250	\$ 290,50	36,80635	73,61	\$ 581,00
Total salario							\$ 21.819,11

**Cuadro No. 100: Inversión inicial de la planta**

Inversión inicial	Costo US \$
Infraestructura	\$921,187.00
Maquinaria y equipo	\$895,050.00
Terreno	\$563,220.00
<b>Total</b>	<b>\$2,379,457.00</b>

**Cuadro No. 101: Amortización del préstamo**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Saldo inicial	1500000	1350000	1200000	1050000	900000	750000	600000	450000	300000	150000
Amortización	150000	150000	150000	150000	150000	150000	150000	150000	150000	150000
Saldo final	1350000	1200000	1050000	900000	750000	600000	450000	300000	150000	0
Tasa de interés	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Intereses	75000	67500	60000	52500	45000	37500	30000	22500	15000	7500

**Cuadro No. 102: Costo unitario del combo de piezas a producir por casa**

Costo de producción	US \$
Costo materia prima directa e indirecta	\$ 77.287,06
Costo energía eléctrica	\$ 8.006,13
Costo mano de obra directa e indirecta	\$ 21.819,11
Costo mantenimiento maquinaria mes	\$ 17.302,56
Costo de transporte	\$ 12.572,14
<b>Costo toal</b>	<b>\$ 136.986,99</b>
<b>Costo unitario</b>	<b>\$ 1.630,80</b>

**Cuadro No. 103: Precios spot de energía en Guatemala para los últimos 5 años y promedio del año en curso**

Histórico anual precios spot	US\$ MW MES	% variación
2007	105,33	
2008	120,97	14,85%
2009	103,24	-14,66%
2010	103,96	0,70%
2011	132,55	27,50%
2012	151,62	14,39%
<b>Promedio</b>	<b>119,61</b>	<b>8,56%</b>

**Cuadro No. 104: Aumento en los salarios diarios en Guatemala en los últimos 5 años**

Aumento salarios	Salario diario
2008	67,46
2009	73,27
2010	78,9
2011	89,75
2012	96,81
<b>Promedio</b>	<b>9,47%</b>

**Cuadro No. 105: Depreciaciones de los activos de la empresa**

	Precio unitario	Unidades requeridas	Total	Valor en US \$	% dep.	1	2	3
Computadoras	4000	8	32000	4000	33%	1,333	1,333	1,334
Impresoras	1500	2	3000	375	20%	75	75	75
Mesas	2000	8	16000	2000	20%	400	400	400
Sillas	800	12	9600	1200	20%	240	240	240
Mesas	700	10	7000	875	20%	175	175	175
Sillas	300	64	19200	2400	20%	480	480	480
Infraestructura				820537.5	5%	41,027	41,027	41,027
Maquinaria y equipo				898748	20%	179,750	179,750	179,750
						223,480	223,480	223,480

	4	5	6	7	8	9	10
Computadoras							
Impresoras	75	75					
Mesas	400	400					
Sillas	240	240					
Mesas	175	175					
Sillas	480	480					
Infraestructura	41,027	41,027	41,027	41,027	41,027	41,027	41,027
Maquinaria y equipo	179,750	179,750					
	222,146	222,146	41,027	41,027	41,027	41,027	41,027

Cuadro No. 106: Flujo de efectivo para margen de utilidad del 35%

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>PROYECCIONES FINANCIERAS</b>										
(Expresado en US\$)										
Ventas	2,508,919	2,596,731	2,687,617	2,781,684	2,879,042	2,979,809	3,084,102	3,192,046	3,303,767	3,419,399
Costo de ventas	1,630,797	1,687,875	1,746,951	1,808,094	1,871,378	1,936,876	2,004,666	2,074,830	2,147,449	2,222,610
Utilidad bruta en ventas	878,122	908,856	940,666	973,589	1,007,665	1,042,933	1,079,436	1,117,216	1,156,319	1,196,790
<u>Gastos de operación y administración:</u>										
Salarios	109,742	120,144	131,532	144,000	157,649	172,592	188,951	206,861	226,468	247,934
IGSS Patronal	10,917	11,952	13,085	14,325	15,683	17,170	18,797	20,579	22,529	24,665
Energía eléctrica	2,365	2,568	2,788	3,026	3,285	3,566	3,871	4,202	4,562	4,952
Agua, teléfono, internet y otros	6,900	7,142	7,391	7,650	7,918	8,195	8,482	8,779	9,086	9,404
Insumos de oficina	2,330	2,411	2,496	2,583	2,673	2,767	2,864	2,964	3,068	3,175
Depreciaciones	228,512	228,512	228,513	227,179	227,179	46,059	46,059	46,059	46,059	46,059
Total de gastos de operación y administración	360,767	372,729	385,804	398,763	414,387	450,348	469,024	489,444	511,772	536,189
Utilidades en operación	517,355	536,127	554,862	574,826	593,278	592,585	610,412	627,773	644,547	660,601
<u>Gastos financieros:</u>										
Intereses	75,000	67,500	60,000	52,500	45,000	37,500	30,000	22,500	15,000	7,500
Utilidades antes de impuestos	442,355	468,627	494,862	522,326	548,278	555,085	580,412	605,273	629,547	653,101
Impuestos	26,541	32,804	34,640	36,563	38,379	40,256	42,178	44,149	46,166	48,227
Utilidad neta	415,814	435,823	460,221	485,764	509,899	514,829	538,234	561,124	583,381	604,874
Margen de utilidad	16.57%	16.78%	17.12%	17.46%	17.71%	17.96%	18.21%	18.46%	18.71%	18.96%
Depreciaciones		228,512	228,513	227,179	227,179	46,059	46,059	46,059	46,059	46,059
Capital de Trabajo		(584,045)								
CAPEX		(2,379,457)								
Inversión inicial		1,500,000								
Deuda		(1,463,502)								
FCN		494,326	538,734	562,942	587,078	598,288	621,843	644,963	667,538	689,443





Gráfico No. 126: Partes a producir de la casa modelo

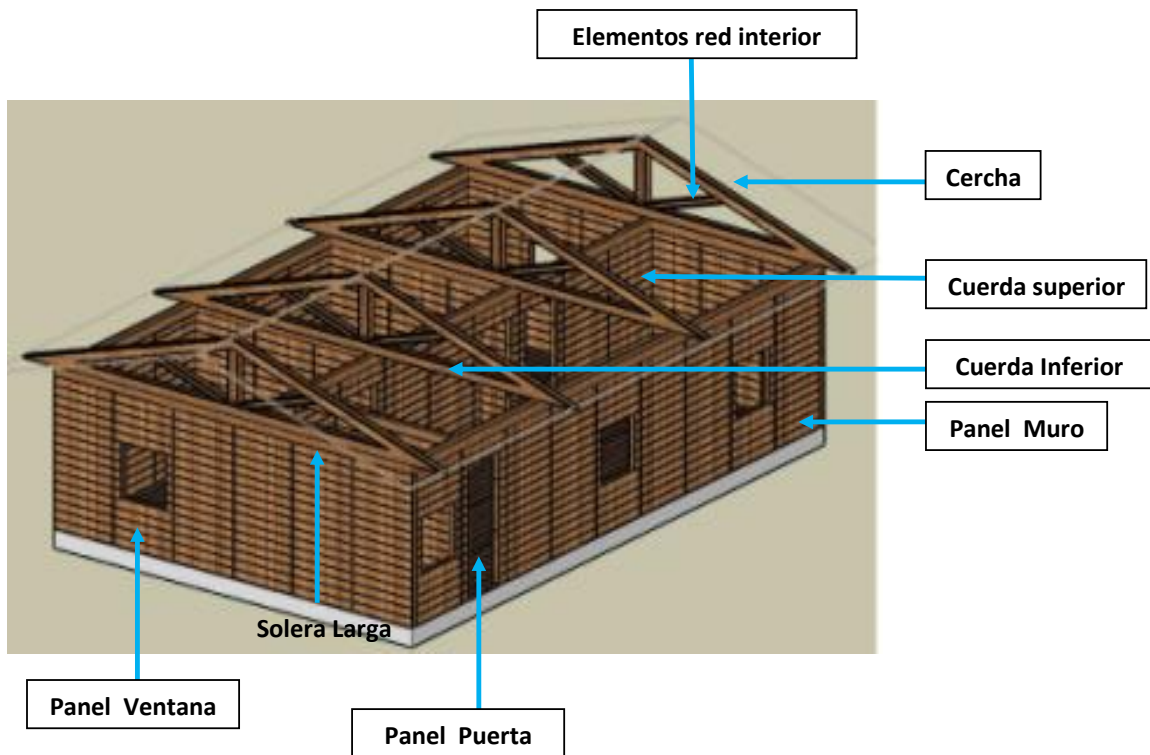


Gráfico No. 127: Vista preliminar de casa propuesta

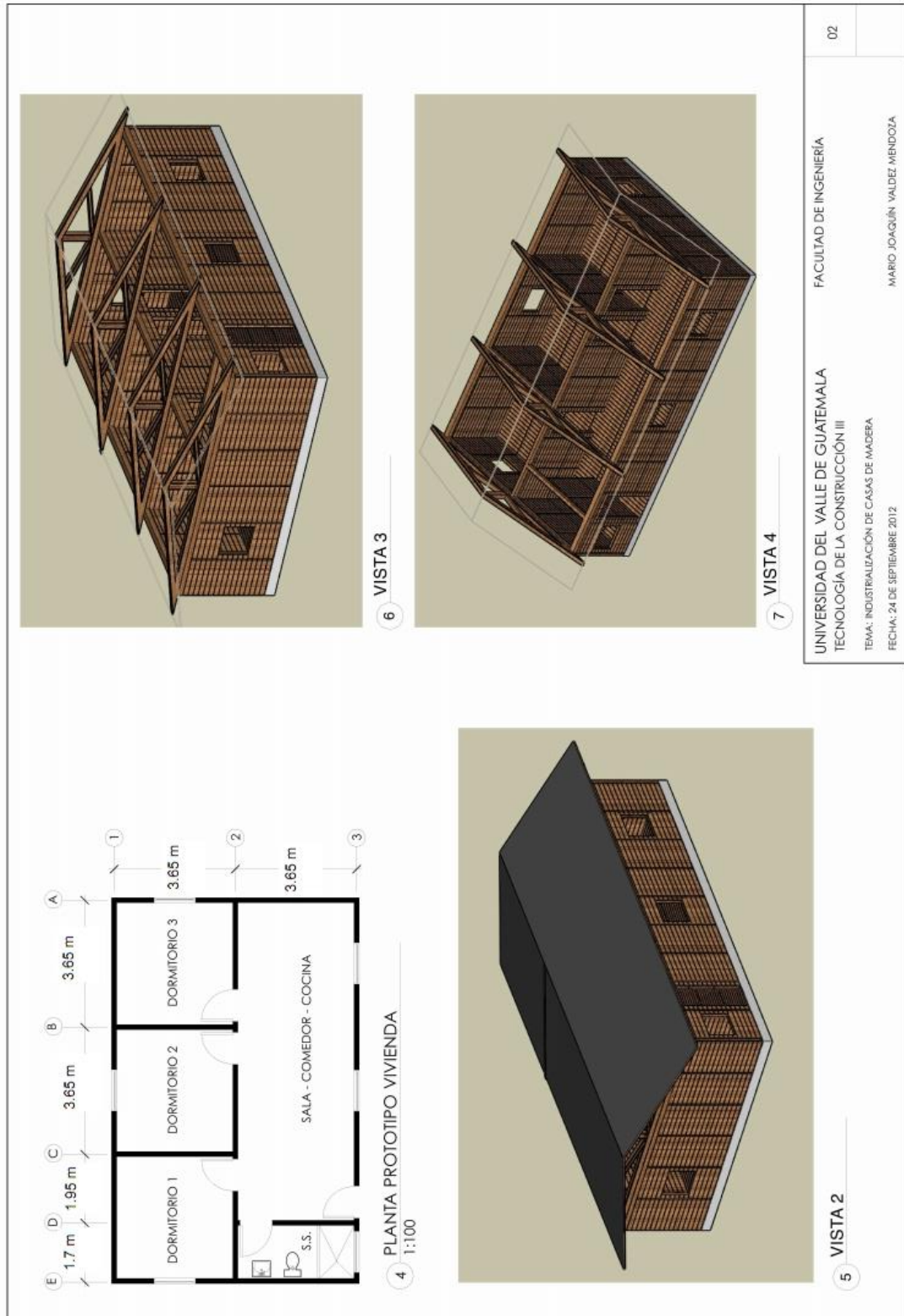


Gráfico No. 128: Layout de la planta de producción

