

Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Postgrado. Maestrías en Madera, Celulosa y Papel

Maestranda
Constantino Zaderenko

Determinación de tiempos de secado por difusión en cámaras convencionales para *Pinus taeda* implantado en Misiones

**Tesis de Maestría presentada para obtener el título de “Magíster en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel”
OTM**

Directora
Mter. Ing. José María paz

Co-Director
Dra. Graciela Inés Bolzón de Muñiz

Posadas, 2000



Esta obra está licenciada bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

**DETERMINACIÓN DE TIEMPOS DE SECADO POR
DIFUSIÓN EN CÁMARAS CONVENCIONALES PARA
Pinus taeda IMPLANTADO DE MISIONES**

CONSTANTINO ZADERENKO

DIRECTOR : Mter. Ing. José María Paz

CODIRECTOR : Dra. Graciela Inés Bolzón de Muñiz

**Tesis presentada a la Universidad Nacional de Misiones
como exigencia parcial de la Maestría en Tecnología de
la Madera, Celulosa y Papel.**

2000

A Irene, mi madre.

En memoria.

AGRADECIMIENTOS

Aquellos que conocen las dificultades que se deben superar para concretar un trabajo de esta naturaleza, podrán valorar adecuadamente todo el agradecimiento que quiero expresar a las personas que colaboraron en su realización

A mis directores de Tesis, Ing. José María Paz y Dra. Graciela Inés Bolzón de Muñiz quienes me alentaron y brindarnos apoyo y orientación en todo momento.

A la Empresa Puerto Laharrague y en especial a su Gerente General, el Ing. Juan Manuel Laxague, por permitir la realización de los ensayos de secado en sus instalaciones y autorizar la participación del personal del aserradero, sin cuyo interés y colaboración no se hubiesen podido obtener los datos necesarios para este trabajo.

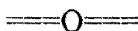
A los docentes evaluadores Mter. Ing. Luis Delfederico, Dra. María Cristina Area, Mter. Ing. Miguel López, Mter. Ing. George Mattos, Ing. Juan C: Kozarik y Mter. Ing. Obdulio Pereyra por el valioso tiempo empleado en la corrección y aporte de sugerencias para la Tesis.

A los Sres. Ing. Daniel Videla, Sr. Néstor Steitzer y Prof. Nicolás Rudolph, por su dedicación en la realización de los ensayos y al Ing. Luis Grance por mejorar las imágenes de la presentación.

A los profesores y compañeros de los cursos de maestría, quienes hicieron gratas las horas compartidas en el estudio.

A la Ing. Alicia Violeta Bohren por su colaboración y aliento en el estudio de la Maestría.

A todos ellos y a muchos otros, que a pesar de no haber sido nombrados, contribuyeron de una u otra forma a la concreción de esta Tesis, mi mas profundo agradecimiento.



RESUMEN

El secado de la madera es un proceso importante para su conservación, estabilidad dimensional, resistencia mecánica y posteriores procesos de remanufactura. Las cámaras de mayor aplicación en la industria de la madera son de temperatura convencional, mientras que el secado en cámaras de alta temperatura se limita a madera estructural.

El proceso se controla siguiendo programas que definen condiciones de temperatura y humedad relativa que se van modificando en función del contenido de humedad alcanzado por la madera o del tiempo transcurrido lo que provoca la eliminación gradual del contenido de humedad de la madera. El avance de programas por tiempo resulta más práctico por razones operativas y económicas. La determinación de programas de secado con avance por tiempo se realiza empleando el método de prueba y error para conocer el comportamiento de la madera y de la cámara de secado lo que demanda repetidos ensayos, pone en riesgo la calidad de grandes volúmenes de madera y reduce la producción de madera seca durante ese período.

La aplicación de la ecuación, que se deduce de considerar el secado de la madera como un proceso de difusión pura, permite acelerar la obtención de programas de secado con avance por tiempo y la evaluación de la eficiencia de programas en uso. Esta ecuación, propuesta por Tuttle en 1925, fue desarrollada y aplicada por Kollmann en 1935 y por Hildebrand en 1970. Malmquist profundizó los estudios de esta tema entre 1974 y 1991 y aplicó con éxito el concepto de secado por difusión en la confección de programas con avance por tiempo, que se están utilizando en Suecia desde el año 1981.

En el presente trabajo se realizó el ajuste estadístico de la ecuación para la determinación de tiempo, del modelo matemático de secado por difusión, que relaciona la humedad inicial, el espesor de la madera y los parámetros del programa de secado con la duración de este proceso.

Se trabajó con muestras de *Pinus taeda* de una forestación de 14 años de la localidad de Montecarlo, Misiones. Se seleccionaron tablas de diferente contenido de humedad inicial y espesores en escuadrías standard de ½" (15 mm) a 2" (57 mm).

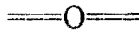
Todos los ensayos se realizaron a escala industrial en una cámara de 120 m³ de moderna tecnología, con temperaturas de secado de 70°C, 80°C y 90°C y velocidad de circulación de aire de 4 m/s.

Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente mediante análisis de regresión no lineal, y se obtuvo un 96 % de ajuste de la ecuación.

La ecuación obtenida, que permite estimar dentro de los niveles analizados de las variables, en cámaras convencionales, el tiempo "z" de secado de *Pinus taeda* implantado de la provincia de Misiones es:

$$z = \frac{1}{0,0499} \cdot \ln\left(\frac{CHi}{CHf}\right) \cdot \left(\frac{e}{25}\right)^{0,45} \cdot \left(\frac{65}{\vartheta}\right)^{0,58} \cdot \left(\frac{8}{C_s}\right)^{0,32}$$

A efectos de facilitar la aplicación práctica de esta ecuación, se propone un método cuyo objetivo es reducir los tiempos de secado en forma significativa, sin modificar la calidad de secado, con la consiguiente reducción de costos operativos, y de instalaciones de secado.



CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	iv
CONTENIDO.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE FOTOS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	xiv
CAPITULO 1 – INTRODUCCION.....	1
1.1 Fundamentos del trabajo	1
1.2 Características y propiedades del <i>Pinus taeda</i>	4
1.2.1 Disponibilidad y utilización del <i>Pinus taeda</i>	4
1.2.2 Estructura microscópica de la madera de <i>Pinus taeda</i>	5
1.2.3 Propiedades físicas de la madera relacionadas con el secado	9
1.3 Teoría del proceso de secado	18
1.3.1 Generalidades.....	18
1.3.2 Régimen de secado capilar por encima del PSF	20
1.3.3 Secado en el PSF.....	23
1.3.4 Régimen de secado por difusión debajo del PSF.....	23
1.3.5 Difusión de agua en la madera.....	26
1.3.6 Cálculo del tiempo de secado por difusión.....	30
1.3.6.1 Influencia de la humedad de la madera en el secado por difusión	32
1.3.6.2 Influencia de la densidad aparente.....	33
1.3.6.3 Influencia del espesor de la madera	36
1.3.6.4 Influencia de la temperatura	37

1.3.6.5 Influencia de la humedad relativa del aire y de la humedad de equilibrio.....	39
1.3.6.6 Influencia de la velocidad del aire.....	40
1.4 Secado industrial de la madera.....	42
1.4.1 Cámaras de secado.....	44
1.4.2 Programas de secado.....	46
1.4.3 Calidad del secado industrial.....	49
1.5 Objetivos.....	51
1.5.1 Objetivo general.....	51
1.5.2 Objetivos específicos.....	51
CAPITULO 2 – MATERIALES Y METODOS.....	52
2.1 Muestras y probetas.....	52
2.1.1 Muestras de secado.....	52
2.1.2 Probetas de contenido de humedad, densidad y PSF.....	53
2.1.3 Muestras de tenedor para determinación de tensiones de secado.....	54
2.2 Instrumentos de medición y equipos utilizados.....	55
2.2.1 Instrumentos de medición y equipos de laboratorio.....	55
2.2.2 Instrumentos de medición y equipos de campo.....	56
2.2.3 Cámara de secado.....	56
2.3 Metodología.....	60
2.3.1 Determinación de densidad aparente del <i>Pinus taeda</i>	60
2.3.2 Determinación de punto de saturación de las fibras.....	61
2.3.3 Programas de secado empleados en los ensayos.....	63
2.3.4 Determinación de la pérdida de peso de las muestras.....	65
2.3.5 Determinación de contenido de humedad de las muestras.....	66
2.3.6 Calidad de secado.....	67
2.3.7 Ajuste de la ecuación de tiempo de secado.....	68

2.3.8 Análisis estadístico.....	69
2.3.9 Plan de actividades.....	71
CAPITULO 3 – RESULTADOS Y DISCUSION	72
3.1 Tiempo de secado de <i>Pinus taeda</i>	72
3.2 Aplicación de la ecuación de tiempo de secado por difusión.....	81
3.3 Densidad de <i>Pinus taeda</i>	82
3.4 Punto de saturación de las fibras de <i>Pinus taeda</i>	83
3.5 Calidad del secado.....	84
CAPITULO 4 - CONCLUSIONES	86
CAPITULO 5 - BIBLIOGRAFIA.....	88
ANEXO 1 - DENSIDAD APARENTE <i>Pinus taeda</i>	94
ANEXO 2 - PUNTO DE SATURACIÓN DE LAS FIBRAS <i>Pinus taeda</i>	96
ANEXO 3 - PROGRAMAS DE SECADO	98
ANEXO 4 - PESO ANHIDRO DE MUESTRAS	101
ANEXO 5 - PESO DE MUESTRAS	106
ANEXO 6 - CONTENIDO DE HUMEDAD DE MUESTRAS	117
ANEXO 7 - TIEMPOS DE SECADO <i>Pinus taeda</i>	128
ANEXO 8 - CALIDAD DEL SECADO	162

LISTA DE TABLAS

1.1	Dimensiones transversales de células de <i>Pinus taeda</i> (Barefoot et al.).....	10
3.1	Análisis de regresión de la ecuación de tiempos de secado	75
3.2	Densidad de <i>Pinus taeda</i>	83
3.3	Punto de saturación de las fibras de <i>Pinus taeda</i>	84
A1.1	Densidad aparente <i>Pinus taeda</i>	95
A2.1	Punto de saturación de las fibras de <i>Pinus taeda</i>	97
A3.1	Programa TAEDA370, P. Laharrague SA	99
A3.2	Programa TAEDA380, P. Laharrague SA	99
A3.3	Programa TAEDA390, P. Laharrague SA	100
A3.4	Programa convencional <i>Southern pine</i> 25 mm (AWD).....	100
A4.1	Peso anhidro de muestras (ensayo preliminar).....	102
A4.2	Peso anhidro de muestras secadas a 70°C.....	103
A4.3	Peso anhidro de muestras secadas a 80°C.....	104
A4.4	Peso anhidro de muestras secadas a 90°C.....	105
A5.1	Peso de muestras, ensayo a 80°C, espesor 26 mm, preliminar	107
A5.2	Peso de muestras, ensayo a 80°C, espesores 22 y 15 mm	108
A5.3	Peso de muestras, ensayo a 80°C, espesores 57 y 42 mm	109
A5.4	Peso de muestras, ensayo a 80°C, espesor 26 mm	110
A5.5	Peso de muestras, ensayo a 90°C, espesores 56 y 38 mm	111
A5.6	Peso de muestras, ensayo a 90°C, espesores 15 y 26 mm	112
A5.7	Peso de muestras, ensayo a 90°C, espesor 20 mm	113
A5.8	Peso de muestras, ensayo a 70°C, espesores 57 y 38 mm	114
A5.9	Peso de muestras, ensayo a 70°C, espesores 26 y 20 mm	115
A5.10	Peso de muestras, ensayo a 70°C, espesor 15mm	116
A6.1	CH de muestras, ensayo a 80°C, espesor 28 mm, preliminar.....	118
A6.2	CH de muestras, ensayo a 80°C, espesores 22 y 15 mm.....	119
A6.3	CH de muestras, ensayo a 80°C, espesores 57 y 42 mm	120
A6.4	CH de muestras, ensayo a 80°C, espesor 28 mm	121
A6.5	CH de muestras, ensayo a 90°C, espesores 56 y 38 mm	122
A6.6	CH de muestras, ensayo a 90°C, espesores 15 y 26 mm	123

A6.7	CH de muestras, ensayo a 90°C, espesor 20 mm	124
A6.8	CH de muestras, ensayo a 70°C, espesores 57 y 38 mm	125
A6.9	CH de muestras, ensayo a 70°C, espesores 26 y 20 mm	126
A6.10	CH de muestras, ensayo a 70°C, espesor 15 mm	127
A7.1	Tiempo de secado, espesor 15 mm, 70°C (a)	129
A7.2	Tiempo de secado, espesor 15 mm, 70°C (b)	130
A7.3	Tiempo de secado, espesor 20 mm, 70°C (a)	131
A7.4	Tiempo de secado, espesor 20mm, 70°C (b)	132
A7.5	Tiempo de secado, espesor 26 mm, 70°C (a)	133
A7.6	Tiempo de secado, espesor 26 mm, 70°C (b)	134
A7.7	Tiempo de secado, espesor 38 mm, 70°C (a)	135
A7.8	Tiempo de secado, espesor 38 mm, 70°C (b)	136
A7.9	Tiempo de secado, espesor 57 mm, 70°C (a)	137
A7.10	Tiempo de secado, espesor 57 mm, 70°C (b)	138
A7.11	Tiempo de secado, espesor 15 mm, 80°C (a)	139
A7.12	Tiempo de secado, espesor 15 mm, 80°C (b)	140
A7.13	Tiempo de secado, espesor 22 mm, 80°C (a)	141
A7.14	Tiempo de secado, espesor 22 mm, 80°C (b)	142
A7.15	Tiempo de secado, espesor 28 mm, 80°C (a)	143
A7.16	Tiempo de secado, espesor 28 mm, 80°C (b)	144
A7.17	Tiempo de secado, espesor 42 mm, 80°C (a)	145
A7.18	Tiempo de secado, espesor 42 mm, 80°C (b)	146
A7.19	Tiempo de secado, espesor 57 mm, 80°C (a)	147
A7.20	Tiempo de secado, espesor 57 mm, 80°C (b)	148
A7.21	Tiempo de secado, espesor 15 mm, 90°C (a)	149
A7.22	Tiempo de secado, espesor 15 mm, 90°C (b)	150
A7.23	Tiempo de secado, espesor 20 mm, 90°C (a)	151
A7.24	Tiempo de secado, espesor 20 mm, 90°C (b)	152
A7.25	Tiempo de secado, espesor 26 mm, 90°C (a)	153
A7.26	Tiempo de secado, espesor 26 mm, 90°C (b)	154
A7.27	Tiempo de secado, espesor 38 mm, 90°C (a)	155
A7.28	Tiempo de secado, espesor 38 mm, 90°C (b)	156

A7.29	Tiempo de secado, espesor 57 mm, 90°C (a)	157
A7.30	Tiempo de secado, espesor 57 mm, 90°C (b)	158
A7.31	Tiempo de secado, espesor 26 mm, preliminar, 80°C (a)	159
A7.32	Tiempo de secado, espesor 26 mm, preliminar, 80°C (b)	160
A7.33	Tiempo de secado, espesor 26 mm, preliminar, 80°C (c)	161
A8.1	Defectos de secado, Pinus taeda, ensayo 1.....	163
A8.2	Defectos de secado, Pinus taeda, ensayo 2	164
A8.3	Defectos de secado, Pinus taeda, ensayo 3.....	165
A8.4	Defectos de secado, Pinus taeda, ensayo 4.....	166

LISTA DE FIGURAS

1.1 Estructura microscópica del <i>Pinus taeda</i> (elementos celulares)	6
1.2 Traqueida de leño temprano	6
1.3 Traqueida de leño tardío	6
1.4 Par de puntuaciones areoladas	8
1.5 Secado de traqueidas	21
2.1 Esquema de corte de tablas para obtención de muestras y probetas	53
2.2 Esquema de corte de probetas (peso anhidro y tenedor).....	54
2.3 Probetas de tenedor	55
2.4 Corte transversal de secadero American.....	58
2.5 Carrito portamuestras.....	59
2.6 Ubicación de los carritos dentro del secadero.....	60
2.7 Programa de secado TAEDA380	63
3.1 Curvas de secado de <i>Pinus taeda</i> para tres espesores de madera.....	73
3.2 Probabilidad normal de residuos	76
3.3 Tiempos de secado observados versus tiempos predichos.....	76
3.4 Tiempo de secado en función del contenido de humedad	77
3.5 Tiempo de secado en función del espesor y contenido de humedad	78
3.6 Tiempo de secado en función de la temperatura y potencial de secado	80
3.7 Determinación del tiempo de secado (función de CHi y temperatura).....	82
3.8 Gráfico de dispersión (densidad).....	82
3.9 Gráfico de dispersión (punto de saturación de las fibras).....	83

LISTA DE FOTOS

1.1 Vista del secadero convencional utilizado para los ensayos	44
2.1 Balanza de campo	56
2.2 Frente de la cámara de secado American de 120 m ³	57
2.3 Ventilador axial del secadero	58
2.4 Maniobra de carritos	65
3.1 Carritos portamuestras	72
3.2 Carrito portamuestras en secadero industrial	73
3.3 Secadero industrial cargado con madera de <i>Pinus taeda</i>	74
3.4 Probetas de tenedor	85

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

CH : Contenido de humedad

CHE : Contenido de humedad de equilibrio

CHf : Contenido de humedad final

CHi : Contenido de humedad inicial

CIFIC : Compañía Industrial Fabricante de Instrumentos de Control

DBH : Depresión de bulbo húmedo

Ed : Edición

EEUU : Estados Unidos de América

Esp.: Espesor

et al.: y otros autores

Fig.: Figura

ha : Hectárea

HR : Humedad relativa

IRAM : Instituto Argentino de Normalización

pp. : Página

PSF : Punto de saturación de las fibras

SAGPyA : Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación.

TBH : Temperatura de bulbo húmedo

TBHf : Temperatura de bulbo húmedo final

TBHi : Temperatura de bulbo húmedo inicial

TBS : Temperatura de bulbo seco

TBSf : Temperatura de bulbo seco final

TBSi : Temperatura de bulbo seco inicial

vs : Versus

CAPITULO 1 - INTRODUCCION

1.1 Fundamentos del trabajo

La economía forestal a partir de los bosques implantados de coníferas constituye aproximadamente un 50 % de la actividad económico productiva de la provincia de Misiones. La madera de mayor diámetro se procesa en aserraderos y los raleos se destinan a la industria de la pasta celulósica. El *Pinus taeda* es, en esta Provincia, la especie más utilizada en la industria del aserrado, predominando sobre el *Pinus elliottii*, que le sigue en importancia en las reforestaciones. (1)

Aproximadamente las dos terceras partes de los aserraderos de la provincia de Misiones trabajan con madera proveniente de bosques implantados, correspondiendo el resto a especies nativas. A partir de 1992 se observa una tendencia creciente en la exportación de maderas de coníferas y en el aumento del valor agregado de los productos, mediante procesos de remanufactura. (2)

Respondiendo a esta tendencia se está intensificando la explotación de coníferas de mayor rendimiento y cualidades, como el *Pinus taeda*, y a la vez se mejora la eficiencia de los procesos de producción. El secado es una de las etapas importantes de la industrialización de la madera por su incidencia en el costo de producción y en la valorización del producto.

La competencia en cuanto a calidad y precios de la madera, debido a la apertura de mercados, promueven la utilización y perfeccionamiento de los procesos de secado. Inciden en esto el costo del transporte, las restricciones al uso de fungicidas y el auge de los procesos de remanufactura como exigencia del mercado.

En el presente trabajo se propone un método teórico de evaluación de tiempos de secado en cámaras de temperatura convencional para *Pinus taeda* reforestado de la provincia de Misiones.

Las cámaras de secado utilizadas en la industria son casi exclusivamente de tipo convencional, que funcionan con temperaturas de hasta 90°C, se obtiene la calidad de secado requerida por los procesos de remanufactura, motivo por el cual son más utilizadas que las de alta temperatura, a pesar de la reducción de tiempos de secado que se logran en estas últimas. (3) (4)

Las cámaras de secado modernas utilizan altas velocidades de aire (> 4 m/s), dos o tres veces mayores que las usadas en décadas anteriores, con la finalidad de acelerar el proceso de secado. (5)

En países con larga trayectoria en secado de madera como EEUU, Canadá, Suecia, Finlandia, Chile, etc. predomina el empleo de programas de secado con avance por tiempo, en reemplazo de los tradicionales controlados por contenido de humedad (CH), debido al amplio conocimiento que estos poseen sobre el comportamiento de sus maderas y equipos de secado. Esta práctica facilita la programación de la producción en el sector de secado, simplifica los controles y evita la dependencia de este proceso de los medidores de contenido de humedad de la madera cuyo funcionamiento es en general poco confiable. (6)

Siguiendo el ejemplo antes mencionado, la industria de la madera de Misiones comienza a convertir sus programas de secado de avance por contenido de humedad a programas de avance por tiempo.

Actualmente la conversión de programas se realiza mediante prueba y error, por no estar definidos los parámetros de ajuste estadístico para el *Pinus taeda* implantado de Misiones que permitan el empleo de métodos analíticos para la determinación de tiempos de secado.

También existe la necesidad de poder determinar en que segmentos, de un programa de avance por tiempo, se debe comenzar y terminar el secado en función de los parámetros de la madera (humedad inicial, espesor) y del programa empleado, (temperatura máxima y potencial de secado).

El contenido de humedad inicial de la madera varía en distintas épocas del año y depende también del grado de secado al aire que esta alcanza antes de iniciar el secado en cámara.

La elección arbitraria del punto de comienzo y finalización del secado se traduce en una mayor duración del mismo, ya sea por extenderlo más de lo necesario o debido a la necesidad de reiterar segmentos del programa por no haberse alcanzado la humedad final deseada.

El empleo de la ecuación propuesta por F. F. Kollmann permite calcular el tiempo de secado en base a factores conocidos resolviendo el problema mencionado. Además permite evaluar programas existentes o preparar nuevos programas para diferentes espesores de madera, temperaturas y potenciales de secado. (7)

Esta ecuación considera el secado como un proceso de difusión pura, se deduce de la segunda ley de Fick y se puede aplicar a maderas de coníferas y latifoliadas: (7)

$$Z = \frac{1}{\alpha} \left(\ln \frac{u_b}{u_e} \right) \cdot f_a \dots f_n \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

Z : tiempo de secado [horas]

α : coeficiente que define a la madera y la cámara de secado [adimensional]

u_b : CH inicial de la madera [%]

u_e : CH final de la madera [%]

$f_a \dots f_n$: factores de corrección por espesor, temperatura, depresión de bulbo húmedo, velocidad de aire, etc.

L. Malmquist comprobó que los programas de secado recomendados, europeos y norteamericanos, pueden ser ajustados a programas basados en la solución

de la ecuación diferencial de la difusión. En Suecia se están utilizando programas de secado con avance por tiempo, basados en esta teoría, desde el año 1982. (8)

El cálculo de tiempos de secado por difusión, ofrece una base teórica para realizar los ajustes de programas de secado con mayor seguridad, reduciendo el número de pruebas necesario. Esto permite la reducción de tiempos manteniendo la calidad de secado y se traduce en una reducción de costos operativos y de inversión en equipos.

1.2 Características y propiedades del *Pinus taeda*

1.2.1 Disponibilidad y utilización del *Pinus taeda*

Según datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA), la provincia de Misiones posee 1.250.000 ha de suelos aptos. Los suelos de especial aptitud se extienden a 724.000 ha y las restantes 383.000 ha son moderadamente aptas para reforestación. Las áreas forestadas de pino suman 220.000 ha, lo que representa el 79 % del total de montes implantados. (1) (2)

El *Pinus taeda* es una de las 10 especies de los *pinos-diploxilon* miembros del género *Pinus*, familia *Pinaceae* y otras *Coniferales*, comúnmente denominadas *Pinos del Sur* que crecen principalmente en el sudeste de los Estados Unidos. Las especies *P. taeda* (loblolly), *P. enchinata* (shortleaf), *P. palustris* (longleaf) y *P. elliotii* (slash), componen el 90 % de los *Pinos del Sur* inventariados en EEUU. (9)

La especie más difundida en Misiones es el *Pinus taeda* y le sigue el *P. elliotii*. Comparado con este último, el *Pinus taeda* tiene menos resina, un fuste más recto y ramas más gruesas. Su rápido crecimiento favorecido por el clima y los suelos es de 27 m³/ha a 30 m³/ha por año, con plantas seleccionadas se llega a 40 m³/ha por año. Dicho rendimiento es superado únicamente por el *Pinus caribaea* variedad *hondurensis*, de escasa difusión por su baja resistencia a heladas. (2)

Las reforestaciones producen aproximadamente 540 m³/ha, a los 20 años, incluyendo raleos y tala rasa, los que normalmente se utilizan de la siguiente manera:

- 250 m³ se destinan a la producción de pulpa.
- 180 m³ son rollos con nudos para aserrado.
- 110 m³ de rollos sin nudos para aserrado o laminado.

Se procesan 1,2 millones de m³ de rollos provenientes de estas reforestaciones en aproximadamente 640 aserraderos, resultando un volumen de madera aserrada de aproximadamente 480.000 m³/mes. Dichos aserraderos poseen en su mayoría un alto grado de automatización incluyendo el área de secado. Los aserraderos se pueden clasificar de acuerdo a su volumen de producción en las siguientes categorías: grandes, con producción de aserrados superior a 3000 m³/mes, medianos con 2000 a 3000 m³/mes y chicos, por debajo de 2000 m³/mes. En la actualidad hay un aserradero con una producción proyectada de 15000 m³/mes, uno que alcanza 8000 m³/mes, cuatro con 2000 a 3000 m³/mes, aproximadamente 320 sobrepasan los 1000 m³/mes y el resto tiene producciones menores a 500 m³/mes. El rendimiento del aserrado es de 40 % a 60 %, dependiendo del diámetro de rollos, escuadrías producidas y método de aserrado.

La economía forestal es la primera en orden de importancia económico productiva en la provincia de Misiones, representa aproximadamente el 50 % de su producto bruto geográfico y el aporte del 55 % de la materia prima para la industria de la madera de la Argentina. (1)

1.2.2 Estructura microscópica de la madera de *Pinus taeda*

En la Fig. 1.1 se muestran los tejidos y células de un bloque de *conifera* visto a través del microscopio de luz. La madera de pino esta formada por células longitudinales llamadas traqueidas y canales de resina longitudinales. Asociadas a las anteriores se encuentran los tejidos transversales denominados radios y tejidos parenquimáticos que rodean los canales de resina.

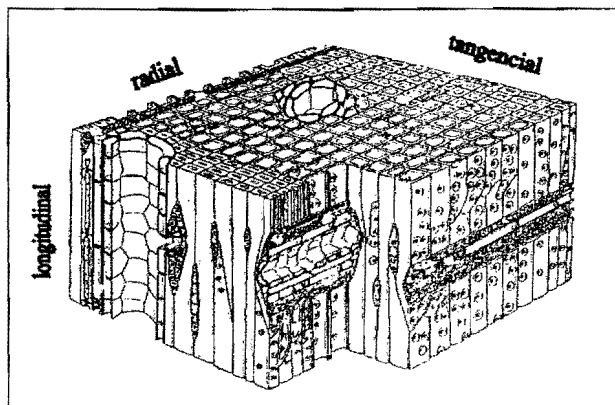


Fig. 1.1 Estructura microscópica de *Pinus taeda* mostrando sus elementos celulares.

Las traqueidas y otras células se encuentran conectadas a través de pequeñas aberturas de las paredes celulares llamadas puntuaciones, en la mayoría de las cuales, sus bordes característicos forman lo que se denomina cámaras de puntuaciones que se pueden ver en la Fig. 1.2 y Fig. 1.3, para leño temprano y tardío respectivamente.

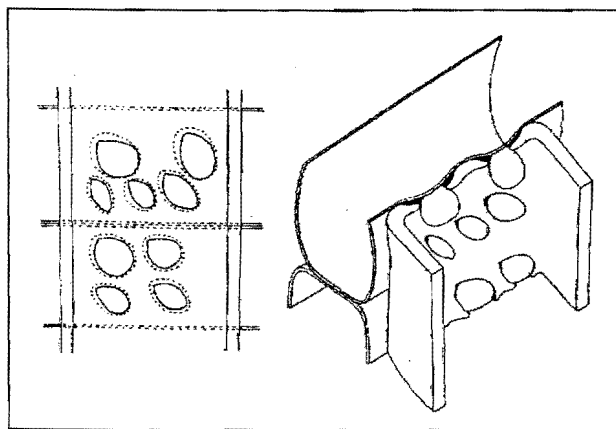


Fig. 1.2 Traqueida de leño temprano.

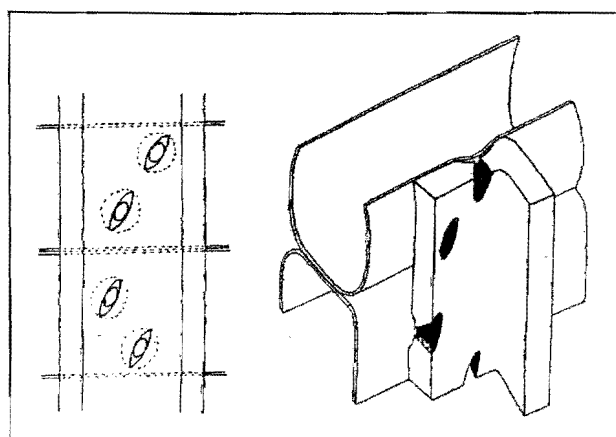


Fig. 1.3 Traqueida de leño tardío.

Las traqueidas longitudinales representan más del 90 % del volumen de la madera de los *Pinos del Sur*.

Las paredes celulares de una traqueida madura están formadas por una pared primaria y una secundaria. Esta última, a su vez, se compone de tres capas de fibrillas como elementos de sostén. La envoltura externa de las traqueidas es la pared primaria, formada por una delgada capa en la cual las microfibrillas se encuentran distribuidas en forma suelta y desordenada. Otros componentes de esta pared son las hemicelulosas y la lignina. Las paredes celulares están compuestas por elementos muy pequeños como para ser visibles a través de un microscopio de luz. El microscopio electrónico revela la existencia de hebras de microfibrillas de 100 Å a 300 Å de diámetro, formando el entramado celulósico de la pared celular. Las microfibrillas se componen a su vez de fibrillas elementales que presumiblemente son hilos de celulosa de diámetro sub-microscópico. (10)

J. D. Sullivan midió los diámetros de la fibrillas elementales, resultando 34,3 Å para el *Pinus taeda* y 38,5 Å para el *Pinus elliottii*. (11)

La pared del lumen es la capa interior de la pared secundaria. En algunas maderas tiene un revestimiento verrugoso e incrustaciones, lo que no ocurre en el *Pinus taeda*. De todas las coníferas, los pinos son los que tienen los canales de resina más grandes y numerosos, son conductos longitudinales y radiales están conectados, formando un sistema de conducción continuo. Los canales de resina están revestidos internamente de células epiteliales de paredes delgadas que segregan oleoresina. El parénquima longitudinal es de paredes delgadas y rodea a los canales resiníferos.

Según A.J. Panshin et al. los elementos horizontales denominados radios contienen todos los elementos del xilema: traqueidas radiales, parénquima radial, y células epiteliales. Los radios ocupan un 7,6 % del volumen de la madera en *Pinus taeda*. (12)

Los pares de puntuaciones son huecos abiertos hacia el lumen con una membrana externa que usualmente es común a una puntuación de la célula adyacente. Las puntuaciones crean pasajes, más o menos obstruidos, a través de los cuales los líquidos y gases se pueden mover de una célula a otra (Fig. 1.4).

La capa intercelular denominada lamela media esta compuesta principalmente por lignina que en el *Pinus taeda* representa el 28,1 %.

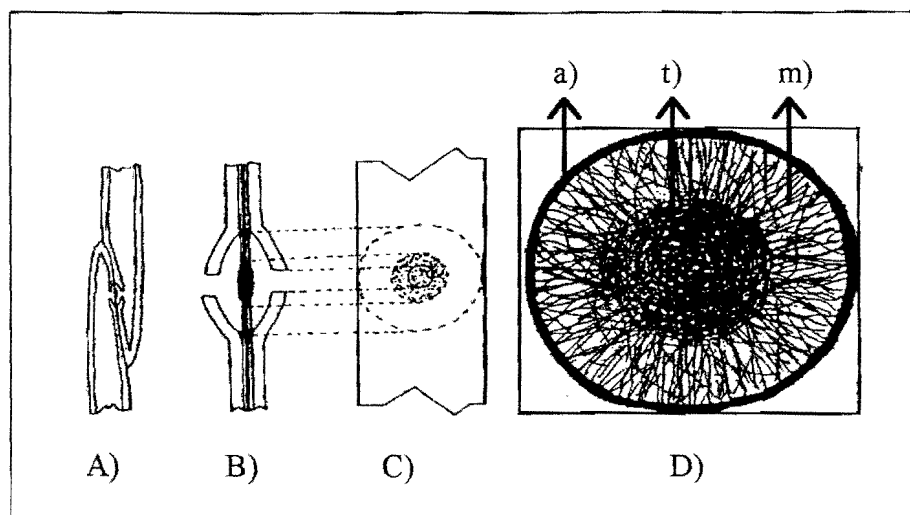


Fig. 1.4 A) Par de puntuaciones areoladas intertraqueidas, B) Detalle del mismo par de puntuaciones, en corte, C) Puntuación areolada, vista de frente, D) Detalle de la membrana de una puntuación: a) anulus, t) torus, m) margo.

H. E. Dadswell y J. W. P. Nichols indican que el largo de las traqueidas es muy importante dado que afecta a la madera en cuanto a su resistencia, textura y propiedades de adherencia. Las traqueidas casi no se contraen en el sentido longitudinal en el secado y las mas largas se contraen proporcionalmente menos. (9)

Determinaciones hechas por P. J. Kramer, B. J. Zobel et al. indican que las traqueidas del *Pinus taeda* se encuentran entre las mas largas con 3,5 mm de promedio. Se determinó que los largos de traqueidas de *Pinus taeda* de crecimiento rápido y lento no tenían diferencias significativas de longitud. (9)

Según B. J. Zobel, muchas de las diferencias de largo de traqueidas están asociadas a diferencias entre madera juvenil y madura. La madera juvenil del *Pinus taeda* se extiende hasta el décimo anillo de crecimiento. (13)

C.W. McMillin determinó que las características de la madera juvenil son traqueidas más cortas, paredes celulares más delgadas, mayor ángulo de fibrillas, y menor peso específico que en la madera madura. Un mayor ángulo de fibrillas está relacionado con traqueidas más largas y madera mas densa debida a paredes celulares más gruesas. (14)

1.2.3 Propiedades físicas de la madera relacionadas con el secado

Anisotropía

Se define como anisotropía de la madera a las diferencias de propiedades anatómicas y físico mecánicas que se presentan en las direcciones axial radial y tangencial de la madera. La anisotropía de la madera debida a la presencia de madera juvenil y madera de compresión influye en los tiempos y calidad de secado.

La madera juvenil es la cercana a la médula y se forma durante los primeros 5 a 20 años de crecimiento del árbol, se contrae más que la madera madura causando el curvado, arqueado y alabeo, al igual que la madera de compresión. Al evaluar el porcentaje de madera juvenil en árboles del mismo tamaño, se verifica que existe mayor porcentaje de madera juvenil en árboles de crecimiento rápido que en la de crecimiento lento. (15)

A. L. MacKinney y L. E. Chaiken observaron que en el *Pinus taeda* de EEUU la proporción de duramen respecto al volumen de madera comercializable varía directamente con la edad e inversamente con la rapidez de crecimiento. Por ejemplo en *Pinus taeda* de 20 a 90 años, varía de 0 % a 15 %. Su formación comienza a los 14 años, pero a los 20 sólo se pueden encontrar cantidades insignificantes. (16)

La madera de compresión se debe al crecimiento anormal que se produce en las partes inferiores de las ramas y troncos inclinados. Se distingue por un color más oscuro y mayor densidad. Se desarrolla en la parte inferior de los árboles inclinados y presenta reducida resistencia a la flexión. Su módulo de elasticidad es pequeño comparado con otras maderas de la misma densidad y se contrae excesivamente (más de 1 % en sentido longitudinal). Zobel y Haught determinaron que el *Pinus taeda*, aún cuando no crece inclinado, muestra tendencia a desarrollar cantidades importantes de madera de compresión. (17)

Según C. J. A. Shelbourne y K. S. Ritchie la densidad del leño tardío de compresión es significativamente menor que el de la madera normal, mientras que el peso específico medio de un anillo completo es igual al de la madera normal. (18)

Densidad

Según R. M. Kellog y F. F. Wangaard la densidad del tejido celular de la madera es de aproximadamente 1450 kg/m^3 , medida por desplazamiento con helio y polímeros de silicona. (19)

La densidad es inversamente proporcional al diámetro de lúmenes tanto de la madera juvenil como adulta. (9)

D. M. Smith no observó diferencias en diámetros de traqueidas de leño adulto y juvenil en *Pinus taeda* de 13 años. (9)

A. C. Barefoot publicó los valores medios de las dimensiones transversales de células de *Pinus taeda* de EEUU. Los valores se presentan en la tabla 1.1. (20)

Tabla 1.1 Dimensiones transversales de células de *Pinus taeda*, (Barefoot et al.).

Anillos contados desde la médula	espesor de pared [μm]	diámetro de lumen [μm]	diámetro de célula [μm]
	Radial	Tangencial	Tangencial
0-10	6,6	32,1	45,3
11-35	8	32,8	48,8

Según P. Koch la densidad se ve influenciada por el largo y diámetro de las células, el espesor de la pared celular, proporción de leño tardío y temprano, porcentaje de celulosa y de lignina, extractivos y trazas de metales. (9)

J. F. Goggans determinó una densidad media del *Pinus taeda* de $0,47 \text{ g/cm}^3$ y halló una densidad de $0,29 \text{ g/cm}^3$ para leño temprano y $0,63 \text{ g/cm}^3$ para leño tardío ensayando 128 árboles. (21)

Según G. Bolzón la densidad aumenta con la edad de la madera, hasta que ésta alcanza la madurez, a partir de allí la densidad permanece prácticamente constante. Por otra parte la densidad decrece a mayores alturas dentro de un árbol, es de esperar por lo tanto una alteración en los tiempos de secado en función de la edad de la madera y de la posición de la troza dentro del fuste del árbol. La densidad del *Pinus taeda* tiene un valor medio de $0,516 \text{ g/cm}^3$ a la altura de pecho y de $0,422 \text{ g/cm}^3$ en el extremo superior. (15)

C. Skaar reportando resultados obtenidos por Christiansen y Kelsey estimó que la celulosa contribuye en un 47 % en la capacidad de intercambio del agua contenida en la madera con el aire, mientras que las hemicelulosas contribuyen en un 37 % y la lignina en un 16 %. (22)

E. Choong estudiando las 10 especies de *Pinos del Sur*, sugiere que los extractivos solubles en agua se encuentran en su totalidad dentro de la pared celular, influyendo sobre la higroscopicidad y estabilidad dimensional de la madera. A su vez los extractivos insolubles permanecen confinados en los capilares gruesos, como espacios intercelulares y canales resiníferos, afectando la densidad de la madera. (23)

Permeabilidad

Se define como permeabilidad a la capacidad de la madera para permitir el pasaje de fluidos bajo la acción de una presión. El movimiento de masa de moléculas, en fluidos bajo presión, es diferente del movimiento aleatorio de moléculas aisladas durante la difusión que tienden a equalizar los gradientes de concentración. (24)

Aunque frecuentemente se generan fisuras en las paredes de las traqueidas durante el secado, las paredes primarias normalmente permanecen intactas. Las vías principales de flujo son las aberturas en las membranas de las puntuaciones entre pares de puntuaciones. (9)

Según H. D. Erickson et al. debido a la anisotropía de la madera la permeabilidad es diferente en sentido longitudinal, radial y tangencial. La permeabilidad radial y tangencial de la albura de los *Pinos del Sur* es mayor que en la mayoría de las otras especies. (25)

P. J. Bailey y Preston primero y luego R. D. Smith observaron que en las coníferas la permeabilidad es función de las puntuaciones areoladas de las traqueidas que se transforman en eficientes vías de flujo de agua. (26)

Las puntuaciones aspiradas reducen la permeabilidad de las coníferas. Este efecto es menos intenso en el leño adulto debido a la mayor rigidez del torus.

Contenido de humedad en madera verde

El agua contenida en la madera se encuentra como agua libre o capilar, agua ligada o higroscópica, y agua de constitución. El agua libre está en las cavidades celulares de la madera dándole la condición de verde. La cantidad de agua libre que puede contener una madera esta dado por el volumen de sus poros. El contenido de humedad varía entre especies, dentro de las especies y dentro de los árboles de una especie. (15)

Las comparaciones entre especies solo tienen significado cuando se realizan sobre arboles de la misma edad. Debido a la dificultad del muestreo de poblaciones enteras de diferentes especies la información sobre contenido de humedad de madera verde es escasa. E. Choong en 1969 reunió la información existente: para *Pinus taeda* de 30 años se registró un contenido de humedad de 110 % y para árboles de menos de 25 años de 155 %, observando una relación inversa con la edad. (27)

Determinaciones de A. P. M. Galvao e I. P. Jankowsky, mostraron que la madera recién cortada presenta un CH variable, que puede representar hasta dos veces su propio peso. Los poros de la madera contienen aire y agua al igual que otras sustancias y ésta gana o pierde humedad de acuerdo a su estructura anatómica y a las condiciones del ambiente al que es expuesta. En consecuencia, el peso de un trozo de madera no es constante. (28)

Según A. J. Stamm el agua ingresa libremente en la región amorfa de la celulosa donde es adsorbida por los grupos hidróxilos disponibles. En la región cristalina de la celulosa el agua es adsorbida en la superficie y no puede entrar en su estructura. (29)

Punto de saturación de las fibras

El agua ligada se encuentra en la pared celular unida por enlaces hidrógeno a los grupos oxhidrilos de celulosa y hemicelulosas primarias y en menor extensión los grupos oxhidrilos de la lignina. El agua de constitución forma parte de la materia celular de la madera y no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado. Su separación implicaría la destrucción parcial de la madera. Cuando la madera verde se seca, el agua libre abandona los lúmenes antes que el agua ligada. El contenido de humedad al cual las paredes celulares están todavía saturadas pero el agua libre abandonó las cavidades de las células se define como punto de saturación de las fibras (PSF). (9)

Según A. J. Stamm al alcanzarse el PSF se producen cambios de importancia en las propiedades físicas de la madera, que inciden en el proceso de secado como contracción, tensiones y conductividad eléctrica. (29)

H. A. Spalt expresa que a pesar de que se acepta que el PSF de la madera en general es de 30 % este varía considerablemente para distintas especies. (30)

El espectro de valores reportados para las 10 especies de *Pinos del Sur* fue revisado por E. Choong. El demuestra que la investigación basada en mediciones de

retracción produce valores de PSF que en su mayor parte caen en del rango de 25 % a 30 % para maderas con bajo contenido de extractivos. (23)

I. P. Jankowsky concluyó que un aumento en la cantidad de extractivos provoca una disminución del PSF. Las variaciones se pueden deber a diferencias en la composición química, cristalización de la celulosa, compactación de la pared celular, peso específico y contenido de extractivos. (31)

Los valores del PSF determinados también pueden variar según el método utilizado. A. J. Stamm menciona 9 métodos de determinación en madera y productos de madera. (32)

Según R. M. Kellog y F. F. Wangaard existe una correlación negativa entre densidad y PSF. (19)

El PSF decrece con la temperatura en 0,1 % por cada 1°C de aumento de temperatura.

E. Choong determinó que las coníferas de alto contenido de extractivos poseen un PSF anormalmente bajo y que cuando la madera que se seca por primera vez el PSF es más alto que en aquella que tuvo un secado previo. (23)

Contracción e hinchamiento

Cuando la madera se seca desde el PSF hasta la condición anhidra esta se contrae y cuando se humedece se produce el hinchamiento. El agua es adsorbida en capas monomoleculares en los puntos polares de las regiones no cristalinas donde las cadenas de celulosa están imperfectamente orientadas. También es adsorbida sobre la superficie de los cristales de celulosa, formando multicapas monomoleculares. En zonas de baja cristalización el agua puede estar adsorbida sobre moléculas de hemicelulosa que rodean fibrillas elementales. Cuando la madera se seca, las tensiones superficiales resultantes tienden a forzar a las moléculas de celulosa imperfectamente alineadas a aproximarse más y tomar una orientación más paralela, las paredes

celulares disminuyen su espesor mientras que los lúmenes mantienen sus dimensiones. (33)

Contenido de humedad de equilibrio

La madera es un material higroscópico que reacciona siguiendo las leyes de los cuerpos porosos. Existe una relación directa entre la temperatura, la humedad de un ambiente dado y el contenido de humedad de equilibrio (CHE) del material. La madera alcanza el CHE cuando es mantenida en un ambiente de cierta humedad relativa y temperatura constantes, debido al equilibrio entre presiones parciales de vapor en el aire ambiente y en la madera. Según Siau el CHE no se alcanza instantáneamente y el tiempo empleado depende de varios factores, tales como densidad de la madera, espesor, cantidad y naturaleza de extractivos, humedad inicial, etc. (34)

El CHE decrece levemente con el aumento de temperatura, a humedad relativa constante, a pesar de que la presión de vapor de agua aumenta rápidamente, casi dos veces por cada 10°C de aumento de temperatura. (34)

En una madera que no fue secada con anterioridad el CHE es más alto que de aquella que paso por dicho proceso. También es más alto en el proceso de desorción que en el de adsorción guardando una relación aproximada de 0,8 entre adsorción y desorción para una determinada humedad relativa. (34)

Propiedades Térmicas

Calor específico

El calor específico (C_p) está determinado por los componentes de la madera y del aire contenido en sus lúmenes, según C. W. McMillin para *Pinus taeda* en el rango de temperatura de 60°C a 140°C su valor va desde $C_p \cong 0,32$ a $0,41$ Cal / kg.°C. (35)

Coefficiente de conductividad térmica

El flujo de calor en la madera responde a las leyes de la difusión. La difusión se puede dar en régimen estacionario o transitorio. En régimen estacionario, el gradiente de temperatura sobre el espesor de la madera varía linealmente. Para el régimen estacionario se utiliza la ecuación de Fourier (1^{ra} de difusión de Fick): (36)

$$Q = k.A.Z \cdot \left[\frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{s} \right] \quad \text{Ec. 1.3}$$

Donde:

Q : cantidad de calor [Cal]

k : conductividad térmica [Cal / m² h °C]

A : área [m²]

Z : tiempo [h]

$\vartheta_1 - \vartheta_2$: diferencia de temperaturas [°C]

s : espesor [m]

El régimen transitorio durante el calentamiento o enfriamiento la madera se resuelve mediante la ecuación general de Fourier (2^{da} de difusión de Fick): (36)

$$\frac{d\vartheta}{dZ} = h_t \frac{d^2\vartheta}{dx^2} \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

$\frac{d\vartheta}{dZ}$: variación de la temperatura con respecto al tiempo

$\frac{d\vartheta}{dx}$: variación de la temperatura respecto a la distancia de la superficie externa

h_t : difusividad térmica [m²/s]

Estudios de F. B. Rowley, F. F. Kollmann, F. F. Wangaard y J. D. MacLean, solamente dan valores de la conductividad térmica transversal para los *Pinos del Sur*, relacionada con su densidad y el CH. La conductividad térmica de la madera crece con el peso específico y es poco afectada por otras características de las especies. (9)

F. F. Kollmann expresó sus resultados en forma de una ecuación, aplicable a maderas con CH del 12 %: (9)

$$k = 0,168 \cdot R_v + 0,022 \quad \text{Ec. 1.5}$$

Donde:

k : conductividad térmica [Cal/m h°C]

R_v : densidad, (peso verde /volumen verde), [g/cm³]

La conductividad térmica está relacionada positivamente con el CH. Por encima del PSF, J. D. MacLean encontró también que el efecto del contenido de humedad sobre la conductividad de calor es mayor que por debajo del PSF. Para contenido de humedad superiores al 40 % sugiere la siguiente ecuación: (37)

$$k = P_e \cdot (1,39 + 0,038 \cdot M) + 0,165 \quad \text{Ec. 1.6}$$

Donde:

k : conductividad térmica, [BTU.pulg/p².h.°F]

P_e : peso específico relativo en base seca, [adimensional]

M : contenido de humedad, [%]

La conductividad térmica de la madera es baja debido a que los lúmenes de la células contienen aire que es mal conductor de calor. (9)

Difusividad térmica

La difusividad térmica " h_t " determina el gradiente de temperatura en la madera dependiendo de los cambios de la temperatura ambiente. La difusividad térmica transversal en la madera es inversamente proporcional al contenido de humedad y a la densidad. La difusividad térmica se determina mediante la fórmula: (9)

$$h_t = \frac{k}{C_p \cdot R_u} \quad \text{Ec. 1.7}$$

Donde:

k : conductividad térmica [Cal / m. h.°C]

C_p : calor específico [Cal/ kg.°C]

R_d : densidad, (peso seco / volumen verde), [kg/dm³]

1.3 Teoría del proceso de secado

1.3.1 Generalidades

Según G. Bolzón prácticamente todos los estudios sobre el secado de la madera han sido conducidos empíricamente estableciendo bases sólidas para nuevas investigaciones en este tema. (15)

El secado de la madera es un balance dinámico entre la transferencia de calor del aire de circulación hacia la madera, la evaporación del agua desde la superficie de la madera, la difusión del agua a través de la madera y el movimiento de masa de agua libre dentro de la misma. (9)

Por encima del PSF se encuentra agua libre, en condiciones de formar gotas en los lúmenes celulares y en los capilares anchos. No es agua completamente libre, sino que se encuentra parcialmente ligada a la madera por fuerzas capilares considerables, pero pequeñas en comparación con las fuerzas que unen al agua higroscópica con el tabique celular. Por debajo del PSF el agua se encuentra, ya sea, como un líquido ligado coloidalmente en los espacios intermicelares o bien en forma de vapor en los lúmenes celulares. (38)

De acuerdo a F. F. Kollmann y W. Côté Jr, en la madera verde el agua se encuentra presente en 4 formas: (7)

- Agua capilar o libre.
- Agua higroscópica o de adsorción.
- Agua de constitución, formando parte de las moléculas.
- Vapor de agua, localizado en las aberturas naturales de la madera y movilizándose por difusión.

El secado requiere la remoción de la humedad de la superficie de la madera, así como el movimiento de la misma desde el interior hacia la superficie. El balance de estos dos fenómenos determina el efecto de los factores controlables sobre el proceso de secado. Por ejemplo, si la superficie permanece húmeda, el régimen de secado se puede aumentar incrementando la velocidad de aire. Si en cambio la superficie alcanzó el CHE, el régimen de secado dependerá de la difusión. En ambos casos, mientras que la temperatura de bulbo húmedo (TBH) permanece constante la temperatura de bulbo seco (TBS) del aire cae en proporción al agua evaporada hasta igualar la TBH cuando el aire se satura totalmente. La madera se seca de afuera hacia adentro. Durante el secado se genera un gradiente debido a que la humedad es menor en la superficie y mayor en el interior. (7)

Según C. A. Hart el perfil de humedad en una cierta etapa del secado depende de la permeabilidad de la madera. En el caso de la albura, con una alta permeabilidad en la fase líquida, el movimiento se encuentra dominado por el flujo de masa, mientras que una madera impermeable debe secar exclusivamente por difusión. Cuanto más permeable es la madera más rápidamente se secará por arriba del PSF. La velocidad de secado es proporcional a la velocidad de transferencia de calor y a la velocidad de evaporación que aumentan con el aumento de velocidad de aire y con el aumento de la DBH. (39)

Según P. Koch, para coníferas el tiempo de secado es directamente proporcional a la cantidad de agua a remover e inversamente proporcional a la velocidad de evaporación. Por lo tanto, el tiempo de secado será proporcional a: (9)

- Densidad de la madera (directa).
- Espesor de la madera (directa).
- Velocidad de aire (inversa).
- Depresión de bulbo húmedo (inversa).

La velocidad de secado no se encuentra totalmente determinada por la densidad de la madera ni por el espesor de la madera. La permeabilidad está

determinada por la estructura de las puntuaciones y no por el espesor de paredes de las células.

En el secado de maderas poco permeables no puede haber flujo de masa por encima del PSF como para sostener la evaporación. La difusión es lenta y la humedad de la superficie cae por debajo del PSF. La cantidad de agua a ser extraída es proporcional a la densidad y espesor de la madera, por lo tanto si la difusión es el factor limitante según P. Koch teóricamente el tiempo de secado debe ser proporcional a: (9)

- La inversa de la densidad al cuadrado.
- La inversa del espesor al cuadrado.
- La presión de saturación de vapor de agua.

Aún en maderas permeables la difusión asume una creciente importancia a medida que el secado se acerca al PSF. En aquellos puntos en que el CH de la madera se aproxima al PSF la difusión controla el secado y las maderas permeables y no permeables se secan a la misma velocidad. En la práctica, el secado raramente es controlado por un solo proceso. Un enfoque empírico conveniente consiste en asumir que el tiempo de secado es proporcional a la densidad y al espesor. R. Hildebrand publica valores de estos exponentes para diversas maderas. (40)

1.3.2 Régimen de secado capilar por encima del PSF

En este proceso se elimina el agua libre contenida en las cavidades de las fibras, en forma similar al flujo de agua por una cañería, impulsado por gradientes de presión. El movimiento de agua por encima del PSF es siempre un fenómeno de flujo de masas ocasionado por un gradiente de presión total. Al comienzo del secado las fuerzas de capilaridad bombean agua hacia la superficie desde donde esta se evapora. En el secado se cumplen dos procesos:

- Desplazamiento de la humedad desde el interior hacia la superficie de la madera.

- Transferencia de la humedad desde la superficie hacia el aire circundante.

El secado también se puede estudiar como un proceso de transferencia de calor, dada la gran cantidad de energía necesaria. Por lo tanto, se tiene:

- Transferencia de humedad desde el interior de la madera hacia la superficie.
- Transferencia de calor desde el aire a la superficie de la madera.

La madera recién cortada posee un CH muy por debajo del máximo posible. Existen burbujas de aire en la mayoría de los lúmenes. La presión ejercida por una de estas burbujas es igual a la presión atmosférica, más la presión del vapor contenido en la misma, menos la presión capilar en el menisco en el extremo. La presión total resultante puede ser positiva o negativa. Si las presiones fueran iguales, la burbuja permanece en equilibrio. Si en esa condición se incrementa la temperatura, la presión de la burbuja aumenta rápidamente mientras que la presión capilar decrece un poco, la burbuja presiona sobre el agua, y si las puntuaciones de la célula son permeables y la presión en la célula contigua es menor, el agua se trasladará a esta. (41)

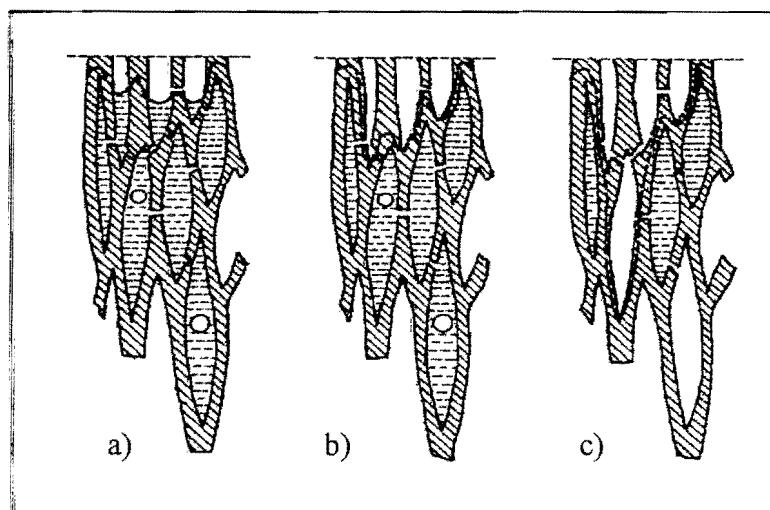


Fig. 1.5 Secado de traqueidas.

Con referencia a la Fig. 1.5 L.F. Hawley explica el secado de traqueidas como compuesto por las siguientes etapas: a) estado inicial, lúmenes llenos de agua con

burbujas de aire, b) descenso de nivel en lúmenes y secado de tabiques, c) difusión a través de paredes y expansión y traslado de burbujas de aire. (41)

El agua comienza a evaporarse cuando la madera es expuesta a un clima de secado y pierde humedad a un régimen constante hasta el PSF. El régimen de evaporación es directamente proporcional a la depresión de bulbo húmedo y a la velocidad de aire. Una cierta DBH dará lugar a la misma evaporación desde la superficie a 37,7°C (100°F) que a 71,1°C (160°F) mientras que la superficie esté húmeda. Esta superficie permanece a la temperatura de bulbo húmedo mientras exista evaporación. Al secarse la superficie, la temperatura sube y se reduce el régimen de transferencia de calor.

Según H. P. Brown et al. el agua capilar se encuentra en los lúmenes, espacios intercelulares y aberturas de puntuaciones. En estas condiciones el agua no se encuentra completamente libre porque actúan fuerzas capilares que la trasladan de las posiciones más húmedas a las menos húmedas a través de las aberturas naturales. (42)

De acuerdo a L. F. Hawley en algunas maderas sólo puede realizarse el movimiento del agua libre mediante fuerzas capilares en una extensión muy limitada, es decir, en una zona cuya profundidad no pasa de *unos pocos largos de fibra*. Por lo tanto, el agua libre en el interior de la madera se encuentra en reposo, y la evaporación principal se desarrolla en las capas externas, cuyo contenido de humedad ha descendido por debajo del PSF. (41)

El movimiento capilar se puede definir como aquel que es controlado por fuerzas de tracción, determinadas por la tensión superficial del líquido y por los radios de los capilares. Una vez que el agua es puesta en movimiento, el factor limitante para su eliminación es la permeabilidad de la madera. Para maderas permeables, el régimen de secado durante la remoción del agua capilar es función de la velocidad de circulación de aire y de su capacidad de absorber el vapor de agua que sale de la madera.

A medida que el aire se mueve a través de la pila de madera verde, la TBS cae hasta alcanzar la TBH, en correspondencia, la humedad relativa (HR) y el CHE aumentan y el régimen de secado disminuye. (43)

Hasta completar el secado debe existir un balance entre el calor entregado a la madera y el calor utilizado para evaporar el agua, más el utilizado para elevar la temperatura de la madera. Por lo tanto, la temperatura de la madera alcanzará la TBS cuando se alcance el CHE y el régimen de secado disminuya a cero.

1.3.3 Secado en el PSF

En el punto de saturación de las fibras, las cavidades de las células están vacías mientras que las paredes de las células se encuentran totalmente saturadas. El PSF marca el inicio de dos fenómenos claramente identificables y que por lo tanto sirven para su determinación:

- La madera comienza a contraerse y se producen tensiones.
- El régimen de secado se vuelve lento debido a la contracción de las fibras.

El PSF es alcanzado progresivamente en distintas capas de la madera. Cuando el contenido de humedad en la superficie de la madera alcanza el punto de saturación de las fibras, esta capa comienza a contraerse mientras que en el interior de la madera la humedad todavía se encuentra por encima del PSF y opone resistencia a la contracción de la superficie. Su valor se encuentra entre el 25 % y 35 % del contenido de humedad. (22)

1.3.4 Régimen de secado por difusión debajo del PSF

La segunda forma de agua presente en la madera es la absorbida por la celulosa y hemicelulosas de las paredes celulares, la cual es extraída mediante fenómenos de difusión. La difusión es el movimiento de moléculas individuales de agua desde el lugar donde su concentración es mayor a otro donde esta es menor, se

expresa mediante el coeficiente de difusión que está relacionado inversamente con el espesor de las paredes de las células y la densidad de la madera. La difusión es más lenta que el movimiento capilar y por lo tanto la temperatura de la superficie de la madera sube desde el valor de TBH hasta alcanzar la TBS.

El flujo de masa por debajo del PSF sólo podría ocurrir si se calienta la madera por encima del punto de ebullición. En las paredes de las células el movimiento de agua se debe a gradientes de humedad, y en los lúmenes a gradientes de presión de vapor, pero en ninguno de los casos a gradientes de presión total. (9)

En principio se encuentran disponibles los mismos caminos para la difusión de las moléculas de agua que para el flujo de agua impulsado por un gradiente de presiones, pero su contribución relativa es muy diferente. La razón es que el régimen de difusión a lo largo de un capilar de radio "r" es proporcional al área " πr^2 ", mientras que el caudal es proporcional a " πr^4 ". En consecuencia los capilares de pequeño diámetro tendrán una mayor contribución al proceso de difusión que al de permeabilidad. Asimismo, la difusión a través de las paredes de las células tendrá mayor significación que la difusión a través de las puntuaciones, simplemente porque el área de esas aberturas es pequeña comparada con el área disponible a través de las paredes celulares. (5)

W. T. Simpson cita la existencia de vapor de agua depositado en los lúmenes de las células y en los espacios ocupados inicialmente por el agua libre. Este se mueve a través del interior de los lúmenes celulares y de las aberturas que los ligan, y también por el fenómeno de difusión que se produce a consecuencia del gradiente de presión de vapor. Su contribución en cuanto a cantidad de agua puesta en movimiento en el secado convencional puede ser despreciada, pues la difusión del vapor de agua por debajo del punto de ebullición es menos eficiente en virtud del bajo número de aberturas que ligan a las células entre si. (44) (45)

Dado que la resistencia a la difusión de las paredes celulares es de cien a mil veces mayor que la de los lúmenes, la difusión transversal queda definida por el coeficiente de difusión de la pared celular y por el espesor de dichas paredes. La

presencia de puntuaciones y la condición de sus membranas no influye en la difusión en forma importante. Aunque los minúsculos pasajes a través de las membranas de las puntuaciones dejan pasar importantes cantidades de agua, estas aberturas no son suficientes para permitir la difusión del vapor. El camino seguido por la humedad dentro de la madera es la difusión del vapor de agua a través de los lúmenes, en serie con la difusión del agua adsorbida a través de las paredes. Por lo tanto, una madera poco permeable secará en el mismo tiempo que una permeable partiendo del PSF, siempre que tengan la misma densidad. (9)

La temperatura de secado influye mucho sobre el coeficiente de difusión. Este coeficiente crece con la temperatura en la misma proporción que crece la presión de vapor de agua. Por ejemplo, al calentar agua de 37,7°C a 100°C, la presión de vapor cambia de 0,068 kg/cm² a 1 kg/cm², por lo tanto el coeficiente de difusión crece 14,7 veces en dicho intervalo de temperaturas. (9)

A. J. Stamm, C. A. Hart, F. F. Kollmann y W. Coté Jr., J. F. Siau, C. Skaar, afirman que el movimiento higroscópico a través de la pared celular se debe a la existencia de gradientes de humedad, y a través de las cavidades celulares por evaporación, debido a la existencia de gradientes de presión de vapor, para luego condensarse y atravesar nuevamente las paredes celulares, hasta llegar a la superficie de la madera. (15)

Según C. Skaar las moléculas de agua absorbidas por los grupos hidroxilos requieren menor cantidad de energía para trasladarse a posiciones de menor tenor de humedad. La difusión de agua higroscópica se produce en combinación con la difusión del vapor de agua. En su camino hacia la superficie de la madera el agua en estado de vapor es nuevamente reabsorbida por la pared de la célula siguiente. La energía potencial del vapor de agua es alta en comparación con la del agua libre o la del agua higroscópica. En consecuencia en el secado convencional la cantidad de agua removida en forma de vapor de agua no contribuye significativamente en el proceso de secado. (22)

A medida que el gradiente de humedad se reduce durante el secado el régimen de secado se reduce también. Esto puede ser contrarrestado por un aumento de temperatura, dado que la difusión del agua higroscópica depende de la TBS, en la misma proporción en que se incrementa la presión de vapor saturado para dicha variación de temperatura.

Comprobaciones hechas por I. P. Jankowsky y E. Zapata, indican que la difusión del agua higroscópica es muy lenta y no depende de la velocidad de circulación de aire. (43)

En la madera se presentan dos tipos de difusión:

- La difusión del vapor de agua a través de las cavidades de las células.
- Difusión del agua ligada a través de las paredes de las células.

J. F. Siau expresa que si en el secado el factor limitante es la remoción de humedad de la superficie de la madera, especialmente a bajas velocidades de circulación de aire, el tiempo requerido para una determinada reducción del CH, es directamente proporcional a la densidad de la madera y a su espesor. Esto se debe a que la cantidad de agua a remover es proporcional a ambos factores.

Si en cambio el factor limitante es el movimiento de humedad por difusión en el interior de la madera, entonces el tiempo de secado es proporcional al cuadrado de la densidad y al cuadrado del espesor. Esto se debe a que el coeficiente de difusión es inversamente proporcional al espesor y a la densidad y además, la cantidad de agua a remover para bajar un cierto grado de CH es también proporcional a la densidad y al espesor. (34)

1.3.5 Difusión del agua en la madera

El carácter difusivo del movimiento de la humedad en la madera fue estudiado inicialmente por F. Tuttle en 1925. El secado de la madera por debajo del PSF fue

interpretado por algunos investigadores como un proceso puro de difusión, limitándose al caso en que la humedad se moviera en una única dirección axial. (46)

F. Tuttle suponía que el movimiento se realiza según la primera ley de difusión de Fick, verificándose entonces:

$$g_d = -h \cdot \frac{du}{dx} \quad \text{Ec 1.8}$$

Donde:

g_d : cantidad de humedad que pasa por hora a través de una sección de 1m^2 , $[\text{kg}/\text{m}^2\text{h}]$

h : coeficiente de difusión, $[\text{kg}/\text{m}\cdot\text{h}\ \%]$.

du/dx : gradiente de humedad en la madera en el sentido de la difusión, $[\%/m]$.

J. F. Martley, S. T. C. Stillwell, F. F. Kollmann y K. Egner trabajaron con la expresión anterior. (47)

La Ec.1.8 presupone que el coeficiente “ h ” de difusión en una sola dirección, es independiente de la humedad “ u ” de la madera (análogamente a la ecuación general de Fourier para la conducción del calor):

$$\frac{\partial u'}{\partial Z} = h \frac{\partial^2 u'}{\partial x^2} \quad \text{Ec. 1.9}$$

Donde:

u' : contenido de humedad, por sobre el CHE, medido a la distancia x' partiendo de la mitad del espesor “ s ”.

Z : tiempo de secado.

h : conductividad de la humedad (coeficiente de difusión), $[\text{kg}/\text{m}\cdot\text{h}\ \%]$. (7)

W. K. Loughbrough halló que la constante media de difusión, en el secado a 71°C de madera de albura de *Pinus taeda* fue unas tres veces mayor que el valor correspondiente a la madera de duramen, deduciéndose de ello que la sección transversal eficaz de los capilares permanentes de las puntuaciones tiene que ser, para

el flujo transversal, casi unas cien veces mayor en la albura de dicha madera que en el duramen. (48)

De acuerdo a estudios de C. A. Hart la constante de difusión (difusividad) tendría que depender también de las tensiones, que se modifican en el tiempo, a las que están sometidas las paredes celulares durante el secado y que producen deformaciones de la matriz de celulosa-lignina. (39)

Según F. F. Kollmann no se puede trazar un límite marcado entre los procesos de secado por debajo y por encima del PSF. La idea predominante de que en el dominio higroscópico el secado es esencialmente un proceso de difusión, es acertada en conjunto. Por eso parece admisible emplear en la práctica los métodos aproximados que se fundan en la ley simplificada de la difusión para el cálculo del secado artificial de las maderas. En el secado de materiales higroscópicos, la circulación de la humedad supone un movimiento de calor, siendo la temperatura reflejo de la humedad en cada punto. (47)

J. Stamm fue el primero en hacer posible el cálculo directo de la difusión en la madera a partir de las dimensiones de su estructura celular y de las constantes de difusión del vapor de agua. Partiendo de la analogía entre el fenómeno de difusión y la conducción de una corriente eléctrica, la velocidad de difusión se corresponde con el flujo de corriente, y la diferencia de concentración con la diferencia de potencial.

La difusión de un líquido a través de la madera se produce a través de las cavidades celulares, las cámaras de las puntuaciones y los capilares de su membrana de cierre que pueden ser permanentes o transitorios. Este complejo sistema de minúsculos canales de las puntuaciones, actúan en serie y en paralelo entre sí, y en su conjunto, funciona en paralelo con la difusión permanente a través de las paredes celulares. Para madera en estado verde, A. J. Stamm planteó que esta contiene cantidades importantes de aire en el interior de las células y aunque el movimiento de humedad, por encima del PSF no sea en sí mismo un fenómeno de difusión, es controlado por ésta hasta alcanzar el PSF, comportándose como un fenómeno exclusivo de difusión. La explicación para ello fue que si la velocidad del movimiento

del agua libre fuese mayor que la velocidad del vapor de agua debajo del PSF, el agua comprimiría de tal modo a las burbujas de aire contenidas en el interior de las células, que estas tenderían a oponerse al flujo. A. J. Stamm concluye que lo anterior explica por que F. Tuttle, F. F. Kollmann, T. K. Loughborough pudieron considerar con éxito el secado de la madera con un CH cualquiera como un fenómeno de difusión. (49)

Todos los coeficientes de difusión crecen mucho con el CH de la madera, y dependen en alto grado de la temperatura. Según J. F. Martley, K. Ludwig y K. Egner al crecer el CH participan otras fuerzas, además de las de difusión en la impulsión del agua, y en este caso sólo puede tratarse de fuerzas capilares. (47)

H. Voigt, O. Krischer y H. Schauss determinaron que la acción capilar en la circulación del agua disminuye con rapidez por debajo del PSF, especialmente para temperaturas elevadas, representando el 23 % del total para temperaturas de secado de 80°C y 24 % de humedad en la madera, y sólo el 4 % del total al descender esta última al 16 %. (47)

El carácter difusivo del movimiento de la humedad en la madera también fue investigado por L. Malmquist, quien correlacionó programas de secado empíricos con programas basados en difusión. La difusividad obtenida de esta manera y verificada mediante ensayos de secado, es discutida en su trabajo, en el cual también se desarrolló un criterio para minimizar las fisuras superficiales y otros defectos de secado debido a células inestables. (8)

Diferentes programas de secado europeos y americanos recomendados para distintas especies fueron ensayos experimentalmente por L. Malmquist con el objeto de lograr el menor tiempo posible, manteniendo la calidad de la madera. Si se utilizan tales programas, con el fin de comprobar el carácter difusivo del proceso, se obtienen valores similares de difusividad. (8)

Anteriormente fue demostrado por L. Malmquist, que la formulación general de los programas europeos hecha por R. Keylwerth, puede ser deducida de la

solución particular de la ecuación de difusión combinada con el balance de energía sobre la superficie de la madera, quien expresó: (50) (51)

$$u = C \cdot \cos\left(\beta \frac{x}{\delta_1}\right) \cdot e^{-D\tau/(\delta_1/\beta)^2} \quad \text{Ec. 1.10}$$

Donde:

u : contenido de humedad [kg agua / kg madera seca]

C : constante

β : parámetro de intensidad [rad]

X : coordenada del espesor [m]

δ_1 : mitad del espesor [m]

e : base logaritmos neperianos = 2,7181..

D : difusividad [m^2/s]

τ : tiempo de secado [s]

Si se asume que el contenido de humedad de la superficie de la madera se encuentra en equilibrio con el ambiente, mediante la fórmula anterior se obtiene un programa de secado de depresión de bulbo húmedo. (8)

L. Malmquist concluyó que el secado puede ser tratado, al menos formalmente, como un proceso de difusión y que un gran número de programas de secado empíricos se pueden transformar en programas de secado difusivos con avance por tiempo. De esta manera el proceso de secado puede ser controlado mediante computadoras, evitando el uso de medidores de humedad. Desde el año 1981 en la industria de aserrado de Suecia se están utilizando en forma creciente programas completos por difusión desarrollado sobre la base de sucesivos ensayos para *scots pine* y *whitewood*. (8)

1.3.6 Cálculo del tiempo de secado por difusión

Teniendo como hipótesis que el secado de la madera es principalmente un proceso de difusión, la cantidad de agua " Q " eliminada por unidad de superficie

siguiendo una dirección “ x ”, con un cierto gradiente de humedad $\frac{\partial u}{\partial x}$, en el tiempo “ Z ”, esta dada por:

$$Q = \int_0^Z h \cdot \frac{\partial u}{\partial x} dZ \quad \text{Ec. 1.11}$$

Para obtener la solución matemática de esta expresión se aplica un método aproximado: en vez de extender la integración a todo el secado, desde 0 hasta “ Z ”, se estudia el fenómeno en un corto intervalo de tiempo “ ΔZ ” en el cual pueden considerarse como constantes el coeficiente de difusión “ h ” y el gradiente de humedad “ $\partial u/\partial x$ ”.

Reemplazando: $h \cdot \frac{du}{dx} = q$ Ec.1.12

E integrando, queda: $\Delta Q = q \cdot \Delta Z$ Ec.1.13

Lo que permite comparar dos casos de secado, 1 y 2, mediante la expresión:

$$\frac{\Delta Z_1}{\Delta Z_2} = \frac{\Delta Q_1 q_2}{\Delta Q_2 q_1} \quad \text{Ec.1.14}$$

Se supone que el tiempo de secado “ Z_2 ” puede deducirse del “ Z_1 ” multiplicado por ciertos factores de corrección “ f ” que tienen en cuenta las variables como: espesor y densidad de la madera, temperatura, humedad y velocidad de circulación del aire, etc.

$$Z_2 = f_a \cdot f_b \cdot f_c \cdot f_d \cdot \dots \cdot f_m \cdot f_n \cdot Z_1 \quad \text{Ec.1.15}$$

Por último, se admite también que los diversos coeficientes de corrección “ $f_a \cdot f_b \cdot f_c \cdot f_d \cdot \dots$ etc.”, se pueden calcular con suficiente aproximación, tomándolos como coeficientes relativos de tiempos parciales de secado para los casos

1 y 2, siempre que durante estos períodos parciales no existan modificaciones de otras variables. Se verifica:

$$\Delta Z_2 = f_a \cdot \Delta Z_1 \quad \text{Ec. 1.16}$$

Este procedimiento no es riguroso, pero permite aplicar los resultados científicos en la práctica. La forma simplificada de la ecuación para el tiempo de secado permite incluir en los coeficientes de corrección “ f ” todas las diferencias de un secado respecto de otro tomado como referencia. (47)

1.3.6.1 Influencia de la humedad de la madera en el secado por difusión

J. F. Martley halló que en el secado radial la velocidad de difusión aumenta casi parabólicamente con la humedad, de tal forma que al 25 % de humedad es aproximadamente 6 veces mayor que en estado anhidro. K. Egner confirmó esta ley para la difusión radial y tangencial. (52) (53)

T. Tuomola pudo expresar la influencia de la humedad de la madera en la duración del secado en su trabajo *Über die Holzrocknung*, “Acerca del secado de la madera”, recomendando la fórmula siguiente:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\log \left[\frac{0,82(u_{b1} - u'_g)}{u_{e1} - u'_g} \right]}{\log \left[\frac{0,82(u_{b2} - u'_g)}{u_{e2} - u'_g} \right]} \quad \text{Ec. 1.17}$$

En la que $u'_g = u_g + 1,5\%$ ($u_g =$ CHE de la madera, al final del proceso de secado). Para su aplicación adecuada se deben mantener constantes las condiciones del aire y trabajar con valores elevados de espesor de la madera y velocidad del aire,

la humedad inicial u_b debe ser uniforme y menor o igual a 40 % y la humedad final debe ser tal que $u_e \leq (0,6u_b + 0,4u'_g)$. (54)

La Ec.1.18 indicada a continuación, expresa la teoría de Fick de la difusión aplicada al movimiento de la humedad en la madera:

$$u'_e = u_b \cdot e^{-\alpha Z} \quad \text{Ec.1.18}$$

Posteriormente se comprobó que la ley de difusión de Stefan que se refiere a evaporación desde superficies permeables en un único sentido, como es el caso de la madera que difunde vapor de agua en el aire que circula sobre la misma, representaba mejor el fenómeno de secado, que la ley de Fick. A pesar de ello, y debido a que normalmente la presión parcial de vapor en el aire es baja, resultó que la ecuación de Fick daba, en un amplio rango, una aproximación suficiente para experiencias cuidadosas y principalmente para aplicaciones prácticas de secado. (47)

De la Ec.1.18 se deduce que el tiempo de secado "Z" es:

$$Z = \frac{1}{\alpha} \cdot (\ln u_b - \ln u_e) \quad \text{Ec.1.19}$$

Sobre la base de esta fórmula se ha construido la regla de cálculo AWF-SR-727, mencionada en el "*Drying Kiln Operators Manual*"; para determinar tiempos de secado. Muchas industrias madereras han obtenido buenos resultados al utilizarla para el cálculo de programas de secado. (44)

1.3.6.2 Influencia de la densidad aparente

Según F. F. Kollmann, la velocidad de difusión puede tomarse, con bastante aproximación, como inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad aparente anhidra " r_0 "; por lo tanto, recurriendo a la Ec.1.14 y considerando que la cantidad de agua a extraer es proporcional a la densidad " r_0 ", resulta:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{r_{01}\sqrt{r_{01}}}{r_{02}\sqrt{r_{02}}} = \left(\frac{r_{01}}{r_{02}}\right)^{1,5} \quad \text{Ec.1.20}$$

Estos resultados concuerdan con los obtenidos experimentalmente. Se puede calcular por ejemplo, que los tiempos de secado, a igualdad de las demás factores, guardan una relación de 1:1,8:2,8 para el *abeto rojo* con un $r_0 = 0,40 \text{ g/cm}^3$, *arce* con $r_0 = 0,60 \text{ g/cm}^3$ y *carpe* con $r_0 = 0,80 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. También F. Moll y E. Sonnleithner han confirmado la validez de esta relación. (47)

T. Tuomola investigando en madera de *Pinus sylvestris* finlandés, halló que la densidad aparente influía sobre el tiempo de secado de pequeñas piezas de madera, en un secado completo conducido en dirección tangencial con humedad inicial $u_b \approx 0,40$ y densidades desde $R = 0,3 \text{ g/cm}^3$ hasta $0,4 \text{ g/cm}^3$, según la fórmula siguiente:

$$Z_1 = Z_2 \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^n \quad \text{Ec.1.21}$$

Donde:

n : 1,8

R : densidad, (peso seco en estufa / volumen de madera verde), $[\text{g/cm}^3]$.

En el caso de secado radial, el exponente cambia a $n = 2$. Se puede tomar $n = 1,9$ como valor medio para la madera de *Pinus sylvestris* finlandés secado en sentido transversal a las fibras. Suponiendo un coeficiente medio de contracción volumétrica (referido al volumen en verde) de dicha madera $\beta_v = 29,5 \cdot r_0 [\%]$, se verifica aproximadamente, para valores de " r_0 " comprendidos entre 0,3 y 0,5 g/cm^3 :

$$\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{1,9} \approx \left(\frac{r_{01}}{r_{02}}\right)^{1,7} \quad \text{Ec.1.22}$$

De acuerdo a T. Tuomola la Ec.1.22 coincide aproximadamente con la Ec.1.21 para $n = 1,7$ especialmente cuando la temperatura de la madera es elevada y

uniforme ($t \geq 50^\circ\text{C}$), así como también el espesor y la velocidad del aire lo que indica que, suponiendo un estado invariable del aire, esta sería en la práctica la máxima influencia posible de “ r ” sobre el tiempo de secado. (54)

$$Z_1 = Z_2 \left(\frac{r_{01}}{r_{02}} \right)^n \quad \text{Ec.1.23}$$

R. Schlüter y F. Fessel tras haber realizado experiencias muy cuidadosas respecto a la uniformidad del secado, determinaron cifras que indican la gran influencia del peso específico aparente. Por ejemplo, la relación entre los tiempos de secado de maderas de *abeto rojo* y de *haya* fue 51:159, ambas con espesor de 20 mm (humedad inicial, $u_b = 0,30$; humedad final, $u_c = 0,07$), de lo que se puede deducir el exponente $n = 2,4$ al aplicar la Ec.1.23. (55)

No hay que atribuir gran importancia al espesor de los anillos de crecimiento pues al ensayar madera de albura de *Pinus sylvestris*, recién apeada, con un CH mayor o igual a 40 %, no influyó en la velocidad de secado, ni en sentido transversal (tangencial, radial) ni longitudinal a las fibras. (54)

Las maderas de baja densidad con grandes espacios en las cavidades celulares, secan más rápido que las de mayor densidad. El coeficiente de difusión en maderas de baja densidad es mayor debido al pequeño volumen de la pared celular a través del cual el agua debe moverse como líquido y el gran volumen de los lúmenes por donde el agua pasa rápidamente en forma de vapor. (55)

C. A. Hart cita que el tiempo de secado es normalmente directamente proporcional a la densidad y al espesor cuando el factor limitante es la remoción del agua capilar. (39)

1.3.6.3 Influencia del espesor de la madera

El gradiente de presión parcial de vapor en la madera es inversamente proporcional al espesor. A su vez la velocidad de difusión "q" es directamente proporcional a dicho gradiente, por lo tanto la velocidad de difusión y el tiempo de secado "Z" deben ser inversamente proporcionales al espesor "s". (56)

Para condiciones de secado constantes la relación entre velocidad de difusión y espesor de la madera debería ser una hipérbola equilátera:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{s_2}{s_1} \right)^n \quad \text{Ec.1.24}$$

En realidad se obtiene una curva más llana, J. F Martley atribuyó estas diferencias a cierta resistencia a la difusión "w" en la superficie de contacto entre el aire y la madera por lo que añadió un espesor suplementario al de la madera en la fórmula. (52)

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{s_2 + w}{s_1 + w} \quad \text{Ec.1.25}$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{s_2^2 + s_2 * w}{s_1^2 + s_2 * w} \quad \text{Ec.1.26}$$

T. Tuomola llegó a una relación análoga al demostrar que por debajo del PSF, para maderas de densidad aproximadamente igual a 0,3 g/cm³ y espesores de 1 a 7 cm podía utilizarse la siguiente relación: (54)

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{s_1}{s_2} \right)^n \quad \text{Ec.1.27}$$

Donde $n = 1,7$

K. Egner atribuyó las discrepancias en la teoría de la difusión a la diferencia entre la humedad que existe en la capa superficial de la madera y la humedad límite hacia la cual esta tiende a causa de la diferencia de temperatura existente entre la superficie de la madera y el aire seco. Ambas diferencias son máximas al principio y desaparecen con mucha lentitud hacia el final del secado. K. Egner determinó que el coeficiente era $n = 1,7$ y no el valor teórico de $n = 2$. (53)

F. N. Moll propuso el valor $n = 1,5$ coincidiendo con F. F. Kollmann y siendo este valor confirmado como adecuado por las industrias de la madera. (47)

F. Fessel y R. Schlüter dedujeron de sus experiencias un valor de $n = 1,25$ para *aliso, pino silvestre, haya y roble* con una humedad de 25 a 30 % y espesores de 1 a 7 cm utilizando temperaturas de secado de 70°C y velocidades de aire de 0,7 m/s.

Se concluye que la influencia del espesor de madera en la velocidad de secado puede ser en la práctica mucho menor que la que resulta en teoría o la determinada en laboratorio. (47)

En la realidad, en el proceso de secado influyen otros factores fundamentales: Por ejemplo al secar tablas de bajo espesor, la disminución de la altura de separadores trae aparejada una disminución de la velocidad y temperatura de aire en el interior de la pila de madera resultando un secado más lento y en este caso el espesor de la madera influye menos en la duración del secado. (47)

Especialistas como K. Friebe recomiendan condiciones de secado moderadas para secar madera más gruesa, con lo que el espesor adquiere nuevamente una mayor influencia sobre el secado. (47)

1.3.6.4 Influencia de la temperatura

Obermeyer et al. han estudiado la influencia de la temperatura en los procesos de difusión, llegando al resultado:

$$\frac{q_1}{q_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^n = \left(\frac{\vartheta_1 + 273}{\vartheta_2 + 273} \right)^n \quad \text{Ec. 1.28}$$

En esta fórmula "T" representa la temperatura absoluta, y el exponente "n" varía entre 1,7 y 2 para gases y vapor de agua. (47) (56)

K. Ludwig confirmó con sus experiencias el valor teórico de $n = 1,5$ para la madera. Según esto, la influencia de la temperatura no es demasiado grande. Por ejemplo, los tiempos teóricos de secado para temperaturas de 50°C y 100°C estarían en una relación de 1:0,806 que en general no concuerda con las observaciones industriales. Se ha comprobado que elevando la temperatura de 50°C a 100°C se reduce considerablemente la duración del secado en ensayos de laboratorio. (47)

K. Egner indica una influencia muy acusada de la temperatura de secado sobre la difusión, y las curvas presentan, en su desarrollo y en la magnitud relativa de sus valores para las temperaturas de secado investigadas, una sorprendente analogía con las curvas de presión del vapor. Esta observación proporciona un argumento más de que en el dominio higroscópico sólo la difusión del vapor desempeña un papel importante en la práctica, al menos por debajo del 20 % de humedad. (53)

T. Tuomola afirma que es debido a que en la madera de *Pinus sylvestris* recién apeada, al emplear temperaturas superiores a 60°C se fluidifican las resinas que obturan los conductos de circulación, antes abiertos al paso de la humedad. No obstante, es preciso comprobar aún si esta explicación es correcta o si se trata de un fenómeno general de secado de maderas, o al menos, de maderas resinosas de coníferas. (54)

La temperatura influye notablemente al efectuar el secado totalmente en el dominio higroscópico. La siguiente ecuación fue determinada experimentalmente por T. Tuomola:

$$Z = \frac{C}{g^n} \quad \text{o sea:} \quad \frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{g_2}{g_1} \right)^n \quad \text{Ec. 1.29}$$

Donde la constante "C" depende de la naturaleza de la madera y de las condiciones de secado, variando el exponente entre 1,5 y 2,5. (54)

Pero también es válida la fórmula empírica recomendada por F. F. Kollmann y considerada aplicable, bajo determinadas hipótesis, por T. Tuomola.

$$Z = \frac{C}{g} \quad \text{de donde se deduce:} \quad \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{g_2}{g_1} \quad \text{Ec. 1.30}$$

Debe advertirse que en el secado por evaporación, la velocidad final de secado viene determinada principalmente por las relaciones de difusión y es poco influenciada por la conducción de calor, siendo el desarrollo total del secado un fenómeno de difusión. (47)

1.3.6.5 Influencia de la humedad relativa del aire y humedad de equilibrio

Según R. Hildebrand entre la humedad de la madera, la humedad relativa del aire y la temperatura se establece un equilibrio higroscópico de mucha importancia para el secado pues a través de esta relación se puede controlar el proceso. Aumentando la temperatura la humedad de equilibrio se reduce y se logra una reducción de humedad en la madera. (40) (56)

A medida que el secado avanza se debe bajar progresivamente la humedad relativa para mantener una tasa de evaporación constante. La influencia de la humedad relativa del aire, en el dominio del movimiento capilar, fue demostrada por T. Tuomola secando madera de albura de *Pinus sylvestris*, recién cortado, hasta una humedad final media del 40 %, mostró que la velocidad media de secado " q_m " para diversas temperaturas, era casi directamente proporcional a través de la constante C

(función de la naturaleza de la madera y condiciones de secado), a la diferencia entre las indicaciones de los termómetros de bulbo seco “ ϑ_{tr} ” y húmedo “ ϑ_n ”: (54)

$$q_m = C \cdot [(\vartheta_{tr} - \vartheta_n) + 0,8] \quad \text{Ec.1.31}$$

Este autor dedujo la siguiente relación entre la humedad relativa del aire “ φ ” (para $\varphi \geq 50\%$) y la velocidad media de secado:

$$q_m = C \cdot (100 - \varphi) \quad \text{Ec.1.32}$$

1.3.6.6 Influencia de la velocidad del aire

A. P. M. Galvao y I. P. Jankowsky señalaron que la circulación de aire produce cuatro efectos sobre el secado: (28)

- Transferencia de calor del medio calefactor al ambiente de secado.
- Distribución uniforme del calor.
- Mezcla y acondicionamiento del aire en términos de temperatura y humedad relativa.
- Remoción del agua de la superficie de la madera. La velocidad de aire es importante en las primeras etapas de secado cuando se tienen altos contenidos de humedad.

Según R. Hildebrand las velocidades de circulación de aire iguales o mayores a 3 m/s sólo son económicamente ventajosas para maderas con CH muy por encima del PSF. (40)

De manera general a mayor velocidad de aire se obtienen menores tiempos de secado. La eficacia del secado depende de que la humedad se mueva desde el interior de la madera hasta su superficie, por consiguiente, de que circule por capilaridad o difusión, con la mayor intensidad posible e ininterrumpidamente y que desde ésta pase rápidamente al aire. Es evidente que el aire en movimiento actúa mucho más favorablemente que en reposo especialmente cuando se seca madera fresca en el rango capilar. (56)

Como ejemplo, T. Tuomola encontró que la duración del secado, con el aire en reposo ($v = 0$ m/s), era de 2,4 a 3,9 veces mayor que con una velocidad del aire de 1,5 m/s. (54)

El aire seco tiene como misión llevar el calor a la madera y recoger la humedad desprendida de la misma. El aire cede a la madera, por unidad de tiempo y superficie de vaporización, la cantidad de calor:

$$Q = \beta \cdot (\vartheta - \vartheta_v) \quad \text{Ec.1.33}$$

Donde:

β : coeficiente de transmisión del calor por contacto entre el aire y la superficie de la madera [kcal/m²h°C]

ϑ : temperatura del aire ambiente lejos de dicha superficie [°C]

ϑ_v : temperatura en la superficie de la madera [°C]

Según W. C. Lewis existe una estrecha relación entre el coeficiente "k" de vaporización y "β" coeficiente de transmisión del calor por contacto de manera que, siendo constante el calor específico del aire húmedo en la superficie de contacto con la madera que se está secando, puede establecerse:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{5 + 3,4w_2}{5 + 3,4w_1} \quad \text{Ec.1.34}$$

Válida para velocidades de aire "w" menores o iguales a 5 m/s. (57)

F. F. Kollmann comprobó que la ecuación Ec.1.34 concuerda bien con las experiencias mediante la sustitución de los tiempos de secado en una instalación muy bien construida y perfectamente aerodinámica, la velocidad del aire de secado debe llegar aproximadamente a $w = 1,8$ m/s, siendo en este caso la duración del secado casi la mitad que si la velocidad del mismo fuese la del tiro natural ($w = 0,2$ m/s), obteniéndose un 51 % según la Ec. 1.34. (47)

R. Schlüter y F. Fessel han indicado que secando madera de *roble* de 2 cm de espesor, puede expresarse muy bien la influencia de dos velocidades diferentes del aire (0,2 y 0,7 m/s) mediante la Ec.1.34, mientras que en otros casos, especialmente para madera de *Pinus sylvestris*, la coincidencia no fue satisfactoria. (47)

No obstante las dudas que puedan existir sobre la velocidad de aire más adecuada, resulta evidente que esta se ha ido aumentando desde valores de 0,1 m/s a 0,15 m/s que hace 15 años se consideraban como suficientes hasta los 4 a 7 m/s que hoy se utilizan en secado convencional y aún mayores para secado a alta temperatura, según la longitud del recorrido del aire, la especie del material a secar y la humedad de la madera. O. W. Torgeson advierte que las investigaciones han demostrado que tanto la temperatura como el estado higrométrico del aire varían mucho desde la superficie de la madera hasta el centro de la corriente de aire en la zona de separadores y desde la entrada de aire a la pila de madera hasta la salida de la misma. El flujo laminar solo puede ser evitado con elevadas velocidades de aire. Al conseguir una corriente turbulenta se pueden conseguir importantes reducciones de tiempo de secado. Un segundo fenómeno que se observa es que a partir de los 3 m/s ya no influyen las separaciones entre tablas en el tiempo de secado. A velocidades menores una separación de 5 cm entre tablas reduce notablemente el tiempo de secado. (58)

1.4 Secado industrial de la madera

El secado al aire es el método natural utilizado en mayor o menor grado por todos los aserraderos de la provincia de Misiones. En la actualidad este método no resulta competitivo y está siendo rápidamente reemplazado por el secado en cámaras. Entre 1960 y 1970 existía en esta provincia un contado número de cámaras de la marca Hildebrand cuya capacidad no superaba los 30 m³. Luego Göttert con licencia Hildebrand comenzó a instalar cámaras de mayor capacidad y en 1972 se instalan cuatro cámaras de 120 m³ c/u, marca Irvington Moore de EEUU. A partir de 1990 entran al mercado nuevas marcas procedentes de EEUU, Europa y Brasil, además de las fabricadas en nuestro país, y comienza a aumentar el número de aserraderos que

utilizan el secado artificial y también el número de cámaras instaladas en cada aserradero.

La competencia entre los fabricantes de cámaras de secado por ofrecer equipos que exigieran la menor inversión posible se trasladó en pocos años hacia las mejoras tecnológicas tendientes a lograr secados más rápidos y de mayor calidad, (reducción de tiempo y porcentaje de defectos de secado). Las actuales condiciones de mercado exigen una mayor calidad de secado.

Como el secado en cámaras preserva la madera contra el ataque de hongos, las industrias tienden a secar la totalidad de su producción y evitar el uso de fungicidas.

Actualmente operan en la provincia de Misiones alrededor de 150 secaderos con tamaños que van de 20 m³ a 200 m³ de volumen útil de madera. Se puede estimar que para secar en cámaras la totalidad de la madera aserrada en la provincia de Misiones se necesitarían aproximadamente 320 cámaras de 100 m³.

La rapidez del secado reduce los montos de las inversiones necesarias en instalaciones para ese fin. Cada hora de reducción del tiempo de secado equivale de 1,3 % a 2 %, según el tipo de cámara utilizado, de aumento de capacidad útil del secadero y simultáneamente se obtiene el mismo porcentaje de reducción en consumo de energía. Dado que los costos de secado se componen de:

- Amortización de equipos, (secaderos y calderas).
- Energía eléctrica.
- Combustible de caldera.
- Cargadoras frontales o autoelevadores.
- Repuestos e insumos.
- Mano de obra.

Se desprende que el costo de mayor peso corresponde a amortizaciones y le siguen en importancia la energía eléctrica y mano de obra. (6)

El costo promedio de secado en la provincia de Misiones oscila entre \$12,75 y \$14,90 por m³ de madera (0,03 \$/pie maderero y 0,035 \$/pie maderero).

1.4.1 Cámaras de secado

El secado de pino se realiza en su mayor parte en cámaras convencionales, debido a una serie de factores principalmente de orden económico. Normalmente en estas cámaras se trabaja con TBS de 80°C y no superan los 90°C.

La duración de los ciclos de secado para *Pinus taeda* de 28 mm de espesor es de 36 a 76 hs, dependiendo las características del secadero, programa utilizado y calidad de secado requerida. Los parámetros que caracterizan una cámara de secado son:

- Temperatura de operación.
- Velocidad de circulación de aire.
- Capacidad de calefacción.
- Capacidad de renovación de aire.
- Uniformidad de distribución de aire caliente.
- Tipo de control del secado.

El secado convencional permite obtener la calidad de secado necesaria para los procesos de remanufactura que siguen al aserrado. (3)

La evolución que se observa en las cámaras convencionales, en comparación con las primeras cámaras instaladas de ese tipo, consiste en que las nuevas cuentan con velocidades de aire de 4 m/s a 7 m/s, mayor capacidad de calefacción, control de temperatura por zonas, calefactores centrales para recalentar el aire a su ingreso a la segunda estiba de madera, mayores aberturas de ventilación, control del proceso mediante computadoras y empleo de programas con avance por tiempo. (44)

La necesidad de mejorar la calidad de secado, bajar costos de producción y restricciones de carácter ambiental en el uso de fungicidas orientan el actual desarrollo del secado industrial.

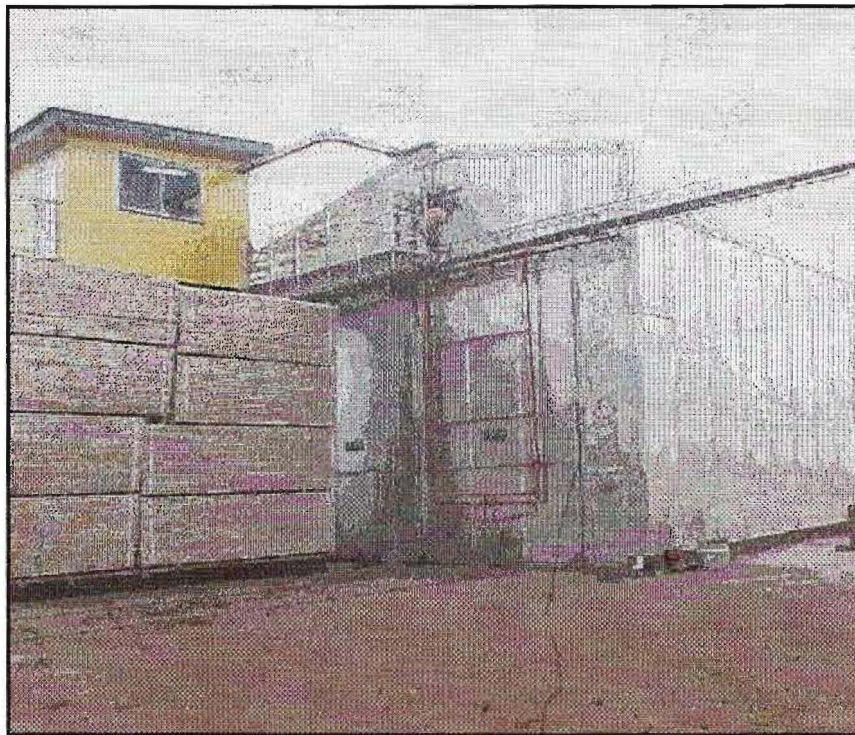


Foto 1.1 Vista del secadero convencional utilizado para los ensayos.

Se utiliza también en la provincia de Misiones el secado a altas temperaturas, con TBS por encima de los 100°C . Este es un proceso diferente que requiere cámaras con características especiales. La calidad que se obtiene en el secado a altas temperaturas es adecuada para madera estructural, principalmente tirantería de 56 mm y 78 mm de espesor. Desde hace dos años funciona en Misiones la primer cámara de secado de alta temperatura y se prevé la instalación de 3 nuevas cámaras de este tipo en el curso del presente año. La duración de los secados es de 18 hs para 28 mm y de 26 hs para 56 mm de espesor.

Para el caso específico de Brasil el secado a altas temperaturas, según I. Tomaselli es un proceso de amplias perspectivas de utilización principalmente en la región sur donde predominan las reforestaciones de *Pinus taeda* y *P. elliottii*, este concepto podría extenderse a Misiones por la similitud de las regiones. (3)

1.4.2 Programas de secado

Todo proceso de secado industrial de la madera se realiza siguiendo un programa conducido en forma manual o automática. Los programas definen etapas o segmentos de secado caracterizadas por una TBS y una humedad de cámara, que en conjunto se llaman clima. El clima queda definido por las TBS y TBH es decir la temperatura y humedad relativa del aire en la cámara. A cada clima le corresponde un valor determinado de contenido de humedad de equilibrio de la madera que puede ser obtenido de tablas. La madera tenderá a ajustar su contenido de humedad a los valores correspondientes al CHE. (6) (59)

El pasaje de una etapa a la siguiente se realiza ya sea sobre la base del contenido de humedad alcanzado por la madera o por tiempo transcurrido. La mayor uniformidad de las condiciones de secado que brindan las modernas cámaras hacen que los programas que mejor responden a los requerimientos industriales sean los de avance por tiempo. La tendencia actual es de utilizar este último método, el cual requiere un conocimiento previo del comportamiento de la madera y del equipo de secado.

La industria maderera de Misiones utiliza los programas publicados en la bibliografía especializada y los suministrados por los fabricantes de las cámaras de secado, adaptándolos a sus necesidades. Normalmente el usuario introduce modificaciones en estos programas sobre la base de experiencias propias hechas en los primeros secados. Estos cambios tienen por objeto reducir el tiempo de secado. Esto es factible en la medida que no se observen significativos aumentos de defectos por secado. (60)

Para R. Hildebrand todo programa de secado que no se haya definido de acuerdo a las performances de la cámara utilizada ni establecido para la madera a secar, sólo puede servir de orientación. (40)

Cuando se comienza a operar una cámara de secado se utiliza alguno de los programas recomendados, usualmente el sugerido por el proveedor de la cámara, se avanza del proceso en función del CH de la madera, medido mediante muestras de secado o con medidores eléctricos a fin de determinar los tiempos ideales para cada etapa. (59) (60) (61)

Sobre la base de las experiencias obtenidas en los primeros secados se hacen los ajustes necesarios en los programas. Una vez que se comprueba que los ajustes hechos en el programa dan resultados satisfactorios y se repiten sistemáticamente se puede pasar a operar estos programas por tiempo.

Un programa se compone de 5 etapas principales que a su vez se pueden dividir en sub-etapas o segmentos. Las etapas principales son:

- 1- Calentamiento, hasta alcanzar la TBS inicial de secado.
- 2- Secado, desde el CH inicial de la madera hasta el PSF.
- 3- Secado desde el PSF, hasta el CH final requerido.
- 4- Igualación, para lograr uniformidad de CH de la madera.
- 5- Acondicionado, para reducir tensiones de secado.

Calentamiento

La etapa de calentamiento, tiene por objeto elevar la temperatura de cámara y de la madera al valor preestablecido para el comienzo del secado. Esta temperatura no debe ser alta para conservar la resistencia mecánica de la madera. (5)

Según R. Hildebrand se requiere una hora de calentamiento por cm de espesor de la madera. Otra regla empírica recomendada por el mismo autor para el secado de pino es calentar la madera durante 2 hs más 1/4 de hora por cada centímetro de espesor. También es posible la determinación analítica del tiempo necesario para calentar la carga de madera, el secadero y todos sus accesorios. Debe evitarse el secado prematuro lo que provocaría el endurecimiento superficial, para ello se

mantiene una DBH baja (1°C a 2°C). ~~Esto también sirve para homogeneizar la humedad en el interior de la madera.~~ (6) (40)

Secado

Una vez alcanzada la temperatura de inicio de secado se incrementa la DBH para ~~aumentar la capacidad de absorción de humedad del aire de circulación.~~ La fase de secado se divide en tres períodos: (6) (62)

- Por encima del PSF, en el cual se deben evitar temperaturas elevadas.
- Alrededor del PSF, donde se debe bajar progresivamente en pequeños escalones la DBH.
- Por debajo del PSF, momento en el cual se podrá elevar la temperatura y aplicar DBH mayores hasta alcanzar el CH final deseado.

Igualación

Tiene por objeto uniformizar los valores de humedad de la madera al final del secado y evitar el sobresecado.

En un ambiente a temperatura y humedad relativa constante, la madera se seca cada vez más despacio hasta alcanzar el CHE correspondiente, alcanzado dicho punto se detiene el efecto de secado y la madera cuya humedad se encuentre por debajo del CHE ganará humedad.

La igualación se debe realizar a la temperatura más alta posible. El tiempo de igualación depende de la dispersión de los valores de humedad en la madera. Lo más importante es lograr el CHE adecuado al menos al final de la etapa de igualación. (5)

Acondicionado

Es la etapa que sigue a la igualación, se hace para reducir tensiones en la madera provocadas por un posible endurecimiento superficial generado en el comienzo del secado.

Cuando la madera alcanza en su interior el CH deseado su superficie tendrá un CH menor. Esto da origen a un gradiente de humedad y causa tensiones internas que derivan en defectos de secado.

El acondicionado consiste en aumentar el CH superficial de la madera de modo que el promedio suba 1 % a 1,5 %. Esto se logra bajando la TBS y reduciendo fuertemente la DBH para lograr un clima de cámara tal que el CHE se sitúe 3 % por encima del CH existente en la superficie de la madera. (5) (6)

1.4.3 Calidad de secado industrial

Las ventajas económicas del secado rápido se contraponen a la disminución del valor comercial de la madera en aquellos casos en que la intensidad o falta de adecuación del proceso origina defectos atribuibles al mismo. Por este motivo todo intento de reducir tiempos de secado debe ir acompañado de un control de calidad del producto. (59)

Un programa suave, con temperaturas y gradientes de secado bajos, alarga los tiempos de secado pero se logra mejor calidad es decir menor porcentaje de defectos de secado. Un programa severo acorta los tiempos pero puede causar defectos de secado como arqueado, abarquillado, torcedura, encorvado, fisuras superficiales, rajaduras y rajaduras de extremo que impiden su utilización en remanufacturados.

La madera se contrae en diferente medida en sentido longitudinal, radial y tangencial debido a su estructura interna. La contracción tangencial es la más importante. La relación de contracción para *Pinus sp.* es aproximadamente 75:47:1 (tangencial - radial - longitudinal, respectivamente). (6)

Las tensiones de secado se originan cuando al reducirse el CH de la madera por debajo del PSF comienza la retracción y ésta es parcialmente impedida por las partes más internas de la madera que aun no alcanzaron dicho punto y poseen un mayor CH.

El acondicionamiento contribuye a la disminución de defectos de secado. Esta etapa no debe ser iniciada hasta que la muestra de control más húmeda alcance el valor del CH deseado. Alcanzado éste se establecen en la cámara las condiciones para una CHE de 3 % por encima del CHF deseado y una temperatura igual a la máxima del programa y continuar estas condiciones hasta aliviar las tensiones de la madera lo que se comprueba mediante muestras de tenedor. (41)

G. H. Pratt recomienda para la etapa de acondicionamiento una HR del 90 % con una TBS de 10°C a 15°C en los casos en que ésta fuera inferior a 80°C en el programa. (63)

Según R. C. Rietz las tensiones máximas de tracción de las capas externas de la madera son alcanzadas en un tiempo de secado relativamente corto. Posteriormente se produce una inversión de tensiones y estas capas externas quedan sometidas a compresión, mientras que las internas se encuentran traccionadas. Este autor considera que una vez obtenidas las tensiones máximas de tracción y que no habiéndose producido rajaduras superficiales, comienzan a decrecer las tensiones lo que permite intensificar el descenso de la humedad relativa en la cámara sin peligro de producir defectos de secado. Esto requiere la determinación del punto del programa en que se produce la inversión de tensiones mencionada, lo cual se puede obtener empíricamente. (64)

Por debajo del PSF si las condiciones de secado son severas la parte externa de la madera se seca antes que la interna, generando un gradiente de humedad elevado y se pueden originar fisuras. La parte externa no se puede contraer lo suficiente y cuando el interior se vaya secando entrará en compresión, mientras que el interior quedará traccionado por no poder contraerse al estar restringido por la capa exterior. A este fenómeno se lo llama endurecimiento superficial y es el causante del curvado de la madera durante el cepillado. (6)

J. M. McMillen destaca la dificultad de obtener las condiciones necesarias para el acondicionamiento de la madera en cámaras de secado industriales, existiendo el riesgo de generar un endurecimiento superficial inverso al tratar de aliviar las

tensiones de la madera. Este autor considera que a los fines prácticos puede ser necesaria la utilización de un CHE más bajo que el originado por cálculo para el acondicionamiento, obteniendo así un alivio parcial de las tensiones de secado. (65)

Además la madera puede sufrir anisotropía de contracciones debido a la presencia de madera de compresión y madera juvenil que también se traducen en defectos que se manifiestan en el secado. (6)

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

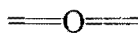
Establecer un método con base teórica para la evaluación y mejoramiento de programas usados en la industria para el secado convencional de *Pinus taeda* de Misiones.

1.5.2 Objetivos específicos

Determinar experimentalmente, a escala industrial, el coeficiente “ α ” y los exponentes de los factores de corrección de la ecuación de secado por difusión, que permite calcular el tiempo teórico de secado para *Pinus taeda* implantado de Misiones.

Comprobar la aplicabilidad de la ecuación de secado por difusión a los programas empleados para el secado de *Pinus taeda* en cámaras convencionales en la industria y proponer un método para su aplicación práctica.

Determinar la densidad y el punto de saturación de las fibras para *Pinus taeda* implantado de Misiones.



CAPITULO 2 - MATERIALES Y METODOS

2.1 Muestras y probetas

2.1.1 Muestras de secado

Las muestras testigo de secado son trozos de tablas recién aserradas empleados para el seguimiento del proceso de secado. La madera para los ensayos se obtuvo de árboles de *Pinus taeda* de 14 años de edad provenientes de las parcelas número 50, 72, 94 y 115 de plantaciones pertenecientes a la Empresa Puerto Laharrague, Departamento de Montecarlo, Misiones. El suelo de dichas parcelas considerado de máxima aptitud para reforestación es rojo profundo de clasificación 9.

El aserrado y secado se realizó en el establecimiento industrial de la misma Empresa. Para la confección de las muestras testigo de secado se utilizó un total de 17 tablas, aserradas mediante cortes tangenciales, de 4,88 m de largo por 110 mm de ancho, en espesores standard que van de 1/2" a 2". Se emplearon: 3 tablas de 2" (56 mm), 3 de 1½" (38 mm), 5 de 1" (28 mm), 3 de 3/4" (22 mm) y 3 de 1/2" (15 mm). El largo de muestras se estableció en 0,75 m compatibilizando las especificaciones del Grupo Andino, que recomienda entre 0,5 m y 1 m, de Robert Hildebrand quien sugiere largos de 0,5 m y del Dry Kiln Operators Manual que indica 0,75 m o más. Se obtuvieron 5 muestras de cada tabla (6) (40) (44)

Al efectuar los cortes para la obtención de muestras testigo se descartaron entre 30 y 50 cm de cada extremo de tabla (despunte). También se cortaron probetas de 25 mm de largo a cada lado de las muestras testigo, para las correspondientes determinaciones de CH, densidad y PSF en laboratorio.

En el primer ensayo, se utilizaron 8 muestras, exclusivamente de 28 mm de espesor. En los ensayos N° 2, N° 3 y N° 4 siguientes, se emplearon 25 muestras en cada uno: 5 muestras de 57 mm (2 pulgadas), 5 muestras de 38 mm (1½ pulgadas), 5

muestras de 28 mm (1 pulgada), 5 muestras de 22 mm (3/4 de pulgada) y 5 muestras de 15 mm (1/2 pulgada).

En la Fig. 2.1 se indican los cortes realizados en cada una de las tablas seleccionadas para la obtención de muestras y probetas.

Las caras de los extremos de las muestras testigo de secado se sellaron con adhesivo de siliconas para evitar la pérdida de humedad en dichas zonas. (66)

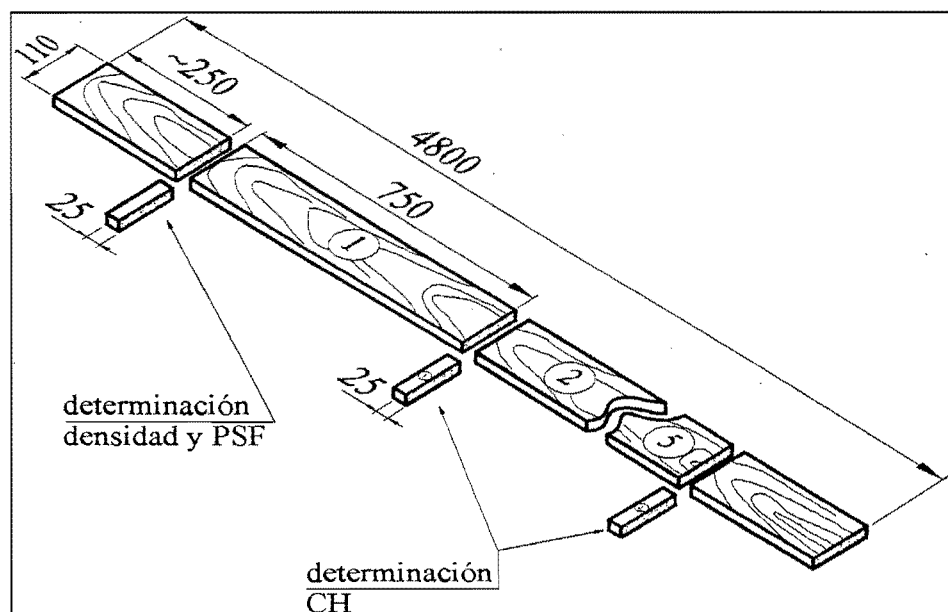


Fig.2.1 Esquema de corte de tablas para obtención de muestras y probetas de secado.

2.1.2 Probetas de contenido de humedad, densidad y PSF

Las probetas para determinación de humedad, de aproximadamente 25 mm de largo, se cortaron al comienzo y al final de cada ensayo (Fig.2.2). La determinación del contenido de humedad por el método en estufa se realizó en el laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales, UNAM. Las probetas se trasladaron en bolsas de polietileno selladas de acuerdo a lo recomendado para estos casos.

Las probetas para la determinación de la densidad, de forma cúbica, con caras pulidas de 20 mm de lado, se hicieron siguiendo las indicaciones de la Norma IRAM 9544. Se obtuvieron 5 probetas de cada una de las tablas utilizadas para la confección de las muestras testigo de secado, resultando un total de 85 probetas. (67)

Las probetas para la determinación del PSF se confeccionaron de acuerdo a lo especificado en la norma IRAM 9543, con caras pulidas de 20 x 20 x 50 mm. Fueron obtenidas simultáneamente con las probetas de densidad y también se tomaron 5 probetas de cada una de las tablas de las que se obtuvieron las muestras testigo de secado, resultando un total de 85 probetas. (67)

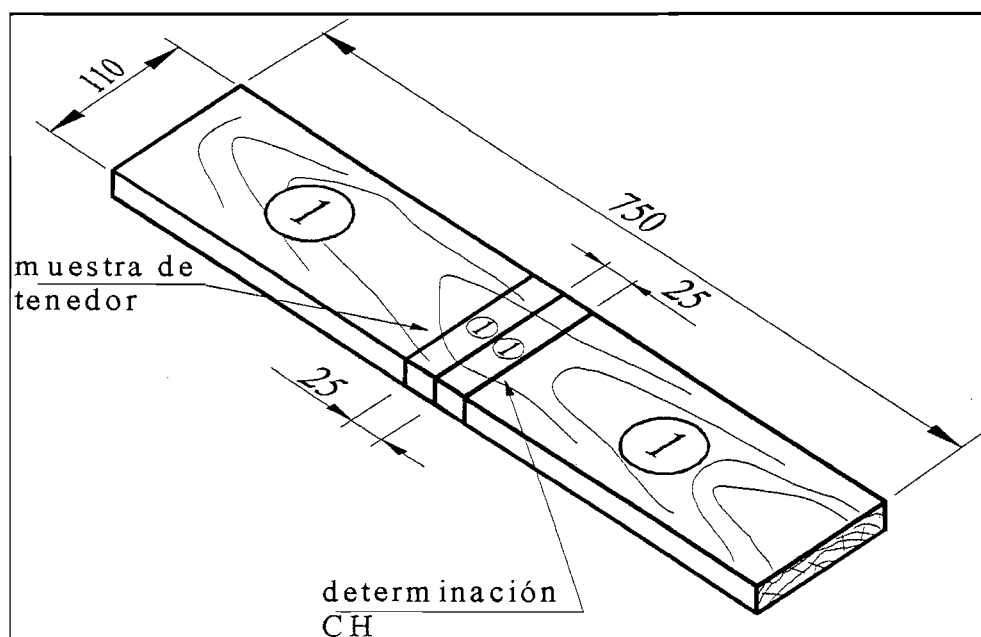


Fig.2.2 Esquema de corte de probetas para el cálculo de peso anhidro de muestras y probetas de tenedor para determinación de tensiones de secado.

2.1.3 Probetas de tenedor para determinación de tensiones de secado

Estas probetas permiten la comprobación de tensiones de secado. Se utilizan con mayor frecuencia al final del secado, como en este caso. Las probetas (Fig. 2.3) se prepararon de acuerdo a lo indicado en el Dry Kiln Operators Manual. (44)

La forma que adoptan estas probetas cuando son confeccionadas con madera que sale de un secado se puede observar en la Fig. 2.3

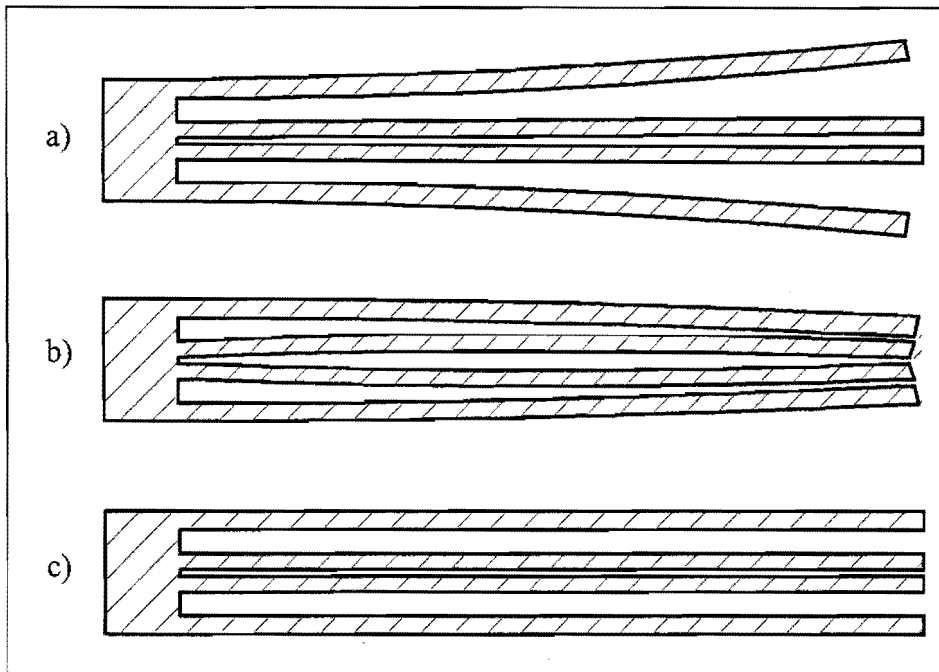


Fig. 2.3 Probetas de tenedor, a) inversión de tensiones, b) con endurecimiento superficial, c) libre de tensiones.

2.2 Instrumentos de medición y equipos utilizados

2.2.1 Instrumentos de medición y equipos de laboratorio

- Balanza de laboratorio, marca Mettler, modelo H 80, capacidad 0-160 g, precisión 0,1 mg. Para pesar probetas de densidad, retracción y contenido de humedad en laboratorio.
- Estufa de secado de laboratorio con temperatura controlada en el rango de 30°C a 120°C, para secado de probetas de CH hasta su condición de peso anhidro.
- Volumenómetro de Breuil, marca CIFIC, modelo 07870, 1 división = 5 mm³, para la determinación de volúmenes de probetas de madera por inmersión en mercurio.

2.2.2 Instrumentos de medición y equipos de campo

- Balanza de campo, marca Kretz, modelo 5540, capacidad 0-30 kg, precisión 10 g. Ver Foto 2.1.



Foto 2.1 Balanza de campo.

- Termo-anemómetro, instrumento de medición electrónico (a termistor), marca Airflow, modelo TA2-30/6K, rango de temperaturas 0°C a 80°C, rango de velocidades de aire 0 a 30 m/s, para medición de velocidades de circulación de aire en cámaras de secado.

2.2.3 Cámara de secado

Los ensayos se realizaron en una cámara de secado de temperatura convencional (menor a 90°C), marca American de 120 m³ de capacidad, con 2 vías de zorras y portones sobre ambos frentes (Foto 2.2). El proceso de secado se controla por computadora. La carga de madera se dispone sobre 2 zorras formando estibas de madera compuestas por 4 paquetes en altura y 3 ó 4 paquetes en el largo (Fig. 2.4).

Para la calefacción del secadero se utiliza vapor saturado de $8\pm 1 \text{ kg/cm}^2$, que circula por radiadores de tubos con aletas, dispuestos horizontalmente a la altura del entretecho a ambos lados de la carga de madera y otros dos conjuntos de radiadores en posición vertical, colocados entre las estibas de madera, en el medio del secadero. El control de calefacción es automático y se realiza por zonas, correspondiendo la zona 1 a los calefactores horizontales (superiores) y las zonas 2 y 3 a los calefactores verticales superiores y verticales inferiores, respectivamente.

La circulación de aire se logra mediante 4 ventiladores Aerovent de 1,8 m de diámetro movidos por motores de 10 HP. Cada ventilador cuenta con 6 palas de paso variable, ajustadas en este caso a 20° para lograr la máxima velocidad de aire con la potencia de motores disponible. (Foto 2.3) La velocidad del aire es de 4 m/s en el espacio de separación entre tablas y 6 m/s en las separaciones entre paquetes. Se utilizan separadores de 22 mm entre tablas y tirantes de 75 x 75 mm entre paquetes. Las mediciones de velocidad de aire se hicieron a la salida de los paquetes de madera.

Las muestras testigo de secado se dispusieron sobre carritos especialmente contruidos para estos ensayos, formando columnas de un ancho de tabla con separadores de 25 mm entre las muestras. Ver Foto 2.5.



Foto 2.2 Frente de la cámara de secado American de 120 m^3 .

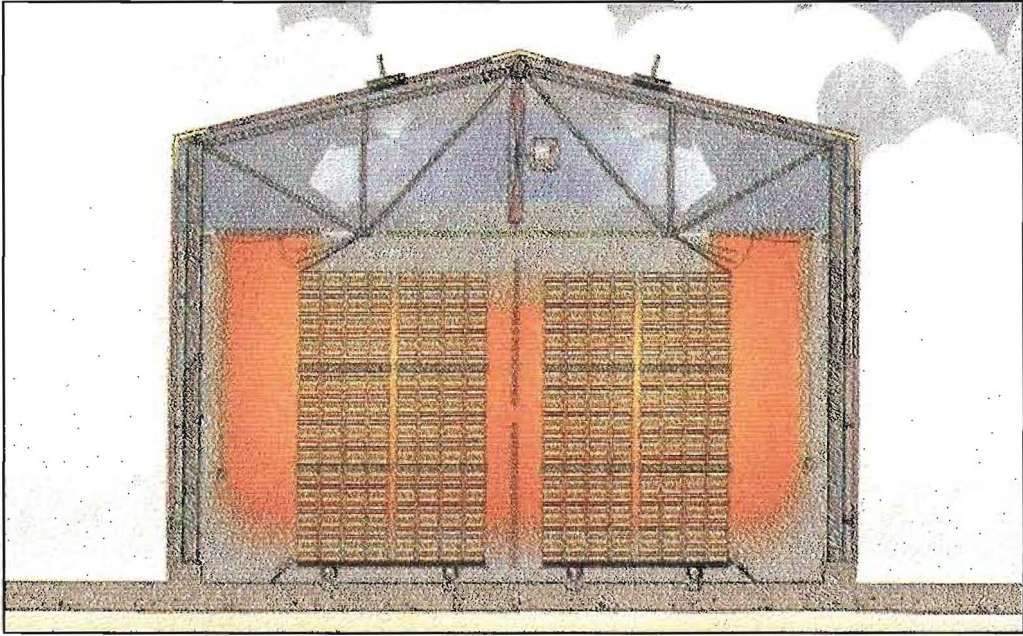


Fig. 2.4 Corte transversal del secadero American.



Foto 2.3. Ventilador axial del secadero American.

Cada carrito tiene capacidad para 15 tablas de 28 mm de espesor (o una carga equivalente de otro espesor), un ancho máximo de 150 mm y admite largos de muestras de 0,6 m a 0,9 m. Los carritos, desplazados sobre carriles, permitieron ubicar los paquetes de muestras testigo en la zona media de la carga principal, donde

las condiciones de temperatura y circulación de aire son más uniformes y representativas de la carga total de madera del secadero. Los separadores metálicos de 25 x 25 mm de sección, guiados por varillas roscadas facilitaron la colocación y extracción de las muestras así como el prensado de las mismas. (Fig. 2.5)

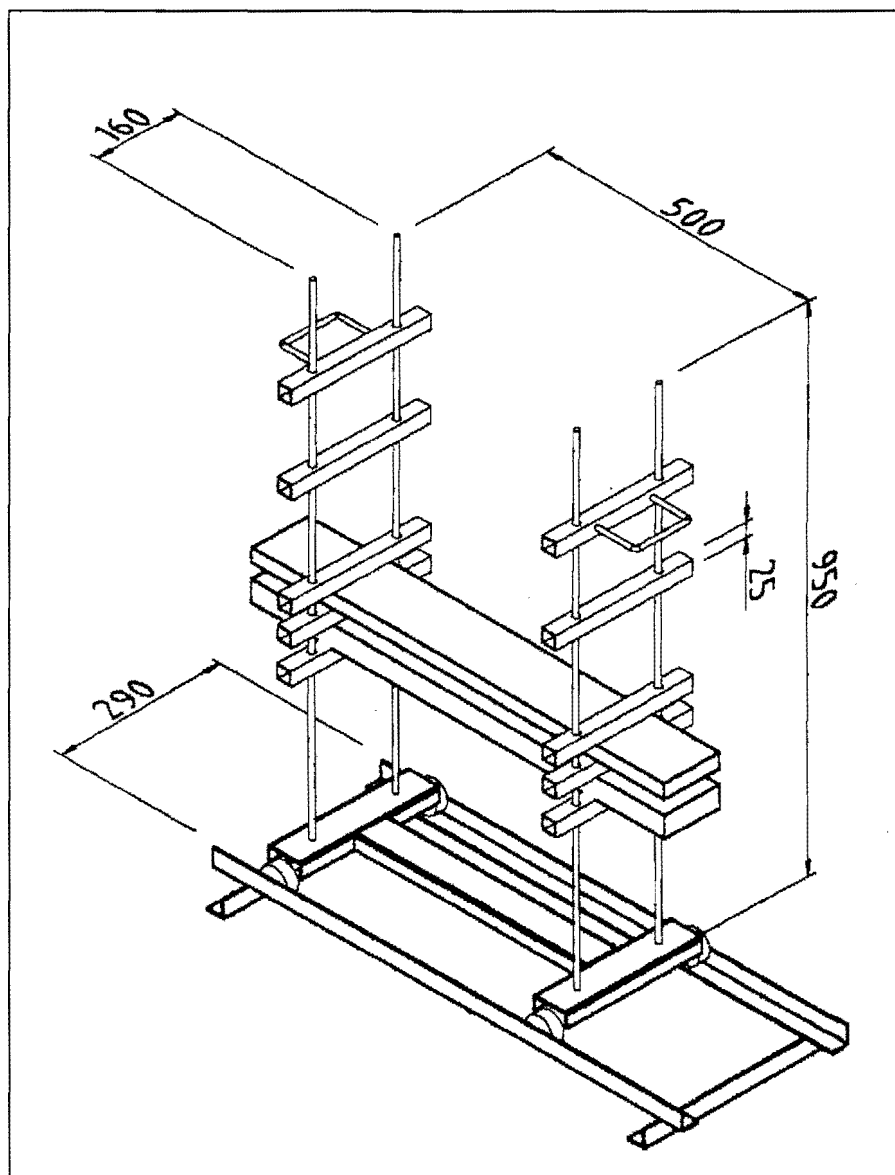


Fig. 2.5 Carrito portamuestras.

Estos carritos portamuestras se insertaron en el espacio reservado para los mismos, entre los paquetes de una de las zorras de carga. (Fig. 2.6)

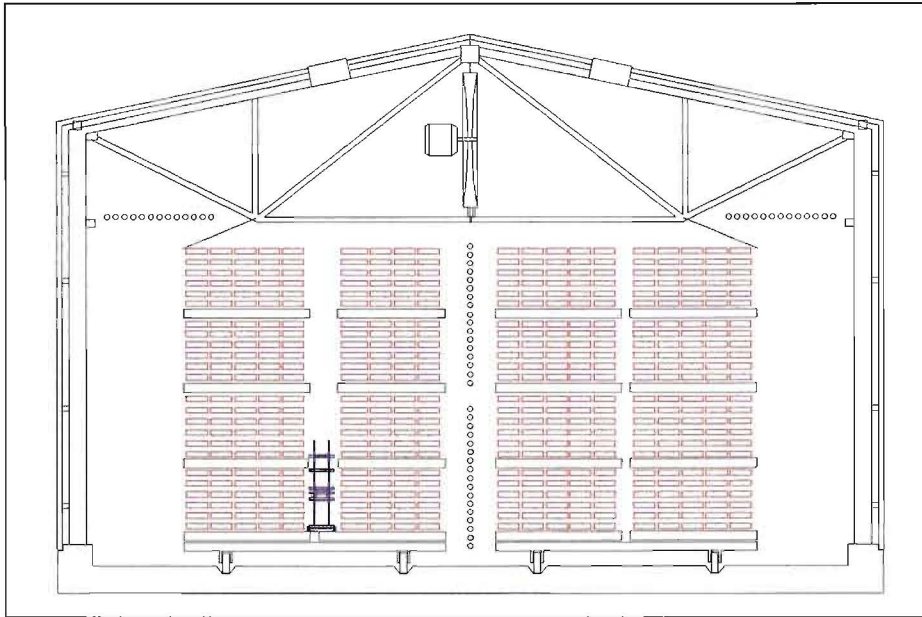


Fig. 2.6 Ubicación de los carros dentro del secadero.

2.3 Metodología

2.3.1 Determinación de densidad aparente del *Pinus taeda*

La densidad aparente se determinó sobre probetas cúbicas de 20 mm de lado, de caras pulidas, siguiendo las indicaciones de la norma IRAM 9544. Se obtuvieron 5 probetas de cada una de las tablas utilizadas para la confección de las muestras testigo de secado, resultando un total de 85 probetas. (67)

Se utilizó el siguiente instrumental de laboratorio:

- Balanza de precisión 0,1 mg.
- Desecador.
- Estufa de secado eléctrica, regulación $100\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Las probetas se secan en estufa de laboratorio a $100\pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 24 hs, de acuerdo a lo indicado en el punto 3.2.1.2 de la citada norma.

El acondicionamiento y pesado se realiza de acuerdo al punto 3.2.2 utilizando un pesafiltros y una balanza de 0,1 mg de precisión para determinar la masa “ m ”.

El volumen “ V ” se obtiene empleando el volumenómetro de Breuil de acuerdo a lo expresado en el punto 3.4 de la norma mencionada.

La densidad aparente “ ρ_a ” se calcula mediante la fórmula:

$$\rho_a = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. 2.1}$$

2.3.2 Determinación del punto de saturación de las fibras

Las determinaciones se hicieron acuerdo a lo especificado en la norma IRAM 9543, G-1 a G-7 y G-13 a G-15, sobre probetas obtenidas simultáneamente con las probetas de densidad. Se tomaron 5 probetas de cada una de las tablas utilizadas para la confección de las muestras testigo de secado, resultando un total de 85 probetas.

Instrumental de laboratorio utilizado: (67)

- Balanza de precisión 0,1 mg.
- Micrómetro, precisión 0,01 mm.
- Desecador transformado en cámara húmeda con solución de NH_3Cl en su base.
- Dos estufas, una a $100 \pm 3^\circ\text{C}$ y otra a $30 \pm 3^\circ\text{C}$.

Las probetas de 20 mm x 20 mm x 50 mm, se cortan con el grano orientado de acuerdo a la contracción a determinar (longitudinal, radial, tangencial). Se utilizaron 5 probetas tangenciales por cada tabla. Se sigue el procedimiento de acuerdo a lo indicado en G-3 a G-7. Las contracciones tangenciales se determinan por la fórmula indicada en G-13:

$$\alpha_t = \frac{1}{L_t''} \cdot (L_t'' - L_t') \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

α_t : contracción total tangencial [adimensional].

L_t' : distancia entre clavos, contracción tangencial, probeta secada en estufa, [mm].

L_t'' : distancia entre clavos para contracción tangencial con la probeta saturada, [mm].

La contracción volumétrica total se calcula con la formula indicada en G-14 y el CH correspondiente al PSF se determina mediante la fórmula indicada en G-15.

$$S = \frac{\alpha_t}{V} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

S : contenido de humedad correspondiente al punto de saturación de las fibras [%].

α_t : contracción total tangencial [%].

V : coeficiente de contracción diferencial, es el coeficiente de contracción cuando la madera estacionada al aire sufre una variación del 1 % de humedad por debajo del % correspondiente al PSF. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\frac{L - L'}{L}}{H_e} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

L : distancia entre clavos con la probeta estacionada al aire, [mm].

L' : distancia entre clavos con la probeta secada en estufa, [mm].

H_e : contenido de humedad de la probeta estacionada al aire, [%].

H_e se determina con:

$$H_e = \frac{G_1 - G_2}{G_2} * 100 \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

G_1 : peso de la probeta estacionada al aire, [g].

G_2 : peso de la probeta secada en estufa, [g].

2.3.3 Programas de secado empleados en los ensayos

Se utilizaron 3 programas de secado de tipo convencional, en los cuales la TBS no supera los 90°C, y el avance de un segmento al siguiente se realiza por tiempo.

Estos programas se basan en el programa “TAEDA380” obtenido por el usuario, modificando el programa sugerido por el Fabricante de la cámara de secado para *Pinus taeda* (*loblolly pine*), sobre la base de la experiencia adquirida en los primeros secados.

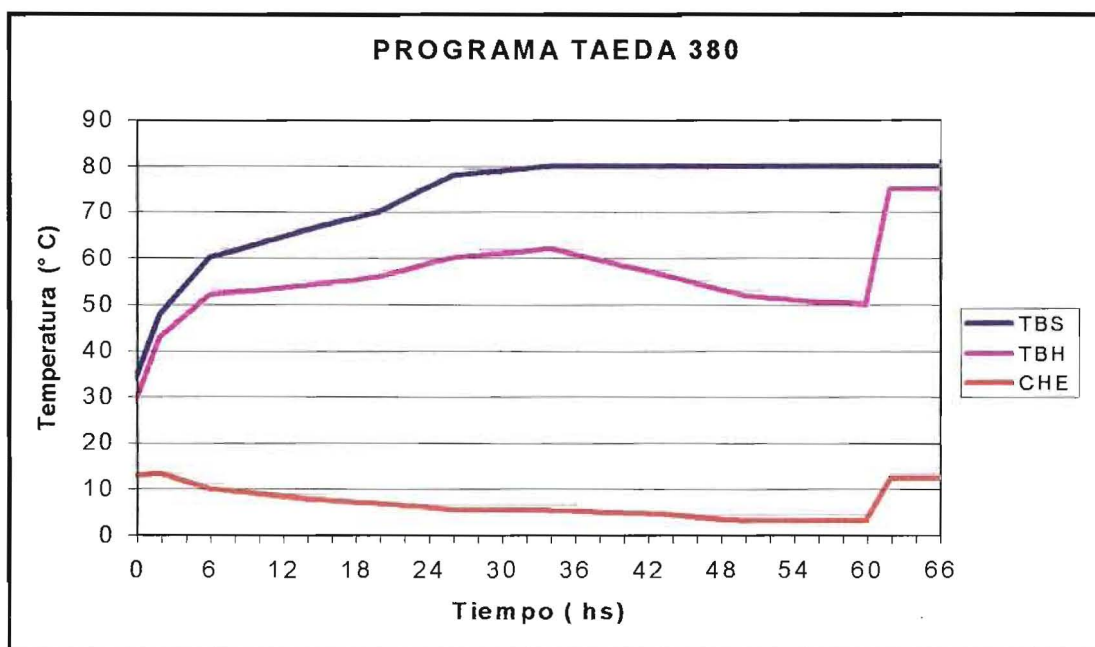


Fig. 2.7 Programa de secado TAEDA 380.

Los cambios introducidos respecto al programa original consistieron en la reducción de tiempos de las etapas principales de secado, por haberse comprobado que esta especie es poco propensa a producir defectos de secado. El Proveedor de la

cámara sugiere la utilización de tiempos más largos (en este caso 67 hs para un espesor de 38 mm) a fin de preservar la calidad en maderas propensas a producir defectos de secado.

Los programas ensayados se identificaron con los nombres de “TAEDA370”, “TAEDA380” y “TAEDA390”. El programa “TAEDA380” es el que se utiliza en el aserradero de Puerto Laharrague para secar *Pinus taeda* de 38 mm y 67 mm. En la Fig. 2.7 se muestra el gráfico del programa “TAEDA380” como ejemplo.

Como la temperatura es una de las variables controladas de este estudio. Para determinar su influencia sobre el tiempo de secado se confeccionaron los programas, “TAEDA390” y “TAEDA370” en los que se modifica la temperatura de bulbo seco a 90°C y 70°C respectivamente, manteniendo los demás parámetros de secado constantes, tomando el programa “TAEDA380” como base.

En el Anexo 3 se puede ver el programa recomendado por American y los programas “TAEDA380”, “TAEDA390” y “TAEDA370”. (61)

El ensayo de secado de las muestras testigo se realizó en condiciones industriales incluyendo las mismas dentro del secado de 120 m³ de *Pinus taeda* de 38 mm de espesor, como se detalla a continuación:

El ensayo preliminar, empleando 8 muestras testigo de 28 mm de espesor, se realizó junto al secado de una carga de madera de 38 mm (1½ pulgadas) de espesor, controlado por el programa “TAEDA380” que se utiliza normalmente. En este programa se alcanza una temperatura máxima de secado de 80°C. Los datos obtenidos se procesaron luego en el conjunto de datos obtenidos para el espesor de 28 mm.

El segundo ensayo, se realizó en un secado normal, igual al anterior, controlado por el programa “TAEDA380”. Se ensayaron 25 muestras, a razón de 5 por espesor standard.

El tercer ensayo se hizo incluyendo las muestras dentro un secado de 38 mm controlado por el programa “TAEDA390”, que alcanza una TBS máxima de 90°C. Se ensayaron 25 muestras, a razón de 5 por espesor standard.

Finalmente, para el cuarto ensayo se empleó el programa “TAEDA370” con una TBS que llega a 70°C. Se ensayaron 25 muestras, a razón de 5 por espesor standard.

2.3.4 Determinación de la pérdida de peso de las muestras

Las muestras testigo de secado se pesaron al comenzar el secado, a intervalos coincidentes con los cambios de segmentos de 2 horas de duración, en la mitad de los segmentos de 6 y 8 horas y al finalizar el secado, en cada uno de los cuatro ensayos de secado realizados. En consecuencia, los intervalos de pesado no fueron mayores a 4 horas. La extracción de las muestras testigo de secado para ser pesadas se hizo, en todos los casos, sin detener el funcionamiento de la cámara. Ver Foto 2.4.



Foto 2.4 Maniobra de carritos.

La precisión de las determinaciones de peso hechas con la balanza de campo varió de 0,25 % y 1,2 %, según el peso medido. El tiempo promedio empleado en la extracción, pesado y colocación de las muestras fue de 4 minutos por carrito.

2.3.5 Determinación del contenido de humedad de las muestras

Para la determinación de la reducción del contenido de humedad de cada una de las muestras testigo durante el secado realizado a nivel industrial, se utilizó el peso anhidro de las mismas calculado con la Ec. 2.8, a partir del CH de las respectivas probetas (tomadas al final del proceso de secado) obtenido según Norma IRAM N° 9532, G-1 Item "a", "Método de secado en estufa". (67)

Las probetas para este ensayo tienen una longitud de aproximadamente 25 mm y la sección correspondiente a las muestras. Se realizaron 2 determinaciones de CH por cada muestra testigo de secado, totalizando 166 determinaciones como sigue:

- Se pesaron las probetas con precisión de 0,01 g (peso original) y se colocaron en estufa.
- Se aplicó un calentamiento gradual hasta alcanzar 100 ± 3 °C.
- Se mantuvieron las probetas a dicha temperatura durante 24 horas.
- Se retiraron las probetas de la estufa, se dejaron enfriar en un desecador y se volvieron a pesar con precisión de 0,1 mg.
- Se repitió la operación anterior cada dos horas, hasta que 2 pesadas consecutivas dieran igual valor (peso anhidro).

El CH de las probetas se determinó mediante la fórmula:

$$CH = \frac{G - G_1}{G_1} * 100 \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

CH: contenido de humedad [%]

G : peso original de la probeta [g]

G_I : peso de la probeta anhidra [g]

A partir del contenido de humedad de las probetas se determinó el peso anhidro de las muestras testigo y se calculó el CH de mismas en cada uno de los 16 puntos de medición del proceso de secado: (6) (44)

$$\text{CH muestra} = \frac{\text{PH muestra} - \text{PS muestra}}{\text{PS muestra}} * 100 \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$\text{PS muestra} = \frac{\text{PH muestra}}{100 + \text{CH probeta}} * 100 \quad \text{Ec. 2.8}$$

Luego se determinó el tiempo empleado en alcanzar un contenido de humedad de 9 %, en cada una de las muestras testigo, interpolando dentro del último segmento en los casos necesarios. Este cálculo se realizó con los datos iniciales de cada segmento, utilizando la siguiente fórmula:

$$Z = Z_1 + \frac{D_i * \Delta\text{CH}_9}{\Delta\text{CH}_e} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde:

Z : tiempo total de secado hasta $\text{CHF} = 9\%$.

Z_1 : tiempo acumulado de etapas anteriores a la etapa final.

D_i : duración de la etapa en la cual la muestra “ i ” alcanza el CHF.

ΔCH_9 : variación del contenido de humedad entre el inicio de la etapa final y 9 %.

ΔCH_e : variación del contenido de humedad en la etapa en la cual se alcanza el CHF.

2.3.6 Calidad de secado

La calidad de secado se determina al finalizar el proceso luego de comprobar que la totalidad de la carga de madera haya alcanzado el CH deseado con 1 % de tolerancia, en caso contrario de debe continuar con la etapa de igualación. (44)

Los defectos de secado intensifican los defectos de crecimiento y elaboración y se suman a los mismos. Estos reducen la aptitud de la madera para su utilización, principalmente en remanufactura, bajando la calificación del producto y en consecuencia, su valor comercial. (6) (44) (68)

Los defectos que tienen su origen en el secado son: variación de contenido de humedad, endurecimiento superficial, nudos sueltos, tostado, fisuras, rajaduras, torcedura, arqueado y abarquillado.

Las evaluaciones de defectos de secado que se realizaron tienen como única finalidad comprobar la constancia de la calidad de secado, por ser esta una variable no estudiada en este trabajo. Al constatar que los cambios introducidos en las variables controladas no produjeron un incremento significativo de defectos atribuibles al secado, se consideró satisfecho este requisito.

Se evaluaron los defectos de secado sobre las 83 muestras utilizadas en los ensayos aplicando la Norma Brasileira NB-1381 cuyos estándares coinciden aproximadamente con los indicados en el manual de calificación de maderas de Western Lumber Grading Rules en la categoría primera, que se encuentra debajo de las categorías super y extra. (68) (69)

El CH final deseado es de 9 %, valor requerido por los procesos de remanufactura de la madera.

2.3.7 Ajuste de la ecuación de tiempo de secado

El tiempo de secado para *Pinus taeda* implantado de Misiones, se establece determinando el coeficiente “ α ” y exponentes de la ecuación: (40) (68) (70)

$$Z = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\ln \frac{CH_i}{CH_f} \right) \cdot \left(\frac{e}{25} \right)^a \cdot \left(\frac{g}{65} \right)^b \cdot \left(\frac{8}{C_s} \right)^c \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde:

Z: tiempo de secado. [horas]

α : coeficiente que define la madera y el equipo de secado.

α : exponente del factor de corrección por espesor "e".

b: exponente del factor de corrección por temperatura "θ".

c: exponente del factor de corrección por cociente de secado (potencial de secado).

C_s : potencial de secado (cociente de secado).

El coeficiente "α" y exponentes de los factores de corrección de esta ecuación se obtienen procesando los datos estadísticamente, luego de:

- Determinar los tiempos de secado de cada muestra hasta alcanzar un CH de 9 %, sin incluir las etapas de calentamiento, igualación y acondicionado.
- Confeccionar las correspondientes tablas de: tiempos de secado, CH_i/CH_f , temperatura, DBH, espesor, CHE y potencial de secado, para cada uno de los segmentos de secado y cada una de las muestras.

Ver análisis estadístico en ítems 2.3.8.

2.3.8 Análisis estadístico

Con el fin de analizar el ajuste de la ecuación de tiempos de secado planteada precedentemente se efectuó un análisis de regresión no lineal en el que intervinieron las siguientes variables: (66) (71) (72)

Variable dependiente:

- tiempo (horas)

Variables independientes:

- CH_i/CH_f [adimensional]

- Espesor de madera [mm]
- Temperatura de cámara [°C]
- Cociente de secado (potencial de secado) [adimensional]

Los contenidos de humedad iniciales de las muestras variaron entre 80 y 180 %, como es usual en tablas recién aserradas de *Pinus taeda*, y el contenido de humedad final deseado se estableció en 9 %, valor que se debe alcanzar en maderas que se utilizan en procesos de remanufactura.

- El espesor se estudió en 5 niveles: 15, 20, 28, 38 y 57 mm.
- La incidencia de la temperatura de secado se analizó a 70°C, 80°C y 90°C.
- El potencial de secado varió en cada ensayo de 15 a 3. Ver Anexo 7.

Se realizó un análisis descriptivo de las muestras del primer ensayo llevado a cabo a 80°C sobre 8 muestras de 28 mm, cuyo contenido de humedad se encontraba en el rango de 135 a 150 %, determinando la media, el coeficiente de variación y la desviación estándar del CHi y tiempo de secado hasta alcanzar un CH igual a 9 %.

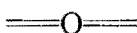
En el análisis final se sumaron a los datos anteriores los CH de 5 muestras para cada espesor, obtenidos en 3 ensayos de secado a nivel industrial realizados con los 3 programas, a temperaturas de 70°C, 80°C y 90°C. El potencial de secado correspondiente a estos programas se encuentra detallado en el Anexo 7. El número de muestras testigo de secado empleadas fue igual a 83 y se obtuvo una curva de secado, determinada por 16 puntos de CH, para cada muestra. Para el análisis estadístico se utilizaron los datos de estas curvas correspondientes al secado propiamente dicho, excluyendo las etapas de calentamiento, igualación y acondicionado.

Los datos obtenidos en los ensayos se evaluaron mediante el programa estadístico Statgraphics Plus Professional, version 4 for Windows, de Manugistics Inc, 1999. (74)

2.3.9 Plan de actividades

Las actividades realizadas para alcanzar los objetivos de este trabajo fueron:

- Selección de la madera de *Pinus taeda* a ensayar.
- Aserrado de tablas mediante cortes tangenciales.
- Preparación de muestras testigo de secado y probetas correspondientes.
- Determinación del peso inicial de las muestras.
- Armado de los paquetes de muestras testigo para el secado.
- Realización del proceso de secado hasta alcanzar un $CH = 9 \%$. La computadora que controla el secado detiene automáticamente el proceso cuando el medidor de humedad de la cámara indica que se ha alcanzado el CH prefijado, como valor promedio de sus 8 sensores eléctricos de CH de madera.
- Determinación del peso de las muestras testigo de secado durante el proceso de secado, al comenzar cada segmento de programa, con una determinación intermedia en el caso de segmentos de más de 6 hs de duración. Anexo 5
- Evaluación visual de la calidad de secado, determinando la presencia de defectos originados en el proceso.
- Extracción de probetas para determinación de CH y probetas de tenedor para evaluar tensiones de secado, de cada una de las muestras testigo al finalizar el ensayo.
- Conversión de las determinaciones de peso realizadas sobre las muestras testigo en CH correspondientes, empleando el peso anhidro, de las probetas respectivas, obtenido en laboratorio.
- Análisis estadístico de los datos medidos y determinación del coeficiente " α " y exponentes "a", "b" y "c" de la fórmula de tiempo de secado por difusión.
- Determinación de densidad.
- Determinación de PSF.
- Elaboración de un método para la aplicación práctica de la ecuación de tiempo de secado, a nivel industrial.



CAPITULO 3 - RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Tiempo de secado de *Pinus taeda*

Para la determinación del tiempo de secado de madera de *Pinus taeda* se llevaron a cabo los ensayos a nivel industrial detallados en los puntos 2.3.4 y 2.3.5, siguiendo el plan de actividades previsto en el punto 2.3.9.

Una vista de los carritos portamuestras y su ubicación dentro del secadero industrial se puede observar en las Fotos 3.1, 3.2 y 3.3.

Las mediciones del peso de cada una de las muestras durante el proceso de secado se detallan en las Tablas A5.1 a A5.10 del Anexo 5.

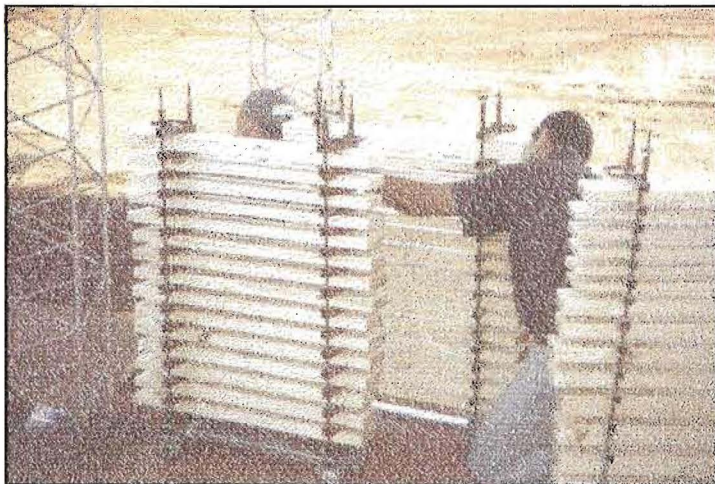


Foto 3.1 Carritos portamuestras de secado.

El peso anhidro de cada una de las probetas para determinación de humedad tomadas de las muestras testigo y el correspondiente a las muestras testigo de secado propiamente dichas se detallan en las Tablas A4.1 a A4.3 del Anexo 4.

Con los pesos anhidros y los pesos húmedos de las muestras testigo, obtenidos en cada segmento del secado, se calcularon los contenidos de humedad de cada una de las 83 muestras en 16 puntos del proceso de secado.

En la Fig. 3.1 se muestran, como ejemplo las curvas correspondientes al desarrollo de secado de tres muestras de 15 mm, 28 mm y 42 mm de espesor, realizado a 80°C.



Foto 3.2 Carrito portamuestras en secadero industrial.

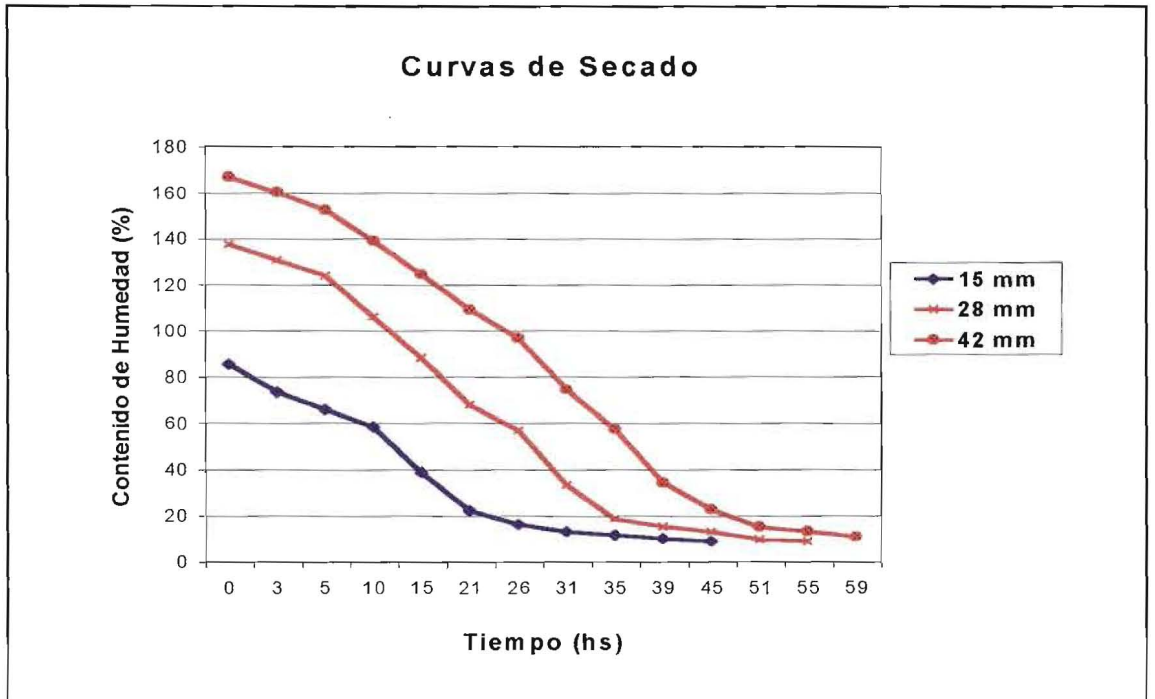


Fig. 3.1 Curvas de secado de *Pinus taeda* para tres espesores de madera.

Los datos de contenido de humedad de cada una de las muestras testigo durante el proceso de secado, hasta alcanzar el 9 % de CH, se detallan en las Tablas A6.1 a A6.10 del Anexo 6.



Foto 3.3 Secadero industrial cargado con madera de *Pinus taeda*.

El detalle pormenorizado de los datos obtenidos en los ensayos, al inicio de cada segmento de secado y en la mitad de los mismos para segmentos de duración mayor a 4 hs, correspondientes a: tiempo de secado, CHi/CHf, potencial de secado, espesor de madera y temperatura, de cada una de las muestras testigo, se encuentra en las Tablas A7.1 a A7.33 del Anexo 7.

De acuerdo a lo previsto en los puntos 2.3.7 y 2.3.8, se realizó un análisis de regresión no lineal sobre los valores de tiempo de secado obtenidos, para determinar el coeficiente alfa, la influencia del contenido de humedad inicial y los exponentes de los factores de corrección por espesor, temperatura y potencial de secado, de la función: (7) (40) (66) (70)

$$Z = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\ln \frac{CHi}{CHf} \right) \cdot \left(\frac{e}{25} \right)^a \cdot \left(\frac{65}{\mathcal{D}} \right)^b \cdot \left(\frac{8}{C_s} \right)^c \quad \text{Ec. 3.1}$$

El resultado del análisis de regresión no lineal, utilizando los 910 valores de tiempo de secado en función del CH_i/CH_f , espesor, temperatura y potencial obtenidos durante las experiencias desarrolladas para la presente Tesis, se muestra en la Tabla 3.1. (74)

Tabla 3.1 Análisis de regresión de la ecuación de tiempo de secado.

	Estimación	Error estándar
Coeficiente "α"	0,0499	0,138
Exponente "a"	0,453	0,011
Exponente "b"	0,577	0,028
Exponente "c"	0,317	0,014

Por lo tanto el resultado del ajuste del modelo de regresión no lineal que describe la relación entre el tiempo de secado y las cuatro variables independientes antes mencionadas es:

$$Z = \frac{1}{0,0499} \cdot \left(\ln \frac{CH_i}{CH_f} \right) \cdot \left(\frac{e}{25} \right)^{0,45} \cdot \left(\frac{65}{g} \right)^{0,58} \cdot \left(\frac{8}{C_s} \right)^{0,32} \quad \text{Ec. 3.2}$$

El análisis de varianza de la regresión no lineal indica, que el modelo se ajusta a los datos y presenta un R^2 ajustado de 94,02 % para el modelo, o sea que la ecuación obtenida explica el 94,02 % de la variabilidad del tiempo de secado.

El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es igual a 4,24. Además de acuerdo a los 'tests' de Kolmogorov y Chi-Cuadrado, que dieron $p = 0,083$ y $p = 0,067$ respectivamente, no se puede rechazar, con un 95 % de confianza, la afirmación de que los residuos provienen de una distribución normal. Ver Fig. 3.2.

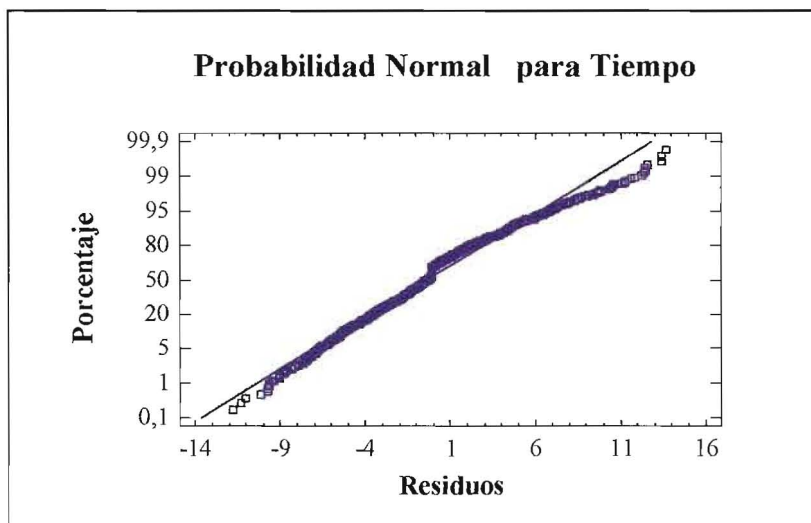


Fig. 3.2 Probabilidad Normal de los Residuos.

Los tiempos de secado predichos por el modelo frente a los tiempos observados en las experiencias se encuentran representados en la Fig. 3.3.

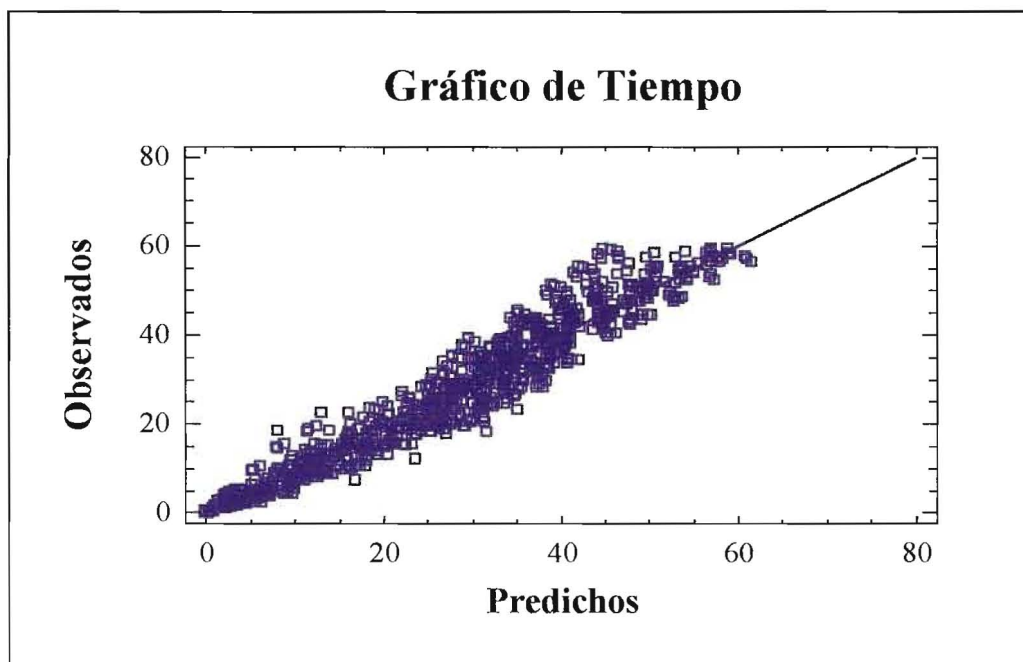


Fig. 3.3 Tiempos de secado observados vs. tiempos predichos.

La ecuación que resultó del presente estudio nos ofrece un medio práctico, basado en el principio de difusión, para determinar el tiempo teórico de secado propiamente dicho, para CH por encima y por debajo del PSF. Esto permite evaluar

los programas de secado convencionales en uso para *Pinus taeda* mediante dicha ecuación a fin de minimizar la duración de los mismos, lo que deriva en una mayor productividad de las cámaras de secado y disminución de los costos de operación.

El análisis estadístico indica que la ecuación de mejor ajuste al proceso de secado en su conjunto es una función logarítmica del CH corregida por factores de espesor, temperatura y potencial de secado. (47)

En la Fig. 3.4 podemos observar el modelo ajustado de tiempo de secado en función del cociente entre los contenidos de humedad inicial y final, para valores medios de los factores considerados. Se ve gráficamente la importancia que tiene utilizar programas de secado considerando el contenido de humedad.

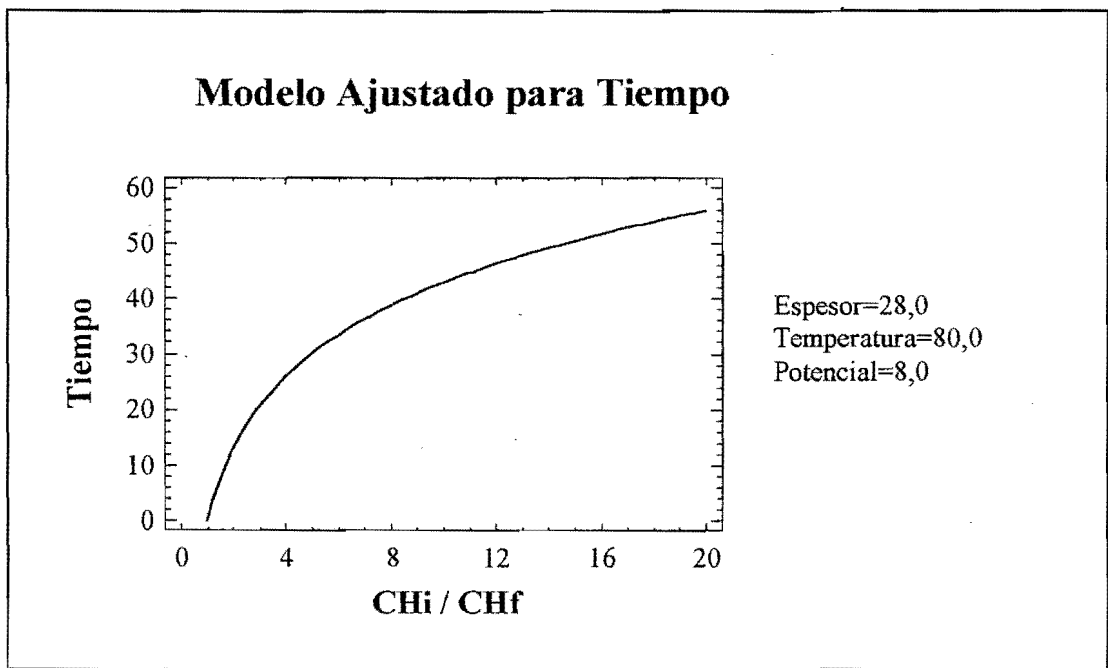


Fig. 3.4 Tiempo de secado en función del contenido de humedad.

Esto concuerda con lo expresado por A. J. Stamm en 1946 al considerar el secado de madera como un fenómeno de difusión en todo el rango de contenidos de humedad de la misma, sobre la base de estudios realizados por F. Tuttle en 1925, T. K. Sherwood en 1929 y 1935 y W. K. Loughborough en 1946. La ecuación propuesta por F. F. Kollmann en 1968 para determinar el tiempo de secado derivada de la

segunda Ley de Fick, confirmada por R. Hildebrand en 1970 en el uso industrial y por L. Malmquist en 1991, quién confirmó esta teoría al analizar los programas de secado utilizados en Europa y EEUU y propuso programas de secado para aplicación industrial considerando al mismo como un fenómeno de difusión pura. (8) (47)

El análisis de la superficie de respuesta estimada para tiempo de secado en función del cociente del contenido de humedad inicial y final y del espesor de la madera muestra que ambas variables influyen en forma directamente proporcional al tiempo. Ver Fig. 3.5.

Además se puede observar que las pendientes de la superficie son elevadas, lo que expresa la importancia de los factores.

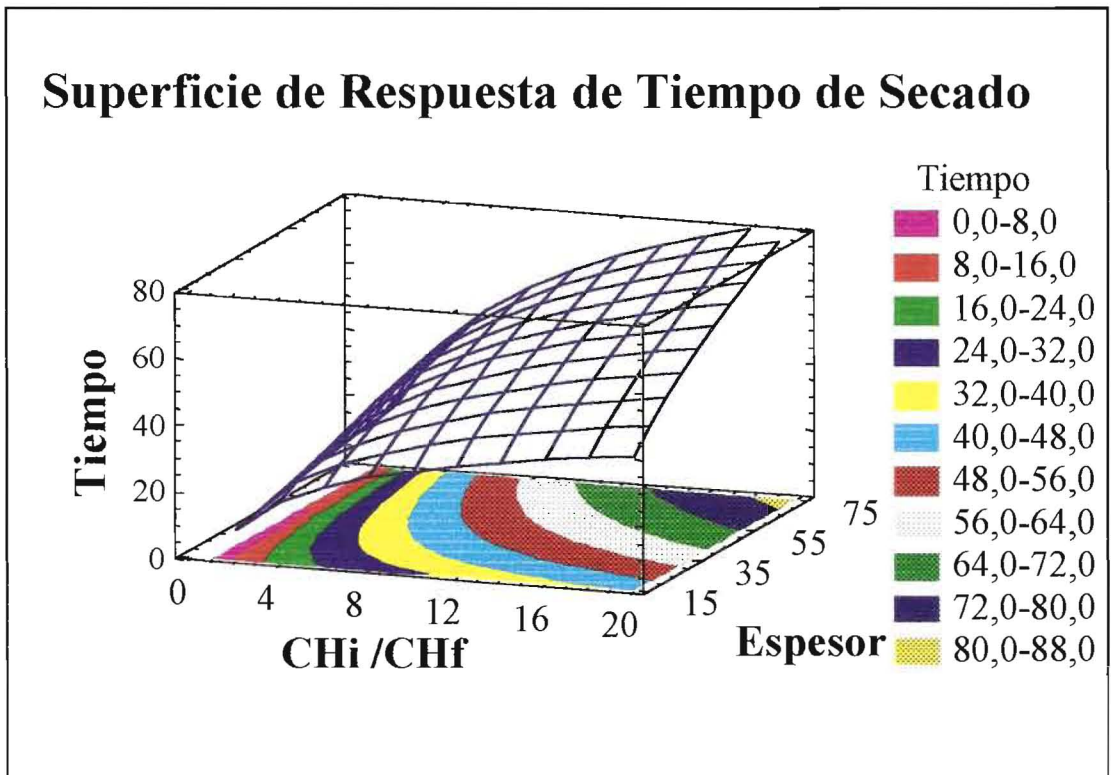


Fig. 3.5 Tiempo de secado en función del espesor y contenido de humedad.

Analizando la ecuación del modelo ajustado para tiempo de secado observamos que el coeficiente $\alpha = 0,0499$ determinado para *Pinus taeda*, concuerda con el determinado por F. F. Kollmann quien obtuvo un valor de $\alpha = 0,0477$ para coníferas. (47)

El mismo valor fue utilizado por R. Keylwerth, quien propuso un nomograma y la regla de cálculo AWF SR 727 para la determinación de tiempos de secado. (51)

También es igual al coeficiente $\alpha = 1/21$, aconsejado por F. Kneule. Además estos valores de " α " son utilizados en el secado industrial por R. Hildebrand. (55)

Analizando el factor de corrección por espesor sobre la base de 25 mm, se obtuvo un exponente $\alpha = 0,45$ menor que el propuesto por F. F. Kollmann, $\alpha = 1,5$ y al obtenido por F. Fessel y propuesto por R. Hildebrand y por F. Kneule de $\alpha = 1,25$ trabajando con coníferas a velocidades de aire de 0,7 m/s, por debajo del PSF. (40)
(55)

R. Hildebrand propone también utilizar como exponente " α " el potencial de secado, indicando que su valor debe ser inferior a 3 para espesores menores a 25 mm. K. Egner justifica la disminución del exponente del factor de corrección por espesor basándose en la diferencia entre la humedad que existe realmente en la superficie de la madera y la humedad de equilibrio hacia la cual esta tiende en el secado. (53)

De acuerdo a lo arriba indicado, en nuestro caso particular, las altas velocidades de aire causarían una disminución mas rápida de dicha diferencia, con la consiguiente reducción de la influencia del espesor sobre el tiempo de secado.

Como referencia en el dimensionado de secaderos industriales se utiliza " α " igual o menor que uno, previendo el secado de madera delgada de bajo peso específico. (40)

El análisis de la superficie de respuesta estimada para tiempo de secado en función de la temperatura y del potencial de secado, muestra que ambas variables influyen en forma inversamente proporcional al tiempo (Fig. 3.6).

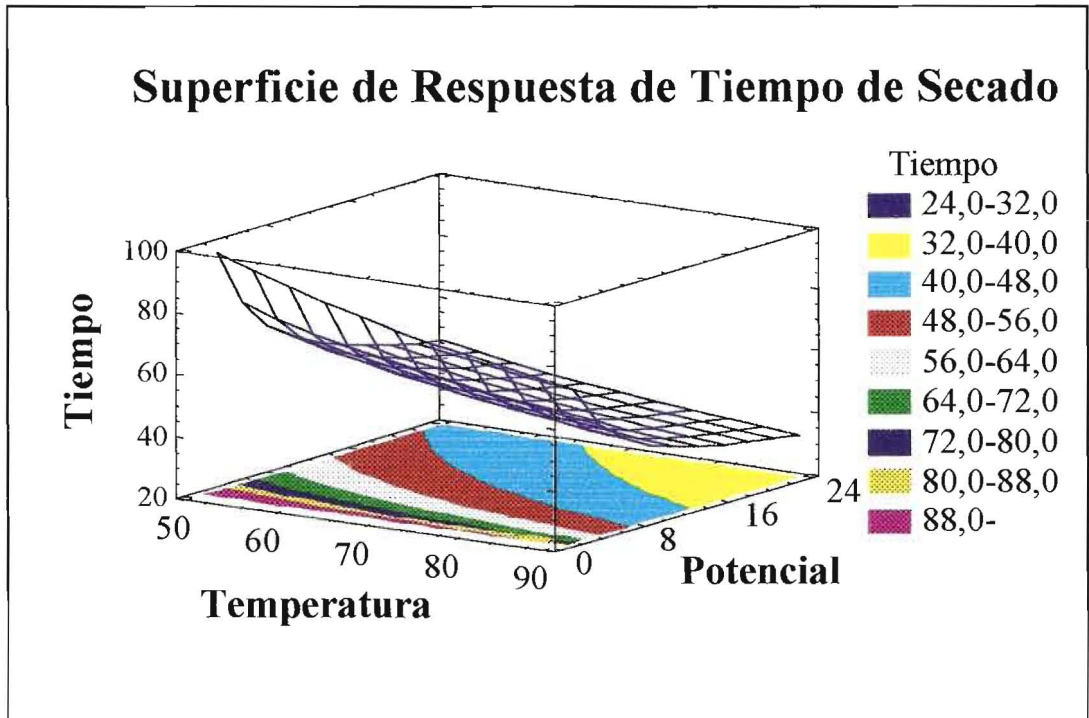


Fig. 3.6 Tiempo de secado en función de la temperatura y potencial de secado.

El resultado obtenido para el coeficiente “ b ”, exponente del factor de corrección por temperatura es de 0,58 obtenido relacionando temperaturas en grados centígrados, lo que indica una baja influencia de la temperatura, concepto que concuerda con los resultados obtenidos por K. Ludwig y W. Obermeyer et al. quienes reportaron valores de $b = 1,5$ y de 1,7 a 2 respectivamente, relacionando temperaturas absolutas. (47)

F. F. Kollmann reportó valores de $b = 1$. Mientras que T. Tuomola, en el dominio totalmente higroscópico da valores de “ b ” de 1,5 a 2,5 habiéndose obtenidos ambos relacionando temperaturas en grados centígrados. (47) (54)

La temperatura de bulbo seco y la depresión de bulbo húmedo determinan el contenido de humedad de equilibrio y el potencial de secado que controlan el proceso, por este motivo se incluyó un coeficiente de corrección que tiene en cuenta dicho potencial.

Del ajuste de la ecuación resulta un exponente del factor de corrección por potencial de secado $c \cong 0,32$. Dicho valor expresa que el tiempo de secado es inversamente proporcional a la raíz cúbica del potencial de secado.

La ecuación que resulta del presente estudio si bien concuerda en gran medida con las obtenidas y utilizadas hasta el presente posee diferencias atribuibles a la utilización de un equipamiento industrial moderno en su determinación.

3.2 Aplicación de la ecuación de tiempo de secado por difusión

La ecuación obtenida para determinar el tiempo de secado por difusión para *Pinus taeda* de Misiones permite además reducir los tiempos de acuerdo al CHI de la madera a secar e indicar con precisión el CHE que debe usarse al empezar el secado, o sea en que segmento debe iniciarse el proceso, lo que se traduce en otra causa de reducción del tiempo de secado. Además se puede observar en la Fig. 3.7 que un aumento en la temperatura de secado permite reducir etapas al final del secado como en los dos casos presentados a continuación:

Caso 1: Se desea secar *Pinus taeda* de 28 mm de espesor con un CHI de 95 % (línea verde), a 80°C de temperatura. En el gráfico se observa que el tiempo de secado, en abscisas parte inferior, es de 42 horas y que debe utilizarse un CHE inicial de 8 %, (no de 12 %), abscisas parte superior. Esto permite mantener el potencial de secado entre 12 y 13, valor normalmente usado en los secaderos de temperatura convencional moderno por encima de 60 % de CH. Nótese que en caso de utilizar un CHE inicial de 12 % (o sea comenzar el secado en el primer segmento de los programas convencionales) se estaría reduciendo innecesariamente el potencial de secado a un valor de 8, lo que alargaría el tiempo de secado.

Caso 2: Secado de *Pinus taeda* de 28 mm de espesor con un CHI de 130 % (línea azul), a 90°C de temperatura. En el gráfico podemos también observar que el tiempo de secado, en abscisas parte inferior, es de 41 horas, vemos también en el gráfico que debe utilizarse un CHE inicial de 10 %, (no de 12 %), abscisas parte superior. De la misma manera que el caso 1, esto nos permite mantener el potencial de

secado entre 12 y 13, con lo que se logra una reducción adicional del tiempo de secado, sin perjudicar la calidad de la madera.

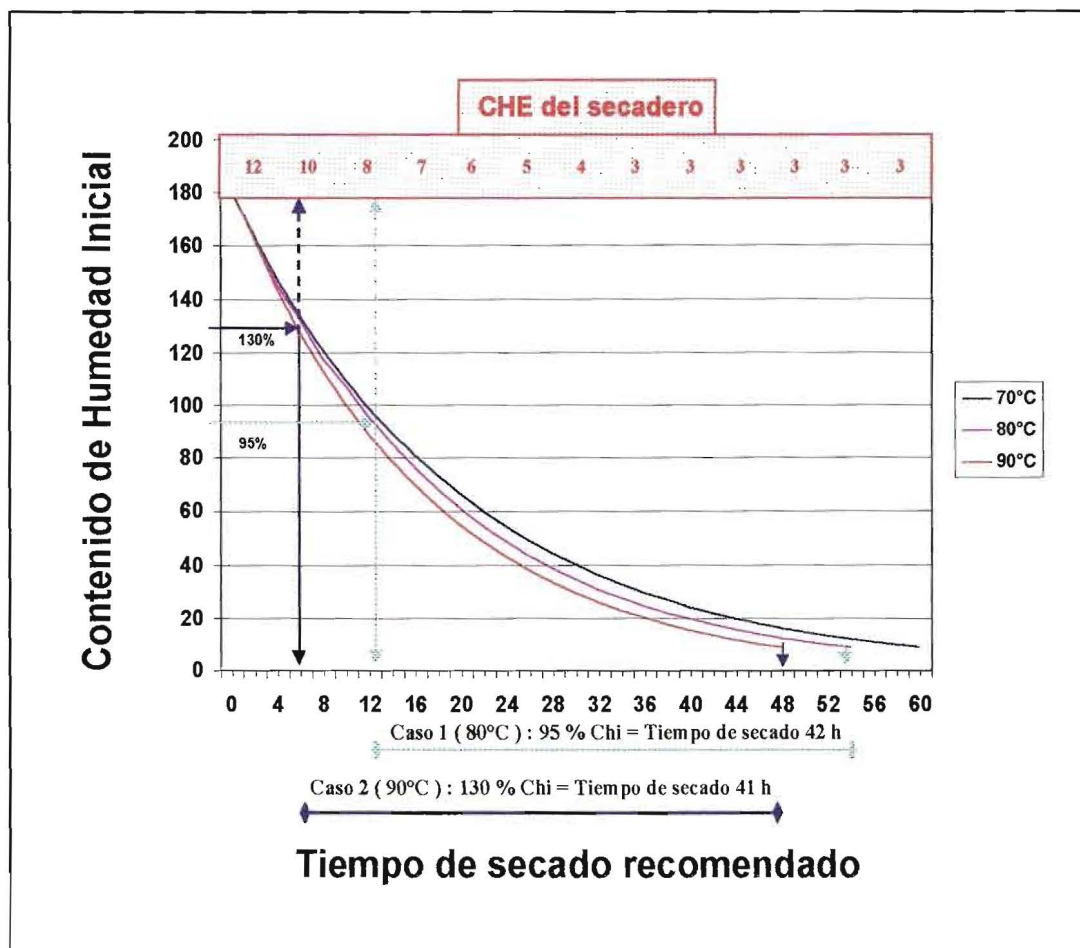


Fig. 3.7 Determinación de tiempos de secado (función de CHI y temperatura), para madera de 28 mm de espesor.

3.3 Densidad de *Pinus taeda*

Para la determinación de la densidad se llevaron a cabo los ensayos detallados en el punto 2.3.1. Los valores de las mediciones realizadas sobre cada una de las probetas y sus respectivos valores de densidad se encuentran en el Anexo 1.

El análisis estadístico descriptivo de los resultados obtenidos para la densidad de *Pinus taeda*, se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Densidad de *Pinus taeda*.

Media (g/cm ³)	0,402
Desviación estándar (g/cm ³)	0,050
Coefficiente de variación (%)	12,430
Rango (g/cm ³)	1,190

El valor medio de **0,402 g/cm³** con una desviación estándar de **0,050 g/cm³**, obtenido para la densidad del *Pinus taeda* de Misiones, es similar al valor publicado por P. Koch de 0,41 g/cm³ para *Pinus taeda* de 15 años y es menor al obtenidos por G. Bolzon, entre 0,52 y 0,42 g/cm³ para *Pinus taeda* a distintas alturas del fuste, y al valor de 0,63 g/cm³ publicado por R. Hildebrand, para *Pinos de Sur*. (40)

La Figura 3.8 muestra el gráfico de dispersión de densidad de las probetas.

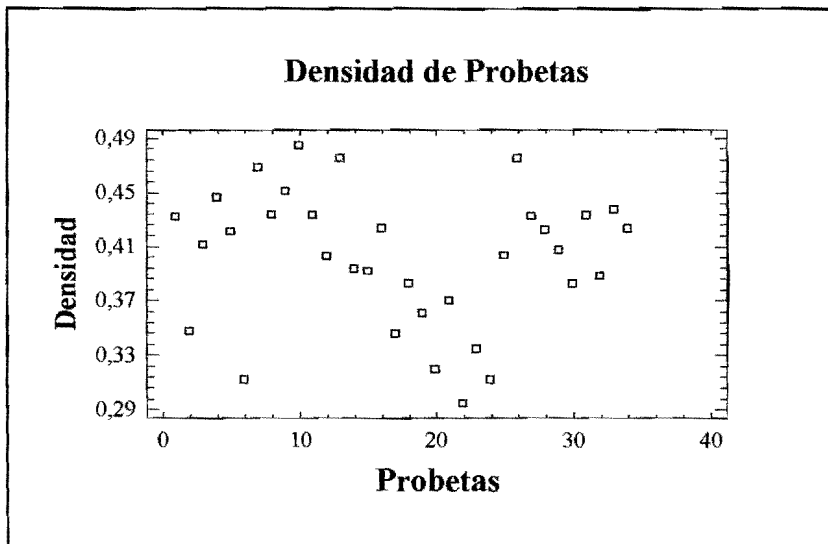


Fig. 3.8 Gráfico de dispersión (densidad).

3.4 Punto de saturación de las fibras de *Pinus taeda*

Para la determinación del PSF se realizaron los ensayos detalladas en el punto 2.3.2. Los valores de las mediciones realizadas sobre cada una de las probetas y sus respectivos valores de PSF se encuentran en el Anexo 2.

El análisis estadístico descriptivo de los resultados obtenidos para el PSF de *Pinus taeda*, se encuentra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 PSF de *Pinus taeda*.

Media (%)	27,92
Desviación estándar (%)	1,21
Coefficiente de variación (%)	4,33
Rango (%)	4,18

Los valores obtenidos para PSF de la madera de *Pinus taeda* de Misiones, con un valor medio de 27,9 % y una desviación estándar de 1,2 %, concuerdan en términos generales, con los citados por P. Koch entre 25 % a 30 % para *Pinos del Sur*, y se encuentran dentro del rango de valores de 26,4 % a 37,8 % determinado por E. Choong para *Pinus taeda* de EEUU. (9) (27)

En la Figura 3.9 se muestra el gráfico de dispersión del PSF.

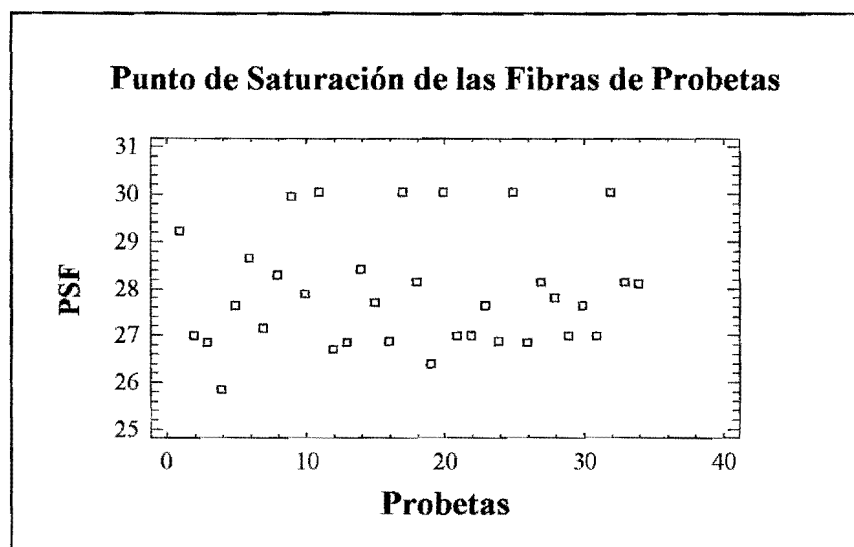


Fig. 3.9 Gráfico de dispersión (PSF)

3.5 Calidad del secado

Como parte de este estudio se realizó una evaluación de la calidad de secado en el aserradero Puerto Laharrague a fin de contar con un valor de comparación y

corroborar el porcentaje de defectos, que normalmente no supera el 5 %, observado por el personal de clasificación de madera. La evaluación se hizo sobre madera proveniente de 3 secados de *Pinus taeda* de 1" (28 mm) de espesor realizados con el programa "TAEDA380". Se inspeccionaron 1728 tablas correspondientes a 2 paquetes por cada carga de secado, resultando un 4 % de defectos de secado.

En el Anexo 8 se detallan los defectos de secado encontrados en las 83 muestras testigo utilizadas en los ensayos. Esta evaluación, realizada de acuerdo a las Norma Brasileira CB 205 (Asociación Brasileira de Productores de Madera) y al Reglamento de Clasificación de Maderas del Oeste, (Western Lumber Grading Rules 95), dio como resultado un 2,4 % de defectos de secado. (68) (69)

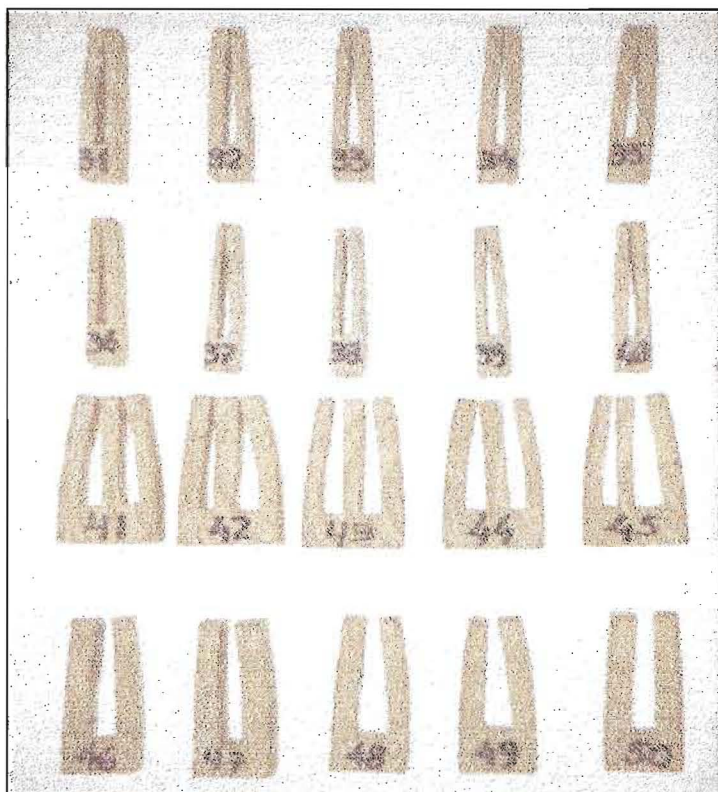


Foto 3.4 Probetas de tenedor.

Las probetas de tenedor indican un ligero endurecimiento superficial, como se observa en la Foto 3.4. Esto se puede corregir prolongando la etapa de acondicionado.

CAPITULO 4 - CONCLUSIONES

La investigación y discusión de los antecedentes y resultados de ensayos realizados sobre el tema desarrollado en la presente Tesis permitió arribar a las siguientes conclusiones:

El tiempo de secado de *Pinus taeda* implantado de la provincia de Misiones en secaderos convencionales puede ser estimado conociendo el contenido de humedad inicial, contenido de humedad final, espesor de la madera, temperatura y potencial de secado, mediante la ecuación abajo indicada, valida para contenidos de humedad entre 80 % y 180 %:

$$Z = \frac{1}{0,0499} \cdot \left(\ln \frac{CHi}{CHf} \right) \cdot \left(\frac{e}{25} \right)^{0,45} \cdot \left(\frac{65}{\vartheta} \right)^{0,58} \cdot \left(\frac{8}{C_s} \right)^{0,32}$$

El coeficiente “ α ”, característico de la especie, para *Pinus taeda* determinado en un secadero convencional de la más reciente tecnología, es igual a 0,0499.

Los exponentes de los factores de corrección por espesor y temperatura de la ecuación de tiempo de secado son iguales a 0,45 y 0,58 respectivamente, trabajando con espesores entre 15 mm y 57 mm, en el rango de temperaturas comprendido entre 70°C y 90°C, con una velocidad de aire constante de 4 m/s.

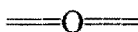
Asimismo el exponente del factor de corrección por potencial de secado, válido en el rango de potenciales de secado de 3 a 15, es igual a 0,32.

Los valores medios de densidad y punto de saturación de las fibras, obtenidos para *Pinus taeda* de Misiones de 14 años de edad, son 0,402 g/cm³ y 27,9 % respectivamente.

El análisis de defectos en el secado, que sobre las 83 muestras testigo ensayadas alcanzó un 2,4 % demuestra que la aplicación de la ecuación de tiempo de

secado por difusión para distintos espesores y CHI de la madera, secada a diferentes temperaturas y potenciales de secado, permite establecer el tiempo teórico mínimo manteniendo los defectos de secado por debajo del 5 %, considerado aceptable en la industria. Ver punto 3.5.

Se concluye que el tiempo de secado de *Pinus taeda* puede ser calculado para su utilización en la industria, con el conocimiento previo del espesor y CHI de la madera así como de la temperatura y potencial de secado elegidos para el programa, ya sea aplicando la ecuación o empleando gráficos determinados mediante la misma.



CAPITULO 5 - BIBLIOGRAFIA

- (1) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA); Ministerio de Economía, República Argentina (1998).
- (2) RWS, Engineering OY, Lathi Finlandia; "Aprovechamiento de las reservas boscosas de Misiones", Estimaciones 1997-2015, pp. 1-95 (1997).
- (3) Tomaselli, I.; "Secagem de Madeiras Serradas", STCP Engenharia de Projetos Ltda, Curitiba, Parana, Brasil, pp. 43-45 (1995).
- (4) Culpepper, L.; "High Temperature Drying-Enhancing Kiln Operations", Miller Freeman Publications Inc, San Francisco, California, USA (1990).
- (5) Walker, J. C. F.; Butterfiel, B. G.; Langrish, T. A. G.; Harris, J. M.; Uprichard, J. M.; "Primary Wood Processing, principles and practice", editors Chapman and Hall, pp. 121-143 (1993).
- (6) Junta del Acuerdo de Cartagena; "Manual del Grupo Andino para el Secado de Madera", 1ª edición Carvajal SA, pp. 1-3 a 2-47 (1989).
- (7) Kollmann, F.; Côté, W. Jr.; "Principles of Wood Science and Technology", 3rd edition Springer Verlag, New York, USA, pp.160-257 (1967).
- (8) Malmquist, L.; "Lumber drying as a diffusion process", Holz als Roh und Werkstoff (49), pp. 161-167 (1991).
- (9) Koch, P.; "Utilization of the Southern Pines". Agricultural Handbook N 420, US Department of Agriculture Forest Service, Washington DC, volume I pp. 83-336 (1972).
- (10) Megraw, P. A.; "Wood quality factors in *loblolly pine*", Tappi Press Technology Park, Atlanta, Georgia 30348, USA, pp. 78 (1955).
- (11) Sullivan, J.D.; "Wood Cellulose Protofibrils". TAPPI (51) pp. 501-507 (1968).
- (12) Panshin, A. J. et al.; "Textbook of Wood Technology", Mc Graw Hill Book Company Inc, pp. 112 (1964).
- (13) Zobel, B.; "Juvenility in wood production, in recent advances in botany", University of Toronto Press, pp. 1663-1665 (1961).
- (14) McMillin, C.W.; "Fibril angle of *loblolly pine* wood related to specific gravity, growth rate, and distance from pith", USDA Forest Service, Southern Forest

- Experimental Station, Alexandria, Louisiana, Final Report FS-SO-3201, pp. 1-23 (1969).
- (15) Bolzón de Muñiz, G.; "Caracterización y Desarrollo de Modelos para Estimar las Propiedades y el Comportamiento en el Secado de Madera de *Pinus elliottii* Engelm y *Pinus taeda* L.", Tesis de Doctorado, Universidad Federal de Parana, Curitiba, Brasil (1993).
 - (16) MacKinney, A. L.; Chaiken L. E.; "Heartwood in second growth *loblolly pine*", USDA Forest Service, Appalachian Forest Experimental Station Technical Note 18, pp. 3 (1935).
 - (17) Zobel, B.J.; Haight, A. E.; "Effect of bole straightness on compression wood of *loblolly pine*", NC State College, School of Forest. Technology Report 15, pp. 3 (1962).
 - (18) Shelbourne, C.J.A.; Ritchie, K.S.; "Relationship between degree of compression wood development, specific gravity and tracheid characteristics in *loblolly pine*", *Holzforschung* (22), pp. 185-190 (1968).
 - (19) Kellog, R.M.; Wangaard F.F.; "Variation in cell-wall density of wood", *Wood and Fiber* (1), pp. 180-204 (1969).
 - (20) Barefoot, A. C. et al.; "The relationship between *loblolly pine* fiber morphology and kraft paper properties", NC Agricultural Experimental Station, Bulletin 202, pp. 88 (1970).
 - (21) Goggans, J. F.; "Correlation and heritability of certain wood properties in *loblolly pine*", *TAPPI* (47), pp. 318-322 (1964).
 - (22) Skaar, C.; "Water in wood", Syracuse University Press, Syracuse USA (1972).
 - (23) Choong, E. et al.; "Effect of extractives on shrinkage and other higroscopic properties of ten southern pine woods", *Wood and Fiber* (1), pp. 124-133 (1969).
 - (24) Siau, J. F.; "Flow in wood", Syracuse University Press, Syracuse USA, pp.41-56 (1971).
 - (25) Erickson H. D. et al.; "The permeability of woods to liquids and factors affecting the rate of flow", Minnesota Agricultural Experimental Station, Technical Bulletin 122, pp. 42 (1937).

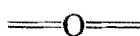
- (26) Bailey, P. J.; Preston, R. D.; "Some aspects of softwood permeability. Structural studies with *Douglas fir* sapwood and heartwood", *Holzforschung* (23), pp. 113-120 (1969).
- (27) Choong, E.; "Moisture and the Wood Of the Southern Pines", Forest Service, USDA Forest Products Journal. 19 (2), pp. 30-36 (1969).
- (28) Galvao, A. P. M.; Jankowsky, I. P.; "Secagem racional da madeira", editorial Nobel. Sao Paulo, Brasil, pp. 122 (1985).
- (29) Stamm, A. J.: "Wood and cellulose science", NY Ronald Press Co, pp. 549 (1964).
- (30) Spalt, H. A.; "The fundamentals of water vapor sorption by wood", *Forest Products Journal* (8), pp. 288-295 (1958).
- (31) Jankowsky, I. P.; "Influencia da densidade basica e do teor de extrativos na humidade de equilibrio da madeira", Piracicaba, ESALQ/USP Tese Mestrado (1979).
- (32) Stamm, A. J.; "Review of nine methods for determining the fiber saturation point of wood and wood products", *Wood Science* (1), pp. 4, 114, 128 (1931).
- (33) Campbell, W.B.; "The cellulose-water relationship in papermaking", Canadian Department of Interior Forest Service, Bulletin 84, pp. 52 (1933).
- (34) Siau, J.F.; "Transport processes in wood", 1^a edition Springer Verlag, New York, USA, pp. 21, pp. 35-55 (1984).
- (35) McMillin, C. W.; "Specific heat of some oven-dry chemical constituents of *loblolly pine* wood", *Wood Science* (3), pp. 52-53 (1970).
- (36) Wangaard, F. F.; "Heat transmissivity of southern pine wood, plywood, fiberboard, and particleboard", *Wood Science* (2), pp. 54-60 (1969).
- (37) MacLean, J. D.; "Thermal conductivity of wood. Heating, Piping and Air Conditioning", pp. 380-391 (1941).
- (38) Ponce, R. M.; Watai, L. T.; "Manual da secagem da madeira", Brasilia, MIC/STI-IPT, Serie Documentos (22), pp. 70 (1985).
- (39) Hart, C. A.; "The drying of wood", NC University School of Forest Technology, Report 27, pp. 24 (1965).
- (40) Hildebrand, R.; "Kiln Drying of Sawn Timber", editor Robert Hildebrand Maschinenbau GmbH. Nürtingen, Germany, pp. 159 (1970).

- (41) Hawley, L. F.; "Wood Liquid Relations", US Department of Agriculture, Technical Bulletin 284, pp. 34 USA (1931).
- (42) Brown, H. P.; et al. "Textbook of Wood Technology", Vol 2, 1st edition Mc Graw Hill Book Company Inc, New York (1952).
- (43) Jankowski, I. P.; Zapata, E.; "Gradiente de humidade e desenvolvimento na secagem artificial da madeira de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*", Encontro Nacional da Secagem 3, Vicosa CENTRENAIR, pp. 198-213 (1981).
- (44) Rasmussen, E.F.; "Dry kiln operators manual", Agriculture handbook 188, US Department of Agriculture Forest Service, Washington DC, USA, pp. 99-111, pp. 197 (1961).
- (45) Simpson, W. T.; "Dry kiln operators manual", Agriculture handbook 188, Washington DC, USA, Department of Agriculture Forest Service, pp. 197 (revision 1991).
- (46) Tuttle, F.; J. Francklin Institute, pp. 609 (1925).
- (47) Kollmann F.; Kuenzi E.; Stamm, A.; "Principles of wood science and technology, wood based materials", Vol. II, 1st edition Springer Verlag, New York, USA, pp. 96-103 (1975).
- (48) Loughbrough, W. K.; Peck, E. C.; American Lumberman (63) pp. 66-67, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, USA, Valores no publicados, citados por A. J. Stamm en F.F. Kollmann et al., ver (47).
- (49) Stamm, A. J.; "Passage of liquids, vapors and dissolved materials through softwoods", US Department of Agriculture Technology, Bulletin Nr 929. Washington DC. USA, pp. 48 (1946).
- (50) Malmquist, L.; Keylwerth, R.: "Analysis of modern lumber drying". STFI Medd. Bulletin 278 (1974).
- (51) Keylwerth, R.; "Das Trocknungsgefälle und die Steuerung von Holztrockenanlagen" In: Kollmann, F. Keylwerth, R. Beiträge zur Kraft und Wärmen wirtschaft in der Holzindustrie (7), pp. 56-62 (1950).
- (52) Martley, J. F.; "Moisture movement through wood", (Gt. Brit.) Dept. Science and Industrial Research, Forest Products Research Technical Paper No 2, London (1926).
- (53) Egner, K.; "Beitrage zur Kenntnis der Feuchtigkeitsbewegung in Hölzern vor allem in Fichtenholz während der Trocknung unterhalb des

- Fassersättigungspunktes”, Forsch.- Ber. Holz Berlin (1934), Citado por F. F. Kollmann et al. pp. 492, ver (47).
- (54) Tuomola, T.; Tesis: “Über die Holz Trocknung”, T. H. Helsinki (1943).
- (55) Kneule, F.; “El secado”, "Enciclopedia de la Tecnología Química" volumen 1. Urmo SA de ediciones, Bilbao, España, pp. 101-147 (1982).
- (56) Denig, J.; “Kiln Drying, Southern Yellow Pine Lumber”, North Carolina State University, NC, USA, pp. 1-8 (1993).
- (57) Lewis, W. C.; “Thermal conductivity of wood-base fiber and particle panel materials”, USDA Forest Services Research Paper FPL-77, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, USA, pp. 12 (1968).
- (58) Torgenson, O. W.; Timberman 42 pp.12 (1941), Holz als Roh und Werkstoff 5, pp. 259 (1942).
- (59) American Wood Dryers Inc.; “Dry Kiln Operating Manual”, Oregon, USA, pp. 94 (1999).
- (60) Souza Mendes, A. et al.; “Programas de Secagem para Madeiras Brasileiras” IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis, Brasilia, pp. 114 (1998).
- (61) Boone, R; Kozlik, Ch.; Bois, P.; Wengert, E.; “Dry Kiln Schedules for Commercial Woods”, US Department of Agriculture Forest Service, Washington DC, USA, pp. 99-111 (1988).
- (62) Tsoumis, G.; “Science and Technology of Wood”, 1st edition Chapman and Hall, New York, USA, pp. 265-268 (1991).
- (63) Pratt, G. H.; “Timber drying manual”, Department of the Environment, Princess Risborough Laboratory, Princess Risborough, Aylesbury, Buckinghamshire, U.K. HP 17 9PX, pp. 152 (1974).
- (64) Rietz, R. C.; “Accelerating the kiln drying of hardwoods”, Madison, Forest Products Laboratory, pp. 6 (1970).
- (65) McMillen, J. M.; “Stresses in wood during drying”, Madison, Forest Products Laboratory, pp. 52 (1963).
- (66) Hildebrand, R.; “El secado de la madera”, 1^a edición Comercial Sagrera SA, Barcelona, España, pp. 18-46 (1964).
- (67) IRAM, Instituto Argentino de Normalización; Norma técnica Nro 9532 (1963) “Maderas: Método de determinación de la humedad”, Norma técnica

Nro 9543 (1966) "Maderas: Método de determinación de la contracciones totales; axial, radial y tangencial y el punto de saturación de las fibras", Norma técnica Nro. 9544 (1973) "Maderas: Método de determinación de la densidad aparente".

- (68) "Catálogo de Normas de Madeira Serrada de Pinus", Associacao Brasileira de Produtores de Madeiras, Norma Brasileira (ABPM), NB -1381 (1992).
- (69) "Wester Lumber Grading Rules", Western Wood Products Association Oregon, USA, pp. 215-239 (1995).
- (70) Stump, E.; "1er. Seminario sobre secagem de madeira", Centro de Pesquisas Florestais, Universidade Federal da Santa Maria, Brasil, pp. 75 (1972)
- (71) Area, M. C.; "Metodología de la Investigación Científica". Universidad Nacional de Misiones (UNaM).pp. 107 (1999).
- (72) Snedecor, G. W.; "Elementary Statistical Methods for Foresters", Departament of Agriculture Forest Service, edición en español, pp. 104 (1970).
- (73) Area, M. C.; Schmalko, M. E.; "Estadística básica", Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. UnaM, pp. 62 (1996).
- (74) Statistical Graphics Corporation; "Statgraphics", Statistical Graphics System, version 2.1, User's Guide Plus Ware Product, STSC Inc, Vol. I & Vol. II, pp. 620 (1986).



ANEXO 1

DENSIDAD APARENTE

Pinus taeda

Tabla A1.1 - Densidad aparente de *Pinus taeda*

PROBETA	PESO SECO [g]	LARGO [cm]	ANCHO [cm]	ALTO [cm]	VOL. SAT. [cm ³]	DENS. APARENTE [g/cm ³]
1	3,770	2,000	2,124	2,056	8,734	0,432
2	2,960	2,040	2,008	2,076	8,504	0,348
3	3,650	2,134	2,004	2,078	8,887	0,411
4	3,910	2,021	2,108	2,060	8,776	0,446
5	3,560	2,006	2,040	2,066	8,455	0,421
6	2,500	1,982	2,020	1,992	7,975	0,313
7	4,110	1,984	2,136	2,066	8,755	0,469
8	3,850	1,916	2,126	2,178	8,872	0,434
9	4,241	2,124	2,148	2,062	9,408	0,451
10	4,489	2,108	2,120	2,070	9,251	0,485
11	4,051	2,126	2,138	2,054	9,336	0,434
12	3,639	2,088	2,100	2,060	9,033	0,403
13	4,409	2,128	2,120	2,054	9,266	0,476
14	3,599	2,118	2,122	2,034	9,142	0,394
15	3,579	2,090	2,118	2,062	9,128	0,392
16	3,819	2,116	2,116	2,014	9,018	0,424
17	2,840	2,002	2,032	2,020	8,217	0,346
18	3,160	2,046	2,010	2,008	8,258	0,383
19	2,960	2,020	2,050	1,982	8,207	0,361
20	2,440	1,894	2,008	2,006	7,629	0,320
21	3,080	2,038	2,042	2,002	8,332	0,370
22	2,360	2,044	1,954	2,000	7,988	0,295
23	2,700	2,030	2,022	1,964	8,062	0,335
24	2,500	1,982	2,020	1,992	7,975	0,313
25	3,350	2,046	2,030	1,994	8,282	0,404
26	4,409	2,128	2,120	2,054	9,266	0,476
27	3,560	2,026	2,040	1,988	8,216	0,433
28	3,450	2,062	1,986	1,992	8,158	0,423
29	3,270	2,014	2,000	1,992	8,024	0,408
30	3,110	2,044	2,006	1,982	8,127	0,383
31	4,051	2,126	2,138	2,054	9,336	0,434
32	3,090	1,980	2,032	1,976	7,950	0,389
33	3,380	1,942	2,002	1,984	7,714	0,438
34	3,819	2,116	2,116	2,014	9,018	0,424

ANEXO 2

PUNTO DE SATURACION DE LAS FIBRAS

Pinus taeda

Tabla A2.1 - PSF de *Pinus taeda*

PROB.	ESTAC.		SECO		SATUR.	CONTR.	COEFIC	TEN. HUM.	PSF
	L cm	PESO g	L' cm	PESO g	L'' cm	TANG %	CONTR. %/%	He %	
1	5,11	12,04	4,97	10,75	5,32	6,58	0,225	12,00	29,22
2	5,10	11,50	4,98	10,47	5,34	6,78	0,251	9,84	27,01
3	5,10	11,47	4,97	10,48	5,35	7,13	0,266	9,45	26,85
4	5,04	10,10	4,92	9,23	5,27	6,53	0,252	9,43	25,87
5	5,12	11,03	5,03	10,05	5,31	5,31	0,192	9,75	27,64
6	5,10	10,06	5,00	9,12	5,29	5,45	0,190	10,31	28,63
7	5,09	10,18	4,99	9,25	5,27	5,20	0,191	10,05	27,17
8	5,45	10,99	5,32	9,77	5,62	5,41	0,191	12,49	28,30
9	5,07	7,76	4,99	6,96	5,20	4,12	0,137	11,49	29,95
10	5,06	8,52	4,94	7,62	5,23	5,50	0,197	11,81	27,89
11	5,06	7,34	4,97	6,61	5,24	5,27	0,175	11,04	30,05
12	5,06	7,81	4,98	7,03	5,18	3,90	0,146	11,10	26,70
13	5,08	7,58	4,98	6,83	5,23	4,82	0,179	10,98	26,87
14	5,08	7,37	4,99	6,66	5,23	4,52	0,159	10,66	28,42
15	5,06	6,89	4,97	6,23	5,22	4,75	0,172	10,59	27,70
16	5,08	6,84	4,96	6,10	5,22	4,98	0,185	12,13	26,89
17	5,06	7,34	4,97	6,61	5,24	5,27	0,175	11,04	30,05
18	5,08	9,65	4,96	8,61	5,24	5,23	0,186	12,08	28,14
19	5,05	9,63	4,91	8,64	5,26	6,66	0,252	11,46	26,40
20	5,06	7,34	4,97	6,61	5,24	5,27	0,175	11,04	30,05
21	5,10	11,50	4,98	10,47	5,34	6,78	0,251	9,84	27,01
22	5,10	11,50	4,98	10,47	5,34	6,78	0,251	9,84	27,01
23	5,12	11,03	5,03	10,05	5,31	5,31	0,192	9,75	27,64
24	5,08	6,84	4,96	6,10	5,22	4,98	0,185	12,13	26,89
25	5,06	7,34	4,97	6,61	5,24	5,27	0,175	11,04	30,05
26	5,08	7,58	4,98	6,83	5,23	4,82	0,179	10,98	26,87
27	5,08	9,65	4,96	8,61	5,24	5,23	0,186	12,08	28,14
28	5,09	10,18	4,99	9,23	5,27	5,20	0,187	10,29	27,82
29	5,10	11,50	4,98	10,47	5,34	6,78	0,251	9,84	27,01
30	5,12	11,03	5,03	10,05	5,31	5,31	0,192	9,75	27,64
31	5,10	11,50	4,98	10,47	5,34	6,78	0,251	9,84	27,01
32	5,06	7,34	4,97	6,61	5,24	5,27	0,175	11,04	30,05
33	5,08	9,65	4,96	8,61	5,24	5,23	0,186	12,08	28,14
34	5,08	9,75	4,96	8,70	5,24	5,23	0,186	12,07	28,12

ANEXO 3

PROGRAMAS DE SECADO

Tabla A3.1 - Programa TAEDA370 - Empresa Puerto Laharrague SA

Segm.	Función	desde				hasta				vap.	Tiempo	
		TBS	TBH	DBH	EMC	TBS	TBH	DBH	CHE		Etapa	Acumulado
		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C		hs	hs
1	rampa	34	29	5	12,8	38	33	5	13,1	SI	2	2
2	rampa	38	33	5	13,1	50	42	8	10	SI	4	6
3	rampa	50	42	8	10	56	44	12	7,8	NO	8	14
4	rampa	56	44	12	7,8	60	46	14	6,9	NO	6	20
5	rampa	60	46	14	6,9	68	50	18	5,5	NO	6	26
6	rampa	68	50	18	5,5	70	52	18	5,5	NO	8	34
7	rampa	70	52	18	5,5	70	46	24	4,2	NO	10	44
8	rampa	70	46	24	4,2	70	42	28	2,9	NO	6	50
9	rampa	70	42	28	2,9	70	40	30	2,9	NO	10	60
10	rampa	70	40	30	2,9	70	65	5	13	NO	2	62
11	Cte	70	65	5	13	70	65	5	13	NO	4	66

Tabla A3.2 - Programa TAEDA380 - Empresa Puerto Laharrague SA

Segm.	Func.	desde				hasta				Vap.	Tiempo	
		TBS	TBH	DBH	CHE	TBS	TBH	DBH	CHE		Etapa	Acum.
		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C		hs	hs
1	rampa	34	29	5	12,8	48	43	5	13,4	SI	2	2
2	rampa	48	43	5	13,4	60	52	8	10	SI	4	6
3	rampa	60	52	8	10	66	54	12	7,8	NO	8	14
4	rampa	66	54	12	7,8	70	56	14	6,9	NO	6	20
5	rampa	70	56	14	6,9	78	60	18	5,5	NO	6	26
6	rampa	78	60	18	5,5	80	62	18	5,5	NO	8	34
7	rampa	80	62	18	5,5	80	56	24	4,4	NO	10	44
8	rampa	80	56	24	4,4	80	52	28	3,2	NO	6	50
9	rampa	80	52	28	3,2	80	50	30	3,2	NO	10	60
10	rampa	80	50	30	3,2	80	75	5	12,4	NO	2	62
11	Cte	80	75	5	12,4	80	75	5	12,4	NO	4	66

Tabla A3.3 - Programa TAEDA390 - Empresa Puerto Laharrague SA

Segm.	Func.	desde				hasta				Vap.	Tiempo	
		TBS	TBH	DBH	CHE	TBS	TBH	DBH	CHE		Etapa	Acum.
		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C		hs	hs
1	rampa	34	29	5	12,8	52	47	5	13,1	SI	2	2
2	rampa	52	47	5	13,1	69	61	8	10	SI	4	6
3	rampa	69	61	8	10	75	63	12	7,8	NO	8	14
4	rampa	75	63	12	7,8	80	66	14	6,9	NO	6	20
5	rampa	80	66	14	6,9	88	70	18	5,5	NO	6	26
6	rampa	88	70	18	5,5	90	72	18	5,5	NO	8	34
7	rampa	90	72	18	5,5	90	66	24	4,2	NO	10	44
8	rampa	90	66	24	4,2	90	62	28	2,9	NO	6	50
9	rampa	90	62	28	2,9	90	60	30	2,9	NO	10	60
10	rampa	90	60	30	2,9	90	85	5	13	NO	2	62
11	Cte	90	85	5	13	90	85	5	13	NO	4	66

Tabla A3.4 - Programa Convencional *Southern pine* 25 mm - American Wood Dryers

Segm.	Función	desde				hasta				vap.	Tiempo	
		TBS	TBH	DBH	CHE	TBS	TBH	DBH	CHE		Etapa	Acum.
		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C		hs	hs
1	rampa	20	20	0	30	50	42	8	10	NO	4	4
2	rampa	50	42	8	10	82	71	11	8	NO	10	14
3	rampa	82	71	11	8	82	71	11	8	NO	5	19
4	rampa	82	71	11	8	82	60	22	4	NO	24	43
5	rampa	82	60	22	4	82	60	22	4	NO	24	67

ANEXO 4

PESO ANHIDRO DE MUESTRAS

Tabla A4.1 - Peso anhidro de muestras (ensayo preliminar a 80°C).

Probetas					Muestras
Esp. (mm)	N°	Ph	Ps	CH%	Ps
28	1	39,35	36,83	6,84	889
28	2	36,95	34,52	7,04	878
28	3	35,27	33,05	6,72	890
28	4	42,67	39,81	7,18	905
28	5	34,35	32,08	7,08	822
28	6	37,88	35,18	7,67	892
28	7	41,34	38,68	6,88	908
28	8	38,23	35,8	6,79	918

Tabla A4.2 - Peso anhidro de muestras secadas a 70°C.

Esp. (mm)	Probetas				Muestras
	N°	Ph	Ps	CH%	Ps
57	1	103,53	90,54	14,35	2213
57	2	117,44	101,98	15,16	2327
57	3	112,79	98,3	14,74	1978
57	4	117,05	101,89	14,88	1967
57	5	102,52	89,36	14,73	1970
38	1	66,12	60,17	9,89	1729
38	2	75,91	69,82	8,72	1665
38	3	66,3	60,85	8,96	1569
38	4	70,87	64,97	9,08	1540
38	5	55,15	50,68	8,82	1461
28	1	35,93	33,94	5,86	992
26	2	43,37	40,99	5,81	1021
26	3	37,05	35,17	5,35	1006
26	4	42,41	40,23	5,42	911
26	5	38,02	36,05	5,46	967
20	1	31,87	30,21	5,49	768
20	2	25,81	24,51	5,30	731
20	3	30,02	28,44	5,56	720
20	4	29,76	28,22	5,46	787
20	5	33,64	31,96	5,26	827
15	1	27,39	25,98	5,43	645
15	2	25,22	23,91	5,48	588
15	3	23,54	22,4	5,09	561
15	4	26,07	24,68	5,63	596
15	5	20,36	19,27	5,66	549

Tabla A4.3 - Peso anhidro de muestras secadas a 80°C.

Probetas					Muestras
Esp. (mm)	N°	Ph	Ps	CH%	Ps
22	1	35,31	33,21	6,32	734
22	2	30,54	28,73	6,30	753
22	3	32,76	30,81	6,33	762
22	4	31,55	29,72	6,16	744
22	5	31,02	29,12	6,52	713
15	1	24,6	23,31	5,53	644
15	2	28,49	26,99	5,56	597
15	3	29,87	28,29	5,59	663
15	4	28,32	26,82	5,59	663
15	5	30,22	28,59	5,70	662
57	1	74,63	66,67	11,94	1697
57	2	83,82	74,48	12,54	1804
57	3	73,52	65	13,11	1821
57	4	99,73	88,52	12,66	2130
57	5	99,98	89,88	11,24	2095
42	1	44,19	40,07	10,28	1088
42	2	43,15	39,47	9,32	1070
42	3	44,8	40,54	10,51	1041
42	4	44,91	40,57	10,70	1048
42	5	44,03	40,03	9,99	1164
28	1	43,66	40,64	7,43	754
28	2	36,32	33,88	7,20	774
28	3	31,48	29,19	7,85	779
28	4	35,65	32,91	8,33	822
28	5	52,31	48,23	8,46	848

Tabla A4.4 - Peso anhidro de muestras secadas a 90°C.

Esp.(mm)	Probetas				Muestras
	N°	Ph	Ps	CH %	Ps
57	1	73,5	65,18	12,76	1729
57	2	80,61	71,01	13,52	1647
57	3	74,37	65,52	13,51	1692
57	4	69,18	60,71	13,95	1676
57	5	64,59	56,91	13,49	1736
38	1	94,97	84,72	12,10	1552
38	2	71,42	63,62	12,26	1541
38	3	73,07	65,39	11,74	1566
38	4	64,91	57,68	12,53	1591
38	5	57,23	51,17	11,84	1431
15	1	19,73	18,46	6,88	524
15	2	21,62	20,34	6,29	527
15	3	22,17	20,8	6,59	535
15	4	20,19	19,02	6,15	509
15	5	20,99	19,77	6,17	527
26	1	44,83	41,8	7,25	1016
26	2	41,73	38,85	7,41	996
26	3	47,53	44,12	7,73	1030
26	4	43,74	40,65	7,60	1022
26	5	45,81	42,77	7,11	1102
20	1	35,72	33,61	6,28	781
20	2	33,35	31,23	6,79	777
20	3	36,9	34,82	5,97	698
20	4	30,57	28,86	5,93	727
20	5	32,14	30,3	6,07	735

ANEXO 5

PESO DE MUESTRAS

Tabla A5.1 - Pesos de Muestras - Ensayo a 80°C - Espesor de 28 mm (Ensayo preliminar)

Segmento	1		2	3		4	5	6		7	8	9		10	11			
TBSi	34		48	60		66	70	78		80	80	80		80	80			
TBSf	48		60	66		70	78	80		80	80	80		80	80			
DBHi	5		5	8		12	14	18		18	24	28		30	5			
DBHf	5		8	12		14	18	18		24	28	30		5	5			
CHEi	23		21	10		7,8	6,9	5,5		5,5	4,2	2,9		2,9	13			
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5	5,5		4,2	2,9	2,9		13	13			
Duración	2		4	8		6	6	8		10	6	10		2	4			
Hora inicio	08:00	10:00	14:00	18:00	22:00	4:00	10:00	14:00	18:00	23:00	04:00	10:00	15:00	20:00	22:00	2:00		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		PESO [g]															
1	1	28	2240	2200	2160	2110	2060	1910	1720	1600	1460	1260	1120	1040	1010	970	960	950
2	1	28	2220	2190	2170	2120	2060	1910	1710	1610	1450	1240	1110	1030	1000	960	950	940
3	1	28	2280	2240	2200	2150	2100	1950	1750	1640	1490	1280	1140	1050	1010	980	960	950
4	1	28	2300	2260	2220	2170	2110	1970	1790	1670	1550	1350	1200	1080	1040	1000	980	970
5	1	28	2180	2120	2050	1990	1920	1770	1560	1380	1280	1080	1000	940	920	890	880	880
6	1	28	2230	2170	2120	2060	2000	1840	1680	1500	1400	1190	1060	1030	1010	980	970	960
7	1	28	2240	2200	2160	2110	2050	1890	1710	1550	1440	1230	1130	1070	1030	1000	980	970
8	1	28	2250	2220	2190	2110	2030	1900	1830	1630	1530	1350	1200	1080	1040	1000	990	980

Tabla A5.2 - Pesos de Muestras - Ensayo a 80°C - Espesores de 22 y 15 mm

Segmento	1		2	3		4	5		6	7		8	9		10	11		
TBSi	34		48	60		66	70		78	80		80	80		80	80		
TBSf	48		60	66		70	78		80	80		80	80		80	80		
DBHi	5		5	8		12	14		18	18		24	28		30	5		
DBHf	5		8	12		14	18		18	24		28	30		5	5		
CHEi	23		21	10		7,8	6,9		5,5	5,5		4,2	2,9		2,9	13		
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5		5,5	4,2		2,9	2,9		13	13		
Duración	2		4	8		6	6		8	10		6	10		2	4		
Hora inicio	08:00	10:00	14:00	18:00	22:00	4:00	10:00	14:00	18:00	23:00	04:00	10:00	15:00	20:00	22:00	2:00		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		PESO [g]															
9	3/4	22	1380	1340	1300	1250	1200	1100	1010	940	900	860	860	820	810	790	780	780
10	3/4	22	1560	1520	1480	1320	1350	1250	1120	1030	970	900	880	840	830	800	800	800
11	3/4	22	1530	1500	1460	1410	1350	1250	1150	1070	990	910	880	850	830	820	810	810
12	3/4	22	1510	1460	1410	1360	1300	1200	1080	990	940	870	840	820	810	800	790	790
13	3/4	22	1480	1450	1420	1360	1290	1190	1110	980	920	850	820	790	780	760	760	760
14	1/2	15	1230	1190	1150	1100	1040	910	760	730	730	720	710	700	690	680	680	680
15	1/2	15	1210	1160	1110	1070	1020	880	760	700	680	670	660	650	640	630	630	630
16	1/2	15	1220	1170	1130	1080	1030	900	810	770	750	740	720	710	710	680	690	700
17	1/2	15	1250	1190	1130	1080	1030	910	890	770	770	740	730	720	710	700	700	700
18	1/2	15	1250	1200	1150	1100	1050	920	810	770	750	740	730	720	710	700	700	700

Tabla A5.3 - Pesos de Muestras - Ensayo a 80°C - Espesores de 57 y 42 mm.

Segmento	1		2	3		4	5	6		7		8	9		10	11		
Tbsi	34		48	60		66	70	78		80		80	80		80	80		
Tbsf	48		60	66		70	78	80		80		80	80		80	80		
dbhi	5		5	8		12	14	18		18		24	28		30	5		
dbhf	5		8	12		14	18	18		24		28	30		5	5		
CHEi	23		21	10		7,8	6,9	5,5		5,5		4,2	2,9		2,9	13		
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5	5,5		4,2		2,9	2,9		13	13		
Duración	2		4	8		6	6	8		10		6	10		2	4		
Hora inicio	08:00	10:00	14:00	18:00	22:00	4:00	10:00	14:00	18:00	23:00	04:00	10:00	15:00	20:00	22:00	2:00		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		PESO [g]															
19	2	57	3930	3900	3860	3750	3640	3470	3230	3040	2880	2620	2370	2120	2040	1970	1940	1900
20	2	57	3960	3990	3920	3830	3740	3590	3390	3220	3080	2860	2630	2390	2250	2130	2080	2030
21	2	57	3860	3830	3790	3810	3630	3480	3260	3130	3010	2790	2600	2370	2260	2150	2110	2060
22	2	57	3890	3860	3830	3770	3700	3580	3400	3300	3210	3010	2860	2670	2580	2490	2450	2400
23	2	57	3940	3900	3850	3780	3710	3530	3360	3150	3040	2830	2680	2540	2480	2410	2370	2330
24	1 1/2	42	2840	2810	2790	2700	2610	2470	2290	2170	2050	1820	1630	1400	1320	1260	1230	1200
25	1 1/2	42	2880	2850	2810	2730	2650	2530	2370	2230	2110	1900	1710	1470	1320	1220	1190	1170
26	1 1/2	42	2850	2820	2780	2710	2630	2490	2340	2180	2050	1820	1640	1400	1280	1200	1180	1150
27	1 1/2	42	2840	2810	2770	2700	2620	2480	2320	2180	2060	1840	1650	1430	1310	1220	1200	1160
28	1 1/2	42	2920	2870	2820	2740	2660	2500	2270	2080	1930	1700	1520	1390	1350	1310	1290	1280

Tabla A5.4 - Pesos de Muestras - Ensayo a 80°C - Espesor de 28 mm

Segmento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11							
Tbsi	34	48	60	66	70	78	80	80	80	80	80							
Tbsf	48	60	66	70	78	80	80	80	80	80	80							
dbhi	5	5	8	12	14	18	18	24	28	30	5							
dbhf	5	8	12	14	18	18	24	28	30	5	5							
CHEi	23	21	10	7,8	6,9	5,5	5,5	4,2	2,9	2,9	13							
CHEf	21	10	7,8	6,9	5,5	5,5	4,2	2,9	2,9	13	13							
Duración	2	4	8	6	6	8	10	6	10	2	4							
Hora inicio	08:00	10:00	14:00	18:00	22:00	4:00	10:00	14:00	18:00	23:00	04:00	10:00	15:00	20:00	22:00	2:00		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		PESO [g]															
29	1	28	2150	2110	2060	2010	1950	1800	1630	1480	1350	1140	990	890	860	830	820	810
30	1	28	2060	2020	1980	1920	1860	1710	1590	1410	1270	1070	960	900	880	850	840	830
31	1	28	2060	2020	1980	1930	1870	1710	1520	1380	1260	1070	970	900	880	850	840	840
32	1	28	2250	2210	2170	2120	2070	1910	1740	1580	1470	1260	1120	1000	970	920	900	890
33	1	28	2270	2240	2200	2130	2060	1910	1720	1580	1470	1280	1150	1040	990	950	930	920

Tabla A5.5 - Pesos de Muestras - Ensayo a 90°C - Espesores de 56 y 38 mm

Segmento	1		2	3		4	5	6		7	8	9		10	11			
TBSi	34		52	69		75	80	88		90	90	90		90	90			
TBSf	52		69	75		80	88	90		90	90	90		90	90			
DBHi	5		5	8		12	14	18		18	24	28		30	5			
DBHf	5		8	12		14	18	18		24	28	30		5	5			
CHEi	23		21	10		7,8	6,9	5,5		5,5	4,2	2,9		2,9	13			
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5	5,5		4,2	2,9	2,9		13	13			
Duración	2		4	8		6	6	8		10	6	10		2	4			
Hora inicio	16:00	18:00	22:00	02:00	06:00	12:00	18:00	22:00	02:00	07:00	12:00	18:00	23:00	04:00	06:00	10:00		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		PESO [g]															
34	2	56	3830	3790	3790	3710	3670	3480	3270	3070	2910	2630	2450	2210	2060	2000	1990	1950
35	2	56	3760	3730	3730	3640	3600	3380	3190	2960	2800	2510	2310	2100	1960	1910	1900	1870
36	2	56	3830	3800	3800	3700	3660	3450	3250	3020	2860	2560	2360	2150	2020	1960	1940	1920
37	2	56	3880	3850	3850	3770	3710	3530	3310	3080	2910	2610	2400	2170	2020	1960	1950	1910
38	2	56	4020	3990	3990	3900	3840	3630	3440	3210	3040	2750	2530	2280	2090	2020	2000	1970
39	1 1/2"	38	3280	3250	3220	3160	3110	2980	2800	2620	2490	2280	2130	1940	1830	1780	1770	1740
40	1 1/2"	38	3560	3510	3500	3430	3380	3230	3020	2840	2700	2470	2290	2080	1860	1790	1780	1730
41	1 1/2"	38	3610	3560	3550	3470	3440	3250	3080	2900	2760	2520	2340	2110	1880	1810	1790	1750
42	1 1/2"	38	3490	3460	3450	3380	3330	3190	2990	2800	2660	2430	2250	2050	1880	1810	1800	1790
43	1 1/2"	38	3480	3460	3420	3360	3300	3120	2930	2730	2580	2300	2070	1840	1690	1640	1630	1600

Tabla A5.6 - Pesos de Muestras - Ensayo a 90°C - Espesores de 15 y 26 mm

Segmento	1		2	3		4	5		6		7		8	9		10	11	
TBSi	34		52	69		75	80		88		90		90	90		90	90	
TBSf	52		69	75		80	88		90		90		90	90		90	90	
DBHi	5		5	8		12	14		18		18		24	28		30	5	
DBHf	5		8	12		14	18		18		24		28	30		5	5	
CHEi	23		21	10		7,8	6,9		5,5		5,5		4,2	2,9		2,9	13	
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5		5,5		4,2		2,9	2,9		13	13	
Duración	2		4	8		6	6		8		10		6	10		2	4	
Hora inicio	16:00	18:00	22:00	02:00	06:00	12:00	18:00	22:00	02:00	07:00	12:00	18:00	23:00	04:00	06:00	10:00		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		PESO [g]															
44	1/2	15	1320	1300	1250	1210	1170	1060	910	780	680	610	580	570	560	570	560	560
45	1/2	15	1340	1300	1250	1200	1170	1040	920	780	690	600	580	570	560	560	560	560
46	1/2	15	1310	1290	1240	1200	1150	1020	920	790	700	620	590	590	570	580	570	570
47	1/2	15	1290	1270	1220	1180	1140	1020	900	780	690	600	560	560	550	550	550	540
48	1/2	15	1220	1200	1150	1110	1080	1000	860	760	690	610	580	580	570	560	560	560
49	1	26	2430	2420	2380	2340	2300	2190	2030	1870	1760	1540	1360	1210	1120	1090	1090	1090
50	1	26	2480	2450	2410	2380	2340	2200	2080	1930	1820	1630	1460	1250	1130	1090	1080	1070
51	1	26	2460	2440	2410	2360	2300	2210	2090	1960	1850	1660	1510	1300	1170	1130	1120	1110
52	1	26	2420	2400	2370	2330	2290	2160	2050	1920	1810	1630	1450	1280	1160	1130	1120	1100
53	1	26	2450	2440	2400	2350	2300	2190	2070	1930	1820	1640	1450	1320	1230	1190	1190	1180

Tabla A5.7 - Pesos de Muestras - Ensayo a 90°C - Espesor de 20 mm

Segmento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11							
TBSi	34	52	69	75	80	88	90	90	90	90	90							
TBSf	52	69	75	80	88	90	90	90	90	90	90							
DBHi	5	5	8	12	14	18	18	24	28	30	5							
DBHf	5	8	12	14	18	18	24	28	30	5	5							
CHEi	23	21	10	7,8	6,9	5,5	5,5	4,2	2,9	2,9	13							
CHEf	21	10	7,8	6,9	5,5	5,5	4,2	2,9	2,9	13	13							
Duración	2	4	8	6	6	8	10	6	10	2	4							
Hora inicio	16:00	18:00	22:00	02:00	06:00	12:00	18:00	22:00	02:00	07:00	12:00	18:00	23:00	04:00	06:00	10:00		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		PESO [g]															
54	3/4	20	1710	1680	1640	1600	1560	1490	1350	1240	1130	990	920	880	840	840	830	830
55	3/4	20	1690	1670	1630	1590	1550	1470	1340	1230	1120	990	920	880	840	840	840	830
56	3/4	20	1720	1700	1660	1600	1560	1470	1330	1210	1080	930	820	770	750	740	740	740
57	3/4	20	1680	1660	1620	1570	1530	1420	1290	1160	1040	910	840	800	780	780	780	770
58	3/4	20	1740	1710	1660	1600	1550	1460	1310	1160	1010	900	830	800	780	780	780	780

Tabla A5.8 - Pesos de Muestras - Ensayo a 70°C - Espesores de 57 y 38 mm

Segmento	1		2	3		4	5		6		7		8	9		10	11	
TBSi	34		38	50		56	60		68		70		70	70		70	70	
TBSf	38		50	56		60	68		70		70		70	70		70	70	
DBHi	5		5	8		12	14		18		18		24	28		30	5	
DBHf	5		8	12		14	18		18		24		28	30		5	5	
CHEi	23		21	10		7,8	6,9		5,5		5,5		4,2	2,9		2,9	13	
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5		5,5		4,2		2,9	2,9		13	13	
Duración	2		4	8		6	6		8		10		6	10		2	4	
Hora inicio	18:30	20:30	00:30	04:30	08:30	14:30	20:30	00:30	04:30	09:30	14:30	20:30	01:30	06:30	08:30	12:30		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		PESO [g]															
59	2	57	4090	4020	4010	3940	3880	3730	3550	3380	3300	3070	2940	2740	2670	2610	2550	2530
60	2	57	4100	4080	4050	3990	3950	3820	3680	3520	3460	3250	3140	2950	2830	2760	2710	2680
61	2	57	3980	3950	3920	3840	3810	3630	3440	3270	3200	2930	2760	2550	2450	2390	2340	2310
62	2	57	4080	4020	4000	3920	3880	3720	3550	3390	3310	3050	2870	2620	2450	2360	2310	2270
63	2	57	4090	4040	4020	3930	3890	3730	3550	3380	3300	3050	2870	2610	2440	2350	2300	2260
64	1 1/2	38	3190	3170	3150	3070	3010	2860	2680	2520	2460	2260	2140	2050	2000	1950	1920	1900
65	1 1/2	38	3000	3020	2990	2910	2860	2710	2540	2380	2320	2120	2050	1970	1910	1870	1840	1810
66	1 1/2	38	3400	3340	3320	3230	3190	3040	2860	2680	2610	2320	2150	1920	1830	1770	1740	1710
67	1 1/2	38	3290	3280	3250	3150	3120	2950	2760	2560	2480	2190	2020	1850	1780	1730	1700	1680
68	1 1/2	38	3340	3270	3220	3110	3060	2840	2620	2400	2310	2010	1850	1740	1680	1640	1610	1590

Tabla A5.9 - Pesos de Muestras - Ensayo a 70°C - Espesores de 26 y 20 mm

Segmento			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11					
TBSi			34	38	50	56	60	68	70	70	70	70	70					
TBSf			38	50	56	60	68	70	70	70	70	70	70					
DBHi			5	5	8	12	14	18	18	24	28	30	5					
DBHf			5	8	12	14	18	18	24	28	30	5	5					
CHEi			23	21	10	7,8	6,9	5,5	5,5	4,2	2,9	2,9	13					
CHEf			21	10	7,8	6,9	5,5	5,5	4,2	2,9	2,9	13	13					
Duración			2	4	8	6	6	8	10	6	10	2	4					
Hora inicio			18:30	20:30	00:30	04:30	08:30	14:30	20:30	00:30	04:30	09:30	14:30	20:30	01:30	06:30	08:30	12:30
Duración			0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4
Tiempo acum.			0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66
m	Esp.(Pulg/mm)		PESO [g]															
69	1	28	2070	2020	1990	1910	1870	1720	1540	1390	1320	1200	1160	1110	1080	1070	1060	1050
70	1	26	2060	2030	2010	1950	1910	1770	1620	1470	1410	1250	1200	1140	1110	1100	1080	1080
71	1	26	2020	2000	1980	1910	1880	1730	1580	1430	1380	1220	1180	1120	1090	1080	1060	1060
72	1	26	2070	2020	1990	1920	1880	1730	1570	1400	1340	1130	1080	1030	990	980	960	960
73	1	26	2070	2040	2010	1930	1900	1740	1580	1420	1360	1200	1150	1100	1050	1040	1030	1020
74	3/4	20	1660	1650	1620	1560	1540	1400	1250	1120	1070	930	900	850	830	820	810	810
75	3/4	20	1680	1670	1640	1570	1530	1390	1240	1100	1040	890	850	810	780	780	770	770
76	3/4	20	1670	1660	1620	1530	1510	1350	1190	1040	980	860	830	800	780	770	760	760
77	3/4	20	1710	1690	1660	1580	1540	1390	1220	1070	1020	930	910	870	850	840	830	830
78	3/4	20	1690	1670	1650	1570	1530	1390	1240	1110	1050	980	950	910	880	880	870	870

Tabla A5.10 - Pesos de Muestras - Ensayo a 70°C - Espesor de 15 mm

Segmento	1		2	3		4	5	6		7		8	9		10	11		
TBSi	34		38	50		56	60	68		70		70	70		70	70		
TBSf	38		50	56		60	68	70		70		70	70		70	70		
DBHi	5		5	8		12	14	18		18		24	28		30	5		
DBHf	5		8	12		14	18	18		24		28	30		5	5		
CHEi	23		21	10		7,8	6,9	5,5		5,5		4,2	2,9		2,9	13		
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5	5,5		4,2		2,9	2,9		13	13		
Duración	2		4	8		6	6	8		10		6	10		2	4		
Hora inicio	18:30	20:30	00:30	04:30	08:30	14:30	20:30	00:30	04:30	09:30	14:30	20:30	01:30	06:30	08:30	12:30		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		PESO [g]															
79	1/2	15	1260	1220	1200	1130	1100	980	860	820	810	770	760	740	730	720	710	710
80	1/2	15	1270	1230	1200	1130	1090	970	830	740	720	670	650	640	640	630	620	620
81	1/2	15	1270	1230	1210	1150	1110	990	850	730	700	640	630	620	600	590	590	590
82	1/2	15	1240	1220	1200	1140	1100	990	860	760	740	690	680	650	640	640	630	630
83	1/2	15	1170	1140	1110	1050	1010	880	740	680	670	630	620	600	590	590	590	580

ANEXO 6

CONTENIDO DE HUMEDAD DE MUESTRAS

Tabla A6.1 - Contenido de Humedad de Muestras - Ensayo a 80°C - Espesor de 28 mm (Ensayo preliminar).

Segmento	1		2	3		4	5	6		7		8	9		10	11		
TBSi	34		48	60		66	70	78		80		80	80		80	80		
TBSf	48		60	66		70	78	80		80		80	80		80	80		
DBHi	5		5	8		12	14	18		18		24	28		30	5		
DBHf	5		8	12		14	18	18		24		28	30		5	5		
CHEi	23		21	10		7,8	6,9	5,5		5,5		4,2	2,9		2,9	13		
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5	5,5		4,2		2,9	2,9		13	13		
Duración	2		4	8		6	6	8		10		6	10		2	4		
Hora inicio	08:00	10:00	14:00	18:00	22:00	4:00	10:00	14:00	18:00	23:00	04:00	10:00	15:00	20:00	22:00	2:00		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		CH [%]															
1	1	28	151,9	147,4	142,9	137,3	131,7	114,8	93,4	79,9	64,2	41,7	26,0	17,0	13,6	9,1	8,0	6,8
2	1	28	152,8	149,4	147,1	141,4	134,6	117,5	94,7	83,3	65,1	41,2	26,4	17,3	13,9	9,3	8,2	7,0
3	1	28	156,1	151,6	147,1	141,5	135,9	119,1	96,6	84,2	67,4	43,8	28,1	18,0	13,5	10,1	7,8	6,7
4	1	28	154,1	149,7	145,3	139,8	133,2	117,7	97,8	84,5	71,3	49,2	32,6	19,3	14,9	10,5	8,3	7,2
5	1	28	165,3	158,0	149,4	142,1	133,6	115,4	89,8	67,9	55,7	31,4	21,7	14,4	11,9	8,3	7,1	7,1
6	1	28	150,1	143,4	137,8	131,1	124,3	106,4	88,4	68,2	57,0	33,5	18,9	15,5	13,3	9,9	8,8	7,7
7	1	28	146,8	142,4	138,0	132,5	125,9	108,2	88,4	70,8	58,7	35,5	24,5	17,9	13,5	10,2	8,0	6,9
8	1	28	145,2	141,9	138,6	129,9	121,2	107,0	99,4	77,6	66,7	47,1	30,8	17,7	13,3	9,0	7,9	6,8

Tabla A6.2 - Contenido de Humedad de Muestras - Ensayo a 80°C - Espesores de 22 y 15 mm.

Segmento	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11												
TBSi	34		48		60		66		70		78		80		80		80		80		80												
TBSf	48		60		66		70		78		80		80		80		80		80		80												
DBHi	5		5		8		12		14		18		18		24		28		30		5												
DBHf	5		8		12		14		18		18		24		28		30		5		5												
CHEi	23		21		10		7,8		6,9		5,5		5,5		4,2		2,9		2,9		13												
CHEf	21		10		7,8		6,9		5,5		5,5		4,2		2,9		2,9		13		13												
Duración	2		4		8		6		6		8		10		6		10		2		4												
Hora inicio	08:00		10:00		14:00		18:00		22:00		4:00		10:00		14:00		18:00		23:00		04:00		10:00		15:00		20:00		22:00		2:00		
Duración	0		2		4		4		4		6		6		4		4		5		5		6		5		5		2		4		
Tiempo acum	0		2		6		10		14		20		26		30		34		39		44		50		55		60		62		66		
m	Esp. (Pulg/mm)		CH [%]																														
9	3/4	22	88,1	82,7	77,2	70,4	63,6	49,9	37,7	28,1	22,7	17,2	17,2	11,8	10,4	7,7	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3		
10	3/4	22	107,3	102,0	96,7	75,4	79,4	66,1	48,8	36,9	28,9	19,6	16,9	11,6	10,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3		
11	3/4	22	100,8	96,9	91,7	85,1	77,2	64,1	51,0	40,5	30,0	19,5	15,5	11,6	9,0	7,6	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3		
12	3/4	22	102,9	96,2	89,5	82,8	74,7	61,3	45,1	33,0	26,3	16,9	12,9	10,2	8,8	7,5	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	
13	3/4	22	107,4	103,2	99,0	90,6	80,8	66,8	55,6	37,4	29,0	19,1	14,9	10,7	9,3	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	
14	1/2	15	90,9	84,7	78,5	70,7	61,4	41,2	17,9	13,3	13,3	11,7	10,2	8,6	7,1	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	
15	1/2	15	102,7	94,4	86,0	79,3	70,9	47,4	27,3	17,3	13,9	12,3	10,6	8,9	7,2	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
16	1/2	15	84,0	76,5	70,4	62,9	55,4	35,8	22,2	16,1	13,1	11,6	8,6	7,1	7,1	2,6	4,1	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
17	1/2	15	88,6	79,5	70,5	62,9	55,4	37,3	34,3	16,2	16,2	11,6	10,1	8,6	7,1	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
18	1/2	15	88,8	81,2	73,7	66,1	58,6	38,9	22,3	16,3	13,3	11,7	10,2	8,7	7,2	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7

Tabla A6.3 - Contenido de Humedad de Muestras - Ensayo a 80°C - Espesores de 57 y 42 mm.

Segmento	1		2	3		4	5	6		7		8	9		10	11		
TBSi	34		48	60		66	70	78		80		80	80		80	80		
TBEf	48		60	66		70	78	80		80		80	80		80	80		
DBHi	5		5	8		12	14	18		18		24	28		30	5		
DBHf	5		8	12		14	18	18		24		28	30		5	5		
CHEi	23		21	10		7,8	6,9	5,5		5,5		4,2	2,9		2,9	13		
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5	5,5		4,2		2,9	2,9		13	13		
Duración	2		4	8		6	6	8		10		6	10		2	4		
Hora inicio	08:00	10:00	14:00	18:00	22:00	4:00	10:00	14:00	18:00	23:00	04:00	10:00	15:00	20:00	22:00	2:00		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		CH [%]															
19	2	57	131,5	129,8	127,4	120,9	114,5	104,4	90,3	79,1	69,7	54,4	39,6	24,9	20,2	16,1	14,3	11,9
20	2	57	119,5	121,2	117,3	112,3	107,3	99,0	87,9	78,5	70,8	58,6	45,8	32,5	24,7	18,1	15,3	12,5
21	2	57	111,9	110,3	108,1	109,2	99,3	91,1	79,0	71,9	65,3	53,2	42,8	30,1	24,1	18,0	15,9	13,1
22	2	57	82,6	81,2	79,8	77,0	73,7	68,1	59,6	54,9	50,7	41,3	34,3	25,3	21,1	16,9	15,0	12,7
23	2	57	88,1	86,2	83,8	80,5	77,1	68,5	60,4	50,4	45,1	35,1	27,9	21,3	18,4	15,1	13,1	11,2
24	1 1/2	42	161,0	158,2	156,4	148,1	139,9	127,0	110,5	99,4	88,4	67,3	49,8	28,7	21,3	15,8	13,0	10,3
25	1 1/2	42	169,1	166,3	162,6	155,1	147,6	136,4	121,5	108,4	97,2	77,5	59,8	37,4	23,3	14,0	11,2	9,3
26	1 1/2	42	173,9	171,0	167,1	160,4	152,7	139,3	124,9	109,5	97,0	74,9	57,6	34,5	23,0	15,3	13,4	10,5
27	1 1/2	42	171,0	168,2	164,3	157,7	150,0	136,7	121,4	108,0	96,6	75,6	57,5	36,5	25,0	16,4	14,5	10,7
28	1 1/2	42	150,9	146,6	142,3	135,5	128,6	114,8	95,1	78,7	65,8	46,1	30,6	19,4	16,0	12,6	10,9	10,0

Tabla A6.4 - Contenido de Humedad de Muestras - Ensayo a 80°C - Espesor de 28 mm.

Segmento	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11												
TBSi	34		48		60		66		70		78		80		80		80		80		80												
TBSf	48		60		66		70		78		80		80		80		80		80		80												
BH	5		5		8		12		14		18		18		24		28		30		5												
DBHf	5		8		12		14		18		18		24		28		30		5		5												
CHEi	23		21		10		7,8		6,9		5,5		5,5		4,2		2,9		2,9		13												
CHEf	21		10		7,8		6,9		5,5		5,5		4,2		2,9		2,9		13		13												
Duración	2		4		8		6		6		8		10		6		10		2		4												
Hora inicio	08:00		10:00		14:00		18:00		22:00		4:00		10:00		14:00		18:00		23:00		04:00		10:00		15:00		20:00		22:00		2:00		
Duración	0		2		4		4		4		6		6		4		4		5		5		6		5		5		2		4		
Tiempo acum	0		2		6		10		14		20		26		30		34		39		44		50		55		60		62		66		
m	Esp.(Pulg/mm)		CH [%]																														
29	1	28	185,2	179,9	173,2	166,6	158,6	138,7	116,2	96,3	79,1	51,2	31,3	18,0	14,1	10,1	8,8	7,4															
30	1	28	166,1	160,9	155,7	148,0	140,2	120,9	105,4	82,1	64,0	38,2	24,0	16,2	13,7	9,8	8,5	7,2															
31	1	28	164,5	159,3	154,2	147,8	140,1	119,5	95,1	77,2	61,8	37,4	24,5	15,5	13,0	9,1	7,8	7,8															
32	1	28	173,9	169,0	164,1	158,0	151,9	132,5	111,8	92,3	78,9	53,4	36,3	21,7	18,1	12,0	9,5	8,3															
33	1	28	167,6	164,1	159,4	151,1	142,9	125,2	102,8	86,3	73,3	50,9	35,6	22,6	16,7	12,0	9,6	8,5															

Tabla A6.5 - Contenido de Humedad de Muestras - Ensayo a 90°C - Espesores de 56 y 38 mm.

Segmento	1		2	3		4	5		6	7		8	9		10	11		
Tbsi	34		52	69		75	80		88	90		90	90		90	90		
Tbsf	52		69	75		80	88		90	90		90	90		90	90		
dbhi	5		5	8		12	14		18	18		24	28		30	5		
dbhf	5		8	12		14	18		18	24		28	30		5	5		
CHEi	23		21	10		7,8	6,9		5,5	5,5		4,2	2,9		2,9	13		
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5		5,5	4,2		2,9	2,9		13	13		
Duración	2		4	8		6	6		8	10		6	10		2	4		
Hora inicio	16:00	18:00	22:00	02:00	06:00	12:00	18:00	22:00	02:00	07:00	12:00	18:00	23:00	04:00	06:00	10:00		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		CH [%]															
34	2	56	121,5	119,2	119,2	114,5	112,2	101,2	89,1	77,5	68,3	52,1	41,7	27,8	19,1	15,7	15,1	12,8
35	2	56	128,3	126,4	126,4	121,0	118,5	105,2	93,7	79,7	70,0	52,4	40,2	27,5	19,0	15,9	15,3	13,5
36	2	56	126,4	124,6	124,6	118,7	116,4	104,0	92,1	78,5	69,1	51,3	39,5	27,1	19,4	15,9	14,7	13,5
37	2	56	131,5	129,7	129,7	124,9	121,3	110,6	97,5	83,8	73,6	55,7	43,2	29,5	20,5	16,9	16,3	14,0
38	2	56	131,6	129,9	129,9	124,7	121,2	109,1	98,2	84,9	75,1	58,4	45,8	31,4	20,4	16,4	15,2	13,5
39	1 1/2"	38	111,3	109,4	107,4	103,6	100,4	92,0	80,4	68,8	60,4	46,9	37,2	25,0	17,9	14,7	14,0	12,1
40	1 1/2"	38	131,0	127,8	127,1	122,6	119,3	109,6	96,0	84,3	75,2	60,3	48,6	35,0	20,7	16,2	15,5	12,3
41	1 1/2"	38	130,5	127,3	126,7	121,6	119,7	107,5	96,7	85,2	76,2	60,9	49,4	34,7	20,0	15,6	14,3	11,7
42	1 1/2"	38	119,4	117,5	116,9	112,5	109,4	100,6	88,0	76,0	67,2	52,8	41,5	28,9	18,2	13,8	13,2	12,5
43	1 1/2"	38	143,3	141,9	139,1	134,9	130,7	118,1	104,8	90,8	80,3	60,8	44,7	28,6	18,1	14,6	13,9	11,8

Tabla A6.6 - Contenido de Humedad de Muestras - Ensayo a 90°C - Espesores de 15 y 26 mm.

Segmento	1		2	3		4	5	6		7		8	9		10	11					
Tbsi	34		52	69		75	80	88		90		90	90		90	90					
Tbsf	52		69	75		80	88	90		90		90	90		90	90					
dbhi	5		5	8		12	14	18		18		24	28		30	5					
dbhf	5		8	12		14	18	18		24		28	30		5	5					
CHEi	23		21	10		7,8	6,9	5,5		5,5		4,2	2,9		2,9	13					
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5	5,5		4,2		2,9	2,9		13	13					
Duración	2		4	8		6	6	8		10		6	10		2	4					
Hora inicio	16:00		18:00	22:00		02:00	06:00	12:00		18:00		22:00	02:00		07:00	12:00	18:00	23:00	04:00	06:00	10:00
Duración	0		2	4		4	4	6		6		4	4		5	5	6	5	5	2	4
Tiempo acum.	0		2	6		10	14	20		26		30	34		39	44	50	55	60	62	66
m	Esp.(Pulg/mm)		CH [%]																		
44	1/2	15	151,9	148,1	138,6	130,9	123,3	102,3	73,7	48,9	29,8	16,4	10,7	8,8	6,9	8,8	6,9	6,9	6,9	6,9	
45	1/2	15	154,3	146,8	137,3	127,8	122,1	97,4	74,6	48,1	31,0	13,9	10,1	8,2	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	
46	1/2	15	145,0	141,2	131,9	124,4	115,0	90,7	72,0	47,7	30,9	15,9	10,3	10,3	6,6	8,5	6,6	6,6	6,6	6,6	
47	1/2	15	153,6	149,7	139,8	132,0	124,1	100,5	76,9	53,3	35,6	17,9	10,1	10,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	6,2	
48	1/2	15	131,3	127,5	118,0	110,4	104,8	89,6	63,0	44,1	30,8	15,7	10,0	10,0	8,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	
49	1	26	139,1	138,1	134,2	130,2	126,3	115,5	99,7	84,0	73,2	51,5	33,8	19,1	10,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	
50	1	26	149,0	145,9	141,9	138,9	134,9	120,8	108,8	93,7	82,7	63,6	46,6	25,5	13,4	9,4	8,4	8,4	8,4	7,4	
51	1	26	138,8	136,8	133,9	129,0	123,2	114,5	102,8	90,2	79,5	61,1	46,6	26,2	13,6	9,7	8,7	8,7	8,7	7,7	
52	1	26	136,7	134,8	131,8	127,9	124,0	111,3	100,5	87,8	77,1	59,4	41,8	25,2	13,5	10,5	9,6	9,6	9,6	7,6	
53	1	26	122,4	121,5	117,8	113,3	108,8	98,8	87,9	75,2	65,2	48,9	31,6	19,8	11,6	8,0	8,0	8,0	8,0	7,1	

Tabla A6.7 - Contenido de Humedad de Muestras - Ensayo a 90°C - Espesor de 20 mm.

Segmento	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11											
TBSi	34		52		69		75		80		88		90		90		90		90		90											
TBSf	52		69		75		80		88		90		90		90		90		90		90											
DBHi	5		5		8		12		14		18		18		24		28		30		5											
DBHf	5		8		12		14		18		18		24		28		30		5		5											
CHEi	23		21		10		7,8		6,9		5,5		5,5		4,2		2,9		2,9		13											
CHEf	21		10		7,8		6,9		5,5		5,5		4,2		2,9		2,9		13		13											
Duración	2		4		8		6		6		8		10		6		10		2		4											
Hora inicio	16:00		18:00		22:00		02:00		06:00		12:00		18:00		22:00		02:00		07:00		12:00		18:00		23:00		04:00		06:00		10:00	
Duración	0		2		4		4		4		6		6		4		4		5		5		6		5		5		2		4	
Tiempo acum	0		2		6		10		14		20		26		30		34		39		44		50		55		60		62		66	
m	Esp.(Pulg/mm)		CH [%]																													
54	3/4	20	119,0	115,1	110,0	104,9	99,8	90,8	72,9	58,8	44,7	26,8	17,8	12,7	7,6	7,6	6,3	6,3														
55	3/4	20	117,4	114,9	109,7	104,6	99,4	89,1	72,4	58,3	44,1	27,4	18,4	13,2	8,1	8,1	8,1	6,8														
56	3/4	20	146,3	143,5	137,7	129,1	123,4	110,5	90,5	73,3	54,7	33,2	17,4	10,3	7,4	6,0	6,0	6,0														
57	3/4	20	131,1	128,4	122,9	116,0	110,5	95,3	77,5	59,6	43,1	25,2	15,6	10,1	7,3	7,3	7,3	5,9														
58	3/4	20	136,6	132,5	125,7	117,6	110,8	98,5	78,1	57,7	37,4	22,4	12,9	8,8	6,1	6,1	6,1	6,1														

Tabla A6.8 - Contenido de Humedad de Muestras - Ensayo a 70°C - Espesores de 57 y 38 mm.

Segmento	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11											
TBSi	34		38		50		56		60		68		70		70		70		70		70											
TBSf	38		50		56		60		68		70		70		70		70		70		70											
DBHi	5		5		8		12		14		18		18		24		28		30		5											
DBHf	5		8		12		14		18		18		24		28		30		5		5											
CHEi	23		21		10		7,8		6,9		5,5		5,5		4,2		2,9		2,9		13											
CHEf	21		10		7,8		6,9		5,5		5,5		4,2		2,9		2,9		13		13											
Duración	2		4		8		6		6		8		10		6		10		2		4											
Hora inicio	18:30		20:30		00:30		04:30		08:30		14:30		20:30		00:30		04:30		09:30		14:30		20:30		01:30		06:30		08:30		12:30	
Duración	0		2		4		4		4		6		6		4		4		5		5		6		5		5		2		4	
Tiempo acum.	0		2		6		10		14		20		26		30		34		39		44		50		55		60		62		66	
m	Esp.(Pulg/mm)		CH [%]																													
59	2	57	84,9	81,7	81,2	78,1	75,4	68,6	60,4	52,8	49,1	38,8	32,9	23,8	20,7	18,0	15,3	14,3														
60	2	57	76,2	75,3	74,0	71,5	69,7	64,1	58,1	51,3	48,7	39,7	34,9	26,8	21,6	18,6	16,4	15,2														
61	2	57	98,5	97,0	95,5	91,5	90,0	81,1	71,6	63,1	59,6	46,1	37,7	27,2	22,2	19,2	16,7	15,2														
62	2	57	106,2	103,2	102,2	98,1	96,1	88,0	79,4	71,4	67,3	54,2	45,1	32,4	23,8	19,3	16,8	14,7														
63	2	57	107,9	105,4	104,3	99,8	97,7	89,6	80,5	71,8	67,7	55,0	45,9	32,7	24,0	19,5	16,9	14,9														
64	1 1/2	38	84,5	83,3	82,2	77,6	74,1	65,4	55,0	45,7	42,3	30,7	23,8	18,6	15,7	12,8	11,0	9,9														
65	1 1/2	38	80,2	81,4	79,6	74,8	71,8	62,8	52,6	43,0	39,4	27,3	23,1	18,3	14,7	12,3	10,5	8,7														
66	1 1/2	38	116,6	112,8	111,5	105,8	103,3	93,7	82,2	70,8	66,3	47,8	37,0	22,3	16,6	12,8	10,9	9,0														
67	1 1/2	38	113,6	113,0	111,0	104,5	102,6	91,5	79,2	66,2	61,0	42,2	31,2	20,1	15,6	12,3	10,4	9,1														
68	1 1/2	38	128,6	123,8	120,4	112,8	109,4	94,4	79,3	64,3	58,1	37,6	26,6	19,1	15,0	12,2	10,2	8,8														

Tabla A6.9 - Contenido de Humedad de Muestras - Ensayo a 70°C - Espesores de 26 y 20 mm.

Segmento	1		2	3		4	5	6		7		8	9		10	11		
TBSi	34		38	50		56	60	68		70		70	70		70	70		
TBSf	38		50	56		60	68	70		70		70	70		70	70		
DBHi	5		5	8		12	14	18		18		24	28		30	5		
DBHf	5		8	12		14	18	18		24		28	30		5	5		
CHEi	23		21	10		7,8	6,9	5,5		5,5		4,2	2,9		2,9	13		
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5	5,5		4,2		2,9	2,9		13	13		
Duración	2		4	8		6	6	8		10		6	10		2	4		
Hora inicio	18:30	20:30	00:30	04:30	08:30	14:30	20:30	00:30	04:30	09:30	14:30	20:30	01:30	06:30	08:30	12:30		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		CH [%]															
69	1	26	108,7	103,7	100,6	92,6	88,5	73,4	55,3	40,1	33,1	21,0	17,0	11,9	8,9	7,9	6,9	5,9
70	1	26	101,8	98,9	96,9	91,0	87,1	73,4	58,7	44,0	38,1	22,5	17,6	11,7	8,7	7,8	5,8	5,8
71	1	26	100,8	98,8	96,8	89,8	86,8	71,9	57,0	42,1	37,1	21,2	17,3	11,3	8,3	7,3	5,3	5,3
72	1	26	127,3	121,8	118,5	110,8	106,4	90,0	72,4	53,7	47,1	24,1	18,6	13,1	8,7	7,6	5,4	5,4
73	1	26	114,0	110,9	107,8	99,6	96,5	79,9	63,4	46,8	40,6	24,1	18,9	13,7	8,6	7,5	6,5	5,5
74	3/4	20	116,2	114,9	111,0	103,2	100,6	82,3	62,8	45,9	39,4	21,1	17,2	10,7	8,1	6,8	5,5	5,5
75	3/4	20	129,8	128,4	124,3	114,7	109,2	90,1	69,6	50,4	42,2	21,7	16,2	10,8	6,7	6,7	5,3	5,3
76	3/4	20	131,9	130,6	125,0	112,5	109,7	87,5	65,3	44,4	36,1	19,4	15,3	11,1	8,3	6,9	5,6	5,6
77	3/4	20	117,3	114,7	110,9	100,7	95,7	76,6	55,0	36,0	29,6	18,2	15,6	10,5	8,0	6,7	5,5	5,5
78	3/4	20	104,5	102,0	99,6	89,9	85,1	68,2	50,0	34,3	27,0	18,6	14,9	10,1	6,5	6,5	5,3	5,3

Tabla A6.10 - Contenido de Humedad de Muestras - Ensayo a 70°C - Espesor de 15 mm.

Segmento	1		2	3		4	5	6		7		8	9		10	11		
TBSi	34		38	50		56	60	68		70		70	70		70	70		
TBSf	38		50	56		60	68	70		70		70	70		70	70		
DBHi	5		5	8		12	14	18		18		24	28		30	5		
DBHf	5		8	12		14	18	18		24		28	30		5	5		
CHEi	23		21	10		7,8	6,9	5,5		5,5		4,2	2,9		2,9	13		
CHEf	21		10	7,8		6,9	5,5	5,5		4,2		2,9	2,9		13	13		
Duración	2		4	8		6	6	8		10		6	10		2	4		
Hora inicio	18:30	20:30	00:30	04:30	08:30	14:30	20:30	00:30	04:30	09:30	14:30	20:30	01:30	06:30	08:30	12:30		
Duración	0	2	4	4	4	6	6	4	4	5	5	6	5	5	2	4		
Tiempo acum.	0	2	6	10	14	20	26	30	34	39	44	50	55	60	62	66		
m	Esp.(Pulg/mm)		CH [%]															
79	1/2	15	86,7	80,8	77,8	67,4	63,0	45,2	27,4	21,5	20,0	14,1	12,6	9,6	8,2	6,7	5,2	5,2
80	1/2	15	116,1	109,3	104,2	92,2	85,4	65,0	41,2	25,9	22,5	14,0	10,6	8,9	8,9	7,2	5,5	5,5
81	1/2	15	126,2	119,1	115,5	104,8	97,7	76,3	51,4	30,0	24,7	14,0	12,2	10,4	6,9	5,1	5,1	5,1
82	1/2	15	107,9	104,6	101,2	91,1	84,4	66,0	44,2	27,4	24,1	15,7	14,0	9,0	7,3	7,3	5,6	5,6
83	1/2	15	113,1	107,7	102,2	91,3	84,0	60,3	34,8	23,9	22,1	14,8	12,9	9,3	7,5	7,5	7,5	5,7

ANEXO 7

TIEMPOS DE SECADO

Pinus taeda

Tabla A7.1 - Tiempo de Secado - Espesor 15 mm - 70°C (a).

N°	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	15	9,4	50	10,0	8,4	42,2
1	15	8,0	53	9,1	7,9	38,2
1	15	7,5	56	7,8	8,6	34,2
1	15	5,4	60	6,9	7,1	28,2
1	15	3,2	68	5,5	5,2	22,2
1	15	2,3	69	5,5	3,8	18,2
1	15	2,2	70	5,5	3,5	14,2
1	15	1,5	70	4,8	2,7	9,2
1	15	1,1	70	4,2	2,4	4,2
1	15	1,0	70	2,9	3,1	0,0
2	15	11,6	50	10,0	10,4	43,6
2	15	10,2	53	9,1	10,1	39,6
2	15	9,5	56	7,8	11,0	35,6
2	15	7,2	60	6,9	9,4	29,6
2	15	4,6	68	5,5	7,5	23,6
2	15	2,9	69	5,5	4,7	19,6
2	15	2,5	70	5,5	4,1	15,6
2	15	1,6	70	4,8	2,9	10,6
2	15	1,2	70	4,2	2,5	5,6
2	15	1,0	70	2,9	3,1	0,0
3	15	12,8	50	10,0	11,6	46,0
3	15	11,6	53	9,1	11,5	42,0
3	15	10,9	56	7,8	12,5	38,0
3	15	8,5	60	6,9	11,1	32,0
3	15	5,7	68	5,5	9,3	26,0
3	15	3,3	69	5,5	5,5	22,0
3	15	2,7	70	5,5	4,5	18,0
3	15	1,6	70	4,8	2,9	13,0
3	15	1,4	70	4,2	2,9	8,0
3	15	1,2	70	2,9	3,6	2,0
3	15	1,0	70	2,9	3,1	0,0

Tabla A7.2 - Tiempo de Secado - Espesor 15 mm - 70°C (b).

N°	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	15	11,2	50	10,0	10,1	44,0
4	15	10,1	53	9,1	10,0	40,0
4	15	9,4	56	7,8	10,8	36,0
4	15	7,3	60	6,9	9,6	30,0
4	15	4,9	68	5,5	8,0	24,0
4	15	3,0	69	5,5	5,0	20,0
4	15	2,7	70	5,5	4,4	16,0
4	15	1,7	70	4,8	3,3	11,0
4	15	1,6	70	4,2	3,3	6,0
4	15	1,0	70	2,9	3,1	0,0
5	15	11,4	50	10,0	10,2	44,8
5	15	10,1	53	9,1	10,0	40,8
5	15	9,3	56	7,8	10,8	36,8
5	15	6,7	60	6,9	8,7	30,8
5	15	3,9	68	5,5	6,3	24,8
5	15	2,7	69	5,5	4,3	20,8
5	15	2,5	70	5,5	4,0	16,8
5	15	1,6	70	4,8	3,1	11,8
5	15	1,4	70	4,2	3,1	6,8
5	15	1,0	70	2,9	3,2	0,8
5	15	1,0	70	2,9	3,1	0,0

Tabla A7.3 - Tiempo de Secado - Espesor 20 mm - 70°C (a).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	20	12,33	50	10,0	11,1	47,27
1	20	11,46	53	9,1	11,3	43,27
1	20	11,17	56	7,8	12,9	39,27
1	20	9,15	60	6,9	11,9	33,27
1	20	6,98	68	5,5	11,4	27,27
1	20	5,10	69	5,5	8,3	23,27
1	20	4,37	70	5,5	7,2	19,27
1	20	2,35	70	4,8	4,4	14,27
1	20	1,91	70	4,2	4,1	9,27
1	20	1,19	70	2,9	3,7	3,27
1	20	1,00	70	2,9	3,1	0,00
2	20	13,81	50	10,0	12,4	46,16
2	20	12,75	53	9,1	12,6	42,16
2	20	12,14	56	7,8	14,0	38,16
2	20	10,01	60	6,9	13,1	32,16
2	20	7,73	68	5,5	12,7	26,16
2	20	5,60	69	5,5	9,2	22,16
2	20	4,69	70	5,5	7,7	18,16
2	20	2,41	70	4,8	4,5	13,16
2	20	1,80	70	4,2	3,9	8,16
2	20	1,20	70	2,9	3,7	2,16
2	20	1,00	70	2,9	3,1	0,00
3	20	13,89	50	10,0	12,5	47,80
3	20	12,50	53	9,1	12,4	43,80
3	20	12,19	56	7,8	14,1	39,80
3	20	9,72	60	6,9	12,7	33,80
3	20	7,25	68	5,5	11,9	27,80
3	20	4,94	69	5,5	8,1	23,80
3	20	4,01	70	5,5	6,6	19,80
3	20	2,16	70	4,8	4,1	14,80
3	20	1,70	70	4,2	3,6	9,80
3	20	1,23	70	2,9	3,8	3,80
3	20	1,00	70	2,9	3,1	0,00

Tabla A7.4 - Tiempo de Secado - Espesor 20 mm - 70°C (b).

N°	Esp	Chi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	20	12,32	50	10,0	11,1	47,03
4	20	11,19	53	9,1	11,1	43,03
4	20	10,63	56	7,8	12,3	39,03
4	20	8,51	60	6,9	11,1	33,03
4	20	6,11	68	5,5	10,0	27,03
4	20	3,99	69	5,5	6,5	23,03
4	20	3,29	70	5,5	5,4	19,03
4	20	2,02	70	4,8	3,8	14,03
4	20	1,74	70	4,2	3,7	9,03
4	20	1,17	70	2,9	3,6	3,03
4	20	1,00	70	2,9	3,1	0,00
5	20	11,07	50	10,0	10,0	45,51
5	20	9,99	53	9,1	9,9	41,51
5	20	9,46	56	7,8	10,9	37,51
5	20	7,57	60	6,9	9,9	31,51
5	20	5,56	68	5,5	9,1	25,51
5	20	3,81	69	5,5	6,2	21,51
5	20	3,00	70	5,5	4,9	17,51
5	20	2,06	70	4,8	3,9	12,51
5	20	1,66	70	4,2	3,6	7,51
5	20	1,12	70	2,9	3,5	1,51
5	20	1,00	70	2,9	3,1	0,00

Tabla A7.5 - Tiempo de Secado - Espesor 26 mm - 70°C (a).

N°	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	26	11,18	50	10,0	10,1	48,81
1	26	10,29	53	9,1	10,2	44,81
1	26	9,84	56	7,8	11,4	40,81
1	26	8,16	60	6,9	10,6	34,81
1	26	6,14	68	5,5	10,0	28,81
1	26	4,46	69	5,5	7,3	24,81
1	26	3,68	70	5,5	6,0	20,81
1	26	2,33	70	4,8	4,4	15,81
1	26	1,88	70	4,2	4,0	10,81
1	26	1,32	70	2,9	4,1	4,81
1	26	1,00	70	2,9	3,1	0,00
2	26	10,77	50	10,0	9,7	48,57
2	26	10,12	53	9,1	10,0	44,57
2	26	9,68	56	7,8	11,2	40,57
2	26	8,16	60	6,9	10,6	34,57
2	26	6,52	68	5,5	10,7	28,57
2	26	4,89	69	5,5	8,0	24,57
2	26	4,24	70	5,5	6,9	20,57
2	26	2,50	70	4,8	4,7	15,57
2	26	1,95	70	4,2	4,2	10,57
2	26	1,30	70	2,9	4,0	4,57
2	26	1,00	70	2,9	3,1	0,00
3	26	10,75	50	10,0	9,7	47,87
3	26	9,98	53	9,1	9,9	43,87
3	26	9,65	56	7,8	11,1	39,87
3	26	7,99	60	6,9	10,4	33,87
3	26	6,34	68	5,5	10,4	27,87
3	26	4,68	69	5,5	7,7	23,87
3	26	4,13	70	5,5	6,8	19,87
3	26	2,36	70	4,8	4,4	14,87
3	26	1,92	70	4,2	4,1	9,87
3	26	1,26	70	2,9	3,9	3,87
3	26	1,00	70	2,9	3,1	0,00

Tabla A7.6 - Tiempo de Secado - Espesor 26 mm - 70°C (b).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	26	13,17	50	10,0	11,9	48,67
4	26	12,32	53	9,1	12,2	44,67
4	26	11,83	56	7,8	13,6	40,67
4	26	10,00	60	6,9	13,0	34,67
4	26	8,04	68	5,5	13,2	28,67
4	26	5,97	69	5,5	9,8	24,67
4	26	5,24	70	5,5	8,6	20,67
4	26	2,68	70	4,8	5,0	15,67
4	26	2,07	70	4,2	4,4	10,67
4	26	1,46	70	2,9	4,5	4,67
4	26	1,00	70	2,9	3,1	0,00
5	26	11,98	50	10,0	10,8	48,58
5	26	11,06	53	9,1	10,9	44,58
5	26	10,72	56	7,8	12,4	40,58
5	26	8,88	60	6,9	11,6	34,58
5	26	7,04	68	5,5	11,5	28,58
5	26	5,20	69	5,5	8,5	24,58
5	26	4,51	70	5,5	7,4	20,58
5	26	2,68	70	4,8	5,0	15,58
5	26	2,10	70	4,2	4,5	10,58
5	26	1,53	70	2,9	4,7	4,58
5	26	1,00	70	2,9	3,1	0,00

Tabla A7.7 - Tiempo de Secado - Espesor 38 mm - 70°C (a).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	38	8,22	50	10,0	8,2	59,61
1	38	7,76	53	9,1	8,5	55,61
1	38	7,41	56	7,8	9,5	51,61
1	38	6,54	60	6,9	9,5	45,61
1	38	5,50	68	5,5	10,0	39,61
1	38	4,57	69	5,5	8,3	35,61
1	38	4,23	70	5,5	7,7	31,61
1	38	3,07	70	4,8	6,4	26,61
1	38	2,38	70	4,2	5,7	21,61
1	38	1,86	70	2,9	6,4	15,61
1	38	1,57	70	2,9	5,4	10,61
1	38	1,28	70	2,9	4,4	5,61
1	38	1,10	70	2,9	3,8	3,61
1	38	1,00	70	2,9	3,4	0,00
2	38	7,96	50	10,0	8,0	57,16
2	38	7,48	53	9,1	8,2	53,16
2	38	7,18	56	7,8	9,2	49,16
2	38	6,28	60	6,9	9,1	43,16
2	38	5,26	68	5,5	9,6	37,16
2	38	4,30	69	5,5	7,8	33,16
2	38	3,94	70	5,5	7,2	29,16
2	38	2,73	70	4,8	5,7	24,16
2	38	2,31	70	4,2	5,5	19,16
2	38	1,83	70	2,9	6,3	13,16
2	38	1,47	70	2,9	5,1	8,16
2	38	1,23	70	2,9	4,3	3,16
2	38	1,05	70	2,9	3,6	1,16
2	38	1,00	70	2,9	3,4	0,00
3	38	11,15	50	10,0	11,2	57,82
3	38	10,58	53	9,1	11,6	53,82
3	38	10,33	56	7,8	13,2	49,82
3	38	9,37	60	6,9	13,6	43,82
3	38	8,22	68	5,5	15,0	37,82
3	38	7,08	69	5,5	12,9	33,82
3	38	6,63	70	5,5	12,1	29,82
3	38	4,78	70	4,8	10,0	24,82
3	38	3,70	70	4,2	8,8	19,82
3	38	2,23	70	2,9	7,7	13,82
3	38	1,66	70	2,9	5,7	8,82
3	38	1,28	70	2,9	4,4	3,82
3	38	1,09	70	2,9	3,7	1,82
3	38	1,00	70	2,9	3,4	0,00

Tabla A7.8 - Tiempo de Secado - Espesor 38 mm - 70°C (b).

N°	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	38	11,10	50	10,0	11,1	57,17
4	38	10,45	53	9,1	11,5	53,17
4	38	10,26	56	7,8	13,2	49,17
4	38	9,15	60	6,9	13,3	43,17
4	38	7,92	68	5,5	14,4	37,17
4	38	6,62	69	5,5	12,0	33,17
4	38	6,10	70	5,5	11,1	29,17
4	38	4,22	70	4,8	8,8	24,17
4	38	3,12	70	4,2	7,4	19,17
4	38	2,01	70	2,9	6,9	13,17
4	38	1,56	70	2,9	5,4	8,17
4	38	1,23	70	2,9	4,3	3,17
4	38	1,04	70	2,9	3,6	1,17
4	38	1,00	70	2,9	3,4	0,00
5	38	12,04	50	10,0	12,0	56,55
5	38	11,28	53	9,1	12,4	52,55
5	38	10,94	56	7,8	14,0	48,55
5	38	9,44	60	6,9	13,7	42,55
5	38	7,93	68	5,5	14,4	36,55
5	38	6,43	69	5,5	11,7	32,55
5	38	5,81	70	5,5	10,6	28,55
5	38	3,76	70	4,8	7,8	23,55
5	38	2,66	70	4,2	6,3	18,55
5	38	1,91	70	2,9	6,6	12,55
5	38	1,50	70	2,9	5,2	7,55
5	38	1,22	70	2,9	4,2	2,55
5	38	1,02	70	2,9	3,5	0,55
5	38	1,00	70	2,9	3,4	0,00

Tabla A7.9 - Tiempo de Secado - Espesor 57 mm - 70°C (a).

Nº	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	57	5,26	50	10,0	8,2	56,18
1	57	5,06	53	9,1	8,6	52,18
1	57	4,87	56	7,8	9,7	48,18
1	57	4,43	60	6,9	10,0	42,18
1	57	3,91	68	5,5	11,0	36,18
1	57	3,42	69	5,5	9,6	32,18
1	57	3,19	70	5,5	9,0	28,18
1	57	2,51	70	4,8	8,1	23,18
1	57	2,12	70	4,2	7,8	18,18
1	57	1,55	70	2,9	8,3	12,18
1	57	1,34	70	2,9	7,2	7,18
1	57	1,16	70	2,9	6,2	2,18
1	57	1,00	70	2,9	5,4	0,18
1	57	1,00	70	2,9	5,3	0,00
2	57	4,78	50	10,0	7,4	58,81
2	57	4,61	53	9,1	7,8	54,81
2	57	4,51	56	7,8	9,0	50,81
2	57	4,14	60	6,9	9,3	44,81
2	57	3,74	68	5,5	10,5	38,81
2	57	3,32	69	5,5	9,4	34,81
2	57	3,15	70	5,5	8,9	30,81
2	57	2,56	70	4,8	8,3	25,81
2	57	2,26	70	4,2	8,3	20,81
2	57	1,74	70	2,9	9,3	14,81
2	57	1,40	70	2,9	7,5	9,81
2	57	1,20	70	2,9	6,4	4,81
2	57	1,05	70	2,9	5,6	2,81
2	57	1,00	70	2,9	5,3	0,00
3	57	6,10	50	10,0	9,5	57,71
3	57	5,82	53	9,1	9,9	53,71
3	57	5,73	56	7,8	11,4	49,71
3	57	5,16	60	6,9	11,6	43,71
3	57	4,57	68	5,5	12,9	37,71
3	57	4,00	69	5,5	11,3	33,71
3	57	3,77	70	5,5	10,6	29,71
3	57	2,92	70	4,8	9,4	24,71
3	57	2,37	70	4,2	8,8	19,71
3	57	1,69	70	2,9	9,0	13,71
3	57	1,38	70	2,9	7,4	8,71
3	57	1,18	70	2,9	6,3	3,71
3	57	1,04	70	2,9	5,5	1,71
3	57	1,00	70	2,9	5,3	0,00

Tabla A7.10 - Tiempo de Secado - Espesor 57 mm - 70°C (b).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	57	6,60	50	10,0	10,2	58,62
4	57	6,37	53	9,1	10,8	54,62
4	57	6,22	56	7,8	12,4	50,62
4	57	5,70	60	6,9	12,8	44,62
4	57	5,15	68	5,5	14,5	38,62
4	57	4,62	69	5,5	13,0	34,62
4	57	4,36	70	5,5	12,3	30,62
4	57	3,52	70	4,8	11,4	25,62
4	57	2,94	70	4,2	10,8	20,62
4	57	2,09	70	2,9	11,2	14,62
4	57	1,54	70	2,9	8,2	9,62
4	57	1,25	70	2,9	6,7	4,62
4	57	1,08	70	2,9	5,8	2,62
4	57	1,00	70	2,9	5,3	0,00
5	57	6,72	50	10,0	10,4	58,29
5	57	6,43	53	9,1	10,9	54,29
5	57	6,28	56	7,8	12,5	50,29
5	57	5,76	60	6,9	12,9	44,29
5	57	5,18	68	5,5	14,6	38,29
5	57	4,62	69	5,5	13,0	34,29
5	57	4,36	70	5,5	12,3	30,29
5	57	3,54	70	4,8	11,4	25,29
5	57	2,93	70	4,2	10,8	20,29
5	57	2,09	70	2,9	11,2	14,29
5	57	1,53	70	2,9	8,2	9,29
5	57	1,24	70	2,9	6,6	4,29
5	57	1,07	70	2,9	5,7	2,29
5	57	1,00	70	2,9	5,3	0,00

Tabla A7.11 - Tiempo de Secado - Espesor 15 mm - 80°C (a).

N°	Esp	CHI/CHF	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	15	8,72	60	10,0	7,85	42,60
1	15	7,86	63	9,1	7,77	38,60
1	15	6,82	66	7,8	7,87	34,60
1	15	4,58	70	6,9	5,98	28,60
1	15	1,99	78	5,5	3,26	22,60
1	15	1,48	79	5,5	2,42	18,60
1	15	1,48	80	5,5	2,42	14,60
1	15	1,30	80	4,8	2,45	9,60
1	15	1,13	80	4,2	2,43	4,60
1	15	1,00	80	2,9	3,10	0,00
2	15	9,55	60	10,0	8,60	43,67
2	15	8,81	63	9,1	8,71	39,67
2	15	7,88	66	7,8	9,09	35,67
2	15	5,27	70	6,9	6,88	29,67
2	15	3,04	78	5,5	4,97	23,67
2	15	1,92	79	5,5	3,14	19,67
2	15	1,55	80	5,5	2,53	15,67
2	15	1,36	80	4,8	2,55	10,67
2	15	1,18	80	4,2	2,52	5,67
2	15	1,00	80	2,9	3,10	0,00
3	15	7,83	60	10,0	7,04	37,34
3	15	6,99	63	9,1	6,91	33,34
3	15	6,15	66	7,8	7,10	29,34
3	15	3,97	70	6,9	5,18	23,34
3	15	2,46	78	5,5	4,03	17,34
3	15	1,79	79	5,5	2,94	13,34
3	15	1,46	80	5,5	2,39	9,34
3	15	1,29	80	4,8	2,42	4,34
3	15	1,00	80	4,2	2,14	0,00

Tabla A7.12 - Tiempo de Secado - Espesor 15 mm - 80°C (b).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	15	7,83	60	10,0	7,05	42,45
4	15	6,99	63	9,1	6,91	38,45
4	15	6,15	66	7,8	7,10	34,45
4	15	4,14	70	6,9	5,40	28,45
4	15	3,81	78	5,5	6,23	22,45
4	15	1,79	79	5,5	2,94	18,45
4	15	1,79	80	5,5	2,94	14,45
4	15	1,29	80	4,8	2,42	9,45
4	15	1,12	80	4,2	2,41	4,45
4	15	1,00	80	2,9	3,10	0,00
5	15	8,18	60	10,0	7,37	42,89
5	15	7,34	63	9,1	7,26	38,89
5	15	6,51	66	7,8	7,51	34,89
5	15	4,32	70	6,9	5,64	28,89
5	15	2,48	78	5,5	4,06	22,89
5	15	1,81	79	5,5	2,96	18,89
5	15	1,47	80	5,5	2,41	14,89
5	15	1,30	80	4,8	2,45	9,89
5	15	1,14	80	4,2	2,44	4,89
5	15	1,00	80	2,9	3,10	0,00

Tabla A7.13 - Tiempo de Secado - Espesor 22 mm - 80°C (a).

N°	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	22	8,58	60	10,0	7,72	51,59
1	22	7,82	63	9,1	7,74	47,59
1	22	7,06	66	7,8	8,15	43,59
1	22	5,55	70	6,9	7,24	37,59
1	22	4,19	78	5,5	6,85	31,59
1	22	3,13	79	5,5	5,12	27,59
1	22	2,52	80	5,5	4,12	23,59
1	22	1,91	80	4,8	3,59	18,59
1	22	1,91	80	4,2	4,10	13,59
1	22	1,31	80	2,9	4,06	7,59
1	22	1,16	80	2,9	3,59	2,59
1	22	1,00	80	2,9	3,10	0,00
2	22	10,74	60	10,0	9,67	50,61
2	22	8,38	63	9,1	8,29	46,61
2	22	8,82	66	7,8	10,18	42,61
2	22	7,34	70	6,9	9,58	36,61
2	22	5,42	78	5,5	8,88	30,61
2	22	4,10	79	5,5	6,70	26,61
2	22	3,21	80	5,5	5,25	22,61
2	22	2,18	80	4,8	4,08	17,61
2	22	1,88	80	4,2	4,03	12,61
2	22	1,29	80	2,9	4,01	6,61
2	22	1,14	80	2,9	3,55	1,61
2	22	1,00	80	2,9	3,10	0,00
3	22	10,18	60	10,0	9,17	48,91
3	22	9,45	63	9,1	9,35	44,91
3	22	8,58	66	7,8	9,90	40,91
3	22	7,12	70	6,9	9,29	34,91
3	22	5,66	78	5,5	9,27	28,91
3	22	4,50	79	5,5	7,36	24,91
3	22	3,33	80	5,5	5,45	20,91
3	22	2,16	80	4,8	4,05	15,91
3	22	1,72	80	4,2	3,69	10,91
3	22	1,29	80	2,9	3,99	4,91
3	22	1,00	80	2,9	3,10	0,00

Tabla A7.14 - Tiempo de Secado - Espesor 22 mm - 80°C (b).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	22	9,94	60	10,0	8,95	48,42
4	22	9,19	63	9,1	9,09	44,42
4	22	8,30	66	7,8	9,58	40,42
4	22	6,81	70	6,9	8,88	34,42
4	22	5,01	78	5,5	8,20	28,42
4	22	3,67	79	5,5	6,01	24,42
4	22	2,92	80	5,5	4,78	20,42
4	22	1,88	80	4,8	3,52	15,42
4	22	1,43	80	4,2	3,07	10,42
4	22	1,13	80	2,9	3,51	4,42
4	22	1,00	80	2,9	3,10	0,00
5	22	11,00	60	10,0	9,90	49,59
5	22	10,07	63	9,1	9,96	45,59
5	22	8,98	66	7,8	10,36	41,59
5	22	7,42	70	6,9	9,68	35,59
5	22	6,18	78	5,5	10,11	29,59
5	22	4,15	79	5,5	6,79	25,59
5	22	3,22	80	5,5	5,26	21,59
5	22	2,13	80	4,8	3,99	16,59
5	22	1,66	80	4,2	3,56	11,59
5	22	1,19	80	2,9	3,70	5,59
5	22	1,04	80	2,9	3,22	0,59
5	22	1,00	80	2,9	3,10	0,00

Tabla A7.15 - Tiempo de Secado - Espesor 28 mm - 80°C (a).

N°	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	28	19,25	60	10,0	17,32	55,63
1	28	18,51	63	9,1	18,31	51,63
1	28	17,63	66	7,8	20,34	47,63
1	28	15,42	70	6,9	20,11	41,63
1	28	12,91	78	5,5	21,13	35,63
1	28	10,70	79	5,5	17,51	31,63
1	28	8,78	80	5,5	14,37	27,63
1	28	5,69	80	4,8	10,67	22,63
1	28	3,48	80	4,2	7,45	17,63
1	28	2,00	80	2,9	6,22	11,63
1	28	1,56	80	2,9	4,85	6,63
1	28	1,12	80	2,9	3,48	1,63
1	28	1,00	80	2,9	3,10	0,00
2	28	17,30	60	10,0	15,57	55,22
2	28	16,44	63	9,1	16,26	51,22
2	28	15,58	66	7,8	17,98	47,22
2	28	13,43	70	6,9	17,52	41,22
2	28	11,71	78	5,5	19,16	35,22
2	28	9,12	79	5,5	14,93	31,22
2	28	7,11	80	5,5	11,64	27,22
2	28	4,24	80	4,8	7,96	22,22
2	28	2,67	80	4,2	5,71	17,22
2	28	1,80	80	2,9	5,60	11,22
2	28	1,52	80	2,9	4,71	6,22
2	28	1,09	80	2,9	3,37	1,22
2	28	1,00	80	2,9	3,10	0,00
3	28	17,13	60	10,0	15,42	54,20
3	28	16,42	63	9,1	16,24	50,20
3	28	15,56	66	7,8	17,96	46,20
3	28	13,28	70	6,9	17,32	40,20
3	28	10,57	78	5,5	17,30	34,20
3	28	8,57	79	5,5	14,03	30,20
3	28	6,86	80	5,5	11,23	26,20
3	28	4,15	80	4,8	7,79	21,20
3	28	2,73	80	4,2	5,84	16,20
3	28	1,73	80	2,9	5,36	10,20
3	28	1,44	80	2,9	4,48	5,20
3	28	1,01	80	2,9	3,15	0,20
3	28	1,00	80	2,9	3,10	0,00

Tabla A7.16 - Tiempo de Secado - Espesor 28 mm - 80°C (b).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	28	16,60	60	10,0	14,94	53,03
4	28	15,79	63	9,1	15,62	49,03
4	28	14,85	66	7,8	17,13	45,03
4	28	12,82	70	6,9	16,72	39,03
4	28	9,98	78	5,5	16,33	33,03
4	28	7,55	79	5,5	12,35	29,03
4	28	6,19	80	5,5	10,14	25,03
4	28	3,49	80	4,8	6,54	20,03
4	28	2,41	80	4,2	5,16	15,03
4	28	1,60	80	2,9	4,96	9,03
4	28	1,33	80	2,9	4,12	4,03
4	28	1,00	80	2,9	3,10	0,00
5	28	15,31	60	10,0	13,78	55,64
5	28	14,56	63	9,1	14,40	51,64
5	28	13,81	66	7,8	15,94	47,64
5	28	11,82	70	6,9	15,42	41,64
5	28	9,83	78	5,5	16,08	35,64
5	28	7,58	79	5,5	12,41	31,64
5	28	6,34	80	5,5	10,37	27,64
5	28	3,72	80	4,8	6,97	22,64
5	28	2,10	80	4,2	4,50	17,64
5	28	1,73	80	2,9	5,35	11,64
5	28	1,48	80	2,9	4,58	6,64
5	28	1,10	80	2,9	3,42	1,64
5	28	1,00	80	2,9	3,10	0,00

Tabla A7.17 - Tiempo de Secado - Espesor 42 mm - 80°C (a).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	42	14,22	60	10,0	15,64	58,96
1	42	13,47	63	9,1	16,28	54,96
1	42	12,71	66	7,8	17,93	50,96
1	42	11,55	70	6,9	18,41	44,96
1	42	10,04	78	5,5	20,08	38,96
1	42	9,04	79	5,5	18,08	34,96
1	42	8,04	80	5,5	16,07	30,96
1	42	6,11	80	4,8	14,01	25,96
1	42	4,53	80	4,2	11,86	20,96
1	42	2,61	80	2,9	9,88	14,96
1	42	1,94	80	2,9	7,35	9,96
1	42	1,44	80	2,9	5,45	4,96
1	42	1,19	80	2,9	4,50	2,96
1	42	1,00	80	2,9	3,79	0
2	42	14,78	60	10,0	16,26	56,41
2	42	14,10	63	9,1	17,04	52,41
2	42	13,42	66	7,8	18,92	48,41
2	42	12,40	70	6,9	19,77	42,41
2	42	11,04	78	5,5	22,08	36,41
2	42	9,85	79	5,5	19,70	32,41
2	42	8,83	80	5,5	17,66	28,41
2	42	7,05	80	4,8	16,15	23,41
2	42	5,43	80	4,2	14,23	18,41
2	42	3,40	80	2,9	12,88	12,41
2	42	2,12	80	2,9	8,05	7,41
2	42	1,27	80	2,9	4,83	2,41
2	42	1,02	80	2,9	3,86	0,41
2	42	1,00	80	2,9	3,79	0,00
3	42	15,19	60	10,0	16,71	59,32
3	42	14,58	63	9,1	17,63	55,32
3	42	13,88	66	7,8	19,58	51,32
3	42	12,66	70	6,9	20,18	45,32
3	42	11,35	78	5,5	22,70	39,32
3	42	9,95	79	5,5	19,91	35,32
3	42	8,82	80	5,5	17,64	31,32
3	42	6,81	80	4,8	15,60	26,32
3	42	5,24	80	4,2	13,71	21,32
3	42	3,14	80	2,9	11,91	15,32
3	42	2,09	80	2,9	7,93	10,32
3	42	1,39	80	2,9	5,28	5,32
3	42	1,22	80	2,9	4,62	3,32
3	42	1,00	80	2,9	3,79	0,00

Tabla A7.18 - Tiempo de Secado - Espesor 42 mm - 80°C (b).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	42	14,94	60	10,0	16,43	59,68
4	42	14,33	63	9,1	17,33	55,68
4	42	13,64	66	7,8	19,23	51,68
4	42	12,42	70	6,9	19,81	45,68
4	42	11,04	78	5,5	22,07	39,68
4	42	9,82	79	5,5	19,64	35,68
4	42	8,78	80	5,5	17,56	31,68
4	42	6,87	80	4,8	15,75	26,68
4	42	5,22	80	4,2	13,68	21,68
4	42	3,31	80	2,9	12,57	15,68
4	42	2,27	80	2,9	8,62	10,68
4	42	1,49	80	2,9	5,66	5,68
4	42	1,32	80	2,9	5,01	3,68
4	42	1,00	80	2,9	3,79	0,00
5	42	12,94	60	10,0	14,23	55,83
5	42	12,31	63	9,1	14,88	51,83
5	42	11,69	66	7,8	16,48	47,83
5	42	10,44	70	6,9	16,64	41,83
5	42	8,64	78	5,5	17,28	35,83
5	42	7,16	79	5,5	14,32	31,83
5	42	5,99	80	5,5	11,97	27,83
5	42	4,19	80	4,8	9,60	22,83
5	42	2,78	80	4,2	7,29	17,83
5	42	1,77	80	2,9	6,71	11,83
5	42	1,46	80	2,9	5,52	6,83
5	42	1,14	80	2,9	4,33	1,83
5	42	1,00	80	2,9	3,79	0

Tabla A7.19 - Tiempo de Secado - Espesor 57 mm - 80°C (a).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	57	9,10	60	10,0	12,74	56,50
1	57	8,64	63	9,1	13,29	52,50
1	57	8,18	66	7,8	14,67	48,50
1	57	7,46	70	6,9	15,14	42,50
1	57	6,45	78	5,5	16,42	36,50
1	57	5,65	79	5,5	14,38	32,50
1	57	4,98	80	5,5	12,67	28,50
1	57	3,88	80	4,8	11,32	23,50
1	57	2,83	80	4,2	9,44	18,50
1	57	1,78	80	2,9	8,59	12,50
1	57	1,44	80	2,9	6,96	7,50
1	57	1,15	80	2,9	5,54	2,50
1	57	1,02	80	2,9	4,93	0,50
1	57	1,00	80	2,9	4,83	0
2	57	8,38	60	10,0	11,73	57,89
2	57	8,02	63	9,1	12,34	53,89
2	57	7,67	66	7,8	13,76	49,89
2	57	7,07	70	6,9	14,35	43,89
2	57	6,28	78	5,5	15,99	37,89
2	57	5,61	79	5,5	14,27	33,89
2	57	5,05	80	5,5	12,86	29,89
2	57	4,18	80	4,8	12,20	24,89
2	57	3,27	80	4,2	10,91	19,89
2	57	2,32	80	2,9	11,21	13,89
2	57	1,77	80	2,9	8,53	8,89
2	57	1,29	80	2,9	6,24	3,89
2	57	1,09	80	2,9	5,28	1,89
2	57	1,00	80	2,9	4,83	0
3	57	7,72	60	10,0	10,81	58,70
3	57	7,80	63	9,1	12,00	54,70
3	57	7,09	66	7,8	12,73	50,70
3	57	6,51	70	6,9	13,20	44,70
3	57	5,64	78	5,5	14,36	38,70
3	57	5,13	79	5,5	13,07	34,70
3	57	4,66	80	5,5	11,87	30,70
3	57	3,80	80	4,8	11,08	25,70
3	57	3,05	80	4,2	10,18	20,70
3	57	2,15	80	2,9	10,39	14,70
3	57	1,72	80	2,9	8,31	9,70
3	57	1,29	80	2,9	6,22	4,70
3	57	1,13	80	2,9	5,47	2,70
3	57	1,00	80	2,9	4,83	0

Tabla A7.20 - Tiempo de Secado - Espesor 57 mm - 80°C (b).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	57	5,70	60	10,0	7,98	57,72
4	57	5,50	63	9,1	8,46	53,72
4	57	5,26	66	7,8	9,45	49,72
4	57	4,86	70	6,9	9,86	43,72
4	57	4,26	78	5,5	10,84	37,72
4	57	3,92	79	5,5	9,98	33,72
4	57	3,62	80	5,5	9,22	29,72
4	57	2,95	80	4,8	8,60	24,72
4	57	2,45	80	4,2	8,16	19,72
4	57	1,81	80	2,9	8,74	13,72
4	57	1,51	80	2,9	7,28	8,72
4	57	1,21	80	2,9	5,82	3,72
4	57	1,07	80	2,9	5,18	1,72
4	57	1,00	80	2,9	4,83	0
5	57	5,99	60	10,0	8,38	55,1
5	57	5,75	63	9,1	8,84	51,1
5	57	5,51	66	7,8	9,89	47,1
5	57	4,89	70	6,9	9,93	41,1
5	57	4,32	78	5,5	10,98	35,1
5	57	3,60	79	5,5	9,16	31,1
5	57	3,22	80	5,5	8,21	27,1
5	57	2,51	80	4,8	7,31	22,1
5	57	2,00	80	4,2	6,65	17,1
5	57	1,52	80	2,9	7,33	11,1
5	57	1,31	80	2,9	6,34	6,1
5	57	1,08	80	2,9	5,19	1,1
5	57	1,00	80	2,9	4,83	0,0

Tabla A7.21 - Tiempo de Secado - Espesor 15 mm - 90°C (a).

N°	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	15	15,40	69	10,0	13,9	43,3
1	15	14,55	72	9,1	14,4	39,3
1	15	13,70	75	7,8	15,8	35,3
1	15	11,37	80	6,9	14,8	29,3
1	15	8,19	88	5,5	13,4	23,3
1	15	5,43	89	5,5	8,9	19,3
1	15	3,31	90	5,5	5,4	15,3
1	15	1,82	90	4,8	3,4	10,3
1	15	1,19	90	4,2	2,5	5,3
1	15	1,00	90	2,9	3,1	0,0
2	15	15,25	69	10,0	13,7	41,4
2	15	14,20	72	9,1	14,0	37,4
2	15	13,56	75	7,8	15,7	33,4
2	15	10,82	80	6,9	14,1	27,4
2	15	8,29	88	5,5	13,6	21,4
2	15	5,34	89	5,5	8,7	17,4
2	15	3,44	90	5,5	5,6	13,4
2	15	1,54	90	4,8	2,9	8,4
2	15	1,12	90	4,2	2,4	3,4
2	15	1,00	90	2,9	3,1	0,0
3	15	14,65	69	10,0	13,2	40,1
3	15	13,82	72	9,1	13,7	36,1
3	15	12,78	75	7,8	14,7	32,1
3	15	10,08	80	6,9	13,1	26,1
3	15	8,00	88	5,5	13,1	20,1
3	15	5,30	89	5,5	8,7	16,1
3	15	3,43	90	5,5	5,6	12,1
3	15	1,77	90	4,8	3,3	7,1
3	15	1,15	90	4,2	2,5	2,1
3	15	1,00	90	2,9	3,1	0,0

Tabla A7.22 - Tiempo de Secado - Espesor 15 mm - 90°C (b).

N°	Esp	CHI/CHF	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	15	15,54	69	10,0	14,0	41,3
4	15	14,66	72	9,1	14,5	37,3
4	15	13,79	75	7,8	15,9	33,3
4	15	11,17	80	6,9	14,6	27,3
4	15	8,55	88	5,5	14,0	21,3
4	15	5,93	89	5,5	9,7	17,3
4	15	3,96	90	5,5	6,5	13,3
4	15	1,99	90	4,8	3,7	8,3
4	15	1,12	90	4,2	2,4	3,3
4	15	1,00	90	2,9	3,1	0,0
5	15	13,11	69	10,0	11,8	41,0
5	15	12,27	72	9,1	12,1	37,0
5	15	11,64	75	7,8	13,4	33,0
5	15	9,95	80	6,9	13,0	27,0
5	15	7,01	88	5,5	11,5	21,0
5	15	4,90	89	5,5	8,0	17,0
5	15	3,42	90	5,5	5,6	13,0
5	15	1,74	90	4,8	3,3	8,0
5	15	1,11	90	4,2	2,4	3,0
5	15	1,00	90	2,9	3,1	0,0

Tabla A7.23 - Tiempo de Secado - Espesor 20 mm - 90°C (a).

N°	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	20	12,22	69	10,0	11,0	47,6
1	20	11,65	72	9,1	11,5	43,6
1	20	11,08	75	7,8	12,8	39,6
1	20	10,09	80	6,9	13,2	33,6
1	20	8,10	88	5,5	13,2	27,6
1	20	6,53	89	5,5	10,7	23,6
1	20	4,97	90	5,5	8,1	19,6
1	20	2,97	90	4,8	5,6	14,6
1	20	1,98	90	4,2	4,2	9,6
1	20	1,41	90	2,9	4,4	3,6
1	20	1,00	90	2,9	3,1	0,0
2	20	12,19	69	10,0	11,0	48,1
2	20	11,62	72	9,1	11,5	44,1
2	20	11,05	75	7,8	12,7	40,1
2	20	9,90	80	6,9	12,9	34,1
2	20	8,05	88	5,5	13,2	28,1
2	20	6,47	89	5,5	10,6	24,1
2	20	4,90	90	5,5	8,0	20,1
2	20	3,04	90	4,8	5,7	15,1
2	20	2,04	90	4,2	4,4	10,1
2	20	1,47	90	2,9	4,6	4,1
2	20	1,00	90	2,9	3,1	0,0
3	20	15,30	69	10,0	13,8	46,2
3	20	14,35	72	9,1	14,2	42,2
3	20	13,71	75	7,8	15,8	38,2
3	20	12,28	80	6,9	16,0	32,2
3	20	10,05	88	5,5	16,4	26,2
3	20	8,14	89	5,5	13,3	22,2
3	20	6,07	90	5,5	9,9	18,2
3	20	3,69	90	4,8	6,9	13,2
3	20	1,94	90	4,2	4,2	8,2
3	20	1,14	90	2,9	3,5	2,2
3	20	1,00	90	2,9	3,1	0,0

Tabla A7.24 - Tiempo de Secado - Espesor 20 mm - 90°C (b).

N°	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	20	13,65	69	10,0	12,3	45,9
4	20	12,89	72	9,1	12,7	41,9
4	20	12,27	75	7,8	14,2	37,9
4	20	10,59	80	6,9	13,8	31,9
4	20	8,61	88	5,5	14,1	25,9
4	20	6,62	89	5,5	10,8	21,9
4	20	4,79	90	5,5	7,8	17,9
4	20	2,80	90	4,8	5,2	12,9
4	20	1,73	90	4,2	3,7	7,9
4	20	1,12	90	2,9	3,5	1,9
4	20	1,00	90	2,9	3,1	0,0
5	20	13,97	69	10,0	12,6	43,7
5	20	13,06	72	9,1	12,9	39,7
5	20	12,31	75	7,8	14,2	35,7
5	20	10,95	80	6,9	14,3	29,7
5	20	8,68	88	5,5	14,2	23,7
5	20	6,42	89	5,5	10,5	19,7
5	20	4,15	90	5,5	6,8	15,7
5	20	2,49	90	4,8	4,7	10,7
5	20	1,43	90	4,2	3,1	5,7
5	20	1,00	90	2,9	3,1	0,0

Tabla A7.25 - Tiempo de Secado - Espesor 26 mm - 90°C (a).

N°	Esp	Chi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	26	11,18	69	10,0	10,1	48,8
1	26	10,29	72	9,1	10,2	44,8
1	26	9,84	75	7,8	11,4	40,8
1	26	8,16	80	6,9	10,6	34,8
1	26	6,14	88	5,5	10,0	28,8
1	26	4,46	89	5,5	7,3	24,8
1	26	3,68	90	5,5	6,0	20,8
1	26	2,33	90	4,8	4,4	15,8
1	26	1,88	90	4,2	4,0	10,8
1	26	1,32	90	2,9	4,1	4,8
1	26	1,00	90	2,9	3,1	0,0
2	26	10,77	69	10,0	9,7	48,6
2	26	10,12	72	9,1	10,0	44,6
2	26	9,68	75	7,8	11,2	40,6
2	26	8,16	80	6,9	10,6	34,6
2	26	6,52	88	5,5	10,7	28,6
2	26	4,89	89	5,5	8,0	24,6
2	26	4,24	90	5,5	6,9	20,6
2	26	2,50	90	4,8	4,7	15,6
2	26	1,95	90	4,2	4,2	10,6
2	26	1,30	90	2,9	4,0	4,6
2	26	1,00	90	2,9	3,1	0,0
3	26	10,75	69	10,0	9,7	47,9
3	26	9,98	72	9,1	9,9	43,9
3	26	9,65	75	7,8	11,1	39,9
3	26	7,99	80	6,9	10,4	33,9
3	26	6,34	88	5,5	10,4	27,9
3	26	4,68	89	5,5	7,7	23,9
3	26	4,13	90	5,5	6,8	19,9
3	26	2,36	90	4,8	4,4	14,9
3	26	1,92	90	4,2	4,1	9,9
3	26	1,26	90	2,9	3,9	3,9
3	26	1,00	90	2,9	3,1	0,0

Tabla A7.26 - Tiempo de Secado - Espesor 26 mm - 90°C (b).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	26	10,41	69	10,0	9,4	47,7
4	26	9,51	72	9,1	9,4	43,7
4	26	9,06	75	7,8	10,5	39,7
4	26	7,38	80	6,9	9,6	33,7
4	26	5,70	88	5,5	9,3	27,7
4	26	4,02	89	5,5	6,6	23,7
4	26	3,46	90	5,5	5,7	19,7
4	26	2,22	90	4,8	4,2	14,7
4	26	1,89	90	4,2	4,0	9,7
4	26	1,33	90	2,9	4,1	3,7
4	26	1,00	90	2,9	3,1	0,0
5	26	13,17	69	10,0	11,9	48,7
5	26	12,32	72	9,1	12,2	44,7
5	26	11,83	75	7,8	13,6	40,7
5	26	10,00	80	6,9	13,0	34,7
5	26	8,04	88	5,5	13,2	28,7
5	26	5,97	89	5,5	9,8	24,7
5	26	5,24	90	5,5	8,6	20,7
5	26	2,68	90	4,8	5,0	15,7
5	26	2,07	90	4,2	4,4	10,7
5	26	1,46	90	2,9	4,5	4,7
5	26	1,00	90	2,9	3,1	0,0

Tabla A7.27 - Tiempo de Secado - Espesor 38 mm - 90°C (a).

N°	Esp	CHI/CHF	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	38	7,66	69	10,0	10,0	58,1
1	38	7,20	72	9,1	10,3	54,1
1	38	6,91	75	7,8	11,5	50,1
1	38	5,98	80	6,9	11,3	44,1
1	38	5,00	88	5,5	11,8	38,1
1	38	4,07	89	5,5	9,6	34,1
1	38	3,72	90	5,5	8,8	30,1
1	38	2,62	90	4,8	7,1	25,1
1	38	2,16	90	4,2	6,7	20,1
1	38	1,81	90	2,9	8,1	14,1
1	38	1,47	90	2,9	6,6	9,1
1	38	1,23	90	2,9	5,5	4,1
1	38	1,06	90	2,9	4,8	2,1
1	38	1	90	2,9	4,5	0,0
2	38	8,22	69	10,0	10,7	59,6
2	38	7,76	72	9,1	11,1	55,6
2	38	7,41	75	7,8	12,3	51,6
2	38	6,54	80	6,9	12,3	45,6
2	38	5,50	88	5,5	13,0	39,6
2	38	4,57	89	5,5	10,8	35,6
2	38	4,23	90	5,5	10,0	31,6
2	38	3,07	90	4,8	8,3	26,6
2	38	2,38	90	4,2	7,4	21,6
2	38	1,86	90	2,9	8,3	15,6
2	38	1,57	90	2,9	7,0	10,6
2	38	1,28	90	2,9	5,7	5,6
2	38	1,10	90	2,9	5,0	3,6
2	38	1,00	90	2,9	4,5	0,0
3	38	7,96	69	10,0	10,3	57,2
3	38	7,48	72	9,1	10,7	53,2
3	38	7,18	75	7,8	12,0	49,2
3	38	6,28	80	6,9	11,8	43,2
3	38	5,26	88	5,5	12,4	37,2
3	38	4,30	89	5,5	10,2	33,2
3	38	3,94	90	5,5	9,3	29,2
3	38	2,73	90	4,8	7,4	24,2
3	38	2,31	90	4,2	7,2	19,2
3	38	1,83	90	2,9	8,2	13,2
3	38	1,47	90	2,9	6,6	8,2
3	38	1,23	90	2,9	5,5	3,2
3	38	1,05	90	2,9	4,7	1,2
3	38	1,00	90	2,9	4,5	0,0

Tabla A7.28 - Tiempo de Secado - Espesor 38 mm - 90°C (b).

N°	Esp	CHI/CHF	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	38	11,15	69	10,0	14,5	57,8
4	38	10,58	72	9,1	15,1	53,8
4	38	10,33	75	7,8	17,2	49,8
4	38	9,37	80	6,9	17,7	43,8
4	38	8,22	88	5,5	19,4	37,8
4	38	7,08	89	5,5	16,7	33,8
4	38	6,63	90	5,5	15,7	29,8
4	38	4,78	90	4,8	13,0	24,8
4	38	3,70	90	4,2	11,4	19,8
4	38	2,23	90	2,9	10,0	13,8
4	38	1,66	90	2,9	7,4	8,8
4	38	1,28	90	2,9	5,7	3,8
4	38	1,09	90	2,9	4,9	1,8
4	38	1,00	90	2,9	4,5	0,0
5	38	11,10	69	10,0	14,4	57,2
5	38	10,45	72	9,1	14,9	53,2
5	38	10,26	75	7,8	17,1	49,2
5	38	9,15	80	6,9	17,2	43,2
5	38	7,92	88	5,5	18,7	37,2
5	38	6,62	89	5,5	15,7	33,2
5	38	6,10	90	5,5	14,4	29,2
5	38	4,22	90	4,8	11,4	24,2
5	38	3,12	90	4,2	9,6	19,2
5	38	2,01	90	2,9	9,0	13,2
5	38	1,56	90	2,9	7,0	8,2
5	38	1,23	90	2,9	5,5	3,2
5	38	1,04	90	2,9	4,7	1,2
5	38	1,00	90	2,9	4,5	0,0

Tabla A7.29 - Tiempo de Secado - Espesor 57 mm - 90°C (a).

N°	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
1	57	5,26	69	10,0	7,4	56,2
1	57	5,06	72	9,1	7,8	52,2
1	57	4,87	75	7,8	8,7	48,2
1	57	4,43	80	6,9	9,0	42,2
1	57	3,91	88	5,5	10,0	36,2
1	57	3,42	89	5,5	8,7	32,2
1	57	3,19	90	5,5	8,1	28,2
1	57	2,51	90	4,8	7,3	23,2
1	57	2,12	90	4,2	7,1	18,2
1	57	1,55	90	2,9	7,5	12,2
1	57	1,34	90	2,9	6,5	7,2
1	57	1,16	90	2,9	5,6	2,2
1	57	1,00	90	2,9	4,8	0,2
1	57	1	90	2,9	4,8	0,0
2	57	4,78	69	10,0	6,7	58,8
2	57	4,61	72	9,1	7,1	54,8
2	57	4,51	75	7,8	8,1	50,8
2	57	4,14	80	6,9	8,4	44,8
2	57	3,74	88	5,5	9,5	38,8
2	57	3,32	89	5,5	8,5	34,8
2	57	3,15	90	5,5	8,0	30,8
2	57	2,56	90	4,8	7,5	25,8
2	57	2,26	90	4,2	7,5	20,8
2	57	1,74	90	2,9	8,4	14,8
2	57	1,40	90	2,9	6,7	9,8
2	57	1,20	90	2,9	5,8	4,8
2	57	1,05	90	2,9	5,1	2,8
2	57	1	90	2,9	4,8	0,0
3	57	4,56	69	10,0	6,4	59,2
3	57	4,39	72	9,1	6,8	55,2
3	57	4,27	75	7,8	7,7	51,2
3	57	3,91	80	6,9	7,9	45,2
3	57	3,55	88	5,5	9,0	39,2
3	57	3,15	89	5,5	8,0	35,2
3	57	3,01	90	5,5	7,7	31,2
3	57	2,53	90	4,8	7,4	26,2
3	57	2,22	90	4,2	7,4	21,2
3	57	1,74	90	2,9	8,4	15,2
3	57	1,41	90	2,9	6,8	10,2
3	57	1,17	90	2,9	5,7	5,2
3	57	1,08	90	2,9	5,2	3,2
3	57	1	90	2,9	4,8	0,0

Tabla A7.30 - Tiempo de Secado - Espesor 57 mm - 90°C (b).

N°	Esp	Chi/CHf	TBS	CHE	Pot	Tiempo
4	57	6,10	69	10,0	8,5	57,7
4	57	5,82	72	9,1	9,0	53,7
4	57	5,73	75	7,8	10,3	49,7
4	57	5,16	80	6,9	10,5	43,7
4	57	4,57	88	5,5	11,6	37,7
4	57	4,00	89	5,5	10,2	33,7
4	57	3,77	90	5,5	9,6	29,7
4	57	2,92	90	4,8	8,5	24,7
4	57	2,37	90	4,2	7,9	19,7
4	57	1,69	90	2,9	8,2	13,7
4	57	1,38	90	2,9	6,7	8,7
4	57	1,18	90	2,9	5,7	3,7
4	57	1,04	90	2,9	5,0	1,7
4	57	1	90	2,9	4,8	0,0
5	57	6,60	69	10,0	9,2	58,6
5	57	6,37	72	9,1	9,8	54,6
5	57	6,22	75	7,8	11,2	50,6
5	57	5,70	80	6,9	11,6	44,6
5	57	5,15	88	5,5	13,1	38,6
5	57	4,62	89	5,5	11,8	34,6
5	57	4,36	90	5,5	11,1	30,6
5	57	3,52	90	4,8	10,3	25,6
5	57	2,94	90	4,2	9,8	20,6
5	57	2,09	90	2,9	10,1	14,6
5	57	1,54	90	2,9	7,4	9,6
5	57	1,25	90	2,9	6,0	4,6
5	57	1,08	90	2,9	5,2	2,6
5	57	1	90	2,9	4,8	0,0

Tabla A7.31 - Tiempo de Secado - Esp. 26 mm - Ens. Prelim. - 80°C (a).

N°	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Tiempo
1	26	15,9	60	10,0	54,2
1	26	15,3	63	9,1	50,2
1	26	14,6	66	7,8	46,2
1	26	12,8	70	6,9	40,2
1	26	10,4	78	5,5	34,2
1	26	8,9	79	5,5	30,2
1	26	7,1	80	5,5	26,2
1	26	4,6	80	4,8	21,2
1	26	2,9	80	4,2	16,2
1	26	1,9	80	2,9	10,2
1	26	1,5	80	2,9	5,2
1	26	1,0	80	2,9	0,2
1	26	1,0	80	2,9	0,0
2	26	16,3	60	10,0	54,6
2	26	15,7	63	9,1	50,6
2	26	15,0	66	7,8	46,6
2	26	13,1	70	6,9	40,6
2	26	10,5	78	5,5	34,6
2	26	9,3	79	5,5	30,6
2	26	7,2	80	5,5	26,6
2	26	4,6	80	4,8	21,6
2	26	2,9	80	4,2	16,6
2	26	1,9	80	2,9	10,6
2	26	1,5	80	2,9	5,6
2	26	1,0	80	2,9	0,6
2	26	1,0	80	2,9	0,0
3	26	16,3	60	10,0	55,0
3	26	15,7	63	9,1	51,0
3	26	15,1	66	7,8	47,0
3	26	13,2	70	6,9	41,0
3	26	10,7	78	5,5	35,0
3	26	9,4	79	5,5	31,0
3	26	7,5	80	5,5	27,0
3	26	4,9	80	4,8	22,0
3	26	3,1	80	4,2	17,0
3	26	2,0	80	2,9	11,0
3	26	1,5	80	2,9	6,0
3	26	1,1	80	2,9	1,0
3	26	1,0	80	2,9	0,0

Tabla A7.32 - Tiempo de Secado - Esp. 26 mm - Ens. Prelim. - 80°C (b).

Nº	Esp	CHI/CHf	TBS	CHE	Tiempo
4	26	16,1	60	10,0	55,4
4	26	15,5	63	9,1	51,4
4	26	14,8	66	7,8	47,4
4	26	13,1	70	6,9	41,4
4	26	10,9	78	5,5	35,4
4	26	9,4	79	5,5	31,4
4	26	7,9	80	5,5	27,4
4	26	5,5	80	4,8	22,4
4	26	3,6	80	4,2	17,4
4	26	2,1	80	2,9	11,4
4	26	1,7	80	2,9	6,4
4	26	1,2	80	2,9	1,4
4	26	1,0	80	2,9	0,0
5	26	16,6	60	10,0	53,0
5	26	15,8	63	9,1	49,0
5	26	14,8	66	7,8	45,0
5	26	12,8	70	6,9	39,0
5	26	10,0	78	5,5	33,0
5	26	7,5	79	5,5	29,0
5	26	6,2	80	5,5	25,0
5	26	3,5	80	4,8	20,0
5	26	2,4	80	4,2	15,0
5	26	1,6	80	2,9	9,0
5	26	1,3	80	2,9	4,0
5	26	1,0	80	2,9	0,0
6	26	15,3	60	10,0	55,6
6	26	14,6	63	9,1	51,6
6	26	13,8	66	7,8	47,6
6	26	11,8	70	6,9	41,6
6	26	9,8	78	5,5	35,6
6	26	7,6	79	5,5	31,6
6	26	6,3	80	5,5	27,6
6	26	3,7	80	4,8	22,6
6	26	2,1	80	4,2	17,6
6	26	1,7	80	2,9	11,6
6	26	1,5	80	2,9	6,6
6	26	1,1	80	2,9	1,6
6	26	1,0	80	2,9	0,0

Tabla A7.33 - Tiempo de Secado - Esp. 26 mm - Ens. Prelim. - 80°C (c).

N°	Esp	CHi/CHf	TBS	CHE	Tiempo
7	26	15,3	60	10,0	55,1
7	26	14,7	63	9,1	51,1
7	26	14,0	66	7,8	47,1
7	26	12,0	70	6,9	41,1
7	26	9,8	78	5,5	35,1
7	26	7,9	79	5,5	31,1
7	26	6,5	80	5,5	27,1
7	26	3,9	80	4,8	22,1
7	26	2,7	80	4,2	17,1
7	26	2,0	80	2,9	11,1
7	26	1,5	80	2,9	6,1
7	26	1,1	80	2,9	1,1
7	26	1,0	80	2,9	0,0
8	26	15,4	60	10,0	54,0
8	26	14,4	63	9,1	50,0
8	26	13,5	66	7,8	46,0
8	26	11,9	70	6,9	40,0
8	26	11,0	78	5,5	34,0
8	26	8,6	79	5,5	30,0
8	26	7,4	80	5,5	26,0
8	26	5,2	80	4,8	21,0
8	26	3,4	80	4,2	16,0
8	26	2,0	80	2,9	10,0
8	26	1,5	80	2,9	5,0
8	26	1,0	80	2,9	0,0

ANEXO 8

CALIDAD DE SECADO

Pinus taeda

Tabla A8.1 - Defectos de secado - *Pinus taeda*, ensayo 1.

Defecto	Fisurado superficial	Fisuras de extremo	Abarquillado	Curvado	Torcedura lateral	Tostado	Total defectos
Tolerancia	< 30 %	< 16 %	< 2 %	< 1,5 %	< 1,5 %	no acept.	
Muestra	Primer ensayo						
1	NO	NO	1	NO	NO	NO	0
2	NO	NO	1	NO	NO	NO	0
3	NO	NO	1	NO	NO	NO	0
4	NO	NO	2	NO	NO	NO	0
5	NO	NO	1	0,23	NO	NO	0
6	NO	NO	NO	0,23	0,23	NO	0
7	NO	NO	NO	0,23	0,23	NO	0
8	NO	NO	NO	NO	0,23	NO	0
						Suma def.	0
						Prom.def.	0

Tabla A8.2 - Defectos de secado - *Pinus taeda*, ensayo 2.

Defecto	Fisurado superficial	Fisuras de extremo	Abarquillado	Curvado	Torcedura lateral	Tostado	Total defectos
Tolerancia	< 30 %	< 16 %	< 2 %	< 1,5 %	< 1,5 %	no acept.	
Muestra	Segundo ensayo						
9	NO	NO	NO	0,69	NO	NO	0
10	NO	NO	0,5	0,46	0,22	NO	0
11	NO	NO	0,5	NO	NO	NO	0
12	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
13	NO	NO	0,5	0,23	NO	NO	0
14	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
15	NO	NO	NO	0,23	NO	NO	0
16	NO	NO	NO	0,23	NO	NO	0
17	NO	NO	NO	0,23	NO	NO	0
18	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
19	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
20	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
21	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
22	NO	NO	NO	0,11	NO	NO	0
23	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
24	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
25	SI	NO	0,5	NO	NO	NO	1
26	NO	NO	0,5	0,23	NO	NO	0
27	NO	NO	NO	0,34	NO	NO	0
28	NO	NO	NO	0,34	NO	NO	0
29	NO	NO	0,5	0,25	NO	NO	0
30	NO	NO	0,5	NO	NO	NO	0
31	NO	NO	0,5	0,23	NO	NO	0
32	NO	NO	1	0,46	NO	NO	0
33	NO	NO	NO	0,46	0,12	NO	0
						Suma def.	1
						% def.	4

Tabla A8.3 - Defectos de secado - *Pinus taeda*, ensayo 3.

Defecto	Figurado superficial	Figuras de extremo	Abarquillado	Curvado	Torcedura lateral	Tostado	Total defectos
Tolerancia	< 30 %	< 16 %	< 2 %	< 1,5 %	< 1,5 %	no acept.	
Muestra	Tercer ensayo						
34	NO	NO	0,5	0,34	NO	NO	0
35	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
36	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
37	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
38	NO	NO	0,5	NO	NO	NO	0
39	NO	NO	0,5	0,23	NO	NO	0
40	NO	NO	0,5	NO	NO	NO	0
41	NO	NO	0,5	0,25	NO	NO	0
42	NO	NO	NO	0,25	NO	NO	0
43	NO	NO	NO	0,25	NO	NO	0
44	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
45	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
46	NO	NO	0,5	0,2	NO	NO	0
47	NO	NO	1	NO	NO	NO	0
48	NO	NO	0,5	NO	NO	NO	0
49	NO	NO	0,5	NO	NO	NO	0
50	SI	NO	0,5	NO	NO	NO	1
51	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
52	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
53	NO	NO	NO	0,25	0,12	NO	0
54	NO	NO	NO	0,34	0,23	NO	0
55	NO	NO	NO	0,34	NO	NO	0
56	NO	NO	0,5	0,34	0,23	NO	0
57	NO	NO	0,5	NO	NO	NO	0
58	NO	NO	NO	0,46	NO	NO	0
						Suma def.	1
						% def.	4

Tabla A8.4 - Defectos de secado - *Pinus taeda*, ensayo 4.

Defecto	Fisurado superficial	Fisuras de extremo	Abarquillado	Curvado	Torcedura lateral	Tostado	Total defectos
Tolerancia	< 30 %	< 16 %	< 2 %	< 1,5 %	< 1,5 %	no acept.	
Muestra	Cuarto ensayo						
59	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
60	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
61	NO	NO	NO	0,23	NO	NO	0
62	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
63	NO	NO	NO	0,21	NO	NO	0
64	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
65	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
66	NO	NO	0,5	NO	NO	NO	0
67	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
68	NO	NO	NO	0,75	NO	NO	0
69	NO	NO	NO	0,41	0,21	NO	0
70	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
71	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
72	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
73	NO	NO	NO	0,4	NO	NO	0
74	NO	NO	NO	0,51	NO	NO	0
75	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
76	NO	NO	0,5	0,25	0,37	NO	0
77	NO	NO	0,5	NO	NO	NO	0
78	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
79	NO	NO	NO	NO	0,35	NO	0
80	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
81	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0
82	NO	NO	NO	0,58	NO	NO	0
83	NO	NO	0,5	NO	0,55	NO	0
						Suma def.	0
						% def.	0