



Análisis de datos de ensayos realizados en un prototipo de secador solar de madera

Nelli Silvana S.^{a*}, Bresciani, Julio C.^a, Mantulak Mario J.^a,

^a Lab GTEA, Departamento de Matemática, FI-UNaM, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.
e-mails: silvana.nelli@fio.unam.edu.ar, mantulak@fio.unam.edu.ar, juliocesarbresciani@yahoo.com.ar

Resumen

El presente trabajo se realizó en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Misiones enmarcado como parte de una investigación desarrollada para una tesis de la Maestría en ingeniería de la Energía. Se presentan algunos resultados de los ensayos de secado de tablas de madera, analizando mediciones de temperatura y humedad. Estos ensayos se realizaron para un lote de tablas de madera de pino que se secaron al aire libre y otro dentro de un prototipo de secador solar. Se midieron los valores de temperatura y humedad ambiente dentro y fuera del prototipo. Se obtuvo que en promedio se obtuvo una temperatura superior entre 20% y 24% dentro del prototipo y una humedad inferior en promedio de un 33% a 44%.

Palabras Clave – Secador solar, prototipo, ensayos, secado de madera.

1 Introducción

El siguiente trabajo se desarrolló en la ciudad de Oberá de la provincia de Misiones, República Argentina. En esta provincia, una de las actividades económicas que se desarrolla es la industria forestal, el 39,87% de la producción nacional de madera en sus diversas formas, provino de la provincia de Misiones. Según el “Análisis del complejo foresto industrial maderero en Argentina” en el 2017. [1].

En el año 2018, se realizó el último censo foresto industrial, en el cual se registra 438 empresas madereras en la región de la cuales el 47,7% de las mismas se hallan en el departamento de Oberá y zonas aledañas. [2]

Los aserraderos de la región, en su mayoría, no cuentan con el equipamiento que requieren para realizar el secado de madera de manera, lo cual posee varios inconvenientes, como ser: la alta incidencia del factor climático, estacional ya que afectan a los tiempos de secado. Lo que conlleva a un menor rendimiento económico. Esta discontinuidad en los tiempos de secado, muchas veces impide el cumplimiento de las entregas de madera en los plazos acordados, y esto afecta la confianza en la empresa. [3]. La madera secada de esta manera, no suele lograr el grado de humedad necesario para alcanzar la estabilidad dimensional que se requiere para su utilización final, en especial si está destinada a la fabricación de muebles u otras aplicaciones de interior. [4] Al tener un contenido de humedad superior al debido, la madera pierde el agua, hasta llegar a su equilibrio.

Esto provoca que sus dimensiones disminuyan generando fallas en las uniones, desprendimientos, grietas, deformaciones etc. [5]

Las empresas que disponen de secadores con calderas son las de mayor poder adquisitivo, dada la alta inversión necesaria para su instalación.[6] Estos secadores utilizan combustibles para generar vapor, de esta manera secan la madera con energía térmica, de acuerdo a Brázzola et al [3]. Además, se debe considerar el gasto generado por la utilización del combustible de la caldera y al quemar dicho combustible se generan gases contaminantes. [7]

En este trabajo, se realizan ensayos de secado de madera en un prototipo de secador solar, y se realiza un análisis estadístico de estos datos. La investigación está inmersa en dentro de un trabajo de Tesis de Maestría en Ingeniería de la Energía de la Facultad de Ingeniería de Oberá. Además, se encuentra dentro del proyecto de investigación denominado “Industria 4.0 y Filosofía LEAN como Instrumentos de Competitividad en Pymes de Manufactura de la Provincia de Misiones”, el cual es un proyecto perteneciente al Laboratorio de Gestión Tecnológica y Estadística Aplicada (GTEA) de la Facultad de Ingeniería de la UNaM.

2 Desarrollo

2.1 Ensayos

Para el desarrollo de esta investigación se realizaron mediciones de humedad y temperatura dentro del prototipo de secador solar, donde se realizaron procesos de secado de 9 tablas de madera de pino.

También se realizaron mediciones de humedad y temperatura ambiente, las cuales se obtuvieron en el proceso de secado de 9 tablas de madera secadas al aire libre.

Ambos procesos de secado se realizaron al mismo tiempo durante diversas estaciones del año.

2.2 Madera para secado

Para la realización de los ensayos se trabajó con madera de pino resinosa: *Pinus Taeda* y *Pinus Elliottii*. Dado que en la provincia de Misiones el 87% de las especies forestales cultivadas corresponden a estas variedades, con un total de 2 497 010 m³ implantadas, seguida por el eucalipto con un 9% [7] Estas maderas son utilizadas para la construcción, muebles, tableros, pallets, etc. [8]-[9]

2.3 Materiales utilizados e instrumentos

Para la realización de los ensayos se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos:

- Medidor de humedad y Medidor de temperatura. Para las mediciones en el exterior se utilizó un registrador de datos HOBO U10. Este permite realizar mediciones de temperatura en el rango de -20 °C a 70 °C con una exactitud de $\pm 0,53$ °C. Y con respecto a la humedad relativa el rango de

medición es de 25% a 95% con un error de $\pm 3,5\%$, su rango de operación va de 0% a 95% de humedad relativa.

Para las mediciones en el interior del prototipo se utilizó un registrador de datos HOBO ux100-003 que puede medir temperaturas en un rango de -20°C y 70°C con una exactitud de $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$, mientras que el sensor de humedad posee un rango de medición de 15% a 95%. Con una exactitud de $\pm 3,5\%$.

También se utilizaron instrumentos manuales para la medición de humedad y temperatura. Como ser Temperature & Humidity Meter. El mismo posee un rango de medición de temperatura entre -30°C y 100°C . Con una exactitud de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. El rango de medición del sensor de humedad relativa es de 0% a 100%. Con una exactitud de $\pm 2\%$.

- Prototipo de secador solar para madera.
 - 18 Tablas de madera de pino verdes de igual dimensión provisto por aserraderos locales.
- (Cantidad por ensayo)

2.4 Disposición para el secado

Debido a que se desea realizar una comparación entre el secado en el secador solar y al aire libre se utilizó en ambos casos el apilado horizontal. Que consiste en apilar las tablas que se hallan dispuestas en forma horizontal, con separadores, como se muestra en la siguiente figura:

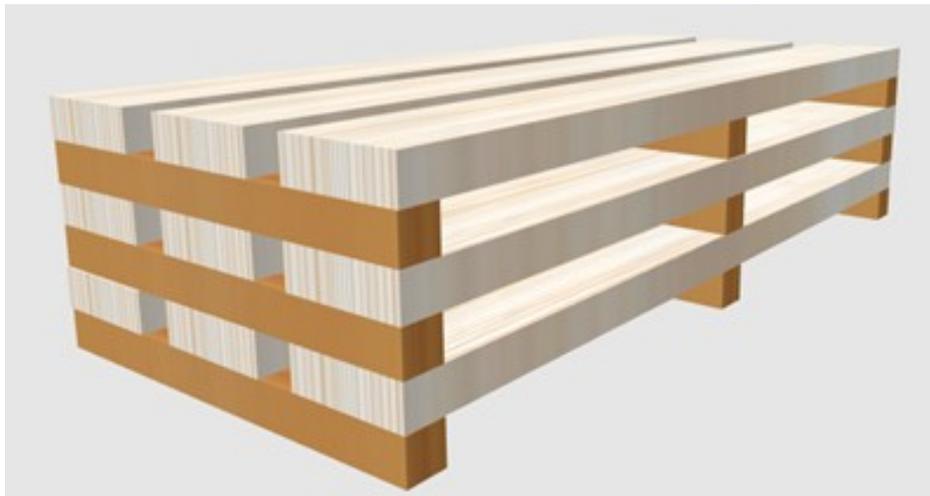


Fig. 1. Apilado Horizontal.

2.5 Separadores

Los separadores son varillas de madera de sección rectangular. Sus dimensiones varían de acuerdo al espesor de las tablas que se desea secar. Deben estar hechos de madera seca y

escuadrada. La elección del espesor de los mismos es importante y va a depender del espesor y peso de las tablas que desea secarse. Cuanto más delgado sea el separador se podrán introducir mayor cantidad de madera al secador, es decir se aprovecha mejor el espacio. Pero tiene la desventaja de que puede provocar marcas en la madera, y se rompen con mayor facilidad.

La siguiente tabla muestra el espesor aproximado del separador en función del ancho de la madera:

Tabla 1: Relación entre el espesor del separador y el espesor de la madera a secar [10]

Espesor de la madera (mm)	Espesor del separador (mm)
Menos de 20	20
20 - 25	25
40 - 50	30
50 - 65	35
65 - 80	40
Más de 80	45

También debe a tenerse en cuenta la distancia entre los separadores, esta distancia dependerá del tipo de madera, ya que cuanto más susceptible a deformarse sea, menor deberá ser dicha distancia.

La siguiente tabla presenta algunos valores orientativos:

Tabla 2: Distanciamiento de separadores en función del espesor de la madera a secar.[10]

Espesor de la madera (mm)	Distanciamiento (m)
Hasta 30	0,30 - 0,40
30 - 50	0,40 - 0,70
Más de 50	0,70 - 1,00

Los separadores de los extremos siempre deben coincidir con el extremo de la madera, como se muestra en la Fig. 1.

Para el correcto secado de la madera las estibas deben permitir la circulación de aire, esto sucede cuando los espacios vacíos que dejan los separadores están alineados, es decir, cuando los separadores se colocan de manera adecuada (alineados). Si no es así el secado se verá retardado ya que se generan turbulencias.[10]

2.6 Prototipo

En la Fig. 2 se presenta un esquema del prototipo utilizado para los ensayos. En la parte superior posee un colector, que es una placa absorbente que aumenta su temperatura debido a la exposición solar. Es una superficie metálica negra plegada en V, lo que mejora su contacto térmico. En la parte superior del prototipo se encuentra una lámina de policarbonato alveolar que cubre el colector y permite la incidencia de los rayos solares.

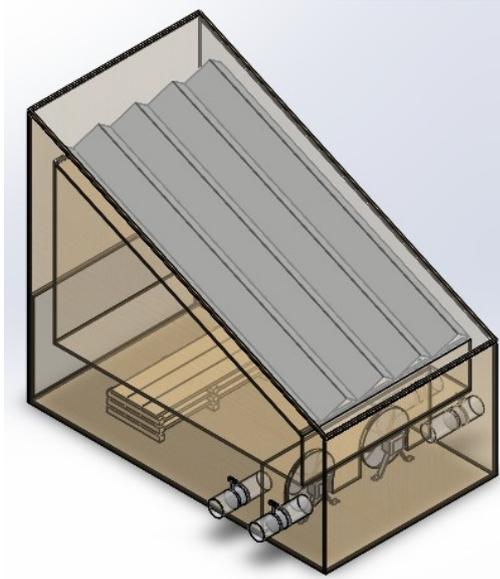


Fig. 2. Esquema del prototipo.

El secador solar de madera permite la transferencia de calor por convección. El aire de la región del colector aumenta su temperatura, y ya que la región de secado se encuentra a menor temperatura comienza una circulación de aire dentro del secador. El aire a mayor temperatura transporta el calor a la masa de aire a menor temperatura; este flujo se muestra en la Fig.3, dentro del secador se encuentran además dos forzadores que favorecen esta circulación natural de aire.

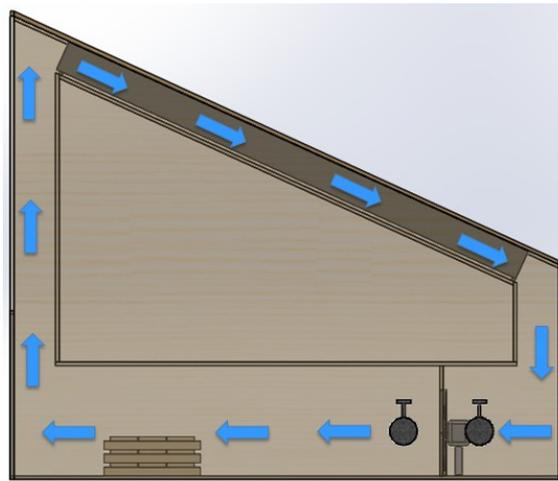


Fig. 3. Esquema del secador solar, vista lateral izquierda. Circulación de aire.

2 Resultados de los ensayos

2.1 Resumen por estaciones

A continuación, se presentan algunas medidas de tendencia central y dispersión de los datos obtenidos en los ensayos.

En la tabla 3 se presenta un resumen de la temperatura en el interior del prototipo en cuatro ensayos realizados:

Tabla 3: Resumen de análisis de datos de la temperatura interior del prototipo

	Primavera	Primavera/Verano	Verano	Invierno
Media	35,75	35,18	32,47	24,30
Mediana	29,79	29,76	28,28	23,09
Moda	23,08	28,00	25,92	17,89
Desviación estándar	13,89	12,64	9,42	9,76
Mínimo	19,03	18,13	19,20	7,30
Máximo	68,92	67,35	63,43	54,35

En la tabla 4 se presenta un resumen de la temperatura ambiente en cuatro ensayos realizados:

Tabla 4: Resumen de análisis de datos de la temperatura ambiente

	Primavera	Primavera/Verano	Verano	Invierno
Media	27,00	26,79	24,99	19,37
Mediana	25,30	25,20	23,48	19,38
Moda	21,81	19,92	22,14	23,39
Desviación estándar	7,43	6,64	5,06	7,08
Mínimo	15,02	14,11	14,33	4,62
Máximo	42,79	41,17	40,07	35,01

En la tabla 5 se presenta un resumen de la humedad en el interior del prototipo en cuatro ensayos realizados:

Si se realiza una comparación entre los resultados de la temperatura ambiente y dentro del prototipo, puede observarse que en todos los ensayos la temperatura media obtenida es superior en el interior del prototipo. Siendo las temperaturas medias del interior del prototipo superiores a la temperatura ambiente entre 5°C y 9°C. Es decir, entre un 20% a 24% mayor.

Las temperaturas mínimas en el exterior son de entre 2°C y 5°C superiores a las temperaturas ambientes y las máximas entre 19°C y 26°C superiores.

Tabla 5: Resumen de análisis de datos de la humedad interior del prototipo.

	Primavera	Primavera/Verano	Verano	Invierno
Media	30,66	38,80	54,17	45,21
Mediana	28,28	37,60	59,50	45,09
Moda	14,50	12,97	56,40	15,00
Desviación estándar	18,69	18,10	18,11	13,86
Varianza de la muestra	349,17	327,76	328,15	192,12
Mínimo	6,03	7,26	8,13	15,00
Máximo	75,31	77,61	82,94	78,13

En la tabla 6 se presenta un resumen de la humedad ambiente en cuatro ensayos realizados:

Tabla 6: Resumen de análisis de datos de la humedad ambiente

	Primavera	Primavera/Verano	Verano	Invierno
Media	46,55	64,03	80,31	80,31
Mediana	45,95	67,02	89,78	89,78
Moda	84,43	100,00	100,00	100,00
Desviación estándar	24,24	23,54	21,45	21,45
Mínimo	8,55	15,03	20,33	20,33
Máximo	97,85	100,00	100,00	100,00

Vemos en las tablas 5 y 6 algunas medidas de tendencia central y dispersión de las mediciones de humedad en el interior del prototipo y en el ambiente. Como puede observarse que la humedad ambiente con respecto a la humedad en el interior del prototipo es menor entre un 33% a un 44%.

3 Conclusiones

En base a este análisis de datos realizado se puede concluir que las condiciones de secado en el interior del prototipo son mejores que en el secado al aire libre. Ya que tanto la humedad disminuyó entre un 33% a un 44% (considerando los valores promedios) y la temperatura del interior del prototipo aumentó con respecto a la temperatura ambiente entre un 20% a un 24% en los distintos ensayos.

Referencias

- [1] E. Misirlian, “Análisis del complejo foresto industrial maderero en Argentina,” pp. 1–40, 2019.
- [2] Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial, “Censo nacional de aserraderos,” Misiones, 2018
- [3] R. Brázzola, C. Brandt, M. J. Mantulak, S. Edgardo, and A. Katogui, “Secadero Solar Demostrativo para Madera Demonstrative Solar Drying Room for Wood,” vol. 701, no. 2009, pp. 401–410, 2017.
- [4] B. Bond, O. Espinoza, and P. Araman, “Diseño y Operación de un Secador Solar de Madera para Países Tropicales,” 2012, [Online]. Available: <https://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/38138%5Cnhttp://www.srs.fs.usda.gov/pubs/38138>.
- [5] E. Martínez Pinillos Cueto, “Diseño y ensayo de un Secador Solar para Madera,” *Rev. For. Costa Rica*, vol. 3, no. 2, pp. 13–28, 1997, doi: 1405-0471.
- [6] Q. Olgúin, F. López, M. Elena, T. Urías, and J. Carlos, “Evaluación económica de un secador solar para madera,” *Rev. Mex. Ciencias For.*, vol. 2, no. 7, pp. 97–104, 2011.
- [7] Ing. Raúl Oswaldo Contreras Vidal, “Análisis del uso de un Secador Solar para Madera en la Ciudad de Cuenca.,” Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas., Cuenca, 2017.
- [8] M. Azizi, N. Mohebbi, and F. De Felice, “Developing a Rating Model for Selection Solar Wood Drying Location,” *Agric. Agric. Sci. Procedia*, vol. 8, pp. 378–386, 2016.
- [9] M. Azizi, N. Mohebbi, and F. De Felice, “Developing a Rating Model for Selection Solar Wood Drying Location,” *Agric. Agric. Sci. Procedia*, vol. 8, pp. 378–386, 2016.
- [10] Ing. María Elena Atencia, “SECADO DE MADERA,” pp. 1–93.