

Efecto de tratamientos hidrotérmicos sobre algunas propiedades en madera de *Pinus radiata* D. Don
Effect of hydrothermal treatments on some properties of *Pinus radiata* D. Don

H. Poblete¹, P. Niemz²,
Mail to: hpoblete@uach.cl, niemz@ibwk.baug.ethz.ch

Resumen

Madera de *Pinus radiata* D. Don creciendo en Chile fue sometida a un tratamiento hidrotérmico. Con un aumento de la temperatura y del tiempo de tratamiento se provocó un aumento en la pérdida de masa y una reducción en la densidad. También se comprobó una pérdida en la resistencia a la flexión y en el módulo de elasticidad. El hinchamiento máximo (luego de acondicionado en un baño de agua) aumentó y el valor de pH de los extraíbles en agua se redujo en forma importante al aumentar la temperatura. Los tratamientos provocaron además cambios considerables en el color, la madera adquiere tonalidades oscuras.

Palabras clave: *Pinus radiata*, tratamiento hidrotérmico, propiedades físicas, extraíbles en agua

Summary

Pinus radiata D. Don growing in Chile, was hydro thermally treated and tested. With an increase of the temperature or the time of treatment an increase on mass loss and a reduction on wood density were determined. A reduction on bending strength and MOE was also detected. The maximum swelling (after conditioning in a water bath) increased and the pH value of water extracts decreases considerably with increasing temperature. The hydrothermal treatments produced a considerable colour change, the wood was turning darker.

Keywords: *Pinus radiata*, hydrothermal treatment, physical properties, water extracts

¹ Universidad Austral de Chile, Casilla 567/Valdivia/Chile

² ETH Zurich, Institut für Baustoffe, CH 8093 Zürich. ETH Höggerberg HIF E25.2

1. Introducción

Los componentes principales de la madera (hemicelulosas, celulosa y lignina) sufren una descomposición destructiva al estar bajo el efecto de humedad y temperatura (Fengel y Wegener, 1989).

En 1969 Noack determinó una considerable decrecimiento del valor de pH en madera de *Fagus sylvatica* luego de tratamientos entre 100 y 180 °C en un autoclave. Este tipo de cambio también fue determinado por Poblete (1984) en *Pinus sylvestris*.

Los cambios en la acidez de la madera se ven asociados con cambios en el color, pérdida de masa y un cambio en la capacidad de absorción. Niemi, Mariani y Torres (2003) reportan para madera de *Pinus radiata* un descenso de la densidad de 427 kg/m³ a 390 kg/m³ después de un tratamiento a 200 °C. Este cambio provocó una pérdida de masa considerable y una reducción importante de las propiedades mecánicas.

El aumento de la temperatura y la duración del tratamiento también tienen un efecto sobre las propiedades físicas. Una reducción de la humedad de equilibrio y un aumento en la tasa de hinchamiento han sido informados por Noack (1969) y Autorenkollektiv (2002). Otros autores han determinado que al vaporizar madera, con el objeto de plastificar la madera para procesos de debobinado y foliado, se provocan cambios en la estabilidad dimensional de la madera (Autorenkollektiv 2003). Vorreiter (1949) señala que la madera después de un vaporizado registra leves disminuciones del hinchamiento. De acuerdo con Vorreiter (1949), con aumentos de la presión del vapor se logra un aumento en la estabilidad de la madera.

Kollmann (1951) determinó que con una presión de vapor de 2 bar por 60 minutos, se produjo una reducción del hinchamiento de un 20 %. Al aumentar la temperatura del vapor, se reportó una reducción del punto de saturación de las fibras (Vorreiter, 1949).

Los tratamientos térmicos en ambiente seco (con aire caliente o en vacío) provocan una pérdida en las resistencias y un considerable mejoramiento del comportamiento de la madera en hinchamiento (Burmester, 1973, 1975; Schneider 1971).

Considerando que este tipo de tratamientos mejora las propiedades físicas, el objetivo principal de este trabajo fue estudiar el comportamiento de madera de *Pinus radiata* al someterla a diferentes condiciones hidrotérmicas.

2. Material y Método

2.1. Material

Para los tratamientos se usó madera aserrada en dirección radial de trozas de *Pinus radiata* con 22 años creciendo en la Xª Región, Chile.

2.2. Método

En el cuadro 1 se presenta un resumen de las características de los tratamientos aplicados en el estudio.

Se determinó, para cada tratamiento, el efecto de la temperatura y del tiempo sobre el valor de pH de los extraíbles en agua caliente, pérdida de masa, absorción e hinchamiento y la resistencia a la flexión (MOR y MOE).

Tratamientos hidrotérmicos

Inicialmente las probetas fueron acondicionadas a 20°C y 65% de humedad relativa, hasta alcanzar la humedad de equilibrio (peso constante). Después de este acondicionamiento se ubicaron las probetas en un autoclave para someterlas a un tratamiento térmico en presencia de agua. Las probetas en el autoclave estaban separadas del agua por una rejilla. La capacidad total del autoclave era de 6,5 l y se incluyó 1,0 l de agua. Luego de cerrar el autoclave, la temperatura se incrementó con una tasa de 3.3°C por minuto hasta alcanzar la temperatura objetivo.

Después de cada tratamiento, el agua residual con los extraíbles fue analizada. En cada uno de los tratamientos se usó agua destilada fresca. Luego del tratamiento hidrotérmico las probetas se acondicionaron a condiciones ambiente. Finalmente, se realizó un acondicionamiento en cámara de clima a 20°C con 65% de humedad relativa del aire. Las probetas para las determinaciones de hinchamiento, variaciones dimensionales, fueron acondicionadas a 20°C con humedades relativas del aire de 35, 50, 65, 75 y 95% hasta alcanzar la humedad de equilibrio (peso constante).

Análisis químico

El valor de pH se determinó en los extractos que quedaron en el autoclave luego de los tratamientos. Las determinaciones se realizaron en los extractos sin diluir y con un pH-Metro digital.

Propiedades físicas y mecánicas

Luego de acondicionar a 20 °C con 65 % de humedad relativa, se determinaron la densidad de la madera (DIN 52182), la resistencia a la flexión

(MOR) y MOE (DIN 52186), el hinchamiento (después de acondicionar a 20°C con 35, 50, 65, 75 y 93% de humedad relativa) y el hinchamiento máximo luego de un baño en agua (DIN 52184).

- Las probetas para la determinación de la resistencia a la flexión (MOR) y el MOE se dimensionaron de acuerdo con DIN 52186 (20 mm x 20 mm x 300 mm). El largo de las probetas se redujo a 300 mm debido a la capacidad de los equipos para realizar los tratamientos hidrotérmicos. Se ensayaron 20 probetas por cada tratamiento en una máquina universal de ensayos.
- Las probetas tratadas y destinadas a las determinaciones de hinchamiento y humedad de equilibrio se prepararon en un formato de 50 mm (radial) x 50 mm (tangencial) x 10 mm (espesor). Para cada condición de tratamiento se prepararon y ensayaron 20 probetas. El climatizado se llevó a cabo en cámara de una clima Heraeus-Heraphit. Las mediciones se realizaron con calibradores digitales con una precisión de 0,001 mm

3. Resultados y Discusión

En el cuadro 2 se presentan los resultados de las propiedades mecánicas y físicas obtenidas con madera tratada de *Pinus radiata*.

Al aumentar el tiempo y la temperatura se determinó un aumento de la pérdida de masa y una reducción de la densidad de la madera. La reducción de masa más importante se registró luego de aplicar una temperatura de 170°C. Con temperaturas inferiores aumenta la importancia del efecto del tiempo de tratamiento.

Aparte de los cambios señalados anteriormente, se pudo constatar una importante reducción de la resistencia a la flexión. Luego de un tratamiento por una hora con 170 °C, se registró una disminución del MOR de un 37 % mientras que el MOE decreció en un 21 %. Existe una relación directa entre la temperatura de tratamiento y las pérdidas de resistencia. Una relación similar fue encontrada para el tiempo de tratamiento y las propiedades mecánicas.

El hinchamiento máximo (luego de un acondicionado en baño de agua) aumentó al incrementarse la temperatura y el tiempo de tratamiento.

Los extractos en agua que se recuperan después de los tratamientos, muestran una considerable acidificación, disminución del valor de pH, cuando aumenta la temperatura (ver cuadro 3). Con una temperatura constante de 170 °C y un

aumento del tiempo de 0,5 a 2,0 horas no se observa un efecto sobre el valor de pH. Esto coincide con los resultados obtenidos por Noack (1969) y la razón podría deberse a la formación de ácido acético por degradación de los grupos acetilo de las hemicelulosas (Poblete, 1984).

Luego de climatizar la madera hasta un 75% de humedad relativa, se determinó que cuando se aumentó la temperatura y el tiempo de tratamiento se provoca una reducción de la humedad de equilibrio. Al climatizar con una humedad relativa más alta, (93%) no se registraron diferencias con el comportamiento de madera sin tratar. Se puede concluir que las diferencias se dan fundamentalmente en aspectos químicos y físicos y no en el campo de la condensación capilar (Cuadro 4a y 4b, Figura 1).

Tampoco hubo cambios importantes en la variación dimensional al someter las probetas a cambios de la humedad relativa en cámara de clima (cuadros 5a, 5b, 6a y 6b; figuras 2 – 3). La reducción de la humedad de equilibrio es más baja que la reportada con tratamientos en aire caliente (Niemz y Bekhta, 2002) o en vacío o aceite (Niemz, Bächle, Brox, 2003).

Los tratamientos hidrotérmicos producen un cambio importante del color de la madera, la madera se tornó más oscura.

4. Conclusiones

- Un aumento de la temperatura o del tiempo de tratamiento provocan aumentos en la pérdida de masa.
- Los aumentos de la temperatura o del tiempo de tratamiento también producen una reducción en la densidad de la madera y de las propiedades mecánicas (MOR y MOE en flexión).
- Con aumentos en la temperatura se incrementa el hinchamiento máximo (luego de acondicionado en baño de agua).
- El valor de pH de los extractos en agua disminuye considerablemente al aumentar la temperatura de tratamiento.
- También se pudo detectar un cambio importante de la coloración de la madera después de los tratamientos. La madera se torna más oscura.

5. Bibliografía

1. Autorenkollektiv. 2003. Holzlexikon. 4. Auflage, DRW Verlag, Stuttgart.

2. Autorenkollektiv. 2002. Modifiziertes Holz. Lignovisionen, Institut für Holzforschung, Wien.
3. Burmester, A. 1973. Einfluss der Wärme-Druck-Behandlung des halbtrockenen Holzes auf seine Formbeständigkeit. *Holz als Roh- und Werkstoff*, Berlin 31, pp. 237-243
4. Burmester, A. 1975. Zur Dimensionsstabilisierung von Holz. *Holz als Roh- und Werkstoff*, Berlin 33, pp. 333-335.
5. Fengel, D.; Wegener, G. 1989. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter. New York.
6. Kollmann, F. 1951. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Bd. 1. Springer-Verlag Berlin.
7. Niemz, P.; Bekhta, P. 2002. Untersuchungen zu Eigenschaften von thermisch vergütetem Fichtenholz. *Holz, Mering* 4. pp. 31-34
8. Niemz, P.; Bächle, F.; Brox, M. 2003. Vergleichende Untersuchungen zu verschiedenen Methoden der thermischen Vergütung von Fichtenholz. *Holz, Mering*, 6. pp. 33-37
9. Niemz, P.; Mariani, S. Torres, M. 2003. Einfluss der thermischen Vorbehandlung auf Holz. *Holz-Zentralblatt*, Stuttgart, 2003, pp. 42
10. Noack, D. 1969. Über die Heisswasserbehandlung von Rotbuchenholz im Temperaturbereich von 100 bis 180°C. *Holzforschung und Holzverwertung*, Wien 21. pp. 118-124
11. Poblete, H. 1984. Veränderungen in Holzspänen während der Trocknung und des Pressens zu Holzspanplatten. Dissertation. Universität Göttingen. pp. 157.
12. Schneider, A. 1971. Untersuchungen über den Einfluss von Wärmebehandlung im Temperaturbereich von 100 bis 200°C auf Elastizitätsmodul, Druckfestigkeit und Bruchschlagarbeit von Kiefern-Splint und Buchenholz. *Holz als Roh- und Werkstoff*, Berlin 29, pp. 431-440
13. Vorreiter, L. 1949. Holztechnologisches Handbuch. Bd. 1, Fromme, Wien.

Cuadro 1: Resumen de los tratamientos

Table 1: Summary of treatments

Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Presion (bar)
140	1	3,7
150	1	4,8
160	1	6,7
170	1	9,1
170	0,5	9,6
170	1	9,1
170	2	9,1

Cuadro 2: Propiedades de la madera antes y despues de los tratamientos

Table 2: Properties of wood before and after treatment

Temperatura	Sin tratar	140 °C	150 °C	160 °C	170 °C	170 °C	170 °C
Tiempo	Sin tratar	1h	1h	1h	0,5h	1h	2h
Flexion (MOR)	60,5 N/mm ²	55,15 N/mm ²	47,85 N/mm ²	45,45 N/mm ²	44,5 N/mm ²	38,95 N/mm ²	31,6 N/mm ²
Cambio (%)	0%	-8%	-15%	-22%	-30%	-37%	-45%
MOE	8585 N/mm ²	6740 N/mm ²	7460 N/mm ²	6900 N/mm ²	7360 N/mm ²	6740 N/mm ²	5775 N/mm ²
Cambio (%)	0%	-5%	-8%	-13%	-17%	-21%	-25%
Densidad (12%cont. Hum.)	0,45 g/cm ³	0,45 g/cm ³	0,443 g/cm ³	0,441 g/cm ³	0,438 g/cm ³	0,419 g/cm ³	0,417 g/cm ³
Cambio (%)	0%	0%	-1,52%	-2,11%	-2,74%	-6,95%	-7,38%
Perdida de masa	0%	-1,23%	-3,77%	-4,78%	-5,90%	-10,28%	-14,09%
Reducción del volumen	0%	-0,22%	-1,34%	-1,10%	-1,65%	-2,72%	-4,03%
Hinch. Radial máximo	2,60%	4,10%	3,20%	4%	4,70%	5,40%	5,80%
Cambio (%)	0,00%	57,69%	23,08%	53,85%	80,77%	107,69%	123,08%
Hinch. Tangencial máximo	6,8%	8,1%	6,7%	7,7%	8,0%	9,2%	10,8%
Cambio (%)	0,00%	19,12%	-1,47%	13,24%	17,65%	35,29%	58,82%
Cambio anisotrópico del Hinch.	2,62	1,98	2,09	1,93	1,7	1,7	1,86
Cambio (%)	0%	-24,43%	-20,23%	-26,34%	-35,11%	-35,11%	-29,01%

*: DIN 52184

Cuadro 3: Valor pH de los extractos obtenidos en el tratamiento en autoclave
Table 3: pH Value of water extracts after treatment in autoclave

Temperatura (°C)	Duración del tratamiento (horas)	Valor pH
140	1	4,05
150	1	3,56
160	1	3,58
170	1	3,34
170	0,5	3,22
170	1	3,30
170	2	3,41

Cuadro 4a: Humedad de equilibrio (%) como función de la humedad relativa (%) (Promedios)

Table 4a: Equilibrium moisture content (%) as a function of relative humidity (%) (average values)

Tratamiento	Humedad relativa (%)				
	35	50	65	75	93
Humedad de equilibrio (%)					
No tratada	6.3	8.3	12.4	14.0	22.1
140°C, 1h	5.7	7.6	11.3	13.0	22.0
150°C, 1h	5.2	6.9	10.6	12.3	21.6
160°C, 1h	4.6	6.2	9.6	11.3	20.7
170°C, 1h	4.4	5.8	9.1	11.1	21.6

Cuadro 4b: Humedad de equilibrio (%) como función de la humedad relativa (%) (Promedios)

Table 4b: Equilibrium moisture content (%) as a function of relative humidity (%) (average values)

Tratamiento	Humedad relativa (%)				
	35	50	65	75	93
Humedad de equilibrio (%)					
No tratada	6.3	8.3	12.4	14.0	22.1
170°C, 0,5h	4.2	5.5	8.8	10.6	21.6
170°C, 1h	4.4	5.8	9.1	11.1	21.6
170°C, 2h	4.6	6.1	9.4	11.3	21.0

Cuadro 5a: Hinchamiento tangencial (%) como función de la humedad relativa (%) (Promedios)

Table 5a: Tangential Swelling (%) as a function of relative humidity (%) (average values)

Tratamiento	Humedad relativa (%)				
	35	50	65	75	93
	Hinchamiento tangencial (%)				
No tratada	1.14	1.55	2.43	2.74	4.48
140°C, 1h	1.09	1.43	2.14	2.44	4.30
150°C, 1h	1.17	1.48	2.19	2.53	4.52
160°C, 1h	1.12	1.34	2.02	2.38	4.36
170°C, 1h	0.93	1.22	1.73	2.14	4.11

Cuadro 5b: Hinchamiento tangencial (%) como función de la humedad relativa (%) (Promedios)

Table 5b: Tangential Swelling (%) as a function of relative humidity (%) (average values)

Tratamiento	Humedad relativa (%)				
	35	50	65	75	93
	Hinchamiento tangencial (%)				
No tratada	1.14	1.55	2.43	2.74	4.48
0,5h, 170°C	1.03	1.39	2.04	2.39	4.57
1h, 170°C	0.93	1.22	1.73	2.14	4.11
2h, 170°C	0.98	1.28	1.80	2.15	4.05

Cuadro 6a: Hinchamiento radial (%) como función de la humedad relativa (%) (Promedios)

Table 6a: Radial Swelling (%) as a function of relative humidity (%) (average values)

Tratamiento	Humedad relativa (%)				
	35	50	65	75	93
	Hinchamiento radial (%)				
No tratada	0.53	0.75	1.14	1.34	2.07
140°C, 1h	0.61	0.70	1.00	1.19	1.97
150°C, 1h	0.69	0.83	1.16	1.33	2.18
160°C, 1h	0.57	0.69	1.06	1.17	2.05
170°C, 1h	0.58	0.65	0.96	1.10	2.01

Cuadro 6b: Hinchamiento radial (%) como función de la humedad relativa (%) (Promedios)

Table 6b: Radial Swelling (%) as a function of relative humidity (%) (average values)

Tratamiento	Humedad relativa (%)				
	35	50	65	75	93
	Hinchamiento radial (%)				
No tratada	0.53	0.75	1.14	1.34	2.07
0,5h, 170°C	0.52	0.69	0.91	1.09	2.12
1h, 170°C	0.58	0.65	0.96	1.10	2.01
2h, 170°C	0.54	0.63	0.86	1.06	1.82

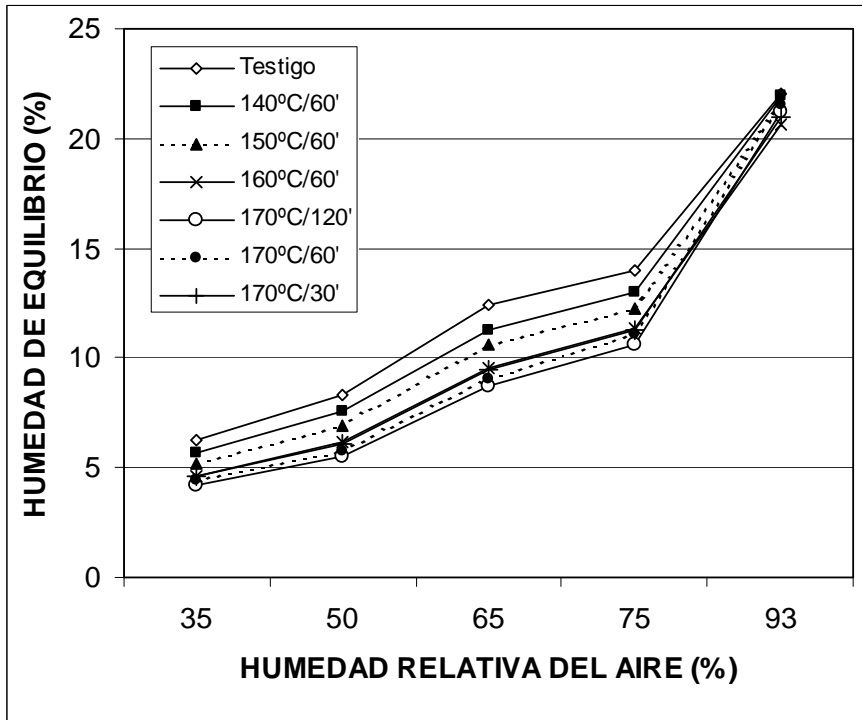


Figura 1: Relación entre la humedad de equilibrio, humedad del aire, temperatura y tiempo de tratamiento en el autoclave.
 Figure 1: Relationship between equilibrium moisture content, air humidity, temperature and treatment time in the autoclave.

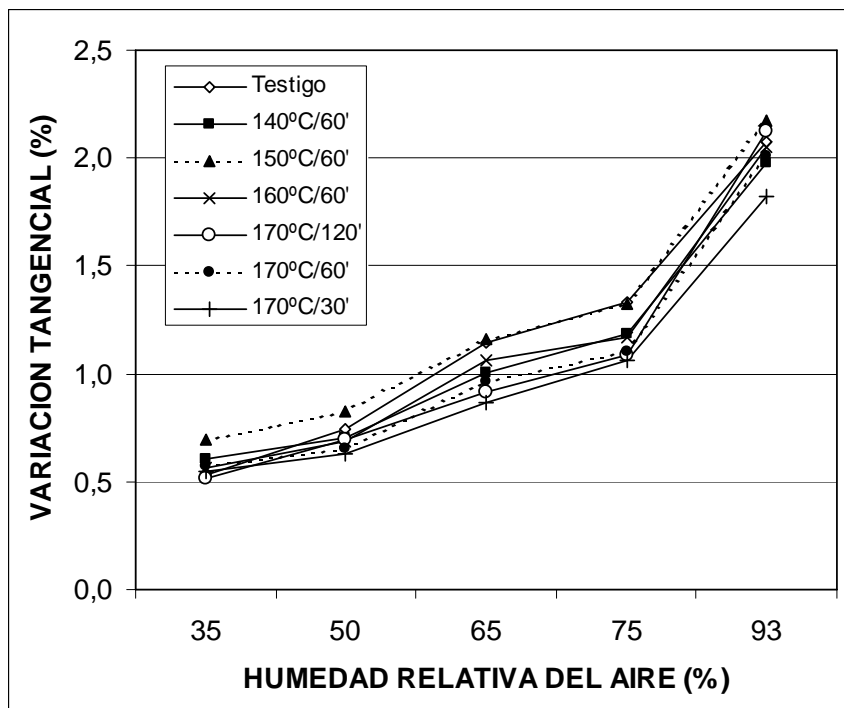


Figura 2: Efecto de la humedad del aire, temperatura y tiempo de tratamiento sobre la variación dimensional tangencial.

Figure 2: Effect of air humidity, temperature and treatment time on tangential swelling.

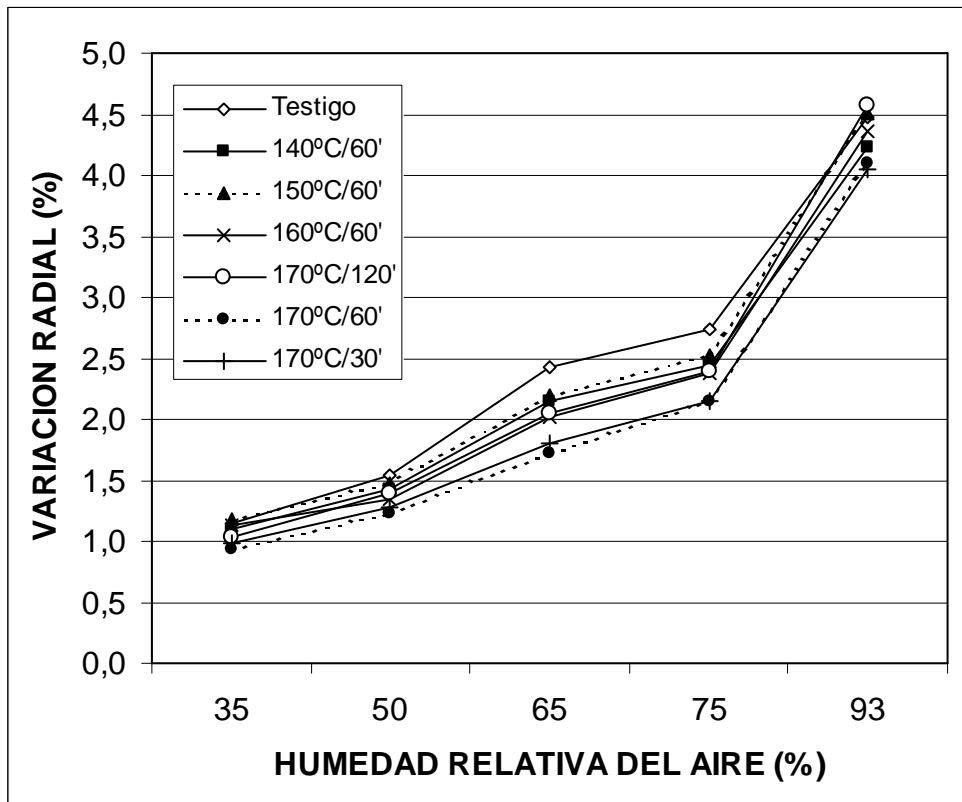


Figura 3: Efecto de la humedad del aire, temperatura y tiempo de tratamiento sobre la variación dimensional radial.

Figure 3: Effect of air humidity, temperature and treatment time on radial swelling.