

Evaluación resistográfica en elementos de maderas desfibradas de la torre de lixiviación de la oficina salitrera Santa Laura en Chile. Patrimonio de la Humanidad

Resistographic evaluation on defibred wood elements of the leaching tower at the Santa Laura saltpeter works in Chile. A world heritage site

R. Ortiz^(*), N. Fuentes^(*), A. Jamet^(*), A. Moya^(*), M. González^(*), M. Paz Varela^(*), A. Ramírez^(*), G. Adofacci^(*), P. Martínez^(*)

RESUMEN

La torre de lixiviación se encuentra ubicada en la oficina salitrera Santa Laura en Chile. En los últimos años se han realizado estudios, mediante Técnicas No Destructivas (TND), los que han determinado que la torre se encuentra en buen estado. No obstante, existen dudas respecto a las reales dimensiones de los elementos constructivos afectados por el desfibrado. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar elementos de madera desfibrada, de la torre de lixiviación de la oficina salitrera Santa Laura, mediante la técnica de resistografía. Estudios adicionales de ultrasonido y xilohigrometría también fueron desarrollados. Los resultados obtenidos establecen que la disminución de las dimensiones de los elementos evaluados no presenta diferencia significativa y que no existen daños profundos en las maderas. El estudio confirma que el edificio no se encuentra en riesgo.

Palabras clave: salitre; madera; desfibrado; resistografía; densidad.

ABSTRACT

The leaching tower is located in the Santa Laura saltpeter works office in Chile. In recent years studies have been carried out, using Non Destructive Techniques (TND), which have determined that the tower is in good condition. However, there are doubts regarding the actual dimensions of the construction elements affected by the defibration. The present study had the objective of evaluate defibred wood elements, from the leaching tower of the Santa Laura saltpeter works office, using the resistography technique. Additional studies of ultrasound and xylohygrometry were also developed. The obtained results establish that the reduction of the dimensions of the evaluated elements does not present significant difference and that there are no deep damages in the woods. The study confirms that the building is not at risk.

Keywords: saltpeter; wood; defibration; resistography; density.

(*) Escuela de Construcción Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Valparaíso, Valparaíso (Chile).

Persona de contacto/Corresponding author: rodrigo.ortiz@uv.cl (R. Ortiz).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8154-3741> (R. Ortiz); <http://orcid.org/0000-0002-9783-0224> (N. Fuentes);

<http://orcid.org/0000-0002-6482-7520> (A. Jamet); <http://orcid.org/0000-0001-8338-8802> (A. Moya);

<http://orcid.org/0000-0003-1301-9299> (M. González); <http://orcid.org/0000-0002-2062-035X> (M. Paz Varela);

<http://orcid.org/0000-0001-8782-3429> (A. Ramírez); <http://orcid.org/0000-0002-3481-6919> (G. Adofacci);

<http://orcid.org/0000-0002-1592-9790> (P. Martínez)

Cómo citar este artículo/Citation: Ortiz, R., Fuentes, N., Jamet, A., Moya, A., González, M., Varela, M. Paz, Ramírez, A., Adofacci, G., Martínez, P. (2017). Evaluación resistográfica en elementos de maderas desfibradas de la torre de lixiviación de la oficina salitrera Santa Laura en Chile. Patrimonio de la Humanidad. *Informes de la Construcción*, 69(547): e209, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/id54678>.

Copyright: © 2017 CSIC. **Licencia / License:** Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica de *Informes de la Construcción* se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons Attribution License (CC BY) Spain 3.0.

1. INTRODUCCIÓN

La era del salitre es el periodo más relevante en la historia de las exportaciones chilenas (1). Chile se constituyó como el principal productor y exportador en el mundo (2).

Las instalaciones presentes en las oficinas salitreras de Humberstone y Santa Laura, declaradas Patrimonio de la Humanidad en el año 2005, son las más importantes de lo que fuera esta actividad minera e industrial (3). En la oficina Santa Laura se encuentra la torre de lixiviación que es considerada un ícono de la industria salitrera (Figura 1). La estructura, construida mayoritariamente en madera de Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*), es única a nivel mundial.

El edificio da cuenta de una serie de daños que han sido estudiados y documentados siendo el deterioro por desfibrado, que produce una disminución del espesor de los elementos de madera, el más extenso (4) (5) (6). El desfibrado es un deterioro de carácter abiótico (7). La presencia de este fenómeno es el resultado de la acción de sales que al difundir y acumularse en el interior del material promovería la aparición de microgrietas en la pared celular y, posteriormente, la degradación de la lignina produciendo la separación de sus traqueidas (8). Para el caso de la torre de lixiviación de Santa Laura la ocurrencia de una niebla costera muy densa y un elevado ambiente salino promoverían las condiciones para su desarrollo (9) (10).

Un estudio reciente que involucró la aplicación de inspecciones instrumentales señaló que los elementos que conforman la estructura, con algunas excepciones, se encuentran en buen estado y sin alteración de sus propiedades mecánicas (11). Además, el estudio plantea que el proceso de desfibrado se encuentra inactivo debido a que la capa de material sólido semiporoso, que cubre la madera, se constituye como una barrera natural que adsorbe y libera la humedad ambiental evitando la difusión del agua y deteniendo el proceso. Aunque se planteó una disminución de espesor de los elementos producto del proceso de desfibrado, de hasta 1,4 centímetros, el valor entregado es sólo una estimación que requiere ser comprobada.

Los estudios realizados en la torre han permitido dilucidar las dudas existentes respecto al estado de conservación del edi-



Figura 1. Torre de lixiviación de la oficina salitrera Santa Laura.

ficio. Los resultados obtenidos, mediante el uso de TND, son satisfactorios y han dado precisión en el análisis (5) (6) (11) (12) (13) (14) (15). El Estado del arte da cuenta de la utilización del resistógrafo como una herramienta útil en la evaluación de maderas y edificios construidos en madera (16) (17). Mediante su principio de funcionamiento, que mide la resistencia a la penetración de una fina aguja, es posible verificar con precisión la calidad de la madera en la totalidad de la longitud evaluada. Es en este contexto que es posible determinar, en el elemento bajo evaluación, la sección útil resistente.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar elementos de maderas desfibradas, de la torre de lixiviación de la oficina salitrera Santa Laura, mediante la técnica de resistografía. De esta forma se complementa la información respecto al edificio que permita tener elementos de juicio para decidir respecto a eventuales acciones de intervención.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de estudio

El lugar de estudio corresponde a la torre de lixiviación de la oficina salitrera Santa Laura, ubicada en la región de Tarapacá, provincia de Iquique a 1.050 m.s.n.m. y a 47 kilómetros de la ciudad puerto de Iquique. Detalles del edificio son descritos por Ortiz *et al.* (11).

2.2. Dimensiones registradas de los elementos evaluados

Las dimensiones de los elementos, previamente registradas, fueron obtenidas de las planimetrías elaboradas en el año 2002 por el Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP) (18). Las planimetrías fueron desarrolladas con el objeto de desarrollar un proyecto de consolidación estructural del edificio.

Se consideraron los siguientes elementos: 10 pilares que forman parte del sistema de marcos transversales de 30,48 × 30,48 cm, 5 vigas que forman parte del sistema de marcos longitudinales de 30,48 × 30,48 cm, 1 diagonal del nivel +4.45 de 15,24 × 5,08 cm y 2 cerchas de 15,24 × 5,08 cm.

2.3. Medición resistográfica

Se utilizó un equipo Rinntech modelo 4453-S Scientific (Figura 2). Las mediciones fueron realizadas en forma perpendicular a la fibra. Los datos registrados y seleccionados fueron: porcentajes promedio de energía consumida del resistógrafo y la dimensión en centímetros del intervalo de energía constante.

2.4. Mediciones de velocidad de propagación de ondas de ultrasonido y contenido de humedad

En los mismos lugares en los que se desarrolló la medición resistográfica se realizaron, como complemento del estudio, mediciones de velocidad de propagación de ondas de ultrasonido y contenido de humedad. Las mediciones de ultrasonido fueron efectuadas en forma directa y en el plano perpendicular a las fibras y en forma indirecta y en el sentido longitudinal a las fibras. Las mediciones de velocidad de propagación de ondas de ultrasonido se determinaron mediante un equipo James Instruments Inc. modelo V-meter MKIV con



Figura 2. Medición resistográfica.

transductores de 54 Khz. Las mediciones de contenido de humedad se realizaron mediante un xilohigrómetro Minipa modelo MWD-14A.

2.5. Estudio de laboratorio: extracción de tornillo y medición resistográfica a 18 mm de profundidad

El estudio de extracción de tornillo se realizó utilizando un equipo Fakopp Enterprise de 5 kN de capacidad. Se utilizaron tornillos de 4 mm de diámetro, los que se introdujeron a una profundidad de 18 mm y en forma perpendicular a la fibra en madera de Pino Oregón. Se determinó la densidad de la madera de acuerdo a lo señalado por Basterra (12). Además, y para la misma profundidad se realizaron mediciones resistográficas de acuerdo a lo señalado en 2.3.

2.6. Análisis estadísticos

Se utilizó el método paramétrico para la comparación de dos medias t de student para dos muestras dependientes. Se con-

sideró como hipótesis nula que no existe diferencia entre la dimensión registrada y la dimensión resistográfica en el intervalo de energía constante.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluaron un total de 18 elementos de madera pertenecientes a la torre de lixiviación. Mediante el análisis de los diferentes perfiles resistográficos se observa que los porcentajes de energía consumida son constantes y no se observan importantes fluctuaciones de la señal en la mayor parte de las dimensiones evaluadas (Figura 3).

La Tabla 1 muestra las dimensiones registradas por el MOP (a) (18), las dimensiones obtenidas mediante resistógrafo (b), la diferencia entre ambas dimensiones ($a - b$) y los porcentajes promedio de energía consumida, en el intervalo de energía constante, de la evaluación resistográfica. La comparación de los valores de dimensiones determina que no hay, para cada uno de los elementos evaluados, diferencias estadísticas significativas. Los porcentajes promedio de consumo de energía y disminución de espesor para las 30 mediciones fue de 13,4 % y 0,982 cm, respectivamente.

Las mediciones complementarias, promedio, de velocidad de propagación de ondas de ultrasonido perpendicular y longitudinal a la fibra y contenido de humedad fueron de 1.800 (m/s) y 4.232 (m/s) y 13 %, respectivamente. Los estudios de laboratorio mediante extracción de tornillo y resistografía, a 18 mm de profundidad, determinó un promedio de densidad de 435 kg/m³ y un 13,1 % de energía consumida.

Los resultados del presente trabajo determinan que al no haber fluctuaciones importantes en la señal de las mediciones resistográficas no existe, al interior de la sección evaluada, presencia de zonas degradadas o deterioradas por acciones bióticas o abióticas. Respecto a la baja señal detectada al inicio y al final de cada uno de los resistogramas, éstas se relacionan con la capa semisólida formada por las traqueidas que

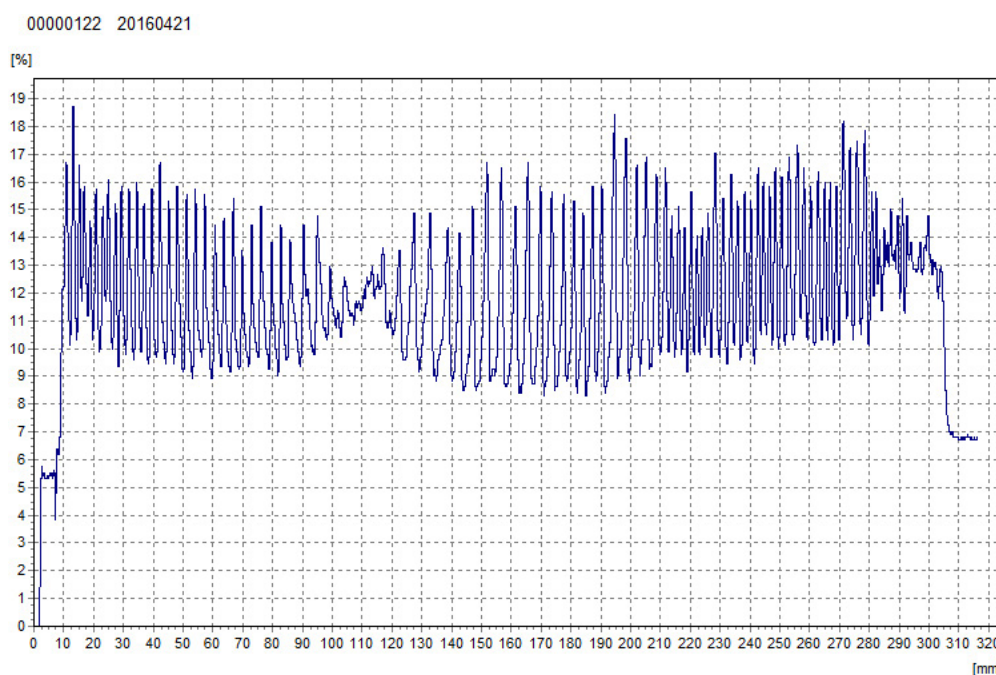


Figura 3. Perfil resistográfico del pilar 16F (P-O).

Tabla 1. Mediciones y porcentajes de energía consumida.

Elemento	Medición registrada MOP (cm) (a)	Medición resistógrafo (cm) (b)	Diferencia (cm) (a)-(b)	Promedio% energía consumida resistógrafo	Elemento	Medición registrada MOP (cm) (a)	Medición resistógrafo (cm) (b)	Diferencia (cm) (a)-(b)	Promedio % energía consumida resistógrafo
P7E(P-O)	30,48	29,377	1,103	14,3	P21E(N-S)	20,32	19,454	0,866	12,5
P7E(N-S)	30,48	28,646	1,834	16,0	P21G(P-O)	30,48	29,242	1,238	11,8
P7F(P-O)	30,48	28,912	1,568	12,6	P21G(N-S)	20,32	20,223	0,097	12,8
P7F(N-S)	30,48	29,514	0,966	12,4	P3F(P-O)	30,48	29,800	0,680	13,0
P7G(P-O)	30,48	29,947	0,533	13,6	P3F(N-S)	30,48	29,833	0,647	13,0
P7G(N-S)	30,48	30,190	0,290	13,6	VE/20-21 (P-O)	30,48	29,723	0,757	13,0
P14E(P-O)	30,48	29,290	1,190	12,5	VF/19-20 (P-O)	30,48	29,873	0,607	13,7
P14E(N-S)	30,48	29,384	1,096	12,8	VF/14-15 (P-O)	30,48	29,229	1,251	12,9
P14F(P-O)	30,48	29,698	0,782	13,6	VE/12-13 (P-O)	30,48	29,871	0,609	17,7
P14F(N-S)	30,48	29,696	0,784	13,5	VE/9-10 (P-O)	30,48	29,419	1,061	14,2
P14G(P-O)	30,48	29,461	1,019	13,8	DC/8"-9" (P-O)	15,24	14,164	1,076	14,9
P14G(N-S)	30,48	29,365	1,115	12,3	C8/F-G (N-S)	15,24	14,196	1,044	14,4
P16F(P-O)	30,48	29,467	1,013	12,5	C8/F-G (N-S)	5,08	4,419	0,661	14,0
P16F(N-S)	30,48	29,314	1,166	12,2	C8/F-G (N-S)	5,08	4,998	0,082	13,1
P21E(P-O)	30,48	29,285	1,195	12,1	C8/F-G (N-S)	12,07	11,567	0,503	13,5

P: Pilar; V: Viga; D: Diagonal; C: Costanera; (P-O): Medición realizada en dirección poniente-oriente; (N-S): Medición realizada en dirección norte-sur.

han sido afectadas por el desfibrado y cuyas dimensiones se encuentran registradas en las columnas «Diferencia» de la Tabla 1. La totalidad de los elementos evaluados presentan disminución de su sección transversal. Sin embargo, y aunque individualmente algunos elementos puedan tener un valor de disminución de espesor superior al promedio, el análisis estadístico aplicado determinó que la hipótesis nula es verdadera y, por lo tanto, las dimensiones registradas mediante resistografía no deben ser consideradas como una situación alarmante que ponga en riesgo la estabilidad estructural del edificio. Similares resultados son obtenidos en el análisis realizado por grupo de elementos (pilares, vigas y cerchas). Es evidente que el proceso de desfibrado ha afectado a todos los componentes del edificio. Aunque el promedio de disminución de espesor es menor al estimado por Ortiz *et al.* (11), no es posible señalar que el valor obtenido corresponda a la disminución real, producida a lo largo de su historia, debido a que el registro base de información utilizada en este trabajo es del año 2002 (19). La actual condición de servicio de la torre favorece su conservación. Aunque no existen antecedentes de monitoreo permanente y sistemático, hay evidencia publicada que señala que, al menos desde el año 2010, no se ha observado incremento del proceso de deterioro (5) (6) (11).

Los antecedentes bibliográficos señalan que los valores de medición de velocidad de propagación de ondas de ultrasonido, en las direcciones radial y tangencial para madera seca y sana de *Pseudotsuga menziesii*, son de 1.980 m/s y 1.770 m/s, respectivamente (19). Además, Niemz *et al.* (20) señalan que el valor de velocidad de propagación de ondas de

ultrasonido, en dirección longitudinal y a 13,6 % de contenido de humedad, para la misma especie corresponde a 4.706 m/s. El valor de velocidad de propagación en el sentido perpendicular obtenido en el presente estudio, en condición de madera seca, es un valor intermedio respecto a los valores radiales y tangenciales reportados en la literatura, lo que es explicado en función a que las mediciones fueron desarrolladas probablemente en un plano mixto. Al mismo tiempo el valor de velocidad de propagación en el sentido longitudinal a la fibra es un 10 % menor a lo reportado por Niemz *et al.* (20) y cuya variación medida podría ser explicada debido a que la evaluación aplicada a la torre consideró una medición de tipo longitudinal indirecta. No obstante lo anterior, los resultados obtenidos mediante esta técnica son categóricos y ratifican que la madera que forma parte de la torre no se encuentra degradada ni deteriorada. Los estudios realizados mediante la técnica no destructiva de extracción de tornillo determinaron que la densidad promedio, a 18 mm de profundidad, es cercana a la densidad normal de 446 kg/m³ según NCh 176/2 of. 1986 (20). Así mismo, el promedio de energía consumida en la medición resistográfica, para 18 mm de profundidad, de 13,1 % es similar al promedio de las 30 mediciones realizadas en la torre. Aunque en el presente trabajo no se estableció un estudio de correlación, entre densidad de la madera y los porcentajes de energía consumida, se considera que la densidad de 435 kg/m³ es una tendencia del valor de densidad de la totalidad de los elementos. La relación entre densidad y la resistencia a la penetración de la madera es un fundamento de la evaluación resistográfica (17). Los valores obtenidos en los estudios complementarios de velocidad de propagación

de ondas de ultrasonido, tanto perpendicular como longitudinal a la fibra, son categóricos al determinar que la madera cuenta con todas sus propiedades mecánicas inalteradas y su densidad no ha sido afectada en la zona que no ha quedado expuesta al proceso de deterioro.

Aunque en la totalidad de los cuatro niveles del edificio es observable el proceso de desfibrado, los resultados obtenidos en este estudio reflejan de manera general su estado de conservación. El deterioro presente en los 10 pilares analizados representa el daño observado en los 92 pilares que constituyen el sistema de marcos transversales por lo que no existen inconvenientes para que la totalidad del conjunto soporte la losa de hormigón que se encuentra en su parte superior. La continuidad de los pilares hacia el segundo nivel de la torre es una garantía de seguridad para ambos niveles. De igual manera el análisis realizado a las cinco vigas que conforman el sistema de marcos longitudinales representan el estado y calidad observada en cada uno de los cuatro ejes que conforman el sistema. La calidad y el bajo nivel de desfibrado son suficientes para que puedan soportar el sistema de vigas metálicas doble T sobre las que se encuentran ubicados los estanques metálicos, denominados cachuchos, donde se desarrollaba el proceso de lixiviación del salitre. Por su parte, el estado de conservación de la diagonal del nivel +4,45 no difiere de los elementos que cumplen similar función y que se encuentran ubicados muy cercanos a la pieza evaluada. Respecto al cuarto nivel los resultados reflejan el buen estado de conservación de las maderas que conforman las cerchas. Sin embargo, el estado general de la estructura de techumbre se encuentra en riesgo inminente debido a que la estructura carece de muchos elementos, incluso cerchas incompletas, que no permiten plantear una condición segura. El estudio realizado establece que no hay disminución importante de la sección resistente del edificio. La evaluación determina que los elementos de madera que conforman la torre se encuentran en buen estado independiente de la degradación superficial observada. La evaluación resistográfica del presente trabajo es un complemento de los estudios desarrollados con ante-

rioridad en orden a determinar el estado de conservación de la torre de lixiviación de la oficina salitrera Santa Laura (5) (6) (11). La suma de los resultados obtenidos son categóricos al señalar que el edificio no se encuentra en riesgo y que su estabilidad estructural no está afectada.

4. CONCLUSIONES

A partir del estudio realizado, que involucró la utilización de resistografía, se pudo evaluar elementos de maderas desfibradas de la torre de lixiviación de la oficina salitrera Santa Laura. Se establecieron promedios de energía consumida y disminución de espesor de los elementos de 13,4 % y 0,982 cm, respectivamente. A partir de estos resultados se considera que la madera se encuentra sana y que la disminución registrada en los elementos de madera no presenta diferencias estadísticas significativas. Los estudios complementarios de velocidad de propagación de ondas de ultrasonido y contenidos de humedad ratifican que la madera se encuentra sin daños. Considerando que el edificio está en similar condición es posible extender los resultados a la totalidad de los elementos que lo conforman. La información obtenida en este trabajo debe ser considerada como información base para el desarrollo de un programa de monitoreo del edificio.

El estudio realizado confirma que la torre no se encuentra en riesgo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la colaboración brindada por el Sr. Silvio Zerega Zegarra, Director Ejecutivo de la Corporación Museo del Salitre. De igual manera se agradece el financiamiento de los proyectos DIUV 52/2011 y FONDART 81403/2015.

Se agradece, especialmente, al Centro para el Desarrollo de Proyectos, Investigación y Transferencia (PRINTS) de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso.

REFERENCIAS

- (1) Valenzuela, R. (2013). Los niños obreros: la industria infantil durante el ciclo salitrero 1900-1925. Santiago, Chile: Universidad Academia de Humanismo Cristiano.
- (2) Vial, G. (1987). Panorama histórico del sector minero en Chile. *Ambiente y Desarrollo*: 21-27.
- (3) Corporación Museo del Salitre (2012). *Diagnóstico del patrimonio salitrero de la provincia del Tamarugal*, 191 pp. Iquique, Chile.
- (4) Bahamondez, M., Villagrán, A. (2009). Elaboración de expedientes y estudio, segunda etapa del plan de intervenciones prioritarias para las oficinas salitreras Humberstone y Santa Laura, <https://www.dropbox.com/s/58758vugpxu81qq/Informe%20Estudio%20de%20Materiales.pdf>.
- (5) Ortiz, R., Navarrete, H., Navarrete, J., Párraga, M., Carrasco, I., De la Vega, E., Ortiz, M., Blanchette, R. (2013). Deterioration, decay and identification of fungi isolated from wooden structures at the Humberstone and Santa Laura Saltpeter Works: A World Heritage Site in Chile. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 86C: 309-316, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.10.002>.
- (6) Ortiz, R., Blanchette, R. (2014). Desfibrado de maderas obtenidas desde las oficinas salitreras de Humberstone y Santa Laura en Chile. Un sitio del Patrimonio Mundial. *Madera y Bosque*, 20(3): 59-68.
- (7) Grant, K., Glaeser, J. (2011). Salt Damage to Wood--"Fuzzy Wood" Often Confused with Fungal Decay. *PileDriver*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.
- (8) Johnson, B., Ibach, R., Baker, A. (1992). Effect of salt water evaporation on tracheid separation from wood surfaces. *Forest Products Journal*, 42(7/8): 57-59.
- (9) Román, R. (1999). Obtención de agua potable por métodos no tradicionales. Tecnología y Ciencias de la Ingeniería. <http://www.ciencia.cl/CienciaALDia/volumen2/numero2/articulos/articulo2.html>.

- (10) Wisniak, J., Garces, I. (2001). The rise and fall of the salitre (sodium nitrate) industry. *Indian Journal of Chemical Technology*, 8: 427-438.
- (11) Ortiz, R., Jamet, A., Moya, A., González, A., Varela, M. P., Hernández, M., Fuentes, R., Díaz, P., Navarrete, J. (2015). Diagnóstico de la Planta de Lixiviación de la oficina Salitrera Santa Laura en Chile. Patrimonio de la Humanidad., *Informes de la Construcción*, 67(540): e115.
- (12) Basterra, A., Acuña, L., Casado, M., Ramón-Cueto, G., López, G. (2009). Diagnóstico y análisis de estructuras de madera mediante técnicas no destructivas: aplicación a la Plaza Mayor de Chichón (Madrid). *Informes de la Construcción*, 61(516): 21-36.
- (13) Guller, B., Guller, A., Kazas, G. (2012). Is a resistograph an appropriate tool for the annual ring measurement of pinus brutia? En *42 International Conference NDE Safety 2012, Czech Republic, Proceedings* (pp. 89-94). Czech Society for Nondestructive Testing. ISBN: 978-80-214-4609-0
- (14) Probett, P., Craig, C., Probett, B. (2013, septiembre). In Situ Structural Timber Strength Measurement Advances Using Qualitative Resistography and Quantitative Resisto-Fractometry. En *18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium*. Madison, WI.
- (15) İçel, B., Güler, G. (2016). Nondestructive determination of spruce lumber wood density using drilling resistance (Resistograph) method. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40: 900-907, doi: <http://dx.doi.org/10.3906/tar-1606-76>.
- (16) Acuña, L., Basterra, A., Casado, M., López, G., Ramón-Cueto, G., Relea, E., Martínez, C., González, A. (2011). Aplicación del resistógrafo a la obtención de la densidad y a la diferenciación de especies de madera. *Materiales de Construcción*, 61(303): 451-464.
- (17) Mantilla, E., Santos, N. (2013). Estimativa da densidade aparente, resistência à compressão e módulo de elasticidade da madeira por meio do resistógrafo. *Construindo*, 5(1): 45-51.
- (18) Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP) (2002). Proyecto consultoría Reparación planta lixiviación oficina salitrera Santa Laura.
- (19) MacDonald, KA. (1978). Lumber quality evaluation using ultrasonics. En *4th Nondestructive Testing of Wood Symp.* (pp. 5-13). Pullman, Wash.: Washington State University.
- (20) Instituto Nacional de Normalización (1986). *NCh 176/2 Of. Madera-Parte 2: Determinación de la densidad*.

* * *