



Diagnóstico de la Planta de Lixiviación de la oficina Salitrera Santa Laura en Chile. Patrimonio de la Humanidad

Diagnosis of the Leaching Tower at the Santa Laura Saltpeter works in Chile. A world Heritage

R. Ortiz (*), A. Jamet (*), A. Moya (*), M. González (*), M. Paz Varela (*), M. Hernández (**), R. Fuentes (***), P. Díaz (****), J. Navarrete (****)

RESUMEN

La oficina salitrera Santa Laura, que es actualmente el lugar donde se mantiene la infraestructura industrial más completa del periodo del procesamiento del salitre, posee una Torre de Lixiviación que es considerada, por su singularidad, el ícono de la otrora industria salitrera en Chile. Esta impresionante estructura, construida casi en su totalidad con madera de Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*) y elementos metálicos en sus uniones, sobrelleva desafortunadamente, después del cese del proceso de fabricación de salitre y yodo, el impacto de su pasado productivo y posteriores acciones antrópicas-ambientales producto de su abandono y falta de mantenimiento. El presente informe, que contempla inspección básica, instrumental y análisis estructural, es un diagnóstico del estado actual de conservación del edificio. Los resultados obtenidos indican que los elementos que conforman la estructura, con algunas excepciones, se encuentran en buen estado y sin alteración de sus propiedades mecánicas. El análisis estructural determinó que el comportamiento de la planta es favorable, siendo capaz de soportar un evento sísmico de importancia.

Palabras clave: Salitreras; madera; inspección; evento sísmico.

ABSTRACT

*The Santa Laura Saltpeter Work, which is nowadays the place where the most complete industrial infrastructure of the nitrate processing period is maintained, has a Leaching Tower that is considered by its uniqueness, the icon of the former nitrate industry in Chile. This impressive structure, built mostly in Oregon Pine wood (*Pseudotsuga menziesii*) with metal junctions, unfortunately bears, after the plant stopped producing nitrate and iodine, the impact of its productive past and subsequent human actions because of neglect and lack of maintenance. This report, based on a visual, instrumental and structural inspection, is a diagnosis of the current condition of the building. The results indicate that the elements of the structure, with some exceptions, are in good condition and without changes in their mechanical properties. Structural analysis determined that the plant behavior is favorable, being able to withstand a seismic event of importance.*

Keywords: Saltpeter; wood; inspection; seismic event.

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

(**) Centro de Estudios y Gestión del Patrimonio - Universidad de Valparaíso, (Chile).

(***) Corporación Museo del Salitre, Región de Tarapacá (Chile).

(****) Dpto. de Ingeniería en Maderas, Facultad de Ingeniería - Universidad del Bío Bío, (Chile).

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

Cómo citar este artículo/Citation: Ortiz, R., Jamet, A., Moya, A., González, M., Paz Varela, M., 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, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.101>.

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 Reconocimiento no Comercial 3.0. España (cc-by-nc).

Recibido/Received: 11/08/2014
Aceptado/Accepted: 24/03/2015
Publicado on-line/Published on-line: 13/10/2015

1. INTRODUCCIÓN

La era del salitre es considerada, hasta el día de hoy, como el período más relevante en la historia de las exportaciones chilenas (1). Este importante mineral convirtió a Chile, una vez concluida la Guerra del Pacífico, en su principal productor y exportador del mundo (2). El salitre fue, hasta la gran depresión de 1930, el principal producto de exportación de la minería chilena (3).

Las oficinas salitreras se emplazaron en lugares cercanos a la Pampa del Tamarugal donde el caliche, materia prima en la producción de salitre y yodo, contenía las mayores concentraciones de nitrato (4). En la actualidad, las oficinas de Humberstone y Santa Laura, declaradas Patrimonio de la Humanidad en el año 2005, son entre las más de 130 oficinas relacionadas con la producción de salitre y yodo, las instalaciones más importantes de lo que fuera esta importante actividad minera e industrial (4).

La oficina salitrera Santa Laura, que mantiene en la actualidad la infraestructura industrial más completa del período del procesamiento del salitre, posee una Torre de Lixiviación que es considerada, por su singularidad y representatividad, el ícono de la otrora industria salitrera (Figura 1). Esta impresionante estructura, construida mayoritariamente en madera de Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*) con elementos metálicos en sus uniones, albergó en su interior las maquinarias para el procesamiento del caliche. La emblemática infraestructura, postal histórica de la pampa salitrera nacional, es a nivel mundial única en su tipo. Desafortunadamente el edificio sobrelleva el impacto de su pasado productivo y posteriores acciones antrópicas - ambientales producto de su abandono y falta de mantenimiento.

Futuras acciones de intervención, para su mantenimiento y preservación del carácter histórico y patrimonial de esta oficina salitrera, requerirán entre otras, la evaluación exhaustiva de la integridad física de los elementos constructivos y del estado estructural de los edificios.

El presente estudio, alineado con este propósito, tuvo en primer lugar como objetivo el diagnóstico del estado de conservación de la Torre de Lixiviación de la oficina salitrera Santa Laura, y en segundo lugar, proporcionar elementos de juicio para apoyar al proceso de conservación del patrimonio cultural del pasado salitrero en Chile en beneficio de las presentes y futuras generaciones.



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

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de estudio y descripción del edificio

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 con coordenadas 20°12'42,52" S y 69°48'48,20" O. El edificio, de cuatro niveles con altura total de 17,11 metros y de planta rectangular de 16 × 47,3 metros, construido en madera de Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*) consta de 23 ejes transversales cada 2,15 metros y 4 ejes longitudinales cada 2,80 metros (Figura 2). En el segundo nivel (+4,45) se encuentra una losa de hormigón soportada por un tablero de madera de 3" × 8" sobre pilares de 12" × 12". El tercer nivel (+6,95) se encuentra estructurado en base a vigas transversales doble T que sostienen 18 estanques metálicos denominados «cachuchos». El cuarto nivel (+9,35) corresponde a la ubicación de la correa transportadora. La estructura de techumbre está construida en base a cerchas curvas y costaneras. (Figura 3A, 3B, 3C, 3D).

2.2. Metodología de evaluación

La metodología utilizada consideró lo propuesto por Basterra *et al.* (5). Esta metodología establece, previo al proyecto, un estudio cuyos resultados se derivan de una inspección básica, una inspección instrumental y un análisis estructural.

2.2.1. Inspección básica

La inspección básica se orientó al tipo visual superficial para la obtención de información inicial respecto al estado general y los tipos de daños presentes en el edificio. La información obtenida se documentó a partir de fichas de evaluación, dibujos a escala y fotografías.

2.2.2. Inspección instrumental

La inspección instrumental consideró la utilización de las siguientes técnicas: microscopía electrónica de Barrido (SEM), xilohigrometría, velocidad de propagación de ondas de ultrasonido y extracción de tornillos. Se consideró, además, trabajos a nivel de planimetría y altimetría.

Se realizaron evaluaciones microscópicas para la identificación de especies y la determinación de los daños presentes en el material. Para los análisis mediante SEM se extrajeron muestras de madera desde la Torre de Lixiviación. Las muestras obtenidas se colocaron en bolsas plásticas estériles y se llevaron al Laboratorio de Biodeterioro y Biodegradación de Materiales de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso donde fueron almacenadas a 4 °C para posteriormente ser analizadas. Las muestras para SEM se prepararon utilizando las técnicas previamente descritas por Blanchette y Simpson (6). La observación microscópica y captura fotográfica se realizó mediante la utilización de un microscopio electrónico de barrido Carl Zeiss, modelo EVO - MA 10. La identificación microscópica se llevó a cabo, mediante el uso de claves, según lo informado por Díaz Vaz (7).

Los estudios de humedad de la madera se realizaron mediante la utilización de un xilohigrómetro Minipa modelo MWD-14A. La medición del contenido de humedad, con una resolución de un 1 %, se determinó insertando las puntas del equipo a una profundidad aproximada de 5 mm.

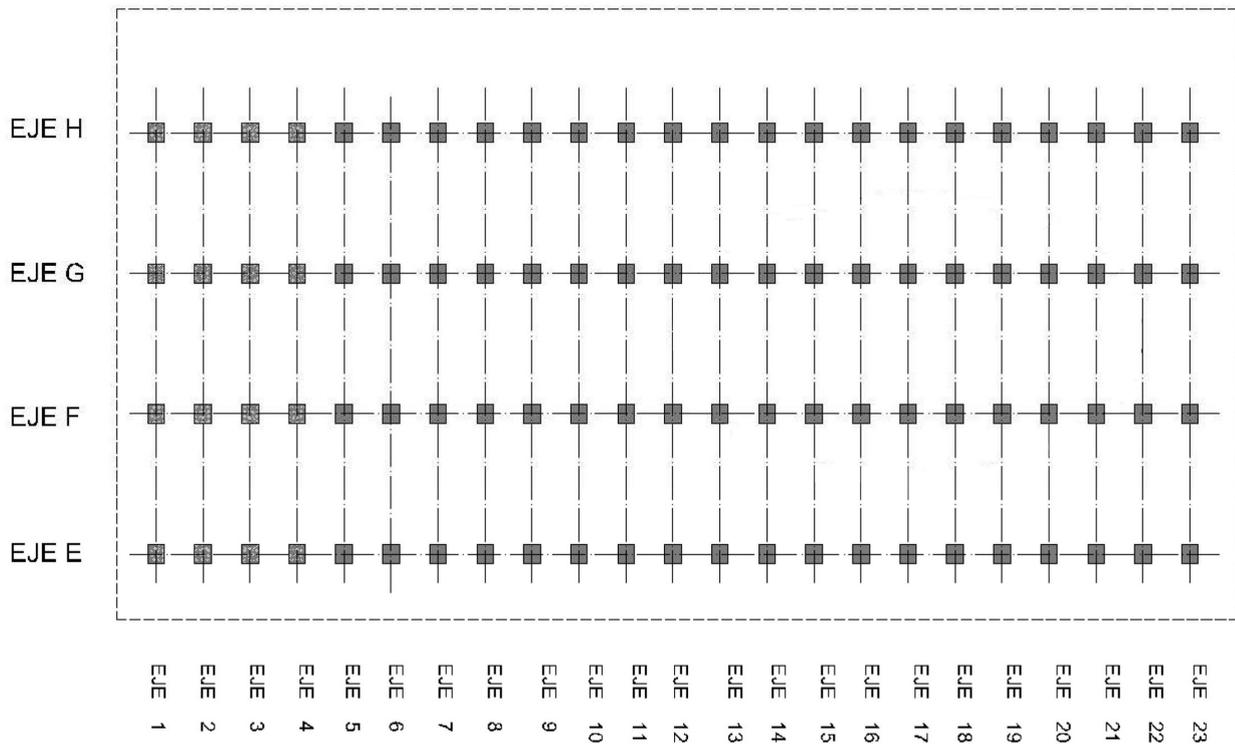


Figura 2. Planta rectangular de la Torre de Lixiviación. 23 ejes transversales y 4 ejes longitudinales.



Figura 3. Torre de Lixiviación: A Primer nivel. Pilares Pino Oregón 12" x 12". B Segundo nivel +4.45. Losa de Hormigón, pilares 8" x 8" y 12" x 12". Vigas metálicas doble T del siguiente nivel. C Nivel + 6,95. Estancos metálicos (cachuchos). D Nivel +9,35. Correa transportadora y estructura de techumbre.

Para la evaluación mediante ultrasonido se utilizó un equipo, de baja frecuencia con transductores de polaridad longitudinal de 54 KHz, James Instruments Inc. modelo V-meter MKIV. Considerando la ubicación de las piezas de madera en el edificio, las mediciones se efectuaron en forma directa y en el plano perpendicular a la fibra.

La evaluación mediante 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 en su parte inferior y media con la finalidad de producir una fuerza de arranque en las fibras situadas a una profundidad de entre 20 y 38 mm. Los tornillos se introdujeron en forma perpendicular a la fibra. Se determinó la densidad de la madera de acuerdo a lo señalado por Basterra (5).

Los trabajos de planimetría y altimetría se realizaron mediante la utilización de un taquímetro digital CST/Berger modelo DGT-10.

2.2.3. Modelación y análisis estructural

La modelación y el análisis estructural se desarrollaron considerando los antecedentes obtenidos en las inspecciones básicas e instrumental. La modelación estructural del edificio consideró que el nivel +6,95, nivel de cachuchos, no presenta cargas de trabajo y que el nivel +9,35, nivel de correa transportadora, no realiza aporte a la estructura debido a la falta de arriostramientos (Figura 4).

La modelación consideró, además, el uso de la NCh 3171 Of 2010: Diseño estructural-Disposiciones generales y combinaciones de carga (8) y la NCh 433 Of 1996: Diseño sísmico de edificios (9). Para la modelación y obtención de tensiones de trabajo se utilizó el software SAP 2000 nonlinear incorporando el espectro de aceleración del terremoto registrado en la ciudad de Kobe en Japón el año 1995. En el análisis estructural se consideró lo establecido por la NCh 1198 Of 2006: Madera - Construcciones en madera - Cálculo (10) y la NCh 427 cR 1977: Especificaciones para el cálculo de estructuras de acero para edificios (11).

3. RESULTADOS

Los resultados del estudio de identificación de la madera utilizada en la construcción de la Torre de Lixiviación, obtenidos mediante la técnica SEM, mostraron que la totalidad de las muestras de madera recolectada correspondían a la especie *Pseudotsuga menziesii* (Pino Oregón).

Los estudios de inspección básica de la Torre de Lixiviación y de sus instalaciones aledañas, construidas mayoritariamente en madera, mostraron que sus elementos constructivos tienen un alto nivel de desfibrado superficial (Figura 5A). Todos los elementos estructurales muestran, producto de este inusual deterioro abiótico, una disminución en el espesor por cara de hasta 7 mm. En este nivel de análisis también se observó que estos elementos, con excepción de uno solo que presenta un ataque de pudrición menor (Figura 6A), no tienen señales de ataque de insectos ni de hongos de pudrición. El levantamiento de detalles constructivos permitió establecer las condiciones y dimensiones de determinados elementos. La inspección de estos detalles y sus respectivas uniones ha mostrado la inexistencia, en su mayor parte, de acciones exteriores que hayan provocado deformaciones en la estructura y sus conexiones.

Estudios adicionales mediante SEM relacionados con el daño por pudrición parda descrita en el párrafo anterior, determinaron una deformación de las células de primavera y verano debido a la disminución de la rigidez de la estructura de la pared celular provocada por la pérdida de cristalinidad de la celulosa la que ha sido depolimerizada. Sin embargo, el microorganismo causante del daño no pudo ser aislado por lo que se determinó que el frente de ataque se encuentra inactivo (Figura 6A, 6B). Por su parte, las observaciones microscópicas relacionadas con el deterioro por desfibrado determinaron, solo en la zona afectada, la remoción de la lignina de la lámina media produciendo la separación de sus traqueidas longitudinales. El deterioro evidenciado es de carácter superficial (Figura 5B).

Respecto a la medición de los contenidos de humedad de los elementos de madera que conforman la estructura, los valo-



Figura 4. Nivel +9,35 de correa transportadora sin aporte estructural por falta de arriostramiento.

res fluctúan entre 12 % y 15 % lo que determina que la madera se encuentra en estado seco (Tabla 1). La evaluación de los tiempos de transmisión mediante ultrasonido, determinados en forma directa y en el plano perpendicular a la fibra, estableció una velocidad promedio de 1852 m/s (Tabla 1) (Figura 7A). Por su parte, con las evaluaciones realizadas a partir de la técnica de extracción de tornillo se obtuvo valores de densidad promedio de 446 kg/m³ (Tabla 1) (Figura 7B). Finalmente, los estudios de verticalidad del edificio determinaron la existencia de pequeñas desviaciones de las

columnas hasta el nivel +6,95, en ambos sentidos de los ejes, lo que se encuentra en el rango de tolerancias de construcción admitidas en este tipo de estructuras. Respecto a la horizontalidad del edificio se comprueba una diferencia máxima de 22,3 centímetros para el primer nivel y de 9 centímetros para el segundo nivel. De acuerdo a los análisis realizados, se determina que las diferencias de niveles son atribuibles al proceso constructivo. No obstante, se verifica la corrección de la horizontalidad a nivel de base de soporte de los cachuchos (+6,95).

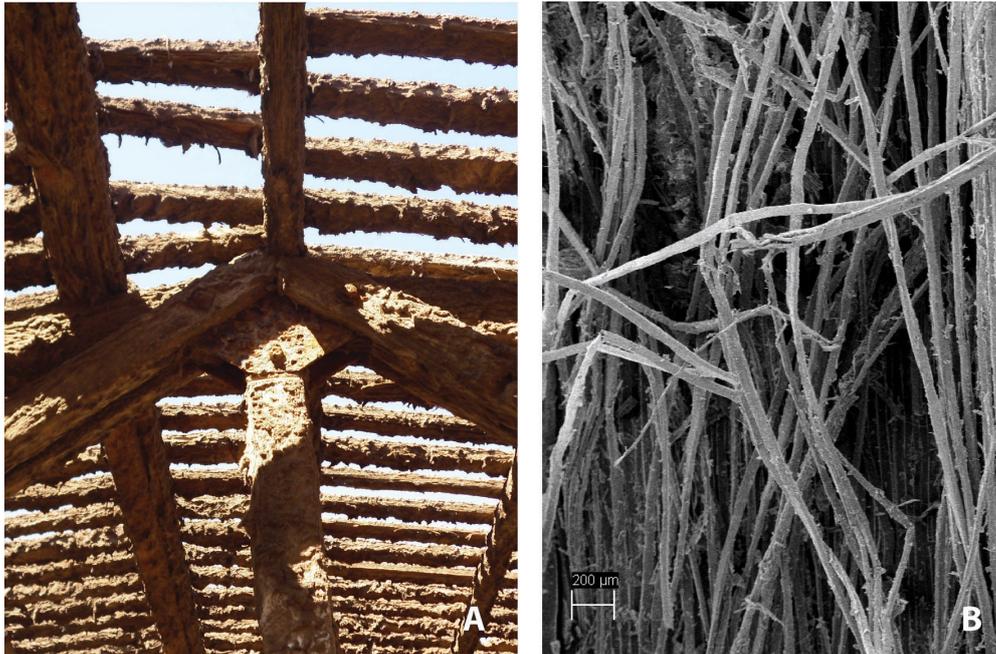


Figura 5. Estructura de techumbre. A Deterioro por desfibrado. B Microscopía electrónica de barrido (SEM). Fibras celulósicas libres sin presencia de lignina en la lámina media.

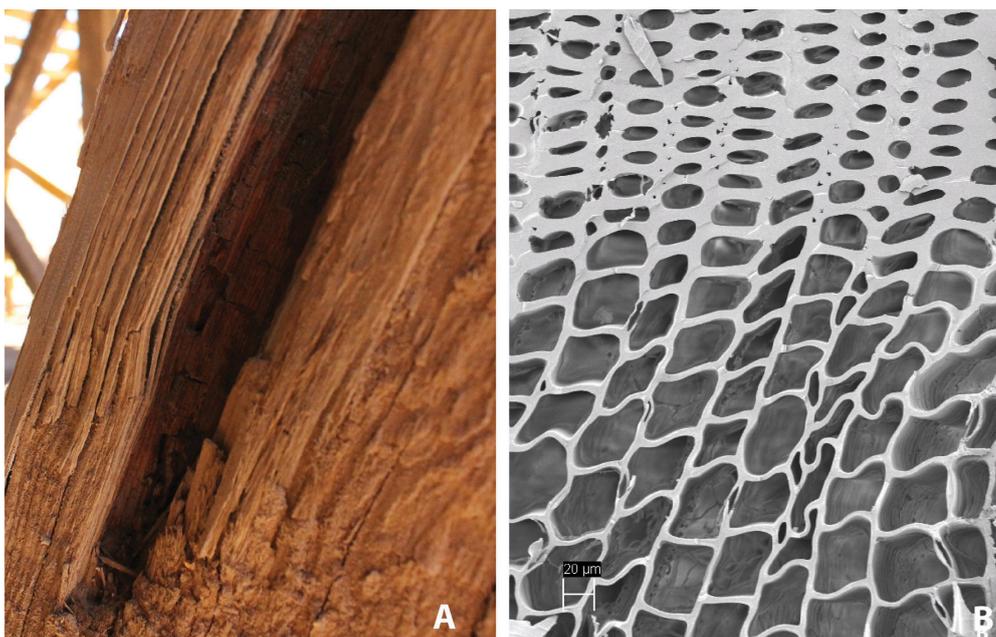


Figura 6. Estructura de techumbre. A Pudrición parda en madera de *Pseudotsuga menziesii*. B Microscopía electrónica de barrido (SEM). Deformación en madera de primavera y verano por pérdida de cristalinidad de la celulosa.

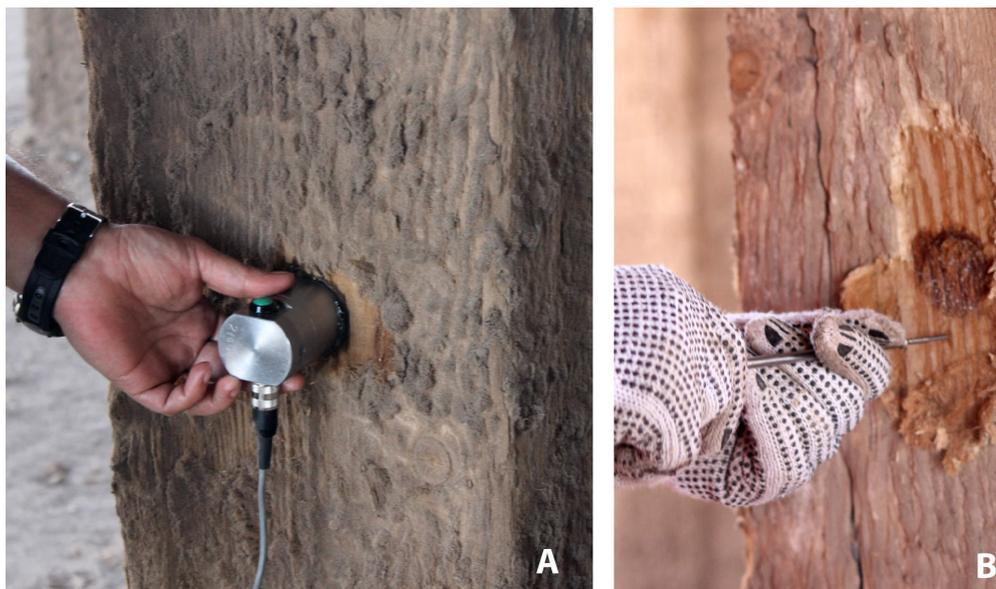


Figura 7. Inspección instrumental. A Evaluación mediante velocidad de propagación de ondas de ultrasonido. B Colocación de tornillo para determinación de densidad mediante la extracción de tornillo.

El análisis estructural realizado consideró los casos más desfavorables. En este sentido, para el análisis dinámico desarrollado se ha considerado que las columnas principales se encuentran sometidas a esfuerzos de flexo-compresión. Además, las vigas de madera, de los ejes E, F, G y H (Figura 2) correspondientes al segundo nivel, han estado sometidas a esfuerzos de flexión y corte por la aplicación de cargas provenientes de las vigas metálicas que soportan los cachuchos y las descargas de pesos propios y cargas de operación provenientes de los niveles superiores. Antecedentes adicionales permiten señalar que los cachuchos presentan deformaciones mínimas que confirma su condición de estabilidad y que las vigas metálicas no presentan deformaciones producto de esfuerzos mecánicos por carga o impacto. Con todo lo anterior se determinó, para los ejes F y G (Figura 2), que la actual tensión de trabajo en flexotracción es de 853 N/mm², mientras que la tensión de trabajo actual en corte es de 82 N/mm².

4. DISCUSIÓN

El desfibrado superficial, observado en los elementos estructurales de madera de la Torre de Lixiviación y en las instalaciones aledañas, es un deterioro de carácter abiótico que en ocasiones es confundido con algún tipo de pudrición (12). Las condiciones medioambientales, resultado de la presencia de una niebla costera muy densa (13) y del ambiente salino de las salitreras (14), promoverían las condiciones para el desarrollo de este proceso. Johnson *et al.* (15) señala que este fenómeno es el resultado de la acción del cloruro de sodio presente en la madera que al difundir y acumularse en su interior, como resultado de los ciclos diarios de humedecimiento y secado, promovería la aparición de microgrietas en la pared celular, y posteriormente, la degradación de la lignina en la lámina media lo que produciría la separación de sus traqueidas longitudinales. Aunque el estado del arte proporciona información limitada para este fenómeno (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24), un informe reciente (25) corrobora los resultados presentados por Johnson y sus colaboradores (15). Por otra parte, los resultados obtenidos en el presente trabajo, al contrario de aquellos informados por Blanchette *et al.* (19),

Tabla 1. Valores de contenidos de humedad, velocidad de ultrasonido y densidad.

Elemento	Humedad %	Velocidad de ultrasonido m/s	Densidad kg/m ³
P101	12,5	1540	440
P103	13,6	2100	435
P108	15	2250	440
P110	12,4	1640	475
P115	12	1850	475
P201	14,6	2015	435
P208	15	1850	430
P212	12,8	1750	455
P 301	13,9	1850	465
P305	14,5	1730	430
P310	13,3	1720	435
V101	12	1950	425
V103	15	1730	415
V108	14,6	1935	475
V110	13,5	2130	455
V115	12,6	1650	465
V201	13,6	1630	440
V208	15	1710	454
V212	12,7	1820	450
V301	13,3	1550	448
V305	12,8	2200	435
V310	12,6	2135	435
PROMEDIO	13,5	1852	446

permiten pensar que el proceso de desfibrado se encuentra inactivo, hecho plausible, visto que en la realidad estas traqueidas conforman una capa de material sólido semiporoso que se constituye como una barrera natural, que adsorbe y libera la humedad ambiental cuando la temperatura desciende y aumenta respectivamente. De esta manera se evita la penetración de agua líquida en el interior de la madera, y por ende, se detiene la ocurrencia del proceso de difusión al interior del material. No obstante lo anterior, otros estudios se deben realizar para corroborar esta hipótesis.

La presencia de sal, en otro sentido, también ejerce sobre la madera un efecto positivo inhibiendo el desarrollo de los microorganismos que promueven el biodeterioro (26). Estos antecedentes permiten descartar efectivamente la presencia de microorganismos en la torre de lixiviación (25) (27).

De acuerdo a lo señalado por McDonald (28), los valores de velocidad de ultrasonido en las direcciones radial y tangencial en madera seca de *Pseudotsuga menziesii* corresponden a 1980 m/s y 1770 m/s respectivamente. Los resultados obtenidos en la evaluación realizada al edificio determinaron que el valor promedio de velocidad de ultrasonido en el plano perpendicular a la fibra representa un valor de velocidad intermedio respecto a lo reportado en la literatura. Por su parte, a partir de las evaluaciones realizadas mediante la técnica de extracción de tornillo se obtuvo un valor de densidad promedio de 3,6 % menor que la densidad normal de 446 kg/m³, según NCh 176/2 of. 1986 (29), establecida para madera sana. En resumen, la evaluación realizada mediante ultrasonido y extracción de tornillos determina que los elementos de madera que conforman la Torre de Lixiviación se encuentran en buen estado, independiente de la degradación superficial observada y documentada.

Las inspecciones básicas e instrumental han aportado información para el desarrollo de la modelación y el análisis estructural del edificio y cuyos resultados finales determinan que, en su conjunto, el comportamiento estructural de la To-

rre es estable y no presenta inconvenientes para responder adecuadamente ante un sismo que se manifieste dentro del espectro de aceleración utilizado. Lo anterior debido fundamentalmente al efecto de la disminución de las solicitaciones del edificio al no estar en operación. Sin embargo, el estado de la estructura de techumbre y los elementos sobre el nivel de cachuchos se encuentran en riesgo inminente, a pesar del buen estado de conservación de la madera, debido a que la estructura carece de muchos elementos, incluso cerchas incompletas, que no permiten plantear una condición de seguridad estable sin considerar la reposición de dichos elementos.

5. CONCLUSIONES

A partir del estudio realizado, que involucra la aplicación de inspección básica e instrumental, se pudo desarrollar la evaluación del estado de conservación de la Torre de Lixiviación de la oficina salitrera Santa Laura y cuyos resultados indican que los elementos que conforman la estructura, con algunas excepciones, se encuentran en buen estado y sin alteración de sus propiedades. La modelación y análisis estructural del edificio determinó que, ante un evento sísmico dentro del espectro de aceleración considerado, la Torre de Lixiviación responderá satisfactoriamente.

No obstante lo anterior, es necesario tomar medidas orientadas a consolidar el nivel superior del edificio aportando a la seguridad del conjunto.

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 la colaboración brindada por la Dirección de Investigación de la Universidad de Valparaíso DIUV en el financiamiento del proyecto 52/2011. Finalmente se agradece el financiamiento del Fondo Nacional de las Artes FONDART en la convocatoria año 2012.

REFERENCIAS

- (1) Valenzuela, R. (2013). *Los niños obreros: La industria infantil durante el ciclo salitrero 1900-1925* (Tesis). Chile: Universidad Academia de Humanismo Cristiano.
- (2) Vial, G. (1987). Panorama histórico del sector minero en Chile. *Ambiente y Desarrollo*, (nº especial): 21-27.
- (3) Culverwell, M. (2000). *The mining cluster in Antofagasta. Integrating small and medium supplier into the productive chain*. <http://www.aia.cl/ingles/archivos/cluster/MalaikaCulverwell.pdf>.
- (4) Corporación Museo del Salitre. (2012). *Diagnóstico del patrimonio salitrero de la provincia del Tamarugal*. Iquique, Chile: Corporación Museo del Salitre.
- (5) 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, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.09.016>.
- (6) Blanchette, R.A., Simpson, E. (1992). Soft rot decay and wood pseudomorphs in an ancient coffin (700 BC) from tumulus MM at Gordion, Turkey. *International Association of Wood Anatomists Bulletin*, 13: 201-213.
- (7) Díaz-Vaz, J. (1979). Claves para la identificación de maderas de árboles nativos y cultivados en Chile. *Bosque*, 3(1):15-25.
- (8) INN. (2010). *NCh 3171 Of 2010 - Diseño estructural-Disposiciones generales y combinaciones de carga*. Chile: Instituto Nacional de Normalización.
- (9) INN. (1996). *NCh 433 Of 1996 - Diseño sísmico de edificios*. Chile: Instituto Nacional de Normalización.
- (10) INN. (2006). *NCh 1198 Of. 2006 - Madera-Construcciones en madera-Cálculo*. Chile: Instituto Nacional de Normalización.
- (11) INN. (1977). *NCh 427 cR. 1977. Especificaciones para el cálculo de estructuras de acero para edificios*. Chile: Instituto Nacional de Normalización.
- (12) Grant, K., Glaeser, J. (2011). *Salt Damage to Wood - "Fuzzy Wood" Often Confused with Fungal Decay*. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.

- (13) 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>.
- (14) Wisniak, J. Garces, I. (2001). The rise and fall of the salitre (sodium nitrate) industry. *Indian journal of chemical technology*, 8(9): 427-438.
- (15) 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.
- (16) Parameswaran, N. (1981). Micromorphology of spruce timber after long-term service in a potash store house. *Holz and Roh und Werkstoff*, 39(4): 149-156, doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02607514>.
- (17) Wilcox, W., Botsau, E., Kubler, H. (1991). *Wood as a building material: a guide for designers and builders*. New York: John Wiley & Sons.
- (18) Wilkins, A., Simpson, A. (1988). Defibring of roof timbers. *Journal of the Institute of Wood Science*, 11(3): 121-125.
- (19) Blanchette, R., Held, B., Farrell, R. (2002). Defibration of wood in the expedition huts of Antarctica: an unusual deterioration process occurring in the polar environment. *Polar Record*, 38(207): 313-322, doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S0032247400018003>.
- (20) Bootle, K. (2005). *Wood in Australia: types, properties, and uses*. Australia: McGraw Hill.
- (21) Farrell, R. (2007). Scientific evaluation of deterioration of historic huts of Ross Island, Antarctica. *New Zealand Science Teacher*, 114:12-14.
- (22) Kučerová, I., Ohlidalová, M., Frankl J., Kloiber, M., Michalcova, A. (2008, 5-7 de noviembre). Defibring of historical roof beam caused by ammonium sulphate and ammonium phosphates based fire retardants. En *International Conference on Wood Science for Preservation of Cultural Heritage: Mechanical and biological factors*. Braga, Portugal.
- (23) Bahamóndez, 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](https://www.dropbox.com/s/58758vugpxu81qq/Informe%20Estudio%20de%20Materiales.pdf).
- (24) 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*, 86(part C): 309-316, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.10.002>.
- (25) Kirker, G., Glaeser, J., Lebow, S., Green III, F., Clausen, C. (2011). *Physical Deterioration of Preservative Treated Poles and Pilings Exposed to Salt Water*. General Technical Report, FPL-GTR-203. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.
- (26) Meseguer, I. (2004). Los microorganismos halófilos y su potencial aplicado en biotecnología. *Ciencia e Investigación*, 7(2): 13-17.
- (27) Maurice, S., Coroller, L., Debaets, S., Vasseur, V., Le Floch G. and G. Barbier, G. (2011). Modelling the effect of temperature, water activity and pH on the growth of *Serpula lacrymans*. *Journal of Applied Microbiology*, 111(6): 1436-1446, doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05161.x>.
- (28) MacDonald, KA. (1978). Lumber quality evaluation using ultrasonics. En *4th Nondestructive Testing of Wood Symp*, (pp. 5-13). Pullman, Wash: Washington State University.
- (29) INN. (1986). *NCh 176/2 Of. 1986 - Madera-Parte 2: Determinación de la densidad*. Chile: Instituto Nacional de Normalización.

* * *