

2.4 Presente y futuro de la construcción con tierra en Chile: oportunidades y desafíos. Hugo Pereira Gigogne

Instituto del Medio Ambiente, Chile
pgigogne@gmail.com

Palabras claves: sustentabilidad, energía, térmico, acústico, fuego, sismo

Resumen

La construcción con tierra en Chile es consustancial a su historia, sin embargo, diversos factores han contribuido a la mutación de ésta. Entre ellos, el más importante es el maestro sismo. Durante décadas se construyó preferentemente utilizando adobe y técnicas mixtas de tierra madera en espacios habitados y tapial en cercos rurales.

A raíz del sismo de 1939, se comenzó a normar el uso del adobe. Durante la década del 50 el Ing. Raúl Ramírez inventó en un programa exterior la bloquera manual CINVA-RAM. Si bien este invento ha tenido una sostenida presencia a nivel mundial, su uso en Chile ha sido escaso. Desde la década del 70 se realizaron importantes investigaciones en relación al uso de la tierra especialmente relativa a análisis de suelo y otras líneas investigativas. Lo anterior probablemente motivado indirectamente por la crisis petrolera de entonces. Desarrolló un sistema constructivo de adobe pos-tensado con alambres de púas que ha tenido un excelente comportamiento durante los recientes sismos que han azotado Chile.

Desde fines del siglo pasado a la fecha, se ha generado una corriente de profesionales que han creado un nicho de trabajo en este tipo de construcción. La motivación de esta es la búsqueda de una arquitectura medioambiental y económicamente aceptable. La transferencia de conocimientos y experiencias de otras latitudes, sumado al saber hacer ancestral, han logrado una cierta transformación de los procedimientos tradicionales de la construcción en tierra.

Sin embargo, el impacto que estas arquitecturas han tenido es más bien puntual y en sectores socioeconómicos medios y medios altos, sin alcance efectivo en los sectores mayoritarios de la población. Se ha logrado normar la restauración patrimonial, sin embargo la gestión de homologar sistemas constructivos de vivienda económica en tierra es prácticamente inexistente. Faltan normas de cálculo estructural, entre otras, que avalen la construcción en tierra y les permita insertarse en el sistema económico. Con lo anterior, se lograría diseminar y potenciar la construcción con tierra en forma generalizada.

1. BREVE RESEÑA HISTORICA

La moderna construcción en tierra en Chile es un tanto reciente, en contraste con el inmenso acervo del uso del material tierra en la historia, especialmente durante el período colonial. Las señales de modernidad, vienen aparejadas por un lado con programas de cooperación internacional, como el programa CINVA¹ desarrollado en Colombia y por otro con la investigación científica asociada al material y su aplicación en proyectos puntuales.

En primer ámbito, destaca el invento de la mundialmente reconocida, reinventada y potenciada bloquera CINVA-RAM² (el acrónimo RAM son las tres primeras letras del apellido del inventor) en el marco del programa CINVA. Esta prensa se dedicó a la producción de bloques de tierra sin requerir alimentación de energía eléctrica alguna, siendo accionada por un operador humano (Figura 1).

Existe escasa bibliografía investigativa acerca de las condiciones en que se originó éste invento. Solo se reconoce la genialidad de inventar un artefacto, en el que aplicando el simple principio de palanca de Arquímedes, se logra otorgar una mayor tasa de compresión al bloque de tierra, en comparación con la lograda manualmente. Lo anterior produce tremendas ventajas desde el punto de vista de su resistencia mecánica y durabilidad.

En el segundo ámbito destaca la actividad de investigación desarrollada en la escuela de construcción civil

de la P. Universidad Católica de Chile a mediados de los años ochenta. Se realizaron varios ensayos de resistencia mecánica de módulos de construcciones de tierra a escala natural con mesa inclinable.

Este grupo de investigación ideó un sistema de alambre de refuerzos internos de alambre de púas post-tensado aplicado en construcciones de un piso de albañilería de adobe de soga de muros de 30 cm de espesor. La aplicación de este sistema tuvo un excelente comportamiento sismo-resistente durante el último gran sismo del 27 de Febrero de 2010, el cual afectó gran parte de la zona central de Chile³. Durante esos años se presentó un proyecto de norma de construcción en adobe al Ministerio de Vivienda y Urbanismo. La iniciativa no tuvo mayor acogida y se ignora su destino.

Foto 1 –
Bloquera
CINVA-
RAM.
Fuente:
Archivo
Red
Habiter-
CYTED



2. ACTUALIDAD DE LA CONSTRUCCION EN TIERRA Y LOS SISMOS

Paradójicamente, la investigación aplicada de construcciones sismo-resistentes descrita en el punto anterior no tuvo la suficiente difusión e impacto. Sin embargo, se han

desarrollado otras búsquedas de reforzamiento estructural de las edificaciones monolíticas en tierra. En la década del 90, en el marco de la red temática HABITERRA del

subprograma XIV del CYTED, se transfirió desde la Universidad de Mérida en Venezuela a Chile, el sistema de tapial reforzado. Esta transferencia la realizó la consultora Tierra Nueva. Las construcciones que han aplicado estos refuerzos, han tenido un buen comportamiento frente a los sismos posteriores, siendo el más grande el señalado en el punto anterior.

La Universidad Técnica Federico Santa María ha generado un sistema constructivo tierra con refuerzos internos de un material suficientemente resistente al esfuerzo cortante. Sería útil la publicación de los resultados de los ensayos realizados en laboratorios de esa casa de estudios superiores.

En todo caso, en las tipologías constructivas de técnicas mixtas, han existido notables ejemplos de aplicación. Se

reconocen básicamente dos tipos de materiales que acompañan la tierra. Estos son la madera y el acero. En el caso de la madera destaca el sistema del 'palillaje', consistente en un entramado de madera rústica afianzada a una estructura. Esta recibe el barro proyectado conformando la envolvente.

En el caso del acero, se ha desarrollado un ingenioso sistema que utiliza una estructura interna de malla metálica plegada, debidamente afianzada, la cuál recibe el barro en estado plástico mediante proyección mecanizada. Este sistema se identifica como 'tecnobarro'. Una precaución necesaria a considerar en éste caso, es la protección de ésta estructura de acero, producto del normal proceso de oxidación, el cuál se verifica por la transferencia de humedad interior-exterior del muro.

3. NORMATIVIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES EN TIERRA

3.1. Aspectos relativos a la estructura portante

El estado actual del adobe en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC)⁴, cuerpo legal que regula la edificación en Chile es el siguiente:

Artículo 5.3.1. Clase F: Construcciones de adobe, tierra cemento u otros materiales livianos aglomerados con cemento. Entrepisos de madera. Artículo 5.3.2. Las clases de construcción señaladas en el artículo anterior, salvo que el proyecto de estructuras señale otra cosa, tendrán las siguientes restricciones: Las construcciones Clase F no podrán tener más de un piso y su altura libre máxima será de 3,5 m. En casos en que se justifique debidamente que no existen normas técnicas aplicables a la materia, los proyectos de cálculo estructural deberán ser realizados sobre la base de normas técnicas extranjeras, cuya aplicación se adecue más al proyecto, a criterio del

Revisor del Proyecto de Cálculo Estructural. A pesar de varios intentos de eliminar la categoría F otorgado al adobe, éste no ha sido eliminado de la clasificación oficial. Lo anterior no se debe tanto a la necesidad de contar con éste antecedente para efectos de proyectos nuevos; más bien está relacionado con la necesidad regulatoria en cuanto a tasaciones fiscales. El artículo 5.3.2. entrega la opción de aplicar normativa internacional ante la ausencia de normativa local. Si bien existe esta opción, no se ha recurrido a ésta vía de aprobación de proyectos estructurales en tierra. Lo anterior debido a que no existe la confianza profesional de normas generadas en otros países y habida consideración el alto nivel sísmico a nivel nacional.

3.2. Aspectos térmicos

A nivel nacional, el comportamiento térmico está regulado por el Art.4.1.10 de la OGUC a partir del año 2007. Para el cumplimiento de ésta exigencia legal, la ley entrega dos caminos. El primero es el acoger la solución de la envolvente de una edificación a una serie de sistemas constructivos aprobados previamente por la División Técnica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. El segundo camino es calcular el comportamiento térmico de acuerdo a la metodología expresada en la norma chilena N°853 del año 2007. El adobe (no la tierra) con una

densidad aparente entre 1100 kg/m³ y 1800 kg/m³ presenta una conductividad térmica (λ - Lambda) equivalente a 0,90 W×m/K. Este antecedente permite desarrollar un cálculo específico para algún muro de adobe en determinadas condiciones de espesor y zona climática de Chile, según anexo A de la citada norma. Es necesario consignar, de que éste antecedente, se refiere tan solo a la tipología de construcción en adobe, excluyendo la enorme gama de tipologías de construcción con tierra existentes.

3.3. Aspectos relativos al comportamiento al fuego

Existen pocos antecedentes técnicos de medición de la resistencia al fuego de la tierra. Sin embargo, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en Chile entrega alguna información detallada en la tabla 1. La nomenclatura detallada indica luego de la letra F, los minutos en que la cara de un muro combustiona aplicando fuego en la cara opuesta. Según las exigencias del Ministerio citado, se requiere como muro medianero entre dos propiedades un mínimo de F-60, vale decir una hora. Cualquier guarismo de la tabla 1 cumple ese mínimo exigido.

| Nuevo listado oficial consolidado de comportamiento al fuego de elementos y componentes de la construcción 2010. Ministerio de vivienda y Urbanismo, Chile. | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|
| División técnica y de fomento habitacional (DITEC) | | | | |
| Título : Elementos estructurales verticales en la construcción | | | | |
| Capítulo I Productos tradicionales | | | | |
| Muro de albañilería de Adobe | | | | |
| Espesor total del elemento básico, en mm. | 200 | 250 | 300 | 350 |
| Sin revestimiento | F-90 | F-120 | F-150 | F-180 |
| Con estuco o enlucido por ambas caras | F-120 | F-150 | F-180 | F-210 |

Tabla 1 – Resistencia al fuego de componentes de la construcción División Técnica, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile, 2010.

3.4. Aspectos relativos al comportamiento acústico

Antecedentes técnicos relativos al comportamiento del material tierra como aislante acústico son escasos. Sin embargo el centro CRATERRE de Francia, entrega un coeficiente que indica objetivamente cuál es su desem-

peño. Lo entrega, "un muro de tierra de 40 cm de espesor posee un nivel de absorción del sonido con frecuencia de 500 Hz equivalente a 56 Db (Decibelios)" (Doat et al, 1979, tomo II, p. 48).

4. SUSTENTABILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES EN TIERRA

El bajo consumo energético abre las puertas a la construcción en tierra, considerando su bajo nivel de energía contenida. En la figura 3 es posible conocer el consumo de energía medido en BTU de tres tipos característicos de bloque para confeccionar albañilerías: *bloque concreto* (21x21x41,5) cm, 29.018 BTU; *ladrillo común* (6,5x8x18,5) cm, 13.750 BTU; *adobe* (26x10,5x35,5) cm, 2.500 BTU.

Salas (1987b, p. 12) afirma que "La tierra tiene futuro si contamos con los consumos energéticos: una tonelada de tierra estabilizada con un 4 % de cemento supone un consumo de 55 termias⁵, frente a las 170 del hormigón, las 700 de la cerámica o las 7.800 de la lana mineral". Los ahorros de energía que se obtienen en la fabricación con tierra, forma parte de las medidas necesarias para disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, factor determinante en el negativo proceso de calentamiento global del planeta. Actualmente, las políticas de eficiencia energética en Chile, están orientadas a la calificación y certificación energética de viviendas como una primera etapa. Se estima que el año 2016 la calificación energética de viviendas será obligatoria.

Actualmente éste proceso se encuentra en marcha blanca.

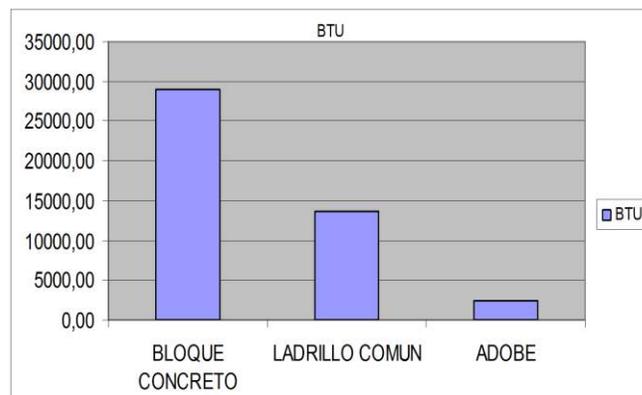


Figura 2 – Energía utilizada en construcción de edificios (Energy, 1976)

5. ACTUALIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES EN TIERRA

Actualmente en Chile, existe marginalidad de la construcción en tierra, produciéndose su uso masivo en algunos casos de emergencia tales como terremotos. Se estima que a raíz del terremoto del 1 de Marzo de 1985, el cuarenta por ciento de la reconstrucción habitacional se produjo en sistemas de técnica mixta tierra-madera. Lo anterior debido a dos factores fundamentales. Por una parte la economía de recursos materiales. Buena parte de ésta reconstrucción se produjo en áreas rurales o periurbanas donde existía disponibilidad del recurso tierra. Por otra parte. Debido a la fecha en que se produjo el sismo era conveniente construir con sistemas prefabricados de rápida ejecución por autoconstrucción asistida. Esto permitió que los moradores utilizaran las viviendas durante la estación invernal.

Algunos casos relevantes fueron la reconstrucción en las Comunas de Alhue, Melipilla y San Felipe con la ayuda de la cooperación de organizaciones no gubernamentales (ONG) preferentemente extranjeras. El gran terremoto Mm 8.8. del 27 de Febrero del año 2010, afectó importante patrimonio de tierra de la zona central. Con el propósito de generar subsidios estatales especiales de reconstrucción de mayor monto que los habituales, la autoridad generó Planes de Regeneración Urbana (PRU) definiendo áreas poligonales de intervención en los cascos históricos de varios pueblos, pequeñas ciudades y villorios.

Si bien la acción del Estado tuvo una buena focalización de su acción en estas áreas, esta se cruzó con los graves daños que produjo el tsunami en el borde costero. Se crearon lineamientos de reconstrucción para las zonas típicas y pintorescas declaradas como tales por el Consejo

de Monumentos nacionales del Ministerio de Educación. Para que la ayuda del Estado llegara a lugares apartados, en que las constructoras no tenían interés económico en intervenir, se creó un subsidio especial de autoconstrucción asistida. Este consistía en entregar recursos económicos a los propietarios para que estos adquirieran herramientas y materiales necesarios para la reconstrucción vía autoconstrucción asistida por parte del propietario. Esta es una modalidad que no se realizaba por parte del Estado desde hace unos veinticinco años.

La gestión de recuperación patrimonial de las edificaciones de tierra, generó instancias de capacitación técnico profesional con la concurrencia del sector público y privado. Lo anterior se origina debido a la prácticamente inexistente formación técnico, académica y profesional en centros de formación técnica y Universidades. En este sentido es destacable la iniciativa del apoyo de la cátedra UNESCO de tierra a escala universitaria. Aunque esta se encuentra en etapa inicial, se han suscrito protocolos de acuerdo de cooperación con varias Universidades chilenas.

Paralelamente, la construcción en tierra mantiene una presencia marginal en sectores medios. Lo anterior ligado a un nivel socio cultural que valoriza este tipo de técnicas desde un punto de vista ambiental. La 'comunidad ecológica' de la década de los ochenta, en la comuna de Peñalolén, en la región metropolitana es un ejemplo de ello. En ésta, se han construido una considerable cantidad de viviendas con sistemas de técnicas mixtas, adobe y tapial. También existe un jardín infantil construido en tierra. Esta experiencia ha sido posible debido a que no se aplica

en ésta área instrumento de planificación territorial. Por lo anterior se podría decir que estas construcciones son 'irregulares' ya que no pasan por los procesos regulares de aprobación en las Direcciones de Obras Municipales.

Lo anterior demuestra la urgente necesidad de contar con las normas necesarias para construir en tierra. En 2013 se generó una norma de cálculo estructural para edificaciones patrimoniales en tierra (INN, 2013). Esta apunta expresamente a resolver el problema de la estabilidad en proyectos de conservación y restauración arquitectónica. A su vez, el MINVU evaluó recientemente una norma similar dirigida a la reconstrucción patrimonial en tierra (MINVU, 2013). Si bien estas normas no abren la puerta a la construcción masiva en tierra, constituyen un primer paso muy valioso en el reconocimiento del material.

También se constata la presencia de bloqueras de bloques de tierra comprimida. Estas son de origen Norteamericano y Colombiano. Actualmente sus gestores están en proceso de certificación y validación del comportamiento sísmico entre otros en el marco de las onerosas y engorrosas exigencias estatales. La generación de normas técnicas del ámbito constructivo implican un gran esfuerzo de trabajo y de inversión de recursos. Esto es abordado sin mayores inconvenientes por empresas instaladas en el mercado, en varias ocasiones integrantes de transnacionales. Vale decir, las condiciones de competitividad de las empresas que pudieran producir componentes de sistemas constructivos de tierra es baja.

Esta situación podría cambiar, en la medida en que el estado pudiera otorgar líneas de financiamiento para generar normas. Actualmente existe una línea de financiamiento de generación de normas del Banco Interamericano de Desarrollo. Sin embargo estas no son suficientemente beneficiosas y tienen poca difusión.

Algunas oficinas profesionales han desarrollado en modalidad particular proyectos arquitectónicos en dos plantas utilizando técnicas mixtas de acero-tierra. En este caso la estructura portante consiste en mallas metálicas plegadas, electro soldadas. Una mezcla de barro y paja es lanzada en estado plástico sobre la estructura de acero. Un molde provisorio evita que la mezcla traspase la pared. Este sistema ha demostrado excelente comportamiento sismo-resistente (Figura 3).



Figura 3 – Casa Munita González, Comuna de Colina, SUR TIERRA

También se han desarrollado sistemas constructivos alternativos, como la construcción con fardos de paja. Estos sistemas utilizan barro en su revoque, aprovechando la permeabilidad del mismo, evitando la pudrición de los fardos.

Desde un punto de vista sustentable, este sistema tiene el mérito de aprovechar la paja de trigo, desecho agrícola que se pierde en grandes volúmenes luego de las faenas de trilla debido al innecesario bodegaje. En la actividad agrícola, se guarda en bodegas durante el invierno la cantidad suficiente para alimentar el ganado y el resto se incinera.

En forma experimental se han desarrollado también en el ámbito de encargos privados de vivienda, sistemas como el tapial reforzado. Este ha logrado un muy buen desempeño luego del gran sismo del 27 de Febrero de 2010 (Figura 4).



Figura 4 – Casa Victoria Wiedmaier, Comuna de Talagante,

El futuro 'formal' de la construcción en tierra podría estar ligado en el futuro inmediato a consideraciones de tipo económico y ambiental. Como causa basal del primer factor de tipo económico está el encarecimiento de la construcción, especialmente por los costos de mano de obra. La construcción industrializada en tierra, podría derivar en importantes economías del costo directo de construcción en relación a los sistemas tradicionales (Salas, 1987a).

Es necesario tener presente, que en el costo directo no están considerados los costos de mantención de la vivienda, especialmente el de calefacción, los cuáles son absorbidos en su totalidad por el usuario. En este sentido el uso de la tierra y su comportamiento puede llevar a economizar importantes recursos económicos durante el tiempo de uso de la vivienda.

6. CONCLUSION Y PROYECCIONES

Las ventajas que ofrecen los sistemas constructivos que utilizan tierra, ofrecen indudables ventajas desde un punto de vista de desarrollo sustentable. Lo anterior tanto en la economía de recursos en la fase de producción de materiales como en la de uso y mantenimiento de la edificación. Actualmente se han desarrollado sistemas de este tipo que son marginales en su alcance de aplicación y con vacíos normativos significativos. Para lograr un real impacto a escala del sector construcción, es fundamental la formalización en este aspecto y contar con varias normas del material. Entre estas, la de sismo-resistencia es básica en un país tan sísmico.

La crisis energética por la que atraviesa el país, genera condiciones objetivas las que deberían conducir al desarrollo de estas tecnologías. La suscripción de tratados internacionales como el de la OCDE por parte de Chile, obliga al país a cumplir ciertas metas en cuanto a eficiencia energética. En este contexto, se debería

valorizar el excelente comportamiento del material en este sentido.

El año pasado se creó al alero del comité de tecnología del Colegio de Arquitectos de Chile, la Red ProTierra-Chile, organización a escala nacional de la red PROTERRA internacional. Uno de sus objetivos esenciales es conseguir generar las normas técnicas necesarias para actuar en el mercado formal de las edificaciones, especialmente en el de la vivienda. Por el momento, el grupo trabaja en el catastro de obras contemporáneas en tierra, en la organización de un primer encuentro nacional de arquitectura y construcción con tierra y en el diseño de un prototipo de vivienda de emergencia para áreas sísmicas concebido en estas técnicas.

Esta iniciativa generada a partir de la sociedad civil, abre las puertas al reconocimiento de estas tecnologías constructivas, aprovechando sus bondades y recogiendo sus grandes desafíos tecnológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Doat, P.; Hays, A.; Houben, H.; Matuk, S.; Vitoux, F. (1990). Construire en terre. Bogotá, Colombia: Fondo rotatorio editorial.
- Energy use for building construction, Energy Research Groups, University of Illinois, Urbana, Illinois, and Richard G. Stein y Asociates., Architects, New York, December, 1976
- Instituto de Ciencia de la Construcción Eduardo Torroja (1987). La tierra, material de construcción. Monografía nº 385/386. Madrid: IETcc.
- Instituto Nacional de Normalización (2007). NCh 853. Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Chile: INN
- Instituto Nacional de Normalización (2013). NCh3332. Estructuras – Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda. Requisitos del proyecto estructural. Chile: INN
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2013). NTM 002 Proyecto de intervención estructural de construcciones de tierra. Establecida mediante Res. Ex. Nº 8955 de fecha 5/12/2013. Santiago: MINVU
- Salas, J. (1987a). Aspectos económicos de las construcciones con tierra. En: La tierra, material de construcción. Monografía nº 385/386. Madrid: Instituto de Ciencia de la Construcción Eduardo Torroja, p. 77-82.
- Salas, J. (1987b). Presentación. En: La tierra, material de construcción. Monografía Nº 385/386. Madrid: Instituto de Ciencia de la Construcción Eduardo Torroja.

NOTAS

- (1) Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento Urbano 1952-74, Colombia, Organización de los Estados Americanos (OEA)
- (2) Esta sencilla prensa tenía dimensiones de 45 cm X 45 cm x 51 cm de caja, pesaba 67 kg, producía bloques de 29 cm x 14 cm x 9 cm. En la fabricación de bloques, se ejercía una presión manual equivalente a 38 kg, se lograba una $R_c = 21 \text{ kgf/cm}^2$ y participaban dos operarios produciendo diariamente entre 300 y 500 unidades. El inventor de la bloquera CINVA-RAM fue el Ing. Raúl Ramírez.
- (3) Este grupo fue liderado por el destacado profesor de esa casa de estudios, Constructor civil Sr. Gastón Barrios Lamarque. Editó un manual de adobe, el cual ha sido de gran utilidad en la aplicación de esta tecnología. En este presenta el sistema de refuerzos internos con alambres de púas postensados de albañilería de adobe de sogá, citado en este artículo, el cual ha sido muy exitoso en el último gran sismo del 27.02.10 de 8,8 Mm. También el profesor Barrios junto al Arquitecto Sergio Rojo Anabalón, prepararon un anteproyecto de norma de construcción en adobe presentado al MINVU. El Arquitecto Rojo durante muchos años se especializó en cálculo estructural en tierra con destacada labor en el ámbito de la restauración arquitectónica.
- (4) La OGUC es el reglamento de la Ley General de Urbanismo y Construcciones y regula el procedimiento administrativo, los procesos de planificación urbana, de urbanización, de construcción y los estándares técnicos de diseño e de construcción exigibles en los dos últimos. Este documento es de responsabilidad de Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), organismo que le compete estudiar sus modificaciones.
- (5) Una termia equivale a la energía necesaria para elevar en 1°C una tonelada de agua.

AUTOR

Hugo Enrique Pereira Gigogne, Arquitecto, docente del Instituto del Medio Ambiente y la UTEM, Universidad Tecnológica Metropolitana, analista de SERVIU-MINVU. Integrante de la Red PROTERRA, ICOMOS-CHILE, Comité de tecnología del Colegio de Arquitectos de Chile. Reconocimiento "Fermín Vivaceta" 2000, Colegio de Arquitectos de Chile. Coordinador general 13° SIACOT, Valparaíso, Chile, 2013, Coordinador Red PROTIERRA-Chile.