



TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE TAPIAL REFORZADO A CHILE

Hugo Pereira Gigogne

Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, Chile
Serrano 45, Santiago de Chile
Tel. (562) 27820749
pgigogne@gmail.com

Palabras claves: Transferencia tecnológica, tapial reforzado, refuerzos constructivo, sismo.

Resúmen

A partir del año 1992, en el contexto del Sub programa XIV, Tecnologías para la vivienda de interés social, red HABITERRA: Sistematización del uso de la tierra en viviendas de interés social se produjo un interesante caso de transferencia tecnológica constructiva desde Venezuela a Chile. Este sistema constructivo, generado en la Universidad de Mérida en investigaciones ligadas al ámbito rural, rescata y mejora el tradicional método de construcción de tapial.

En Chile durante el período colonial, ésta tecnología fué utilizada solamente como cercos en el agro, nunca en viviendas. Sin embargo, innovando la tecnología se obtienen muros de mayor resistencia al esfuerzo de corte, evitando la faena de preparación de adobes, acortando los plazos de construcción.

La transferencia a Chile se materializa en viviendas de nivel socioeconómico medio en uno y dos pisos construídas en la zona central de Chile. Las principales adaptaciones tecnológicas son tipo de herramientas, moldajes, refuerzos constructivos, métodos de compactación y mano de obra especializada.

Esta tecnología ha sido acogida por algunos Ingenieros calculistas, quienes aceptan las condiciones de estabilidad generadas a partir del sistema.

Siendo construída la primera vivienda el año 1992, éstas han sufrido la actividad sísmica, habiendo demostrado un excelente comportamiento durante el último gran sismo del 27 de Febrero de 2010, sexto en energía destructiva desde que se tiene registro.

Los casos a ser analizados y comparados son los siguientes:

- 1.- Casa Pereira, Comuna de Paine, 1992
- 2.- Casa Codrianski, Comuna de Colina, 1995
- 3.- Casa Vilches, Comuna de Peñalolén, 2003

Los principales temas técnicos que se han presentado son los siguientes:

- 1.- Adecuación de refuerzos del sistema original a la realidad sísmica chilena.
- 2.- Selección de suelos.
- 3.- Procedimientos constructivos.
- 4.- Innovaciones en máquinas y equipos

El resultado de ésta transferencia ha sido exitoso, en la medida que han tenido un buen comportamiento ante los sismos, a un razonable costo y a un buen resultado en cuanto a confort termo-acústico.

Ha existido poca difusión del sistema. Lo anterior especialmente motivado por las conclusiones del comité interinstitucional ADOBE creado con ocasión del sismo de Tarapacá del año 2005, el cuál recomendó la proscripción del uso del material tierra en nuevas construcciones. Honrosas excepciones han sido aplicaciones puntuales que han realizado otros integrantes de la red PROTERRA, tales como el Arquitecto Marcelo Cortés en algunos proyectos particulares.

Un objetivo importante para validar esta tecnología es la normalización del sistema y una adecuada difusión de los beneficios del mismo.

1. PRESENTACION DEL PROCESO

1.1 Génesis del intercambio

Con ocasión de las celebraciones del quinto centenario del descubrimiento de América, se gestó en este continente el programa CYTED (Ciencia y tecnología para el desarrollo). El trabajo del mismo se organizó en una veintena de sub-programas relacionados con la ciencia y la innovación tecnológica. Entre ellos en el Sub programa XIV, "Tecnologías para la vivienda de interés social", se creó la red "HABITERRA: "Sistematización del uso de la tierra en viviendas de interés social", antecesor de la red PROTERRA, promotora de éste 13° SIACOT.

El trabajo de la red HABITERRA, se fundamentaba en relacionar instituciones y profesionales que intercambiaran experiencias, conocimientos e investigaciones en la edificación de viviendas sociales en tierra. Participaban en ésta red, la casi totalidad de países de Iberoamérica. El programa financiaba el encuentro de especialistas en diferentes lugares de Iberoamérica a través de la realización de seminarios y cursos fundamentalmente. Así mismo financiaba publicaciones, las cuales apoyaban las actividades señaladas anteriormente.

Se divulgó el trabajo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Mérida, Venezuela liderado por el Arquitecto Juan Borges Ramos (1992). Ese programa luego de un trabajo de investigación aplicada, generó diversos procedimientos de innovación tecnológica de construcción con tierra, basados en experiencias locales e integrando conocimientos universales acerca de la construcción con tierra. Se desarrollaron diversos prototipos, cuyo comportamiento sísmo-resistente fue adecuadamente modelado. Los principales prototipos generados fueron:

PS 4 Bahareque prefabricado

PS 5 Tapia Modificada

PS 6 Adobe machihembrado

PS 7 Adobe mejorado tipo "U".

PS 8 Bloque modificado de concreto

PS 9 Adobe tipo "vaso".

Desde las primeras reuniones de la red HABITERRA a principio de los años noventa, el equipo venezolano presentó en los eventos de la misma el desarrollo de estos prototipos, causando el interés de otros miembros del programa.

La solución sísmo-resistente se concibe en el prototipo PS mediante la introducción de medias cañas de bambú seccionadas entre hiladas de bloques de tierra comprimida. Estas se disponen entre cada bloque embebidos en una mezcla de suelo mejorado con cemento, adecuadamente atadas y vinculadas unas con otras. Especial importancia cobra la unión solidaria en las esquinas de los proyectos. El principio físico de adherencia para resistir la componente horizontal del sismo de los bloques de tierra compactada es el de roce.

1.2 Antecedentes históricos del uso del tapial en Chile

En Chile, históricamente, el material tierra cruda ha sido utilizado en la construcción del hábitat. Es así como encontramos edificaciones prehispánicas de antigua data, como el poblado Aymára de Tular en la Región de Tarapacá, al norte de Chile. Este consiste en habitaciones de planta circular (entre 3 m y 4 m) con muros contruidos en base a grandes bloques de tierra cruda, similares al tapial y cubiertas de especies arbóreas locales. Se entiende por tapial, la técnica constructiva que utiliza moldes dentro de los cuáles se van compactando mediante pisones capas de suelo tipo arenoso en estado semi-húmedo (Figura 1).



Figura 1. Ruinas asentamiento atacameño de Tulor Comuna de San Pedro de Atacama, Chile
(Geo referencia: Lat -22 °,97' Long -68°,23')

Un segundo momento histórico en que se constata la utilización de tierra compactada, es la de ejecución de muros defensivos construidos por el conquistador español. Estos consistían en una doble empalizada de troncos rústicos empotrados en el suelo y rellenos de suelo compactado. En este caso, las paredes utilizadas como moldajes, permanecían como tales luego de su ejecución (Figura 2).



Figura 2. Fabricación de tapial, Enero 1992, Comuna de La Florida, Chile. Foto: H.Pereira
Existen testimonios acerca de la utilización de la tierra en las construcciones agrícolas,

como los del naturalista francés avecindado en Chile, Claudio Gay, quién describe detalladamente la vida del país durante el siglo XVIII. Al respecto escribe Gay¹ (abud Pereira (1990, p. 114) que se “cortaban” adobes y que con ellos se hacían tapias en los campos las que servían de cierros (cercos) para las cuadras (unidades de medida de los campos). Se refiere también el autor a la selección de los suelos, debiendo rechazarse los arenosos y utilizarse los arcillosos; se refiere también al tiempo de duración de las tapias, estableciendo entre treinta y cuarenta años, esto a causa de la constante utilización que hacen los animales de los muros, para frotarse.

No existen antecedentes del uso de la técnica del tapial en la edificación residencial o pública en Chile. Lo anterior contrasta con la utilización de la técnica del tapial en el resto de Iberoamérica y en España en la edificación de viviendas. Ejemplo de lo anterior es la ciudad de Popayán en Colombia o la muralla defensiva de Niebla en España, por citar un par de casos.

1.3 Estado del arte de la edificación de tapial en Chile

Hasta el período de industrialización del sector de la construcción en Chile, acaecido en la década de 1940-50 la construcción en tapial, en áreas rurales tenía un particular modo de fabricación. Generalmente se utilizaban moldes de madera rústica, espesor promedio de 35 mm, con agujas de madera de secciones aproximadas de 50 mm x 75 mm. atadas mediante sogas. Se utilizaba un pisón de madera de un peso aproximado de 12 kg a 15 kg. A la mezcla de suelo más bien arcillosos se le agregaba paja, principalmente de trigo.

Estos grandes bloques conocidos como “ adobones” de dimensiones aproximadas de 40 cm x 100 cm x 50 cm se unían en sus caras superiores mediante trozos de ladrillos cocidos o de tejas cerámicas de modo de evitar su ruptura en éste punto en el evento sísmico. En su testera superior se protegían del efecto degradante de las aguas lluvias con un pequeño tejado a dos aguas de tejas cerámicas pegadas con barro o también enramados vegetales sujetos mediante tablas horizontales dispuestas en la cara superior del muro. (Guzmán, E. 1977 pp 205).

2.- PRESENTACION DE CASOS

Se transfiere el sistema de tapial- reforzado a Chile en los siguientes tres casos:

2.1- Casa Sr. Jaime Pereira, Comuna de Paine,1992, (figura 3)²

Esta vivienda de dos plantas, se proyectó otorgando especial importancia se dió a la relación de esbeltéz de muros. La planta baja está constituida por muros de tapial de 0,30 m de espesor y en la zona con dos pisos este es de 0,40 m. El segundo piso está construido en técnica mixta tierra-madera. Propiamente se trata del sistema de “palillaje”, el que consiste en proyectar barro en estado plástico, sobre una osamenta de listones de madera bruta de 25 mm X 25 mm distanciados 25 mm.

En el diseño estructural se consideró lo siguiente:

- 1- Concibieron módulos o “cajas “relativamente simétricas, que disminuyerna efectos físicos mecanicos de torsión.
- 2- Al considerarse menos masa con el sistema cosntructivo del segundo piso, se logra acerca el centro de masa al nivel de suelo, disminuyendo las solicitaciones a la estructura .
- 3- Provisión de cadena de amarra superior de hormigón armado, permitiendo transferir adecuadamente los esfuerzos sísmicos.
- 4- Refuerzos de malla electrosoldada embebidos en una loseta de 5 cm. entre bloques de adobones cada 0,50 m en altura.

El sistema constructivo consideró tierra mezclada con paja de trigo (15 kg/m³), tablero de compactación de madera de pino radiata de 35 mm de espesor, agujas de hierro acerado de 12 mm de espesor. Lo anterior basado en el antecedente de que en el caso de utilizarse agujas de madera, los vacíos en el interior del tapial que éstas dejan, son fuentes de inicios de rotura estructural en caso de sismos. Se usó pisón de madera rústica de un peso de

10 kg. Se utilizó suelo más bien arcilloso con un porcentaje de paja similar a la del adobe (15 kg/m³). Los moldes y el pisón de madera fueron fabricados artesanalmente en terreno. Por la alta presencia de piedras en el suelo del lugar se tuvo que harnear (cribar) el suelo con harnero de 8 mm.



Figura 3. Casa Sr. Jaime Pereira G., Comuna de Paine, Chile. Foto J. Pereira
(Geo referencia: Lat -33°,82' Long -70°,91')

2.2- Casa Codriansky, Comuna de Colina, 1995 (figura 4)³

Esta vivienda de una planta, se proyectó considerando una relación de esbeltéz de muros de 1:7. Se construyeron muros de tapial de 0,30 m y 0,40 m de espesor.

En el diseño estructural se consideró lo siguiente:

- 1.-Compatibilidad de estructura de tapial reforzado y metálica. En dormitorio principal y estar se dejaron ventanas esquineras por motivos de vistas exteriores .
- 3.- Provisión de cadena superior y pilarejos esquineros en algunos caso de amarra de hormigón armado, permitiendo transferir adecuadamente los esfuerzos sísmicos.
- 4.- Refuerzos de malla electrosoldada embebidos en una loseta de 5 cm entre bloques de adobones cada 0,50 m en altura.

El sistema constructivo consideró tierra más bien arenosa sin paja de trigo, tablero de compactación de madera de terciado estructural de espesor de 19 mm, agujas de hierro acerado de 12 mm de espesor y pisón metálico de un peso de 10 kg. Se utilizaron moldes y pisón metálicos. Lo anterior para asegurar una durabilidad adecuada de estas herramientas y de paso economizar tiempo de reparación de las mismas, en el caso que fuesen de madera. Se confeccionaron agujas en base a barras aceradas de 12 mm con hilo. Todas estas definiciones técnicas se tomaron en conjunto con el maestro de obras y equipo, aprovechando la experiencia constructiva de los mismos.

En este caso se utilizó el suelo del lugar mezclando con arena y suelo arcilloso en las proporciones adecuadas.



Figura 4. Casa Sr. León Codriansky en etapa de construcción, Comuna de Colina, Chile Foto H.Pereira. (Geo referencia: Lat -33°,24' Long -70°,71')

2.3.- Casa Vilches, Comuna de Peñalolén, 2003 (figura 5)⁴

Esta vivienda de una planta, se proyectó considerando la relación de esbeltéz de muros de 1:7. Consiste en muros de tapial de 0,30 m y 0,40 m de espesor. En baños y habitaciones menores se utilizó técnica mixta tierra-madera de modo de economizar superficie construída.

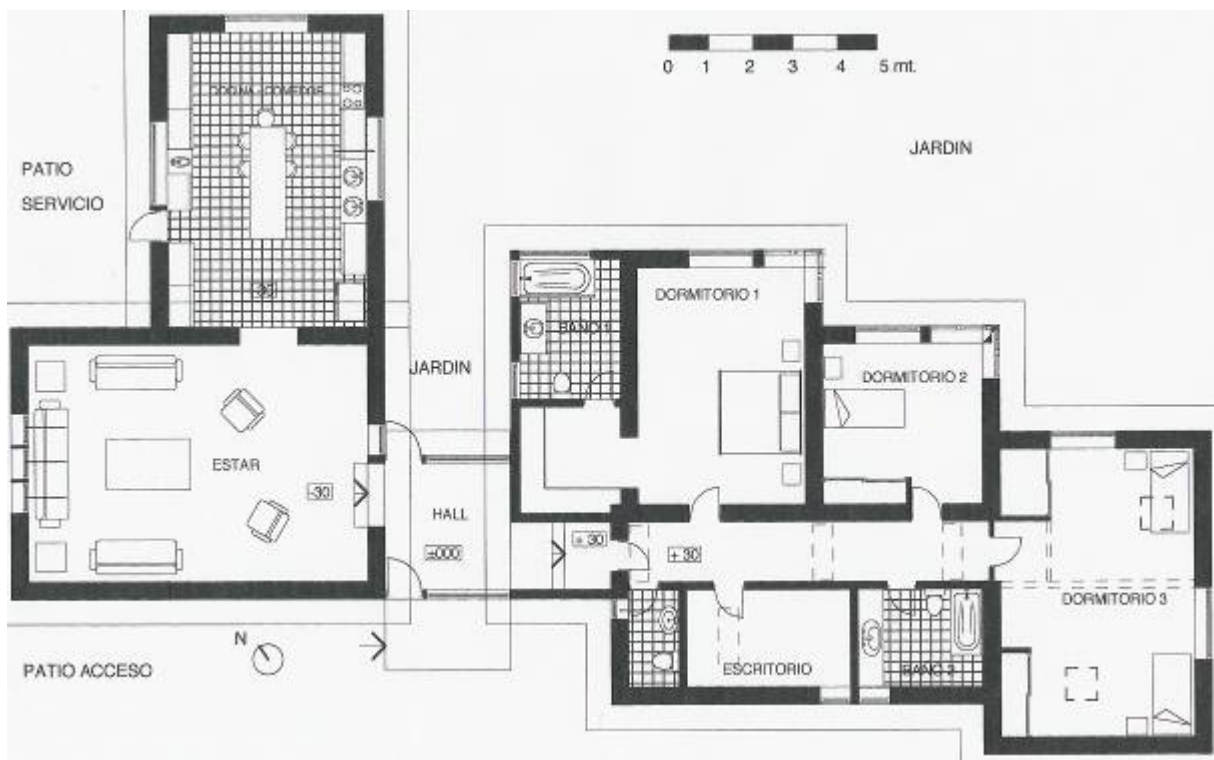


Figura 5. Planta Casa Sr. Hugo Vilches, Comuna de Peñalolén, Chile (Geo referencia: Lat -33°,48' Long -70°,53')

En el diseño estructural se consideró lo siguiente:

- 1.- Al igual que en la vivienda J.Pereira, se concibieron módulos o “cajas” relativamente simétricas, que disminuyerna efectos físcios mecanicos de torsión.
- 3.- Provisión de cadena superior y pilarejos esquineros en algunos caso de amarra de hormigón armado, permitiendo tranferir adecuadamente los esfuerzos sísmicos.
- 4.- Refuerzos de malla electrosoldada embebidos en una loseta de 5 cm entre bloques de adobones cada 0,50 m en altura.

El sistema constructivo consideró tierra más bien arenosa sin paja de trigo, tablero de compactación de madera de terciado estructural de espesor, agujas de hierro acerado de 12 mm de espesor (figura 6). El apisonamiento de la tierra se realizó mediante pisón neumático marca Atlas Copco modelo RAM-30, con un peso de 18,5 kg, 440 golpes por minuto y recorrido del pisón equivalente a 284 mm. Se utilizó para dar presión al pisón un compresor petrolero portátil marca Atlas Copco Modelo UT-8 (1971). La presión del mismo es de 120-150 psi/180 pcm.

Se optó por la mecanización de la faena de compactación mecanizada del suelo. Lo anterior con el propósito de mejorar el rendimiento de obra y lograr una mayor tasa de compactación de los muros .Un profesional ceramista intervino en la selección y dosificación de suelo. Se utilizaron tableros de madera contrachapada de 18 mm.



Figura 6. Sistema de apisonamiento de tableros de madera contrachapada Foto H.Pereira

3. CONCLUSIONES

3.1 Sistema constructivo

La técnica de tapial está prácticamente olvidada en Chile, excepto en algunas áreas rurales específicas. Se comenzó por indicar la conveniencia de no utilizar material vegetal como la paja de trigo al igual que en el adobe, ya que era la técnica constructiva ancestralmente conocida. Lo anterior debido a que esta tiende a degradarse con el paso del tiempo,

disminuyendo la resistencia de los muros de tierra.

Se tiende a utilizar moldes de mayor durabilidad. La compactación es una faena dura que tiende a romper los tableros normales. Se recomienda utilizar materiales durables para esta faena.

3.2. Normalización, generación de normas de construcción

Otro asunto que cobra enorme importancia en Chile, es la ausencia de norma de edificación en tierra en general y en tapial en particular. Al tratarse de sistemas marginados de la industria de la construcción y del sistema económico, el devenir de la normalización es prácticamente nulo.

Más bien, en Chile han existido instancias de elaboración de manuales y textos de estudios a escala universitaria, con escaso o nulo impacto en proceso de normalización. Recientemente, a raíz del mega terremoto del 27 de Febrero de 2010 (Richter 8.8), la autoridad ha tomado consciencia de la necesidad de por lo menos cautelar normativamente las intervenciones en edificaciones patrimoniales de tierra. Con antelación al sismo del 28 de Febrero de 2010, se creó en el Instituto de la Construcción, la comisión de construcción patrimonial, avocada a elaborar una norma nacional de cálculo estructural en edificios patrimoniales de tierra. Lo anterior motivado principalmente por el Ministerio de obras públicas y su cartera de proyectos de puesta en valor de la cartera del B.I.B. (Banco Interamericano de desarrollo). Posteriormente, a raíz del terremoto del 28 de Febrero de 2010, el trabajo de ésta comisión se coordinó con el del Ministerio de vivienda y urbanismo, en un conjunto de normas de construcción a que se requerían en relacionadas con el proceso de reconstrucción. Actualmente se encuentra en elaboración la norma chilena N.Ch. 3332 c.2012, "Estructuras-Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda-requisitos del proyecto estructural".

El alcance de la norma anteriormente citada se refiere exclusivamente a la intervención del patrimonio. Lo anterior constituye un avance en el estudio y análisis de la estructura de edificaciones patrimoniales de tierra. Desde ya es un avance el abordar la edificación patrimonial y es de esperar que en un futuro cercano se aborde normativamente la nueva edificación en tierra y especialmente la de tapial. El contar con norma permitiría generar un mercado confiable, desde el punto de vista estructural.

3.3. Comportamiento sísmico

El último gran sismo del 27 de Febrero de 2010 no afectó las construcciones anteriormente presentadas. Lo anterior debido a su adecuado diseño sismo-resistente refrendado en dos casos, casa Codriansky y casa Vilches en cálculo estructural.

A raíz del destructivo sismo de Junio de 2005 en la Región de Tarapacá, el Instituto de la Construcción, organismo multilateral respondió al encargo de la Ministra de la Vivienda de ese momento, Arquitecta Sra. Sonia Tschorne B. con el informe técnico "Adobe " en Julio de 2005, desaconsejando el uso de la tierra monolítica en construcción⁵. En éste comité participaron representantes de las siguientes instituciones: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Obras Públicas, Universidad Central de Chile, Universidad Católica de Chile, Universidad de Chile, Colegio de Arquitectos de Chile, Colegio de Ingenieros de Chile, ACHISINA (Asociación chilena de sismología e Ingeniería antisísmica y AICE (Asociación de ingenieros civiles estructurales).

Si bien la instancia contribuyó al encuentro de diferentes instituciones y técnicos en torno al tema, emitió conclusiones que tendían a proscribir el uso de sistemas monolíticos en tierra como el tapial y el adobe en la construcción.

Este informe constituyó un registro de la posición contraria a la edificación en tierra, en importantes instituciones del ámbito de la ingeniería y construcción a nivel nacional. Quizás una excepción fue el aceptar los sistemas de técnicas mixtas de tierra madera, en que el compromiso estructural portante es de éste último material.

3.4. Difusión

Si bien ha sido complicada la difusión generalizada de ésta técnica, esta ha sido acogida por miembros nacionales de la red Proterra. Es el caso de la aplicación de tapial reforzado por parte del Arquitecto Marcelo Cortés en el Centro de Ecología Aplicada⁶. La técnica ha despertado gran interés, sin embargo, no se ha difundido lo suficiente por falta de voluntad institucional y particular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS :

Borges, J. et al (1992). *Manuales de autoconstrucción (PS 4 Bahareque prefabricado, PS 5 Tapia Modificada, PS 6 Adobe machihembrado, PS 7 Adobe mejorado tipo "U", PS 8 Bloque modificado de concreto, PS 9 Adobe tipo "vaso")*. Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura, Mérida. República de Venezuela. Convenio de cooperación para la investigación de la vivienda y los asentamientos rurales ULA-MSAS-CONICIT.

Guzmán, E. (1977). *Curso de edificación*. Capítulo IV. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.

Pereira, H (1990). Revalorización del material tierra en la arquitectura chilena. En: *Adobe 90 - 6th International conference on the conservation of earthen architecture*. Oct. 1990 Las Cruces, New Mexico, U.S.A.

Notas

¹ En: *Manuscritos sobre las costumbres generales de Chile*. V-19 Archivo Nacional, Catálogo Gay-Morlán 1771,12,23,56,58. Santiago de Chile, citado por Pereira, 1990.

² Arquitecto: Hugo Pereira G. Autoconstrucción.

³ Arquitectos: Hugo Pereira G. y Carmen Luz Escobar, U. Constructora: Domus Ltda. Calculista: Sergio Rojo A.

⁴ Arquitecto: Hugo Pereira G. Constructor: Hugo Pereira G.. Calculista: Luis Leiva y Asociados.

⁵ En éste informe se consigna lo siguiente en conclusión n°2: *No se recomienda bajo ninguna condición la construcción ni reconstrucción de vivienda cuya estructura dependa de la tierra cruda, cualquiera sea éste su sistema constructivo, adobe tradicional, albañilería de adobe, tapial, etc., en tanto la tierra cruda es un material cuyo comportamiento no se puede predecir dado que no se controla su fabricación ni sus materiales, no se pueden conocer los patrones de cálculo, por lo tanto, no se puede verificar su estabilidad aplicando la Norma N Ch. 433 Of. 96 (Norma de diseño sísmico de edificios)*.

Lo anterior se hace extensivo a cualquier otro material cuyo comportamiento no sea posible calcular actualmente, tal como la construcción en base a estructura de piedra etc. "

⁶ Este se ubica en Avda. Príncipe de Gales N ° 6465, éste centro aplicó moldajes metálicos en la elaboración de los tapiales.

Currículo

Hugo Pereira Gigogne, Arquitecto, miembro de ICOMOS y Red Iberoamericana PROTERRA. Especialista de curso de postítulo en el área de la restauración patrimonial de la Universidad de Chile, docente Universidad Tecnológica Metropolitana, analista SERVIU RM-MINVU, Premio "Fermín Vivaceta" 2000, Colegio de Arquitectos de Chile.