



ECOESCUELA EL MANZANO: UN REFERENTE DE SUSTENTABILIDAD. EVALUACIÓN TÉRMICA DE UNA CONSTRUCCIÓN EN TIERRA

Ingrid Valenzuela Fernández¹, Jeannette Roldán Rojas²

Diplomado en Arquitectura Sustentable, Escuela de Postgrado.

Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile

¹ingridvalen@gmail.com; ²jroldan@uchilefau.cl

Palabras claves: Sustentabilidad, educación, difusión, comportamiento térmico

Resumen

El artículo refiere al florecer de movimientos y agrupaciones eco sociales, vinculadas a la construcción natural aplicada al uso de la tierra, a la formación de asentamientos sustentables y a la permacultura. Estas agrupaciones han desarrollado, un importante trabajo educativo con la comunidad, capacitándola y haciéndola parte del proceso de construcción; además han desarrollado programas de difusión sobre la reutilización y revalorización de la tierra, promoviendo sus características inherentes tales como la inercia térmica, las propiedades terapéuticas; y sus ventajas y/o beneficios económicos, ecológicos y sociales que contribuyen al desarrollo sustentable.

En relación a lo anterior se propone la *Ecoescuela El Manzano*, obra sobre arquitectura en tierra que responde a los principios del desarrollo sustentable basado en una concepción holística. Se destaca en ella su proyecto educativo, fundamentado en el “diseño regenerativo” para crear un futuro resiliente en transición hacia la sustentabilidad, reconociéndose como un referente y precursor de permacultura en Latinoamérica.

Siendo la ecoescuela el modelo de estudio, se plantea como objetivo principal comprobar la eficiencia térmica al aplicar sistemas y técnicas constructivas de tierra mediante un método experimental de evaluación; con la finalidad de aportar con antecedentes técnicos al proceso de autoconstrucción colectiva y aprendizaje social. Para esto se realizó un estudio y recopilación, de antecedentes sobre los materiales empleados: espesores, características térmicas y ópticas, los cuales fueron ingresados a Ecotect, junto a los antecedentes climáticos de la zona, entre otros datos.

Se expone la metodología empleada, el proceso de análisis y los resultados obtenidos, proponiendo nuevas estrategias de diseño para mejoramiento del confort térmico, en las zonas del edificio donde se presentaron pérdidas de calor y enfriamiento interno.

Por último la investigación y el análisis, inducen a la reflexión sobre las posibilidades y beneficios de la tierra cruda, como material contemporáneo de construcción y su contribución sustentable.

1. PRESENTACION DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

El tema de investigación parte de la base motivacional, de entender la sustentabilidad en la arquitectura; más allá de ocupar estrategias de diseño eficiente, dentro de la construcción con materiales derivados de la petroquímica y otros procesos industriales. Pretende más bien, difundir un concepto holístico, respetando el medio ambiente y los principios de la naturaleza, donde nada se desecha y todo forma parte de ciclos que se regeneran, entendiendo los materiales como nutrientes, los cuales nos aportan salud y bienestar. Es así como toma relevancia, el ciclo de vida de los materiales¹ y se hace indispensable involucrar el concepto de la “cuna a la cuna” donde los materiales empleados se pueden reutilizar, retornar al ciclo industrial o volver a la tierra sin contaminar. A diferencia de los procedimientos utilizados masivamente hoy, basados en los recursos naturales, la industrialización y los desechos (Braungart; McDonough, 2005).

Estos principios y valores los encontramos en la bioconstrucción, potenciada fuertemente por la tierra cruda como uno de los materiales principales. El rol y responsabilidad social

incorporada en la construcción con tierra es altísimo, permitiendo el empoderamiento de las personas con la obra al brindar la posibilidad de autoconstruir. Creando un aprendizaje y educación de la población sobre las características propias de la tierra, sus ventajas y beneficios sustentables y también sobre la experiencia en el proceso constructivo; lo que incide en la toma de conciencia frente al cuidado del medio ambiente y la importancia de respetar los ciclos de vida; contribuyendo a estos fundamentos éticos desde la arquitectura.

De acuerdo a estas premisas se propone la Ecoescuela El Manzano, como referente de la investigación, al promover, educar y difundir el uso de la tierra. Se realiza un análisis técnico de la eficiencia y comportamiento térmico de la obra, con la finalidad informativa de colocar a disposición de la ecoescuela y la comunidad los resultados de la evaluación.

Por último, la ecoescuela aporta generosamente al argumento teórico del artículo, con sus cimientos en la permacultura transita sin prisa, sin pausa hacia un futuro resiliente y sustentable.

1.2 Estado de la cuestión

En los últimos quince años aproximadamente la construcción en tierra, ha denotado una condición social precaria siendo habitualmente descalificada, exceptuándose de esta desacreditación las obras pertenecientes al patrimonio nacional. No obstante, en la reciente década ha nacido en América Latina un movimiento eco-social, revolucionario, promovido por la permacultura, reconociéndose en ella a Bill Mollison y David Holmgren como sus creadores². Este movimiento ha generado un proceso educativo en su entorno social y la ha familiarizado con la arquitectura en tierra, con sistemas bioconstructivos y con modelos de hábitats sustentables, dando a conocer una nueva alternativa de vivienda a la que se puede acceder, unida a una cantidad de características positivas, como confort térmico, economía, identidad y propiedad de los espacios, entre otras.

La revalorización de la arquitectura en tierra cruda, ha tenido distintos procesos en los países latinoamericanos; en Argentina por ejemplo, en la localidad del Bolsón, ubicada en la provincia de Río Negro, surge de la mano de movimientos sociales de autoconstrucción, a los cuales se ha sumado mano de obra capacitada y profesionales expertos que asisten el proceso constructivo³. En la actualidad la municipalidad de El Bolsón, cuenta con una Ordenanza de Construcción con Tierra Cruda, aprobada en diciembre del año 2010, lo cual responde al trabajo de una comunidad organizada y concientizada. Este reglamento tiene una sólida fundamentación técnica, que contempla las previsiones necesarias para la calidad sismo-resistente; se fundamenta también en documentos académicos y normativas locales e internacionales, tales como

el reglamento peruano de construcciones NTE E.080 (2000), la normativa de edificación española UNE 41410 (2008), la declaración pública del Colegio de Arquitectos de Chile "Construcción en Adobe" (2010), el documento con referencias mundiales y nacionales sobre normativas vinculadas a la Construcción con Tierra avalado por la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires (2010), entre otros. El texto de la ordenanza también alude al ya declarado Interés Municipal en las experiencias de investigación y desarrollo en la construcción natural en la comunidad, así como la Resolución n° 095/10 sobre la Emergencia Habitacional de El Bolsón (Consejo Deliberante; El Bolsón, 2010, p.1).

Otro ejemplo lo encontramos en Uruguay donde la reutilización de la tierra en la construcción se inició en los estudios de arquitectura que se propusieron el tema, patrocinados además, por su historia arquitectónica en tierra. Este proceso ha tenido gran aceptación en la sociedad uruguaya, debido al diálogo técnico entre especialistas; proyectista y municipio⁴.

Por lo tanto, se puede observar de los casos mencionados un momento crucial que vive América Latina, el cual hace referencia a la necesidad de una pronta normalización y legislación de la construcción en tierra. Falta mayor ocupación gubernamental al respecto en la medida que se va acrecentando el movimiento social.

Dado el creciente interés por el antiguo material, y ante la falta de un marco legal muchos países intentan normalizar su uso para resolver los problemas actuales derivados de la ausencia de una normativa que permita el uso de las técnicas de construcción con tierra cruda. En el campo de la aplicación de la edificación con tierra son muchos los países que en los últimos años trabajan en la normalización destacan Colombia (2005) y España (2008), con la publicación de nuevas normas; Chile, Ecuador, México y Nicaragua, desarrollando futuras normas; o Perú mejorando documentos ya existentes (Cid et al, 2011, p.160).

1.3 Objetivos

El objetivo general en la investigación fue comprobar mediante un método experimental la aplicación de sistemas y técnicas constructivas en tierra como una alternativa térmica eficiente y sustentable de arquitectura y construcción.

En relación a esto, los objetivos específicos fueron:

1. Evaluar la Ecoescuela desde el punto de vista térmico, mediante el programa Ecotect.
2. Analizar y determinar si la obra responde eficientemente con la materialidad empleada.
3. Poner a disposición de la Ecoescuela y de su comunidad, los resultados obtenidos en la evaluación, como material de apoyo técnico al trabajo colectivo de autoconstrucción y aprendizaje sobre construcción en tierra promovido por la Ecoescuela El Manzano.

2. ANTECEDENTES DEL EDIFICIO

2.1 Antecedentes del edificio

La ecoescuela se ubica en la comuna de Cabrero, octava región; en la localidad rural El Manzano. Fue Construida con mano de obra comunitaria, se utilizaron materiales naturales del sector, principalmente: madera, paja, coligües y materiales reciclados, como la tierra recogida y reutilizada de viviendas de adobe de la comuna, destruidas por el terremoto de Febrero 2010.

La ecoescuela se orienta hacia el norte, posee espacios intermedios como corredores que la protegen de la intemperie, la lluvia y el sol. Se presentan para una mayor claridad en la figura 1 las vistas según cada orientación de la Ecoescuela.

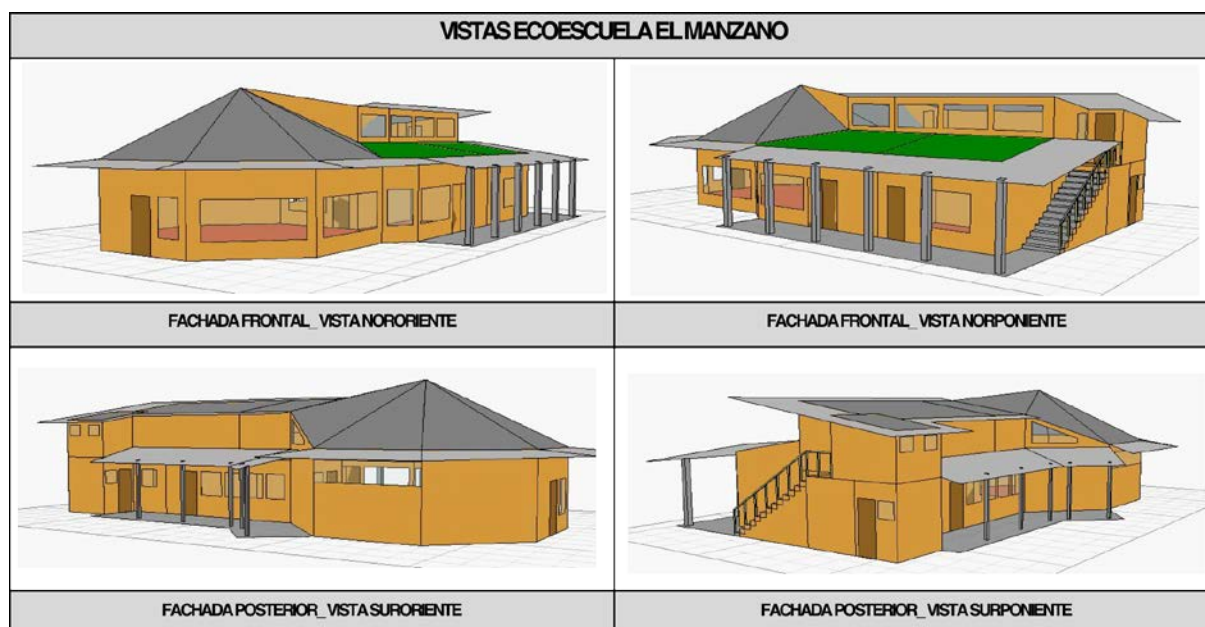


Figura 1. Vistas de la Ecoescuela

El edificio tiene una superficie total de 403 m² construidos en dos niveles, en el primer nivel de 347 m² se encuentran, el comedor espacio principal y multifuncional de doble altura, la cocina, bodega, oficina y hall de acceso. En el segundo nivel se ubica la sala de reuniones y actividades, y una antesala balconada al comedor.

2.2 Sistemas y técnicas constructivas

El sistema constructivo de la ecoescuela, está basado en una fundación corrida de hormigón armado, incorporando en sus cimientos bolones de piedra extraídos del sector. El sistema estructural es en base a pilares y envigado, los primeros son de madera de roble (*Nothofagus obliqua*) de 20 cm x 20 cm de escuadría; esta madera fue recuperada de un viejo galpón en desuso del sector de Yungay. Los pilares se anclaron al sobrecimiento a través de pletinas de 3 mm de espesor. Los pies derechos y diagonales fueron ejecutados en madera de pino insigne (*Pinus radiata*) aserrada. El edificio también presenta columnas en su espacio principal, comedor, en rollizo de pino insigne de 30 cm de diámetro, ambos elementos verticales sostienen el envigado principal y secundario que conforman la estructura de cubierta.

En la tabiquería se incorporó el sistema de quinchas confeccionado con coligües del sector. En toda la envolvente vertical y tabiques se aplicó la técnica de relleno de paja encofrada o apisonada la cual es utilizada como aislación térmica con un ancho de 20 cm. La paja que viene en fardos fue zarandeada para mezclarse con una pasta de arcilla y agua. Se calculó en la ejecución de la obra que la mezcla de un fardo desarmado de paja con arcilla rinde de 3 m³ a 4 m³.

Se aplicó revoque exterior e interior en todos los paramentos verticales, revoque grueso (1 medida de arcilla, 2 ó 3 medidas de arena y 1 ó 2 medidas de paja) y revoque fino (1 medida de arcilla zarandeada, 1 medida de arena fina zarandeada y 1 de engrudo), se contempló el trabajo de pinturas naturales, murales con relieve y mosaicos en sus fachadas.

El pavimento principal, consultó pastelones de arcilla cocida sobre radier. En la cocina se instaló cerámica en piso y paredes.

Por último, mencionar que en el modelo evaluado se probaron dos tipos de cubierta, una tradicional de zincalum ondulado cubriendo mayor parte del edificio y la otra es la cubierta verde o techo vivo, sobre la sala de reuniones del segundo piso.

3. METODOLOGÍA: ANÁLISIS TÉRMICO DE LA OBRA MEDIANTE EL SOFTWARE ECOTECT

3.1 Antecedentes climáticos y reglamentación térmica para la localidad de Cabrero

La comuna de Cabrero se encuentra en la latitud -37,0° y longitud -72,7°. De acuerdo a la NCh. 1079 – 2008, climático habitacional corresponde a la zona central interior, CI. Presenta un clima templado, con cálidos veranos que alcanzan temperaturas sobre 30°C, y fríos inviernos con mínimas de -1°C.

La comuna de Cabrero se encuentra en la zona térmica 4; por este motivo se utilizó como referencia, el artículo 4.1.10. de la O.G.U.C. y su respectivo manual de reglamentación térmica exigido en la vivienda chilena (2006). Se requiere cumplir en esta zona con una transmitancia térmica, “U” igual o menor o una resistencia térmica total “Rt” igual o superior. En techumbre: U de 0,38 W/m²K y Rt de 2,63 m²K/W, en muros: U de 1,7 W/m²K y Rt de 0,59 m²K/W, y finalmente en pisos ventilados corresponden U de 0,60 W/m²K y Rt de 1,67 m²K/W⁵.

3.2 Horarios y uso de la Ecoescuela

En relación a los diferentes procesos de enseñanza y trabajo que se vivencian en la ecoescuela, se estimó una cantidad promedio de ocupantes de 20 personas, al inicio del análisis de todos los recintos del edificio. Estos datos de ocupación fueron introducidos en la planilla del programa generando distintas instancias y demanda de personas, durante el

periodo de un año. Los tipos de ocupación que se propusieron fueron: cursos de capacitación, trabajo en la ecoescuela con voluntariado, períodos de vacaciones y fines de semana.

3.3 Creación de elementos constructivos. Valores térmicos

La figura 2 muestra la creación de los elementos constructivos más relevantes que componen la envolvente de la construcción.

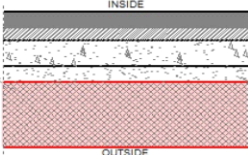
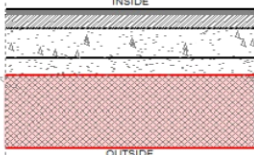
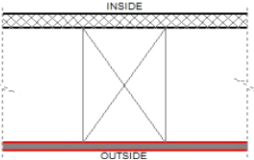
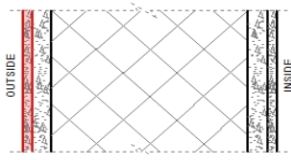
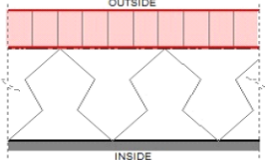
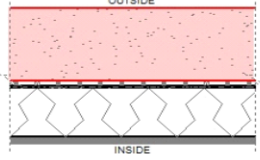
FICHA CREACIÓN DE MATERIALES Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS																																																			
1			5. Pastelón de ladrillo 4. Mortero de pega 3. Radier 2. Arena 1. Estabilizado																																																
	<table><tr><th></th><th>Layer Name</th><th>Width</th><th>Density</th><th>Sp.Heat</th><th>Conduct.</th><th>Type</th></tr><tr><td>1.</td><td>estabilizado compactado</td><td>0.200</td><td>2000.0</td><td>1840.000</td><td>0.520</td><td>95</td></tr><tr><td>2.</td><td>arena</td><td>0.050</td><td>1500.0</td><td>920.000</td><td>0.580</td><td>115</td></tr><tr><td>3.</td><td>radier</td><td>0.080</td><td>1600.0</td><td>920.000</td><td>0.730</td><td>35</td></tr><tr><td>4.</td><td>mortero de pega</td><td>0.040</td><td>1000.0</td><td>750.000</td><td>0.460</td><td>25</td></tr><tr><td>5.</td><td>pastelón de ladrillo</td><td>0.050</td><td>1000.0</td><td>750.000</td><td>0.460</td><td>85</td></tr></table>										Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type	1.	estabilizado compactado	0.200	2000.0	1840.000	0.520	95	2.	arena	0.050	1500.0	920.000	0.580	115	3.	radier	0.080	1600.0	920.000	0.730	35	4.	mortero de pega	0.040	1000.0	750.000	0.460	25	5.	pastelón de ladrillo	0.050	1000.0	750.000	0.460	85
		Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type																																												
1.	estabilizado compactado	0.200	2000.0	1840.000	0.520	95																																													
2.	arena	0.050	1500.0	920.000	0.580	115																																													
3.	radier	0.080	1600.0	920.000	0.730	35																																													
4.	mortero de pega	0.040	1000.0	750.000	0.460	25																																													
5.	pastelón de ladrillo	0.050	1000.0	750.000	0.460	85																																													
RADIER CON PAVIMENTO PASTELONES DE ARCILLA COCIDA TRANSMITANCIA TÉRMICA U= 3.418 W/m2k																																																			
2			5. Cerámica 4. Mortero de pega 3. Radier 2. Arena 1. Estabilizado																																																
	<table><tr><th></th><th>Layer Name</th><th>Width</th><th>Density</th><th>Sp.Heat</th><th>Conduct.</th><th>Type</th></tr><tr><td>1.</td><td>estabilizado compactado</td><td>0.200</td><td>2000.0</td><td>1840.000</td><td>0.520</td><td>95</td></tr><tr><td>2.</td><td>arena</td><td>0.050</td><td>1500.0</td><td>920.000</td><td>0.580</td><td>115</td></tr><tr><td>3.</td><td>radier</td><td>0.080</td><td>1600.0</td><td>920.000</td><td>0.730</td><td>35</td></tr><tr><td>4.</td><td>mortero de pega</td><td>0.040</td><td>1000.0</td><td>750.000</td><td>0.460</td><td>25</td></tr><tr><td>5.</td><td>cerámica</td><td>0.015</td><td>0.0</td><td>1042.000</td><td>1.750</td><td>85</td></tr></table>										Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type	1.	estabilizado compactado	0.200	2000.0	1840.000	0.520	95	2.	arena	0.050	1500.0	920.000	0.580	115	3.	radier	0.080	1600.0	920.000	0.730	35	4.	mortero de pega	0.040	1000.0	750.000	0.460	25	5.	cerámica	0.015	0.0	1042.000	1.750	85
		Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type																																												
1.	estabilizado compactado	0.200	2000.0	1840.000	0.520	95																																													
2.	arena	0.050	1500.0	920.000	0.580	115																																													
3.	radier	0.080	1600.0	920.000	0.730	35																																													
4.	mortero de pega	0.040	1000.0	750.000	0.460	25																																													
5.	cerámica	0.015	0.0	1042.000	1.750	85																																													
RADIER CON PAVIMENTO CERÁMICO TRANSMITANCIA TÉRMICA U= 3.418 W/m2k																																																			
3			3. Terciado estructural 2. Estructura entrepiso 1. Yeso cartón																																																
	<table><tr><th></th><th>Layer Name</th><th>Width</th><th>Density</th><th>Sp.Heat</th><th>Conduct.</th><th>Type</th></tr><tr><td>1.</td><td>Yeso cartón</td><td>0.010</td><td>650.0</td><td>840.000</td><td>0.240</td><td>85</td></tr><tr><td>2.</td><td>Air Gap</td><td>0.150</td><td>0.0</td><td>1000.000</td><td>5.560</td><td>15</td></tr><tr><td>3.</td><td>Terciado estructural</td><td>0.018</td><td>700.0</td><td>1420.000</td><td>0.150</td><td>93</td></tr></table>										Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type	1.	Yeso cartón	0.010	650.0	840.000	0.240	85	2.	Air Gap	0.150	0.0	1000.000	5.560	15	3.	Terciado estructural	0.018	700.0	1420.000	0.150	93														
		Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type																																												
1.	Yeso cartón	0.010	650.0	840.000	0.240	85																																													
2.	Air Gap	0.150	0.0	1000.000	5.560	15																																													
3.	Terciado estructural	0.018	700.0	1420.000	0.150	93																																													
ESTRUCTURA ENTREPISO TRANSMITANCIA TÉRMICA U= 2.160 W/m2k																																																			
4			1. Revoque fino 2. Revoque grueso 3. Paja apisonada 4. Revoque grueso 5. Revoque fino																																																
	<table><tr><th></th><th>Layer Name</th><th>Width</th><th>Density</th><th>Sp.Heat</th><th>Conduct.</th><th>Type</th></tr><tr><td>1.</td><td>Revoque fino</td><td>0.010</td><td>2100.0</td><td>920.000</td><td>0.930</td><td>35</td></tr><tr><td>2.</td><td>Revoque grueso</td><td>0.020</td><td>2100.0</td><td>920.000</td><td>0.930</td><td>35</td></tr><tr><td>3.</td><td>Pajaj apisonada</td><td>0.200</td><td>150.0</td><td>0.000</td><td>0.070</td><td>90</td></tr><tr><td>4.</td><td>Revoque grueso</td><td>0.020</td><td>2100.0</td><td>920.000</td><td>0.930</td><td>35</td></tr><tr><td>5.</td><td>Revoque fino</td><td>0.010</td><td>2100.0</td><td>920.000</td><td>0.930</td><td>35</td></tr></table>										Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type	1.	Revoque fino	0.010	2100.0	920.000	0.930	35	2.	Revoque grueso	0.020	2100.0	920.000	0.930	35	3.	Pajaj apisonada	0.200	150.0	0.000	0.070	90	4.	Revoque grueso	0.020	2100.0	920.000	0.930	35	5.	Revoque fino	0.010	2100.0	920.000	0.930	35
		Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type																																												
1.	Revoque fino	0.010	2100.0	920.000	0.930	35																																													
2.	Revoque grueso	0.020	2100.0	920.000	0.930	35																																													
3.	Pajaj apisonada	0.200	150.0	0.000	0.070	90																																													
4.	Revoque grueso	0.020	2100.0	920.000	0.930	35																																													
5.	Revoque fino	0.010	2100.0	920.000	0.930	35																																													
MUROS, PAJA ENCOFRADA CON REVOQUE TRANSMITANCIA TÉRMICA U= 0.710 W/m2k																																																			
5			1. Cubierta zinc 2. Fieltro 3. Lana mineral 4. Terciado estructural																																																
	<table><tr><th></th><th>Layer Name</th><th>Width</th><th>Density</th><th>Sp.Heat</th><th>Conduct.</th><th>Type</th></tr><tr><td>1.</td><td>Zinc</td><td>0.040</td><td>7130.0</td><td>380.000</td><td>112.000</td><td>75</td></tr><tr><td>2.</td><td>Fieltro</td><td>0.001</td><td>960.0</td><td>950.000</td><td>0.190</td><td>115</td></tr><tr><td>3.</td><td>Lana mineral</td><td>0.100</td><td>550.0</td><td>2301.000</td><td>0.343</td><td>45</td></tr><tr><td>4.</td><td>Terciado estructural 10mm</td><td>0.010</td><td>2500.0</td><td>840.000</td><td>1.050</td><td>85</td></tr></table>										Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type	1.	Zinc	0.040	7130.0	380.000	112.000	75	2.	Fieltro	0.001	960.0	950.000	0.190	115	3.	Lana mineral	0.100	550.0	2301.000	0.343	45	4.	Terciado estructural 10mm	0.010	2500.0	840.000	1.050	85							
		Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type																																												
1.	Zinc	0.040	7130.0	380.000	112.000	75																																													
2.	Fieltro	0.001	960.0	950.000	0.190	115																																													
3.	Lana mineral	0.100	550.0	2301.000	0.343	45																																													
4.	Terciado estructural 10mm	0.010	2500.0	840.000	1.050	85																																													
CUBIERTA ZINC TRANSMITANCIA TÉRMICA U= 4.580 W/m2k																																																			
6			1. Sustrato de tierra 2. Fieltro protector 3. Membrana 4. Aislación térmica 5. Barrera de vapor																																																
	<table><tr><th></th><th>Layer Name</th><th>Width</th><th>Density</th><th>Sp.Heat</th><th>Conduct.</th><th>Type</th></tr><tr><td>1.</td><td>Sustrato de tierra</td><td>0.150</td><td>300.0</td><td>1100.000</td><td>0.090</td><td>115</td></tr><tr><td>2.</td><td>Fieltro protector</td><td>0.010</td><td>960.0</td><td>950.000</td><td>5.560</td><td>15</td></tr><tr><td>3.</td><td>Membrana resist a raíces</td><td>0.003</td><td>1000.0</td><td>980.000</td><td>0.220</td><td>115</td></tr><tr><td>4.</td><td>Aislación térmica</td><td>0.100</td><td>550.0</td><td>2301.000</td><td>0.343</td><td>45</td></tr><tr><td>5.</td><td>Barrera de vapor</td><td>0.001</td><td>960.0</td><td>950.000</td><td>0.190</td><td>45</td></tr></table>										Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type	1.	Sustrato de tierra	0.150	300.0	1100.000	0.090	115	2.	Fieltro protector	0.010	960.0	950.000	5.560	15	3.	Membrana resist a raíces	0.003	1000.0	980.000	0.220	115	4.	Aislación térmica	0.100	550.0	2301.000	0.343	45	5.	Barrera de vapor	0.001	960.0	950.000	0.190	45
		Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type																																												
1.	Sustrato de tierra	0.150	300.0	1100.000	0.090	115																																													
2.	Fieltro protector	0.010	960.0	950.000	5.560	15																																													
3.	Membrana resist a raíces	0.003	1000.0	980.000	0.220	115																																													
4.	Aislación térmica	0.100	550.0	2301.000	0.343	45																																													
5.	Barrera de vapor	0.001	960.0	950.000	0.190	45																																													
CUBIERTA VERDE TRANSMITANCIA TÉRMICA U= 0.550 W/m2k																																																			
7			1. Vidrio simple																																																
	<table><tr><th></th><th>Layer Name</th><th>Width</th><th>Density</th><th>Sp.Heat</th><th>Conduct.</th><th>Type</th></tr><tr><td>1.</td><td>Vidrio simple con marco de</td><td>0.003</td><td>2500.0</td><td>837.000</td><td>1.200</td><td>75</td></tr></table>										Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type	1.	Vidrio simple con marco de	0.003	2500.0	837.000	1.200	75																												
		Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type																																												
1.	Vidrio simple con marco de	0.003	2500.0	837.000	1.200	75																																													
VENTANAS, VIDRIO SIMPLE CON MARCO DE MADERA TRANSMITANCIA TÉRMICA U= 6.000 W/m2k																																																			
8			1. Puerta madera de roble																																																
	<table><tr><th></th><th>Layer Name</th><th>Width</th><th>Density</th><th>Sp.Heat</th><th>Conduct.</th><th>Type</th></tr><tr><td>1.</td><td>Puertas madera de roble</td><td>0.050</td><td>800.0</td><td>1759.000</td><td>0.000</td><td>91</td></tr></table>										Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type	1.	Puertas madera de roble	0.050	800.0	1759.000	0.000	91																												
		Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type																																												
1.	Puertas madera de roble	0.050	800.0	1759.000	0.000	91																																													
PUERTAS MADERA DE ROBLE TRANSMITANCIA TÉRMICA U= 2.260 W/m2k																																																			

Figura 2. Ficha de elementos constructivos y valores térmicos

En cada uno de estos elementos, inicialmente se aplicó la NCh 853 Of.91, de cálculos térmicos, para determinar la conductividad de los materiales, luego se ingresaron al programa las características de los materiales que lo componen. Por ejemplo, para el caso

de los muros exteriores de paja encofrada con revoque, como lo indica la figura 2, en el recuadro n°4, se ingresaron los datos de espesor, densidad, calor específico y conductividad de cada material, antecedentes tanto para revoque fino, revoque grueso y paja apisonada. Así el programa entrega el valor de transmitancia térmica del elemento en cuestión.

4. RESULTADOS

4.1 Comportamiento térmico

Comportamiento térmico de los recintos para el día promedio más caluroso del año

Según lo analizado para cada recinto, y como se indica en gráfico 1 de la figura 3, todos los espacios se encuentran dentro de la franja de confort térmico (18°C – 26°C) rango de temperaturas (t°) estimadas de acuerdo a la zona climática y la relación costo-calidad en la construcción. El espacio principal de la edificación cuenta con una temperatura promedio estable, dentro de la franja de confort térmico durante la jornada de ocupación de 8 hasta las 20 horas, con 20 personas. En la Tabla 1, indicada a continuación se destaca en azul la t° más baja y en rojo la t° más alta para este día, y en estas dos instancias el recinto responde óptimamente.

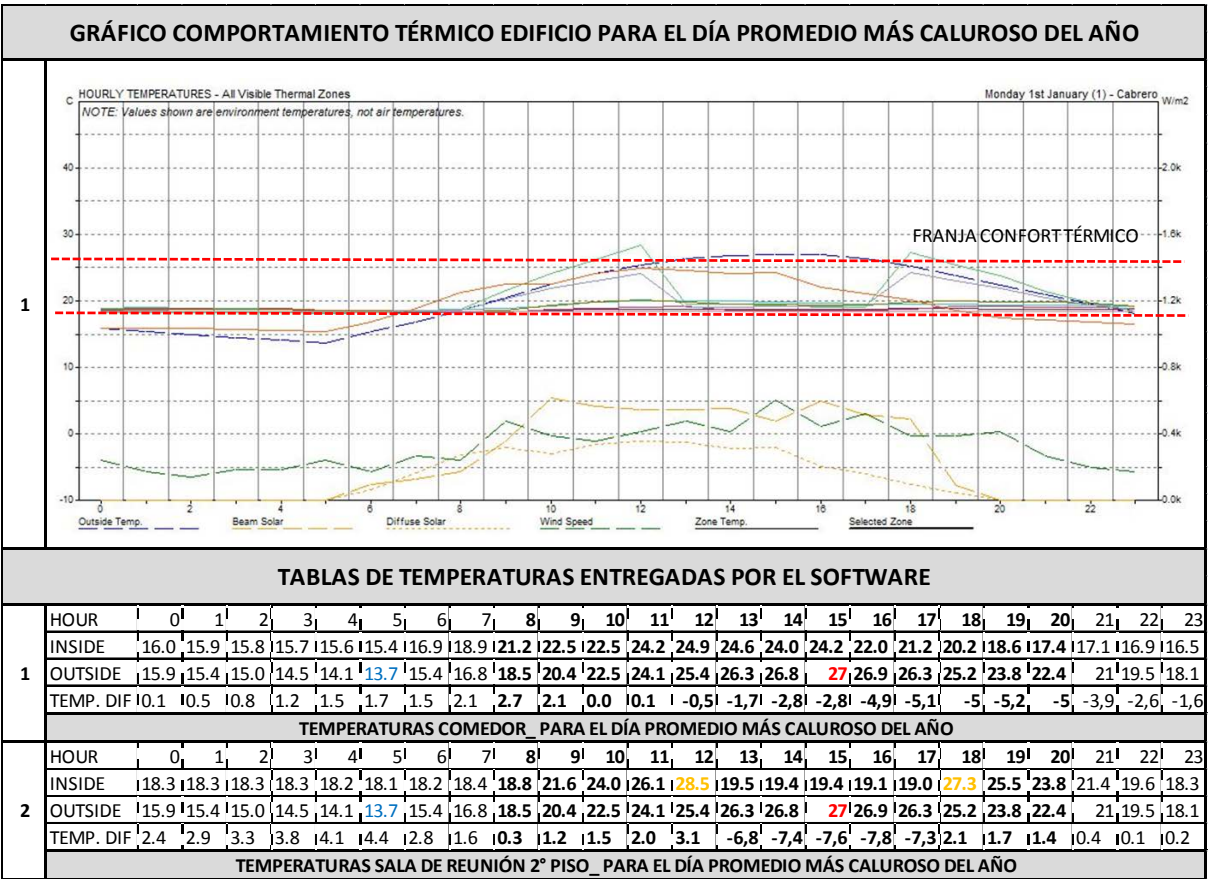


Figura 3. Gráfico comportamiento térmico de todos los recintos del edificio, para el día promedio más caluroso del año. Tabla de temperaturas entregadas por el software para los recintos indicados.

La sala del 2° piso, por ejemplo, supera la máxima de confort en dos instancias puntuales del día, como se indica en Tabla 1. Durante las horas de ocupación, destacadas en negrita, esta sala presenta mayores t° al medio día cuando encontramos el sol hacia el norte y en la tarde a partir de las 18 y 19 horas cuando el espacio recibe el sol del poniente, en estas dos instancias la t° interior pasa la franja de confort. En las horas que van desde las 13 a las 17, las t° interiores se vuelven más agradables, entregando bienestar a sus ocupantes.

Comportamiento térmico de los recintos para el día promedio más frío del año

Para el día promedio más frío del año, se concluye según el detalle para cada zona, indicado en figura 4, que todos los recintos aunque se encuentren por debajo de la mínima de confort térmico, obtienen ganancias llegando a diferencias de 12°C con respecto al exterior.

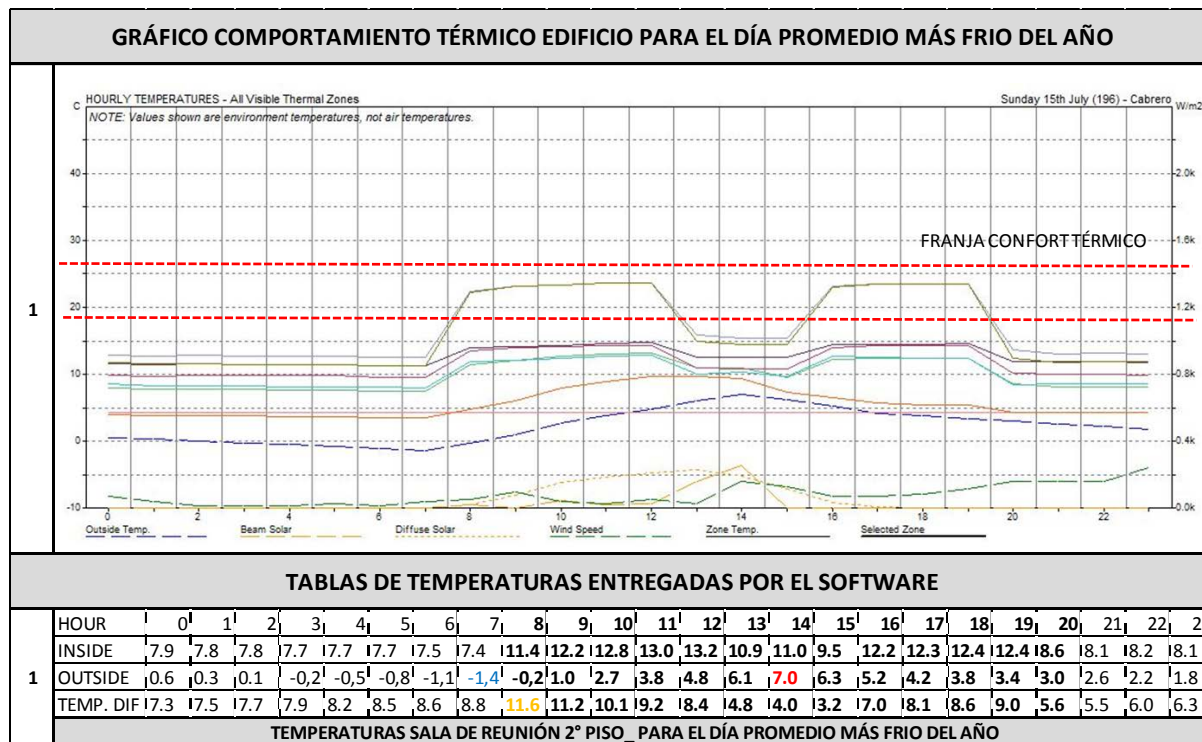


Figura 4. Gráfico comportamiento térmico de todos los recintos del edificio, para el día promedio más frío del año. Tabla de temperaturas entregadas por el software.

Las temperaturas del comedor (espacio principal) también se encuentran por debajo de la zona de confort, con t° interiores que no superan los 9,7°C. Influyen en este espacio la superficie, alturas y volumetría del recinto. Este análisis fue realizado sin incorporar un sistema de calefacción.

Al igual que el espacio anterior, la sala del segundo piso se encuentra bajo el confort térmico, pero presenta t° internas constantes y ganancias térmicas de 11,6°C con respecto a las t° exteriores.

4.2 Ganancias y pérdidas de calor

Según la información obtenida en la simulación, para el día promedio más caluroso el edificio en su totalidad presenta pérdidas de calor interno por conducción y también debido a la adyacencia entre zonas. En cambio las ganancias de calor que obtiene son por la radiación solar directa e indirecta.

Para el día promedio más frío las ganancias calóricas obtenidas son aportes debido a la ocupación de personas, luminarias y equipos, como computadores. Hay una mínima ganancia de calor, entregada por la radiación solar directa a través de ventanas al medio día. Las pérdidas de calor se producen en este caso debido a la ventilación, filtraciones, y por la conducción entregada por los materiales de la envolvente.

4.3 Cargas mensuales de discomfort

La Ecoescuela los meses de enero, febrero y diciembre presenta mayores aportes de calefacción interna. Pero los meses que van desde mayo hasta octubre el gráfico indicado en la figura 5, muestra un enfriamiento interno siendo más inconfortable los meses de invierno. La ecoescuela aumenta sus requerimientos de energía entre los meses de marzo a

noviembre, en los meses más críticos de invierno junio, julio y agosto, la energía calórica que necesita se estima en 560 kW para alcanzar el confort térmico. Para el espacio principal, la energía calórica llega hasta los 280kW.

4.4 Ganancias de distribución pasiva

Según la información obtenida para todas las zonas, las mayores pérdidas de calor interno de las áreas son por conducción, que ocurre a través de los materiales empleados en la construcción de la envolvente, refiriéndose principalmente a los paños vidriados.

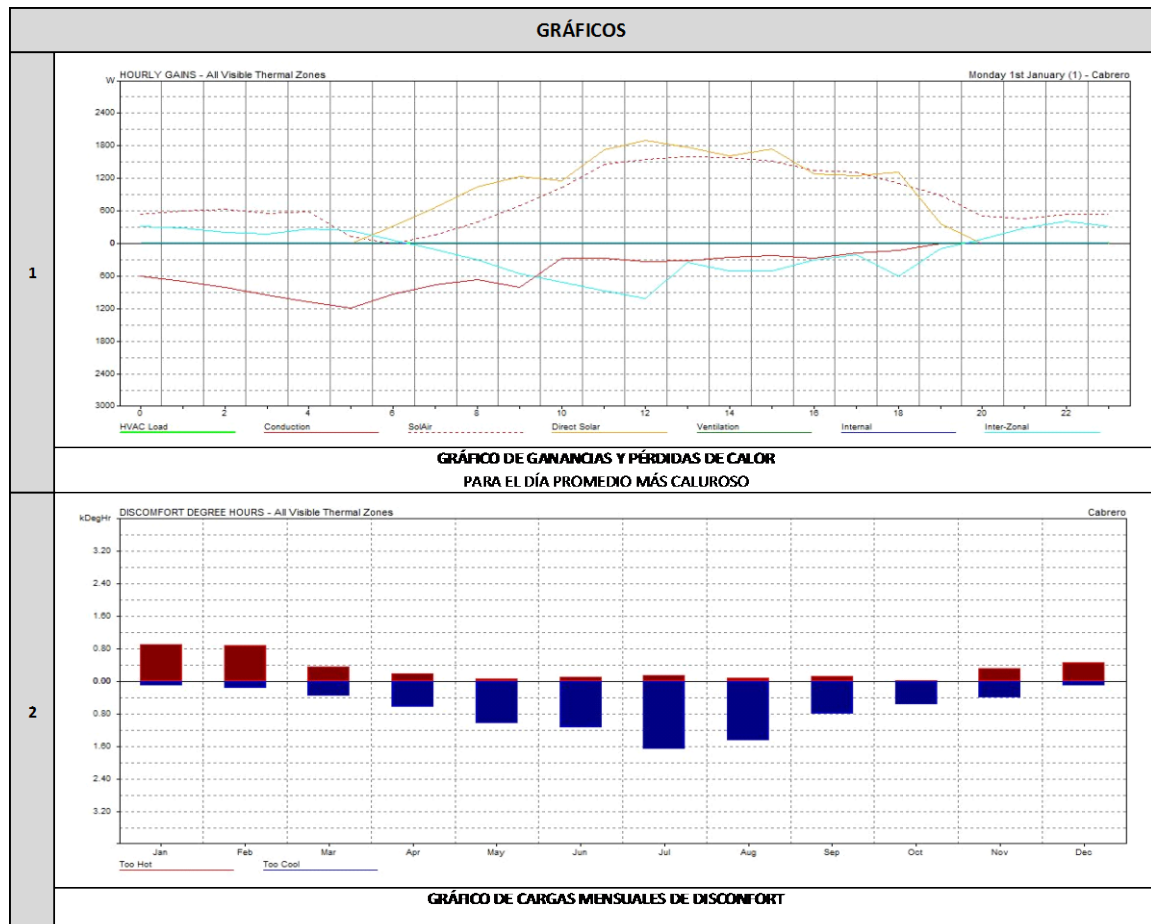


Figura 5. Gráficos según descripción

5. MODIFICACIONES AL PROYECTO

Debido a las observaciones y resultados obtenidos de los análisis anteriores, se realizan algunos cambios técnicos, para realizar un nuevo análisis térmico, y experimentar si con las intervenciones realizadas, se obtienen temperaturas de confort para los recintos e instancias en que se encontraban en desconfort térmico.

Las modificaciones son:

1. Aumento de espesor en muros perimetrales: debido a las pérdidas de calor, se aumenta la masa térmica. El espesor de revoque exterior en 2 cm y el espesor de la aislación de paja encofrada en 10 cm más, quedando en un total de 38 cm el muro terminado.
2. Cambio de ventanas: a cambio de la ventana de vidrio simple, se incorporan doble ventana, dejando una cámara de aire de 10 mm de espesor, en marco de madera. Se obtiene un valor de transmitancia térmica de $U=2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$, en comparación con el valor $U=6,00\text{W/m}^2\text{K}$ otorgado por la ventana actual de vidrio simple.

3. Intervención sala de reuniones 2° piso: debido a que en esta zona las temperaturas internas aumentan la máxima de confort es que se prueba con las siguientes estrategias:

- 3.1- Incorporación de cubierta verde, para regular y disminuir la temperatura interior.
- 3.2- Apertura de vanos, incorporación de pequeñas ventanas hacia el sur, para producir ventilación cruzada.
- 3.3- Incorporación de ducto vertical que permite la ventilación del recinto. Este ducto es regulado para controlar la ventilación en invierno.

5.1 Temperaturas horarias

Para el día más caluroso las t° interiores disminuyen, ingresando a la franja de confort dentro de los 26°C . Se informa que la variación es mínima, aproximadamente 2°C . Para el día más frío, no se aprecia un aumento en el confort térmico de consideración, las t° internas sí aumentan pero la diferencia es mínima.

5.2 Cargas mensuales de discomfort

Con las intervenciones realizadas hubo un aumento mínimo de calefacción interna para los meses de invierno y una disminución mínima de enfriamiento para los mismos meses de invierno, Por lo tanto la ecoescuela, con las intervenciones realizadas sigue siendo inconfortable para esta época, por lo cual se puede presumir que una alternativa viable de solución es incorporar algún sistema de calefacción⁶.

6. CONCLUSIONES

En relación al objetivo general planteado, que es comprobar mediante un método experimental si la aplicación de sistemas y técnicas constructivas de tierra son una alternativa térmica eficiente y sustentable de arquitectura y construcción, se concluye según los resultados obtenidos de la investigación y simulación lo siguiente:

1. Los materiales y técnicas constructivas empleadas en la envolvente del proyecto, en paja encofrada y revoque de tierra cruda, mejoran el U de referencia exigido en la Reglamentación térmica para la zona 4 en muros ($U = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$), obteniéndose un $U = 0,71 \text{ W/m}^2\text{K}$.
2. En cuanto al U solicitado en cubierta de $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ según reglamentación mencionada, la cubierta verde responde mucho mejor que la cubierta tradicional de zinc. (Cubierta verde $U = 0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$ y cubierta de zinc $U = 4,58 \text{ W/m}^2\text{K}$). Lo que nos demuestra con respecto a la transmitancia que la construcción natural sí es eficiente.
3. Luego de realizar el análisis, con los gráficos obtenidos, se concluye que la construcción tiene deficiencias en cuanto al bienestar térmico en invierno, ya que aquí se encuentra bajo la franja de confort, también presenta un enfriamiento interno y las mayores pérdidas de calor interior son por conductividad de los materiales de la envolvente. Según los resultados arrojados, se observa que esta pérdida se produce por un lado, por los cerramientos vidriados, debido al material ocupado, vidrio simple, el cual arroja una alta transmitancia ($U = 6.000 \text{ W/m}^2\text{K}$) generando zonas de baja resistencia térmica, y por otro lado, se debe a la gran volumetría y altura del espacio principal el cual requiere una mayor demanda de calefacción. Otro factor que provoca este enfriamiento interno es la falta de un espacio intermedio o chiflonera que controle las pérdidas de calor e infiltraciones con motivo del ingreso y salida de sus ocupantes.
4. No obstante, el resto del año se mantiene dentro de la franja de confort térmico, salvo algunos casos puntuales. Por lo tanto se estima que la solución puede ser el apoyo de algún sistema de calefacción, ya que según la data climática de la zona, las t° s promedios invernales van desde menos $1,4^\circ\text{C}$ hasta los 7°C , dentro de las horas de

ocupación de los recintos, según lo indicado en la tabla de temperaturas entregada por el software.

Modificaciones al proyecto:

5. En relación a los cambios aplicados al proyecto como la incorporación de doble ventanas con cámara de aire y el aumento del espesor del muro para el recinto del comedor, entre otras, que responden a la pérdida de t° interior de la envolvente, podemos observar que con estos cambios se alcanza una t° interior de 18°C lo cual es bastante confortable para los meses de invierno.
6. Al incorporar un sistema de calefacción (biomasa) para suplir el desconfort térmico que en los meses de invierno se manifiesta en el espacio principal, el análisis nos arroja una potencia energética demanda para calefacción de 280 kW, en los meses de junio y julio.

Además de los resultados técnicos es necesario reflexionar sobre la contribución sustentable que la arquitectura en tierra cruda realiza. En este caso puntual con la edificación de la Ecoescuela El Manzano junto a los sistemas y principios de construcción natural empleados en ella. Se integran fuertemente los aspectos sociales, en la participación del proceso de construcción; los aspectos económicos, como el desarrollo de economías locales y la disminución del costo de la construcción al promover la recolección y el reciclaje, entre otras; se potencia además el cuidado y respeto por el medio ambiente, evitando el deterioro de ecosistemas, reduciendo y minimizando el consumo de recursos naturales no renovables; se integran también aspectos de salud, bienestar físico y espiritual otorgados como por ejemplo, por las propiedades terapéuticas de la arcilla⁷. En relación a esto se concluye sobre la importancia de la revalorización de la arquitectura en tierra, su potencialidad de uso y su aporte a la sustentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Braungart, M.; McDonough, W. (2005). *Cradle to cradle. Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Madrid: McGraw-Hill.

Cid, J.; Mazarrón, F.R., Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*. Vol. 63,523, 159-169. Madrid: Universidad Politécnica, pp. 159-169.

Holmgren, D. (2002). *Permacultura. Principios y senderos más allá de la sustentabilidad*. Hepburn, Victoria: Holmgren Services.

Instituto de la Construcción (2006). *Manual de aplicación reglamentación térmica*. Santiago: Edicolor.

Municipio El Bolsón, Argentina. (2010). *Ordenanza de Construcción con tierra cruda*. Ed: Municipio El Bolsón. Disponible en <http://www.cidep.org/acerca-de-cidep/construccion-natural/ordenanza>

NCh 853 Of.91. *Acondicionamiento térmico. Envolvente térmica de edificios. Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*.

NCh. 1079–2008. *Arquitectura y construcción. Zonificación climática habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*.

Norma E.080. Adobe. “El Peruano”. 10 de Junio 2006. Normas Legales. 320937. <http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20071206-E-080-Adobe.pdf>

ISO 14040:2006E. *Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework*. Second edition 2006-07-01

Notas

¹ Norma ISO 14040:2006E, evalúa el ciclo de vida de los materiales (ACV).

² La palabra permacultura fue acuñada por Bill Mollison y mi persona a mediados de los años 70s para describir un "sistema integral y evolutivo de especies de plantas perennes o perpetuas y animales útiles al hombre".

Una definición más actual de la permacultura, que refleja la expansión del enfoque implícito en Permacultura Uno, es "el diseño conciente de paisajes que imiten los patrones y relaciones encontrados en la naturaleza, mientras generan abundante comida, fibras y energía para la provisión de las necesidades locales." Las personas, sus construcciones y las maneras como se organizan son de importancia central en la permacultura. Así es que la visión de la permacultura como agricultura permanente (sostenible) ha evolucionado a la de cultura permanente (sostenible)". (Holmgren; 2002, p.38).

³ Paulina Ávila, Bioconstructora, Co-fundadora de CIDEP y organizadora del Bioconstruyendo. Reflexiones obtenidas en foro del 4° encuentro internacional Bioconstruyendo 2013, en Ecoescuela El Manzano, Cabrero, Chile.

⁴ Carlos Placitelli, Arquitecto Uruguayo. Instructor del Bioconstruyendo. Reflexiones obtenidas en foro del 4° encuentro internacional Bioconstruyendo 2013, en Ecoescuela El Manzano, Cabrero, Chile.

⁵ La edificación no contempla piso ventilado.

⁶ Se proyecta construcción de estufa Rocket.

⁷ Enunciados en tratados de sustentabilidad, como por ejemplo: Protocolo de Kioto, Principios de Certificación C2C "Cradleto Cradle", Requisitos de certificación LEED, en la categoría *Materiales y Recursos*.

Currículos

Ingrid Valenzuela Fernández Arquitecta, UBB. Diplomada en Arquitectura Sustentable U. de Ch. Participó en 4° Encuentro Internacional Bioconstruyendo 2013, en Ecoescuela El Manzano.

Jeannette Roldán Rojas Arquitecta, U. de Ch. © Dra. UPM. Tecnologías Arquitectónicas y Constructivas. Académico Facultad de Arquitectura y Urbanismo. U. de Ch.