

**CASA PRIOR:
DOS CASOS DE CONSTRUCCION CON TIERRA COMO MATERIAL
SOSTENIBLE**

Lucia Esperanza Garzón Castañeda

RESUMEN

La construcción con tierra es una tradición vernácula que traspasa el tiempo e ingresa al mercado actual con algunas técnicas, proyectándose hacia una forma de expresión contemporánea. En este trabajo se comparte la experiencia de un equipo profesional que viene construyendo en Colombia algunos proyectos y prototipos de vivienda, aplicando varias tecnologías e innovaciones. Tecnotierra viene desarrollando varias propuestas que permiten demostrar e investigar diversos aspectos sobre la construcción con tierra, difundir las bondades y conocer las limitaciones que estas técnicas ofrecen. Este trabajo presenta dos viviendas proyectadas con varias innovaciones tecnológicas, donde se repensaron temas holísticamente en aspectos tecnológicos, sanitarios, energéticos, de gestión ambiental, coordinación modular, y uso de materiales menos contaminantes y saludables, analizando el ciclo de vida de la construcción, diseño y gestión sostenible.

Palabras clave: construcción con tierra, sostenibilidad, transferencias tecnológicas

INTRODUCCION

En Suramérica existe un bagaje ancestral de conocimientos muy extensos sobre arquitectura y construcción con tierra, con respuestas muy acordes a las condiciones ambientales de cada hábitat. Algunas de estas técnicas han venido mejorándose como la técnica mixta denominada en Perú y Chile ‘quincha’, mientras que en Colombia es llamada ‘bahareque’ y, en general ‘bajareque’ en Centroamérica.

Algunas de estas técnicas vernaculares han empezado a revalorarse y posicionarse en diferentes países, en la medida que se conocen los potenciales tanto en aspectos ambientales y ecológicos como en la accesibilidad de los materiales naturales, además de estar enraizadas en la cultura constructiva y las tradiciones de este continente.

Durante cientos de años existió un equilibrio ambiental, pero en el último siglo, con el crecimiento demográfico y tecnológico, el modelo de mercado que induce a aplicar sistemas constructivos de alto consumo energético, y la introducción de nuevos materiales industriales con ciclos de vida poco racionales, han evidenciando la necesidad de explorar y replantear el pasado con una mirada hacia el futuro. Con la problemática ambiental que la humanidad enfrenta, las técnicas de menor consumo energético y menor impacto ambiental empiezan a darle un vuelco a la arquitectura y construcción en el siglo XXI, cuestionando el modelo de desarrollo que solo ofrece un futuro incierto, es urgente iniciar acciones tendientes a la sostenibilidad integral, como un compromiso ético de la civilización y explorar nuevos paradigmas para la construcción del hábitat.

Estas técnicas con el uso de la tierra como material de construcción, y particularmente en el marco de la sostenibilidad, hoy son investigadas sistemáticamente y con resultados científicos, como la ‘quincha prefabricada’, la cual desde hace tres décadas se promueve con respaldo de estudios técnicos que ofrecen valores agregados en diversos aspectos: tales como la calidad de vida, bajo consumo energético, confort, bienestar para la salud, economía y conservación del patrimonio socio-cultural.

Evaluar e investigar técnicas con materiales no convencionales que permitan explorar sistemas constructivos de menor impacto, realizar transferencias tecnológicas e investigar, es la labor de Tecnotierra, entidad que propicia un desarrollo con equidad, al ejecutar proyectos demostrativos como la Casa Prior, presentados en este trabajo.

CASA PRIOR: DOS PROYECTOS DEMOSTRATIVOS

En este trabajo se presenta el proyecto de diseño y construcción de la obra Casa Prior, realizado de agosto 2010 a diciembre 2011, el cual incluye dos obras que integran varias innovaciones tecnológicas en una casa principal y la casa de caseros, proyectos desarrollados con carácter experimental y demostrativo. La casa de caseros se realizó como experiencia como prototipo para la producción de vivienda social sostenible.

La obra está localizada en la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos, sector rural, Municipio de Subachoque, Departamento de Cundinamarca, en el ascenso al páramo más alto del Departamento El Tablazo.

Esta población se encuentra en las coordenadas GPS 04°55'59"N y 74°10'59"W, sobre 2.850 m.s.n.m. y con estas condiciones ambientales: temperatura promedio: mín. 10° - máx. 15°; humedad: 82 %; viento: WNW 7 km/h; visibilidad: 10 km; presión: 1024 hpa; precipitaciones: 0.7 mm a 1.5mm; sensación térmica: 14° y en la noche baja la temperatura a 10 grados.

Casa de caseros y prototipo de vivienda social sostenible

En la obra inicial, se concibió una vivienda de estrato bajo económicamente, de 86 m², un piso y cuya construcción tomó cuatro meses y medio durante el año 2010. Surge con el propósito de ser una vivienda dentro de la tipología popular de la región y con posibilidad de desarrollo progresivo.

En este prototipo se realizó la transferencia tecnológica del sistema avalado en Perú denominado ‘quincha prefabricada’, buscando como objetivos ‘una arquitectura humilde pero digna’, adaptar la técnica a la realidad colombiana para investigar el aporte en el costo energético, aminorar el calentamiento global y evaluar el confort térmico.

Con este prototipo se realizaron dos investigaciones, un primer análisis del ciclo de vida y costo energético, y el coportamiento bioclimático para conocer la respuesta de este sistema constructivo en un piso térmico tipo ‘páramo’, ecosistema de altura de Los Andes, que se caracteriza por tener un alto nivel de pluviosidad y temperaturas poco confortables para el hábitat humano.

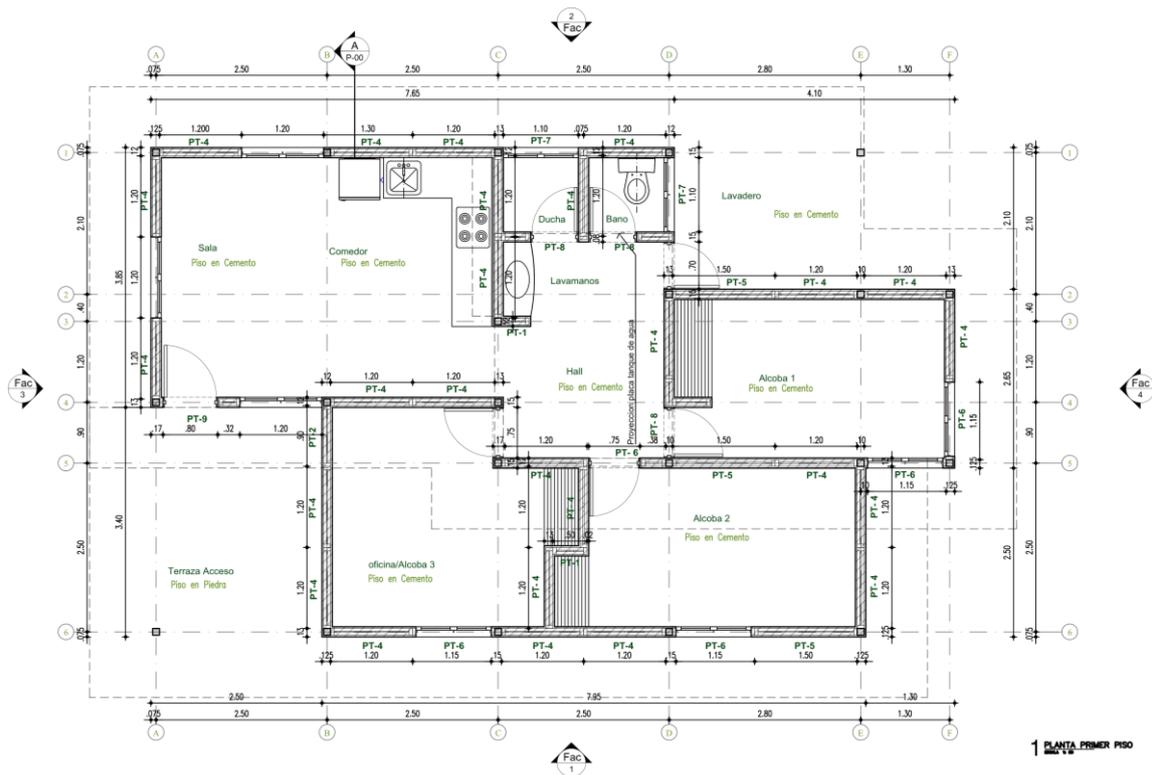


Figura 1 Plano arquitectónico del prototipo Vivienda Social Sostenible, VISS. Casa de Caseros, Casa Prior, en quincha prefabricada con madera, caña y tierra.

Casa principal

La casa principal, de tres pisos en 600 m², localizada en el mismo lugar, se construyó en catorce meses con materiales naturales y acabados exigentes y de alto costo. El proyecto pretende mostrar una construcción de alto estándar donde se aplican técnicas de construcción con tierra y se brinda calidad habitacional con un aporte ambiental respetuoso, reducción del costo energético y uso racional de recursos naturales y locales. La casa logra disminuir los consumos energéticos de los materiales de construcción, entre ellos el cemento, y evitar el uso de materiales de alto impacto basado en el análisis del ciclo de vida, brindar una arquitectura artesanal de alto estándar con materiales ecológicos.



Figuras 1, 2 y 3. Casa Prior: vivienda de caseros y vivienda principal; vista del interior y exteriores.

Se evaluó el aporte de materiales al realizar una investigación para establecer indicadores con medidores de consumo energético por metro cuadrado, sin descuidar los índices del confort arquitectónico.

Este proyecto incluye varias técnicas, usando en las cubiertas ‘adobito recostado’, técnica centenaria de origen mexicano, con bóvedas auto-portantes construidas con pequeños formatos de bloques de tierra cocida y cruda. El cerramiento total de la construcción fue con la técnica de BTC o bloque de tierra comprimida. Los sistemas sanitarios emplean humedales artificiales con plantas para el tratamiento natural de las aguas, se usó la cal como cementante y se innovó con los pavimentos filtrantes.

ANTECEDENTES

La filosofía del proyecto es buscar un equilibrio y armonía con el medio ambiente, que promueva una arquitectura amigable con el planeta bajo una visión tecnológica donde se pueda demostrar la versatilidad de los sistemas constructivos con tierra para multiplicarlos y transferirlos. Al realizarse estos prototipos en Colombia, el objetivo, dirigido a los dos estratos extremos, bajo y alto, tuvo como finalidad mostrar que los materiales y las técnicas no poseen estatus socio-económicos y, al ejecutarse los proyectos, se buscó investigar la viabilidad de algunos sistemas constructivos, experimentar varias transferencias tecnológicas, conocer y evidenciar los aciertos y dificultades y sistematizar los costos económicos, especialmente estudiar los valores energéticos. De esta forma, se quería demostrar la competitividad de aquellos sistemas dentro del mercado convencional de la construcción, incluyendo parámetros bioclimáticos e indicadores de la arquitectura sostenible.

‘En Colombia según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, existe un déficit habitacional total de 3.828.055 hogares, de los cuales 2.520.298 (66%) padecen déficit cualitativo, es decir, viven en lugares que no cumplen con los estándares mínimos de calidad y por ende, no ofrecen una vivienda digna a sus moradores; y 1.307.757 hogares, (34%) que adolecen de un déficit cuantitativo, es decir, que no tienen vivienda’. Ramírez, G. I (2011).

La necesidad de vivienda en Colombia, cuyo 20.4 % de la población se encuentra en varios rangos de extrema pobreza, similar a la de otros en países de la región, como Perú y México, lugares donde se desarrollaron las investigaciones de las técnicas, también con población mestiza, extrema riqueza natural y amplia biodiversidad, con ecosistemas vulnerables, climas similares y gran potencial agrícola por sus economías primarias basadas en el sector rural, comparten la necesidad de generar empleo, confrontando la inequidad social donde el derecho a la vivienda puede disminuir esta brecha.

Suplir la demanda de vivienda con sistemas convencionales es impensable en el mercado formal, mas aún con los costos ambientales que este consumo estaría generando al desequilibrar ambientalmente la región. Sería más acertado recurrir a nuevas alternativas a partir de experiencias basadas en sistemas constructivos como el prototipo aplicado que surgió de la sabiduría vernácula y local. Ahora, tratado con una mirada científica, permite articular procesos sociales de participación incluyente, accesible y amigable con el medio ambiente, como la técnica llamada quincha prefabricada, o la albañilería con BTC bloque de tierra comprimido, implementada en la casa principal. Puede ser una alternativa.

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS APLICADOS EN EL PROYECTO CASA PRIOR

El sistema de quincha prefabricada, registrado en Perú como ‘sistema constructivo no convencional’, de acuerdo a la Resolución Ministerial No 106-95-MTC/15.VC del 21 de marzo de 1995, es un sistema desarrollado por el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda, ININVI, en 1987, entidad que dió su aporte para la construcción de viviendas populares. En ese entonces, y posteriormente avalado por el Servicio Nacional de Normalización, Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción, se presentó con una cartilla para la fabricación y construcción del sistema: *‘Se sustenta en la sencillez del proceso, la posibilidad del uso de materiales locales, madera y caña, disponibles en muchas regiones del país, así como las condiciones de seguridad ante sismos, confort y bajo costo de las edificaciones construidas con este sistema. Es un sistema constructivo tradicional usado en Perú desde épocas prehispánicas, adaptado en la colonia hasta llegar en el siglo XVIII con el mayor auge. Hoy la quincha está en monumentos históricos y existe en un patrimonio arquitectónico de algunas viviendas construidas que han logrado sobreponerse a efectos sísmicos, a las inclemencias del clima y al paso del tiempo’*. El sistema constructivo, considerado de tecnología blanda, ejecutado dentro de cadenas sostenibles que protejan el entorno, y con un equilibrio con el medio ambiente, es una técnica asimilable culturalmente, de bajo costo, sencillo de implementar y accesible a los sectores populares.

En Colombia la quincha se denomina ‘bahareque’ y, aunque existe en casi todas las regiones, se estima que no ha sido estudiado suficientemente, tratándose de un patrimonio intangible que podría convertirse en una respuesta tecnológica viable. Esta técnica abarca desde la costa atlántica hasta el interior, donde se han realizado estudios, es utilizada de forma espontánea en la zona andina, región amazónica, sector pacífico y zona llanera y, aunque no sea valorado está presente aún hoy, culturalmente, como construcción mixta con tierra, conveniente para el desarrollo agroforestal y la biodiversidad cultural.

Adicionalmente, el sistema está en proceso de legalización y aceptación dentro de las técnicas no convencionales y viene abriendo su espacio normativo en varios países. En el caso de Colombia, por el terremoto en Armenia, zona cafetera, 1999, surgió la Norma Sismoresistente NSR 98 (1998) en el Título E, donde se incorporaron los requisitos mínimos para el diseño y construcción de casas de uno y dos pisos con ‘bahareque encementado de madera y guadua’.

Esa técnica fue promovida con un manual de construcción sismo-resistente de viviendas en bahareque encementado, realizado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, con apoyo financiero del Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo Social del Eje Cafetero, FOREC, y la Fundación CORONA, y en la actualidad se retomó con la Norma NSR 10 (2010) que incluye el capítulo de madera y guadua.

Bahareque: *“Es considerado una TECNICA MIXTA, por la características de tener una estructura con madera, bambú u otro material vegetal y una estructura secundaria que envuelve las paredes y cobertura de un material de relleno (la tierra con fibras). La quincha o bahareque es un sistema muy pertinente y posee muchas ventajas para los países de América Latina tanto en aspectos culturales (antropológicos y sociológicos), como físicos (recursos naturales), económicos y técnicos, al responder eficientemente en las zonas de sismicidad media y alta.*

Quincha prefabricada: Transferencia tecnológica realizada en la casa del mayordomo, surge de la coordinación modular y ofrece beneficios en la racionalización de recursos y de espacios, facilita la economía, simplifica los procesos de montaje y producción desde el proyecto arquitectónico hasta la ejecución de la obra. La modulación a partir de una malla reticulada tridimensional, propicia la racionalización en el corte de los materiales y permite la manipulación de una sola persona (que puede cargar la unidad de cada panel, ya que el peso lo permite).



Figuras 4, 5, 6 y 7. Sistema de quincha prefabricada VISS / casa cuidanderos / Casa Prior

El sistema constructivo consiste básicamente en el empleo de bastidores de madera aserrada, rellenos con cañas redondas, completas y flexibles que se trenzan. No requiere el uso de puntillas o alambre en su sujeción. Lleva revocados con barro mezclado con fibras vegetales que ofrecen al revestimiento durabilidad y acabados diversos de acuerdo al gusto y acabado. Puede pañetarse para darle un acabado de acuerdo al gusto con materiales diversos como yeso, cal y arena, cemento u otros. Se pueden realizar viviendas de uno y dos pisos, con cimentaciones simples y posibilidades de desarrollo progresivo, donde la comunidad puede participar de forma activa, tanto en el montaje como en el relleno y en el revestimiento. Dependiendo del lugar y los recursos naturales el sistema debe adaptarse aprovechando las virtudes de cada material, como es el caso de las maderas que hacen parte de la economía en la producción de cadenas sostenibles. La madera es un material que reúne muchas ventajas, es un recurso renovable por excelencia, es liviano y posee excelentes cualidades en sus fibras, permite una estructura segura y estable.

Bloque de tierra comprimida btc o bloque de suelo cemento BSC. El bloque de tierra comprimida, generalmente llamado BTC, es el elemento de albañilería hecho con tierra (suelo) compactada en el molde por compresión o prensado, seguido por el desmolde inmediato. Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del BTC como su resistencia a la compresión y a la acción abrasiva del viento, impermeabilidad, durabilidad, puede utilizarse la estabilización granulométrica, que consiste en la mezcla de proporciones de diferentes tierras, y la estabilización química en la cual se agrega un aditivo químico a la tierra, generalmente aglomerante tipo cemento o cal. Es posible fabricar BTC de diferentes formas y tamaños, siendo usual el BTC macizo y el BTC con huecos, ambos con y sin encajes. El BTC puede ser usado en cualquier tipo de construcción substituyendo los bloques cerámicos o de concreto convencionales, sea en albañilería para cerramiento o mampostería portante, siempre que se observen las capacidades resistentes establecidas en el proyecto. Las paredes pueden estar tanto con el mampuesto a la vista (cuando estén protegidas de la lluvia), como cubiertas pudiendo recibir revestimiento de mortero, diversos tipos de pintura o revestimiento cerámico. Además, presentan otras ventajas, tales como: ser fáciles de fabricar, mantienen la regularidad de las dimensiones, brindan la posibilidad de control eficiente de la resistencia a la compresión.



Figuras 8, 9 10 y 11. Sistema de albañilería en BTC / Vivienda Principal / Casa Prior.

En Colombia, esta técnica viene desde los años 50s, con el desarrollo de la máquina CINVA RAM, inventada en el Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento de Colombia, CINVA, y hoy avalada por la NORMA 5324 de ICONTEC, Norma Técnica Colombiana para bloques de suelo cemento para muros y divisiones, donde se encuentran las respectivas definiciones, métodos de ensayo y condiciones de entrega del producto. Este mercado se ha venido abriendo por la tradición de albañiles con ladrillo en nuestro contexto colombiano. En la casa principal del proyecto, la totalidad de los muros dobles son hechos en este material, para la obra se produjeron 40.000 unidades.

Bóvedas mexicanas o ‘adobito recostado’. ... *‘La bóveda de tierra consiste en un sistema constructivo que recupera una técnica tradicional transmitida de generación en generación, desarrollada principalmente en el centro de la República Mexicana..... Posee una gran ventaja sobre otros sistemas de construcción por ser un sistema de bajo costo, a base de bloques de tierra comprimida (BTC) o adobe, y no requiere de cimbra ni concreto armado’* (Neves y Borges Faria, 2011).



Figuras 12, 13 y 14. Bóvedas mexicanas en la vivienda principal y acceso de Casa Prior

La bóveda mexicana de tierra es una técnica constructiva vigente que representa una alternativa de cubierta económica, de bajo impacto ambiental y funcional para contextos tanto urbano como rural, que se origina espontáneamente, fruto del saber popular, en el centro de la república mexicana, por lo que también se le conoce comúnmente con el nombre de ‘bóveda del bajío’ (correspondiendo los estados de Querétaro, Guanajuato y Jalisco). Regionalmente se conocen también como ‘bóveda de cuña’, ya que en general, se construyen con ladrillos de barro cocido de medidas 5 cm x 10 cm x 20 cm llamadas ‘cuñas’. Ramírez Ponce (2001) las denomina ‘cubiertas de ladrillo recargado’ por ser el ‘recargue’ su principal característica. En la casa principal fueron hechas todas las cubiertas con seis formas de bóvedas, unas con ladrillo cocido y otras con bloque de tierra extrusado, transferidas directamente por bovederos mexicanos contratados para tal fin.

PARAMETROS DE DISEÑO SOSTENIBLE PARA LOS PROYECTOS

- Uso de materiales de baja emisión de carbono y menores consumos energéticos.
- Diseño de la vivienda principal con muros dobles (30 cm con vacío interior) y el emplazamiento de los dormitorios y espacios principales hacia el oriente y occidente, captando mayor radiación durante la mañana y la tarde. (ya que el lugar ofrece temperaturas más bajas del nivel de confort).
- Cerramiento de ventanería, con madera natural y con postigos de madera en la casa pequeña, y en la casa principal con persianas de madera, para disminuir el coeficiente de pérdidas por los vidrios o cristales y generar así un puente térmico.
- Elementos constructivos que permiten la entrada de luz natural, evitando sobrecalentamiento y aprovechando la energía solar con colores oscuros y materiales con buena conductividad térmica.
- Conciencia del uso del agua con la incorporación de tecnologías renovables destinadas a cubrir su demanda y funcionar con un sistema circular de autoabastecimiento, disminuyendo el calentamiento global y evitando el agotamiento de los recursos naturales. Para ello en el diseño del proyecto se separaron las aguas negras y grises para permitir el reciclaje del agua gris, (lavamanos, lavaplatos, ducha, lavadero) que pasa por una trampa de grasas y surtir el agua demandada para el sistema sanitario (inodoro); las aguas negras se procesan con tanques sépticos no filtrantes, un filtro anaeróbico y concluye con un humedal artificial, garantizando la absorción de las bacterias y posibles contaminantes. Las aguas de lluvias son recolectadas en tanques y el agua caliente se produce por el colector de radiación solar con equipos localizados en las cubiertas.
- Adicionalmente se vienen realizando los estudios del ciclo de vida de los materiales aplicados en esta construcción y se evaluó comparativamente la casa de cuidanderos o primera vivienda en el consumo energético para la producción de estos sistemas, con una herramienta de diseño que investiga y evalúa los impactos ambientales de un producto durante todas las etapas de su existencia (extracción, producción, distribución y desecho) buscando la producción sostenible con recursos naturales locales.
- En la etapa de diseño arquitectónico se pensó en la racionalización de los materiales entre ellos la madera, que se estableció por coordinación modular, ahorrando desperdicios que en el caso de este prototipo consistió en cincuenta (50) paneles ensamblados con madera aserrada (pino patula, sembrado y adquirido en la zona) bajo las premisas del sistema constructivo peruano, para las necesidades de una familia popular de tres o cuatro hijos.

PROTOTIPO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL SOSTENIBLE, VISS

El trabajo presenta una tipología de vivienda social local de 86 m², con tres habitaciones, sala-comedor-cocina, hall o espacio de estar, patio de ropas cubierto, y un baño múltiple con tres servicios, distribuidos bajo una malla que propone la modulación de 1.20 m y 2 m de altura, 40 cm de sobre-cimiento y 2,40 m de altura.

La idea de construir la vivienda de los cuidadores como prototipo de una vivienda de interés social sostenible (VISS) en Colombia, surgió por encontrarse el proyecto muy cerca de la capital del país y facilitar la difusión de este tipo de propuestas, tanto para la vivienda rural como urbana.

En condiciones ambientales similares a la región cundí-boyacense, de alta densidad poblacional, se buscó la consecución y adaptación de los materiales locales para los procedimientos técnicos y la capacitación en cuanto parte de la transferencia tecnológica del sistema constructivo.

Este proyecto inicia los planos en el año 2009, durante el año 2010 se construye el prototipo social y la obra se inicia en agosto 2010, concluyendo en enero del 2011. En noviembre de ese mismo año se inicia la construcción de la segunda vivienda o casa principal, con un área de 600 m^{2.}, de alto estándar y otras innovaciones tecnológicas.

Criterios de bio-construcción social

Se usaron recursos materiales naturales y renovables, acordes con la salud y el medio ambiente, tales como la tierra, las maderas naturales, la cal, los granitos y mármoles locales, vidrios, evitando materiales menos sostenibles, con ciclos de vida complejos y de alto impacto ambiental, como PVC, poliestireno expandido, aluminio, etc.

El prototipo de la vivienda se diseñó bioclimáticamente desde el emplazamiento con bio-materiales y técnicas pertinentes, partiendo del uso de la energía solar pasiva, captando el sol a través de la envoltura de paredes y cubierta, y el uso de la tierra como principal material en volumen y peso, por ser un material disponible en el lugar, aplicándolo con técnicas y diseños que se comportan térmicamente combinando forma, color y naturaleza para aprovechar sus bondades y propiedades.

El confort térmico se mejora con la tierra que, con su inercia, absorbe y demora el paso de calor solar, conservándolo y emitiéndolo al interior en horas de la noche.



Figuras 15, 16, 17 y 18. Prototipo VISS, Vivienda para cuidanderos, Casa Prior.

En la misma acción por lograr un entorno sostenible, se usó pavimento permeable de geoceldas con 70 % de material petreo y césped con 30 % de materia orgánica, innovación tecnológica que reduce el calor superficial y absorbe la precipitación de forma eficiente.

Sostenibilidad y diseño

La arquitectura de la obra se propuso lograr el bienestar ambiental interno con energía natural como recurso principal y evitando el uso de fuentes no renovables para obtener el confort térmico mediante la aplicación de materiales no convencionales y controlar la humedad y favorecer la aislación térmica y acústica. El resultado fue la aplicación de un conjunto de recursos y elementos que, localizados estratégicamente, presentaron un resultado arquitectónico con gran calidad ambiental.

El proyecto paisajístico integra el ambiente exterior con el uso del agua como recurso valorado, el manejo de taludes y gaviones de piedra para la topografía quebrada y la siembra de árboles, arbustos y plantas endémicas locales diversas, como también algunas enredaderas, los cuales se sumaron al paisaje ya existente. La mayoría de estas especies son endémicas, plantadas intencionalmente para atraer la fauna local existente.

En la casa de los cuidadores, proyectada para un estrato social bajo y de construcción económica, durante la fase de diseño, se realizó un estudio de la viabilidad del sistema constructivo ‘bahareque’ aplicando el concepto bioclimático como condición ambiental importante en un clima andino con bajas temperaturas. Basado en el conocimiento geográfico, climático y la experiencia local, se concluyó la etapa de diseño aplicando un tipo de pared y cubierta con técnicas no convencionales, escaso grosor, con materiales y diseño de los elementos que ofrecieran adecuada aislación térmica.

La mejora más importante consistió en la disminución de los efectos térmicos y captación de radiación en muros y techos, buscando aumentar la temperatura interna. Para mejorar el comportamiento de los techos como elemento aislante, se aplicó el carbón vegetal, material usado en comunidades rurales vernáculas de América, con 0,3 á 0,5 kgf/dm³ de peso específico, 0.07 Kcal/mh°C de valor calorífico y 0.20 Kcal/kg°C de calor específico. La densidad fluctúa de 1 a 1.8, pero suele ser diferente en cada tipo de carbón, cuya dureza varía entre 0.5 y 2.5.

Este material, además de su capacidad aislante, tiene también la propiedad de absorber la humedad y el electromagnetismo; no se tiene constancia que el carbón tenga efectos negativos sobre el ambiente. Todo el proyecto colecta las aguas de lluvia para almacenarlas en tanques y reusarlas como agua potabilizada, y en tiempo seco se complementa el abastecimiento con aguas de un pozo profundo debidamente oxigenada y tratada.

Recursos, procedencia y uso de materiales

Los materiales de la obra (madera, tierra, cal, carbón vegetal, arena, piedra y otros) fueron extraídos o acarreados de menos de 200 Km de distancia, y buena cantidad son del mismo lote o de sitios vecinos, con el fin de reducir las emisiones de carbono y el uso de energía fósil. Se usó mano de obra local, realizando transferencia tecnológica, capacitando y colectivizando la información. La obra se proyectó con una visión integral de bajo impacto ambiental. Los recursos locales, usados con criterios ecológicos, fueron elegidos dentro de la filosofía de producción sostenible; por ello, aunque no existan certificaciones, fueron cultivados y producidos de forma racional mediante cadenas productivas medianamente ecológicas.

Madera y cañas. En algunas regiones de Colombia, dentro de la política agroforestal, se ofrecen buenas calidades de madera para la construcción aunque de forma incipiente. A partir del año 2.000, la oferta de la guadua aparece como un producto accesible y de bajo costo. Con la madera se requiere incrementar sistemas de siembra, producción, tratamiento y preservación masivos, desarrollar tecnológicamente nuevas especies y formar técnicos y profesionales idóneos, que conozcan sus propiedades, posibilidades y limitaciones.

Como la Norma NSR 10 Colombiana introdujo el uso de madera y guadua, se viabiliza a estos sistemas constructivos y materiales, y se hace énfasis en la sostenibilidad en la legislación. Por ello empiezan a conjugarse dos variables muy importantes para la aplicación del sistema constructivo propuesto de la quincha prefabricada. Toda la estructura es de madera.

El bahareque tradicional es un sistema genérico que consiste en la superposición de los diferentes cuerpos o componentes, sin vinculación decisiva entre ellos: cimentación, entresuelo del primer piso, entrepiso de madera del segundo piso, muros del segundo piso, en sucesión ascendente. El sistema exige anclajes y conexiones estructuralmente eficaces entre los cuerpos enumerados, (AIS, Manual de rehabilitación, 2001).

Para el prototipo, tomando en cuenta las carencias del bahareque tradicional, se procuró construir un sistema de platinas que sujetaron los diferentes componentes y armaron un cuerpo articulado y flexible. Todas las estructuras quedaron con una sucesión ascendente que conectaron los diferentes cuerpos con continuidad vertical y horizontal, conexiones y arriostramiento.

La vivienda de bahareque fue construida con una estructura de columnas y vigas en madera aserrada, racionalizada en secciones de 10 x 10 cm. Sobre la estructura vertical de los paneles, se colocó una viga de amarre en madera, ensamblada en cada unión de columna con diferentes tipos de platinas y atravesadas por varillas roscadas que articulan la estructura superior a la estructura vertical. Después se trenzaron las cañas para rellenar las paredes y se montaron de forma vertical para recibir el revoque con tierra estabilizada.

Piedra. El sobre-cimiento se realizó en piedra de la zona, con un pedestal en cada base de columnal en concreto de 20 x 20 cm y 40 cm de altura. Para sujetar los paneles, se dejaron tres hilos de varillas roscadas en cada bastidor, permitiendo el empate entre elementos individuales y planos continuos de muros. También entre los paneles y en tres puntos verticales se colocaron pasadores de varilla roscada con tuercas, para unir los paneles a las columnas y entre ellos.

Tierra. La tierra como material, ampliamente disponible, por su formación geológica y los procesos físicos de la naturaleza, su composición depende del lugar de extracción variando sus características con gran diversidad según el lugar. Conociendo sus propiedades y técnicas, en general, es un recurso disponible y de muy bajo costo.

En las técnicas mixtas, las menos exigentes sobre sus componentes, se pueden estabilizar con múltiples fibras vegetales. Los tipos de tierra más convenientes para estas técnicas mixtas, según los estudios realizados por Hays y Matuk, son las que contienen granos finos, donde más de la mitad de las partículas pasan por la malla No. 200 de 0,075 mm.

Componentes de los suelos para la arquitectura con tierra

- a. **arena:** elemento importante por ser el suelo el que mantiene estable la mezcla; según algunas investigaciones se recomienda un mínimo de 50 % de arena.
- b. **limo:** elementos de transición entre arenas y arcillas, susceptible a variaciones de volumen en presencia de agua y sin gran cohesión como las arcillas; por ello, un muro con exceso de limos puede degradarse con la humedad, recomendando no supere 30 %.
- c. **arcilla:** principal elemento de cohesión del suelo, permite la adherencia de las fibras de la mezcla, recomendándose una presencia de 7 a 20 %, suficiente para proporcionar la adherencia y lograr cierta plasticidad a la masa. Según la naturaleza geológica, existen diversas arcillas, algunas con gran capacidad para absorber agua, lo cual provoca hinchamiento e inestabilidad. Para ello se debe realizar una selección de suelos y conocer el material como cualquier técnica constructiva.

Aditivos y estabilizantes: El uso de la tierra como material estabilizado con cal, parte de la piel del proyecto, es un recurso local accesible y de la propia excavación del terreno. *“El uso de la cal como cementante tiene sus orígenes en la época prehispánica, ya que los vestigios encontrados revelan que la mayoría de las ciudades fueron construidas con este material y piedras de distinta morfología. Actualmente los sistemas constructivos no la consideran y la gama de productos disponibles es cada día mayor, sin embargo no hay un material sustituto de la cal que brinde tantos beneficios a un costo tan accesible. La cal tiene innumerables usos, en la construcción, por ejemplo, servir para mezclas de albañilería, recubrimientos o aplanados, pegado de tejas, impermeabilizantes, y como pinturas.”* (ANAFACAL, 2011)

Además se usan muchos aditivos que pueden mejorar y ayudar a conseguir una envoltura con mayor resistencia mecánica, durabilidad, impermeabilidad y mejor acabado estético.

Otros productos orgánicos y fibras. Para los muros de la casa de bahareque se usaron fibras como el tamo o la paja de trigo que desempeña diversos roles en el relleno tales como ductilidad, mejoramiento térmico y mejoramiento estructural del revestimiento. En general, se emplean fibras para mejorar la capacidad de adherencia de la tierra a la estructura auxiliar, y evitar el agrietamiento de las tierras muy arcillosas al secarse.

Cubiertas. Las condiciones ambientales del trópico exigen responder a variables locales que propicien cubiertas con aislación térmica y acústica y que sean impermeables, livianas, fáciles, económicas, sostenibles y saludables. Por ser uno de los rubros de la construcción que consume entre un 25 a 30 % del presupuesto, la cubierta es un tema importante en la investigación de una vivienda sostenible por el desarrollo tecnológico requerido en cada región y su accesibilidad a los sectores populares en la zona ecuatorial. En Iberoamérica se vienen desarrollando investigaciones sobre técnicas novedosas de construcción de cubiertas con nuevos materiales. Es relevante seguir profundizando y transfiriendo estas tecnologías con el objeto de explorar soluciones técnicas, funcionales y sociales para la construcción de las cubiertas en contextos locales.

En esta obra, con la innovación de la cubierta con técnicas mixtas (soporte de cañas, capa de 5 cm de carbón vegetal y capa de tierra con cal de 3 cm) se demostró que hay otras posibilidades de realizar cubiertas sin materiales y aislantes convencionales. El diseño de la cubierta de esta vivienda se proyectó con una forma orgánica que contribuye a aumentar las bajas temperaturas nocturnas (10 grados promedio), mejorando el confort.

Los materiales que aligeran el peso, reducen el costo en estructuras, debiéndose cruzar las variables de acuerdo a las condiciones de cada lugar. Este sistema constructivo proporciona mejores condiciones térmicas en el interior. En el techo se colocó el panel de energía solar para calentamiento del agua que también se monitoreó durante el primer trimestre y ofrece un promedio de 42 a 45 C con una temperatura exterior que está en una media de 14 C.

CONCLUSIONES

Del proyecto de la Casa Prior, que ofrecen diversos tópicos de investigación, se presentan los resultados del prototipo VISS, con la principal conclusión sobre aspectos ecológicos y de viabilidad de la técnica. Los aspectos térmicos y energéticos están analizados en otro trabajo (Evans, de Schiller, Garzón, 2012). El sistema constructivo merece ser investigado con mayor profundidad, para que junto con otras construcciones demostrativas, se mejore el confort interior con mayores espesores tanto en muros como en cubiertas, para así lograr un nivel de confort más estable.

En algunos aspectos técnicos y constructivos se debe mejorar y racionalizar procesos de este sistema constructivo si se espera que responda a las condiciones climáticas del páramo. El bahareque es un sistema constructivo competitivo en el mercado, sin restricciones de calidad y con altos beneficios por la economía, coste energético y sostenibilidad, dando como resultado un producto de valor estético. Para que estos proyectos se difundan y multipliquen es necesario promover cambios de paradigmas, fundamental para valorar y conocer técnicas no convencionales.

La obra, como producto, hoy brinda un resultado de calidad, permite de forma tangible conocer las ventajas y evidencia diversos aspectos de valor ecológico asociados a la sostenibilidad que, dentro de un diseño diferente y atractivo, facilita la aceptación social e institucional para introducir modelos diferentes a los ya conocidos.

La Casa Prior de quincha prefabricada es una alternativa viable para acceder al mercado de vivienda de interés social sostenible (VISS), establecido por el Ministerio de Vivienda y Medio Ambiente de Colombia. El costo, con acabados incluidos, es aproximadamente 250 US\$ el m², en enero 2010. A futuro, con economías a escala, se estima que se puede reducir su costo en un 25 % y, al racionalizar los procesos de producción, se podrán reducir los tiempos de producción, importante aspecto de sostenibilidad de esta obra.

Si bien los resultados relacionados con el bajo impacto ambiental están en proceso de estudio, se estima que causan una menor huella ecológica. De acuerdo a la investigación que se está realizando, este tipo de construcción está un 35 % más bajo en su consumo de energía que una misma construcción con materiales convencionales. Además tiene valores agregados en la generación de empleo y el reparto económico, sumado a la recuperación patrimonial y cultural de sabidurías ancestrales volcadas a lo contemporáneo.

BIBLIOGRAFÍA

- AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2001). *Comportamiento sísmico del bahareque de guadua y madera*. Boletín Técnico No 56., Mayo 2001, Bogotá.
- ANFACAL, Asociación Nacional de Fabricantes de cal. (2011). http://www.anfacal.org/usuarios_menu.htm
- Ángel Ospina, C.; Sánchez Gama, C. (1990). *El bahareque en la región del Caribe*. Módulos 1-9.: FIC, SENA, Bogotá.
- Evans, J. M., de Schiller, S. y Garzón, L. (2012). *Desempeño térmico de viviendas construidas con quincha*, en Construcción con Tierra 5, Buenos Aires.
- Hays, A.; Matuk, S.; Vitoux, F. (1986). *Técnicas mixtas de construcción con tierra*. Craterre, América Latina, Lima.
- Junta del Acuerdo de Cartagena: Cartilla de construcción con madera, 1980; *Manual de diseño para maderas*, 1984, Manual del grupo andino para la preservación de la madera, 1988. Proyecto PADT-REFORT. JUNAC. Lima
- Martins. C. N. (2005). *El desempeño térmico de la construcción con tierra*. Arquitectura de tierra en Portugal. Ed. Argumentum, Lisboa.
- Marussi Castellan, F. (1989). *Antecedentes históricos de la quincha*. Documento técnico: ININVI, Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda. Lima.
- Neves, C. M. M. (1978). *Transmissão de calor no solo-cimento*. Boletim Técnico do CEPED, Camaçari, 5 (1/3): 39-58, jan/jun.
- Neves, C. y Borges Faría, O. (2011), *Técnicas de construcción con tierra*, Bauru: FEB-UNESP, PROTERRA.
- PROTERRA (2003). *Técnicas mixtas de construcción con tierra*.: PROTERRA/HABYTED/CYTED. Salvador.
- Ramírez, G. I. (2011). <http://www.senado.gov.co/sala-de-prensa/noticias/item/12000-Macroproyectos-de-vivienda-de-interes-social-un-negocio-para-los-urbanizadores?>
- SENCICO, Servicio Nacional de Normalización, Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción (1987). *Quincha prefabricada, fabricación y construcción*. Manual técnico. ININVI, SENCICO, Lima.