



DISEÑOS EN TIERRA: ENTORNO, FORMA Y MATERIA

Marco Aresta, Gonzalo Castaño, Giulia Scialpi, Nico Mayer

ecoHacer: Bio-Arquitectura y Bio-Construcción; Buenos Aires, Argentina;
ecohacer@gmail.com

Palabras claves: Diseño, Bioambiental, Naturaleza, Geometría

Resumen

En esta ponencia se trata de exponer el resultado de los últimos años de investigación proyectual y constructiva en relación a lo que la Naturaleza nos brinda para el Diseño de espacios arquitectónicos, teniendo la tierra como materialidad de base para su concreción.

Se toma el Diseño como traductor del conocimiento de la Naturaleza para su aplicación en la Arquitectura. El mismo Diseño, como herramienta interpretativa, tiene la prioridad a la hora de descifrar y elegir la Naturaleza como entorno (lugar y clima de implantación), como forma (geometrías y proporciones presentes de manera permanente), y como materia (los materiales naturales, sanos y locales). Las tres temáticas que determinan la investigación proyectual y de obra se cruzan y se mezclan en puntos de influencia.

Como premisa de este recorrido tenemos la tierra con letra minúscula, como material "madre" en la concreción de la Arquitectura; pero también la Tierra con letra mayúscula, como metáfora de la Naturaleza que nos expone a lo que necesitamos para una estrategia para Habitar el planeta de manera sustentable.

El entorno es estudiado con criterios científicos, aplicando el diseño bioclimático en la evaluación de las condiciones físicas del lugar y del clima, para garantizar la eficiencia energética y el confort en las construcciones.

La forma es analizada a nivel geométrico por la eficiencia estructural de las geometrías de la Naturaleza, pero también como referencia estética y espacial; y por su inspiración espacial y estético-formal. Partimos de la hipótesis que las geometrías y proporciones presentes de manera permanente en el Naturaleza biológica se coadunan mejor a nuestro habitar como seres biológicos que somos.

La materia, como la tierra, los áridos o las fibras, son investigados para su aplicación en tecnologías y sistemas constructivos edilicios, que permitan la económica y duradera utilización en la construcción.

El Diseño transmite a la arquitectura la necesidad de una intervención con bajo impacto ambiental, donde la sustentabilidad de la arquitectura en tierra se mide a nivel de espacialidad, de estética, de economía, de energía y de estructura.

Se busca en la Naturaleza lo que ella expresa y oculta, coincidiendo con la frase de Leonardo Da Vinci: "La Naturaleza no infringe jamás su propia Ley. ¡O necesidad inexorable! Obliga a todos los efectos a ser los resultados directos de sus causas, y, por una Ley suprema e irrevocable, cada acción natural te obedece de acuerdo con el proceso más corto." La tierra inaugura y cierra el recorrido del Diseño.

1. DISEÑOS EN TIERRA

1.1 Tres climas, tres lugares, tres estrategias

Se presentan aquí tres proyectos desarrollados en el último año, ambos en etapa de construcción, que presentan respuestas diferenciadas a nivel constructivo y morfológico, según las condiciones climáticas específicas de cada lugar.

Como primer núcleo temático: los recursos a nivel de diseño bioclimático utilizados en cada proyecto son prácticamente los mismos, aunque cambia su estrategia de aplicación, eficiencia, dimensionamiento, cantidad, orientación, etcétera.

Como segundo núcleo temático: la morfología también cambia en función de la latitud y microclima en que se encuentra el terreno de implantación. En el caso de la vivienda ubicada en la provincia de Buenos Aires (zona bioambiental IIIb – baja amplitud¹) ésta se abre en una especie de “u” hacia el Norte creando una galería. En el caso de la vivienda ubicada en la provincia de Córdoba (zona bioambiental IIIa – mayor amplitud²) ésta se cierra hacia una geometría concéntrica. Por último la vivienda ubicada en la provincia de Neuquén en zona andina (zona bioambiental VI – muy fría³) tiene una morfología compacta con una estrategia de protegerse del exterior.

Como tercer núcleo temático: la materialidad con la que se construye es diferente según las exigencias del clima dónde se ubica. La vivienda, como organismo vivo, tiene que abrigarse en función de la zona climática, construyendo una piel adaptada para cada exterior.

En la base del proceso de generación de los proyectos arquitectónicos, se realizan simulaciones, mediciones y comprobaciones, a través de procesos geométricos o aritméticos, sobre los comportamientos del diseño bioclimático y la eficiencia energética. Se puede así verificar errores o deficiencias en la morfología, envolvente, materiales, etcétera, y ajustar las soluciones a los requerimientos locales.

En todos los proyectos se evitan los movimientos de tierra y se minimizan al máximo el transporte de materiales a través de la utilización de materiales locales como la fibra existente y la tierra arcillosa extraída del propio terreno.

En general se opta por una morfología orgánica pautaada por la línea y superficie curva que no interfiera con el entorno dominante y privilegie el recorrido solar, la entrada de luz y de aire de manera natural, así como el libre flujo visual entre el interior y el exterior. Además se privilegia una distribución espacial interior que minimiza las circulaciones aumentando la superficie útil.

Para las paredes exteriores se utilizaron materiales poco densos con un valor de conductibilidad térmica (λ) bajo. Para tal se tiene como referencia la Tabla 1.

Tabla1. Conductibilidad térmica de los materiales

Material	λ (W/m·K)	referencia
Arena	0,58	IRAM-11601, 2002
Arcilla	0,37	IRAM-11601, 2002
Paja de avena	0,091	González; Gutiérrez, 2012
Piedra Pómez	0,13	González; Gutiérrez, 2012
Aserrín	0,092	González; Gutiérrez, 2012

1.2 Estado del arte

Considerando cada vez más la importancia del estudio del proyecto arquitectónico en un contexto de sustentabilidad, su ámbito de investigación se amplía en la incorporación de temáticas que directamente están vinculadas a un nuevo paradigma de espacialidad y de formas de habitar con referencia en la Naturaleza reconociéndonos como seres biológicos.

Sirven de antecedentes la corriente arquitectónica llamada Bioarquitectura o también llamada de Arquitectura Biológica⁴, la formación en diseño bioclimático y en geometrías presentes en la Naturaleza (Spinadel, 2010), así como el intercambio producido en la práctica de obra entre y con los técnicos.

Por último, el trabajo de capacitación y formación en técnicas de construcción en tierra, sirve para la constante actualización y divulgación del tema entre profesionales.

2. ESTUDIO DE CASO. VIVIENDA V&E

2.1. Entorno / contexto

El lugar de implantación está situado en un terreno en la Municipalidad de Villa La Angostura, Provincia de Neuquén, Argentina, y tiene un área de 2500,82 m². El terreno está situado en la Zona Bioambiental VI (muy fría) según Norma IRAM 11603: 1996 en una Latitud de 40°S. El presente proyecto está constituido por una construcción de dos plantas y cuenta con un área útil de 140 m².

Los recursos bioclimáticos y de sistema solar pasivo se suman a tecnologías apropiadas que hacen uso de las energías renovables y promueven la sustentabilidad edilicia en una zona climática y geográfica muy sensible, por tratarse de una región vulnerable a impactos ambientales naturales como las recientes cenizas del volcán Puyehue o la existencia de actividad sísmica.

Como primera medida a nivel de recursos de diseño bioclimático se utilizaron ventanas de doble vidrio y con marcos protegidos de la entrada de aire desde el exterior. Como decisión de diseño se ubicó el mayor porcentaje de vidrio al Norte de modo a obtener ganancias energéticas directas durante los meses más fríos. Por otro lado, al Sur, se redujo el área de vidrio, en respuesta a los valores mínimos para iluminación y ventilación natural. Una de las estrategias de diseño pasivo fue la incorporación de un jardín de invierno (invernadero) al Norte que funciona como sistema de calefacción pasivo de manera indirecta con fuerte eficacia por su máxima exposición a la trayectoria del Sol. Está compuesto por un cerramiento vidriado de 6,4 m², un piso acumulador de 6 m² que capta la energía solar de manera directa, acumulándola en su masa térmica y liberándola por la noche, amortiguando así el descenso de la temperatura interior por la noche. Las ventanas tienen un paño de abrir superior que permite la ventilación cruzada en el verano evitando el exceso de calor. Al Sureste se destinó para el Filtro natural para tratamiento de aguas⁵. Las paredes son de materiales de baja conductibilidad térmica para garantizar la aislación de la vivienda.

La calefacción del espacio por sistema activo está hecha por estufas a leña de alto rendimiento. Sus caños de extracción son revestidos de tierra para aprovechar la energía irradiada y concentrar por inercia térmica el calor, antes de su salida al exterior. De este modo es posible calentar los espacios de la planta alta, así como retardar el punto de enfriamiento después de terminada la combustión de la leña. Hay dos núcleos de fuego ubicados en los “centros” Este y Oeste de la vivienda. Este recurso hace posible la homogénea distribución de la energía calentando todo el espacio.

El acceso a la vivienda desde el exterior se resolvió con un Hall de Frío que actúa como “espacio tapón” para el ingreso del viento frío y para atenuar las pérdidas térmicas. Este recurso es básicamente obligatorio en este clima.

Los tabiques interiores buscan otorgar prioridad a una mejor distribución interna del calor o de la refrigeración circulante por convección natural, no constituyendo barreras arquitectónicas entre espacios.

2.2 Forma / espacio

La morfología de la planta corresponde a una lemniscata dividiendo el interior en dos núcleos complementarios y opuestos. Esta geometría está definida en múltiples manifestaciones de criaturas y procesos vivientes del macro y micro cosmos, tales como las formas que encontramos de un campo magnético o en una simple manzana. La lemniscata fue generada por el mecanismo de Watt, definiendo dos rectas que pasan por dos centros ubicados en una distancia igual (4,40 m) del centro en el eje Este/Oeste.

La lemniscata es el símbolo del infinito circular (ocho) y como cualquier forma basada en la simetría, determina el equilibrio y armonía en sus espacios.

La morfología del techo corresponde a la “Curva de Viviani” (Figura 1) originada por la intercepción de una esfera con un cilindro y acompaña la forma de la planta, dado que sería

su proyección en el plano horizontal. De esta manera la geometría de la casa es un gesto simple y continuo. (Figura 2)

La morfología fue también coincidente con el culto Budista de los propietarios y con el universo simbólico de esta cultura. En la mayoría de las decisiones está el equilibrio entre dos polos opuestos y complementarios (yin/yang, positivo/negativo, este/oeste). Esta intención esta materializada también en los arcos o el diseño de la estructura del techo .



Figura. 1 (a la derecha) Corte longitudinal de vivienda V&E.

Figura. 2 (a la izquierda) Vista Norte de la vivienda

Otra de las premisas fundamentales para la elección de la morfología del proyecto fue su resistencia a los sismos dado que el lugar de implantación es considerada zona sísmica 2 – sismicidad media. Es importante la forma curva continua sin quiebres, tal como la planta del proyecto, para la distribución uniforme de los esfuerzos. Los dos volúmenes acoplados al Norte y al Sur son segmentos de circunferencia y funcionan como pies (contrafuertes) que simétricamente refuerzan la totalidad del volumen edilicio. La misma forma se asume como resistente, por su característica volumétrica orgánica, a los vientos dominantes y a los vientos fuertes.

2.3 Materia / técnica

La vivienda está hecha de una estructura independiente de madera de ciprés y paredes de bastidores de madera con relleno alivianado de paja y arcilla apisonada en un encofrado curvo. A esta técnica se llama “paja encofrada”.

Los techos son de chapa para disminuir el peso de la construcción y acumular el agua de la lluvia, exceptuando el techo del balcón, que es un techo vivo y tiene acceso directo desde la habitación de la planta alta.

Dado que en el terreno había piedra pómez junto con arena volcánica y, siendo este un material de baja conductibilidad térmica (Tabla 1) además de un recurso local, se incorporó para la aislación del techo, del entrepiso, del piso y para el muro.

Los muros exteriores, con técnica “paja encofrada” tienen un espesor de 25 cm y con un revoque de tierra de 1/2” de cada lado, concluyendo con una medida final aproximada de 27,5 cm. El material utilizado para la construcción de los muros está hecho con una mezcla de arcilla (25%), viruta (25%), paja de avena (25%) y piedra pómez con arena volcánica (25%). Por su baja densidad y por la aplicación de materiales con baja conductibilidad térmica se logra un muro aislante.

3. ESTUDIO DE CASO. VIVIENDA L&P

3.1. Entorno / contexto

El lugar de implantación está situado en un terreno con un área de 1055 m², ubicado en la localidad de Bella Vista, Provincia de Buenos Aires, Argentina. El terreno está situado en la Zona Bioambiental IIIa (Templada cálida) según Norma IRAM 11603: 1996 en una Latitud de 34°34'S. El presente proyecto está constituido por una construcción de una planta y cuenta con un área útil de 118 m².

El área de implantación es plana y cuenta con buena exposición solar. Las especies arbóreas que se conservaron son cipreses calvos al noroeste y ginkgo biloba (hoja caduca) al oeste como forma de controlar el exceso de radiación directa en la época estival. Se realizó un espacio de huerta al noreste y se propuso plantar frutales.

Las estrategias de diseño bioclimático se realizaron en base a dos premisas:

- en el Invierno el aprovechamiento de ganancias energéticas y la contención de pérdidas.
- en el verano la protección de exceso de ganancias energéticas y el beneficio de pérdidas propositivas.

Esto se obtuvo con:

- muy baja transmitancia térmica en la piel exterior, con muros de adobe y techo vivo con aislantes livianos, superando el nivel B "medio", establecido en la normativa (IRAM 11605, 1996) a fin de conservar el calor interior y ofrecer protección del sol estival.
- una forma edilicia semi-compacta con una planta concéntrica evitando las áreas de circulación y abierta al Norte.
- diseño de aleros dimensionados para lograr protección total de la fachada norte en periodos de fuerte radiación solar mientras permiten la captación de Sol en el Invierno.
- postigones como protección del Sol de Oeste y techos con pendientes variables para aprovechamiento de radiación en el Invierno (iluminación y calefacción natural).
- un techo vivo como reducción del impacto ambiental.
- uso de sistemas solares pasivos, tal como ganancia directa, muro y piso acumulador.
- uso de tecnologías pasivas, tal como el caño subterráneo combinado con chimeneas solares de ventilación.
- uso de tecnologías activas tal como estufas de alto rendimiento y uso de colectores solares para calentamiento de agua como objetivo la reducción de la demanda energética.

En la galería Norte se previó también la existencia de una pérgola con enredadera para disminuir la ganancia solar en el verano.

Otra de las cuestiones a considerar son las pérdidas energéticas propositivas importantes para el cálculo de confort higrotérmico. Para este caso se actuó con el Diseño en la aplicación de conductos verticales (chimeneas solares) para la ventilación por efecto chimenea con una abertura superior regulable (Figura 3), junto con la ventilación cruzada, de manera a extraer el exceso de calor de la vivienda por convección natural en el verano, logrando refrigerar sin recurrir al acondicionamiento artificial.

La elección de techo vivo tuvo que ver con dar continuidad visual a las construcciones vecinas integrando la vivienda en el entorno, pero también se eligió por: su capacidad para equilibrar la humedad exterior, aislar acústicamente, producir oxígeno y retardar la caída de agua del techo con el objetivo de evitar exceso de agua en el terreno. Además, un techo vivo devuelve al entorno la mayoría de la superficie de tierra orgánica sacada para la implantación edilicia. Los techos al Sur se diseñaron bajo la forma de paraboloide hiperbólico levantándose hacia el norte para captar la luz del sol (Figura 3).

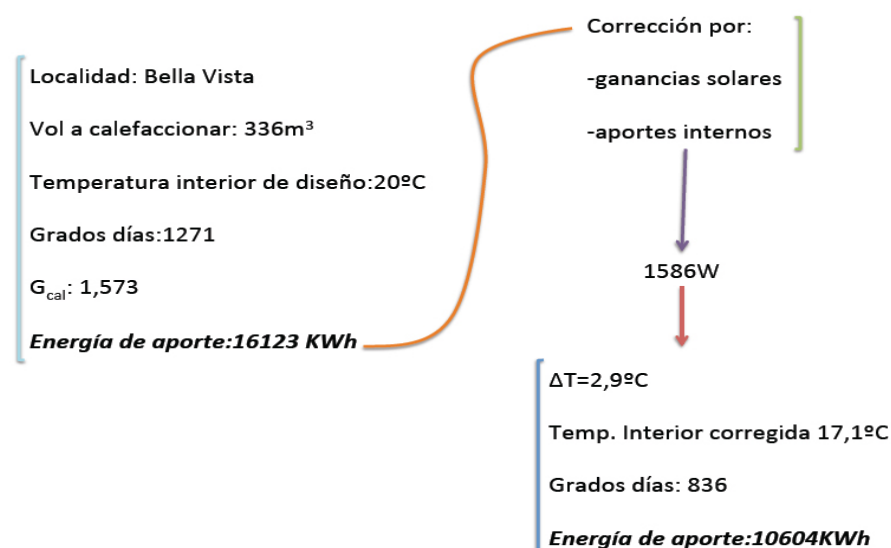


Figura. 3 (arriba) Vista axonométrica ubicada en la fachada Norte de la vivienda.

Por último se expuso la vivienda al cálculo de factor “G” de pérdidas de calor (IRAM 11604, 2004)⁶. Este cálculo se hace a la mitad del proceso proyectual de manera que se puedan corregir datos a partir del Diseño. A partir de ganancias solares directas dadas por el Diseño y aportes internos dados por la actividad humana y por artefactos, se mejoró la necesidad de energía aportada para calefacción (Gráfico 1).

Para este cálculo fue importante la eficiente aislación de los muros, techo y piso con materiales mixtos con baja transmitancia térmica y con buena resistencia al paso del calor o del frío, entre el espacio exterior e interior y viceversa.

Gráfico 1. Cálculo de factor “G” de pérdidas de calor (IRAM 11604, 2004)



Sin embargo, se ha podido constatar que, el valor de la necesidad de energía aportada para calefaccionar (10604 kWh anual), no corresponde a la realidad dado que falta considerar, en los aportes dados por las ganancias solares, las tecnologías de diseño pasivo, tales como: el muro acumulador (tipo muro Trombe-Michel), el invernadero y el caño subterráneo⁷. Además, la necesidad de energía aportada sigue bajando con la incorporación de artefactos hechos en tierra como el horno de tambor y las estufas a leña de alto rendimiento y la distribución por sistemas pasivos como masa acumuladora o rejillas de ventilación.

Como conclusión se destaca la importancia de que las normativas evolucionen para contabilizar las tecnologías de diseño solar pasivo y activo en el cálculo de ganancias energéticas, así como la necesidad de aporte de energía para calefaccionar.

3.2 Forma / espacio

El entorno formal de arquitectura ortogonal sumado al gusto y marca cultural del propietario ha llevado a una morfología ortogonal en planta, con la incorporación de lo orgánico dado por la tridimensionalidad del espacio arquitectónico y la aplicación de una proporción geométrica a la semejanza de los procesos de crecimiento en la Naturaleza biológica: el gnomon. Esto se traduce en la progresión geométrica de la raíz de dos ($\sqrt{2}$) en planta.

En la planta del proyecto de la vivienda se encuentra la progresión geométrica con “razón” $\sqrt{2}$ propia de la diagonal del cuadrado⁸. Con lo cual el primer cuadrado tiene de lado 1 y de diagonal $\sqrt{2}$. El lado del segundo cuadrado es igual a $\sqrt{2}$ y la diagonal es igual a 2. La proporción entre la diagonal y el lado del cuadrado sigue siendo la misma cualesquiera que sean los cocientes (a:b) de la progresión. El crecimiento de las diagonales del cubo pueden ser escritas por una sucesión tal como: 1, $\sqrt{2}$, 2, $2\sqrt{2}$, 4... Esto provoca un crecimiento progresivo (movimiento rígido de extensión) al mismo tiempo que origina una rotación. La forma se constituye por un movimiento rígido de extensión-rotación. Esta relación de progresión mediante la división por $\sqrt{2}$ se puede escribir:

$$\frac{\text{lado}}{\text{diag.}} : \frac{\text{diag.}}{\text{lado}} : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{\sqrt{2}}{2} : \frac{2}{2\sqrt{2}} : \frac{2\sqrt{2}}{4} : \frac{4}{4\sqrt{2}} \text{ etc.}$$

Esta relación fractal queda siempre inalterada y actúa como el fenómeno de división celular de los organismos vivientes. Cada cuadrado en la progresión es auto-semejante, o sea que confirma su invariancia en presencia de “cambios de escala” (Mandelbrot, 1977).

3.3 Materia / técnica

Los techos son de techo vivo. Para el techo con una aislación térmica de 10cm (tierra alivianada con 90% de fibra) se sumó una camada de cartón corrugado. Para efectos de ahorro de tiempo en la construcción y de estabilización y homogeneidad del material se probó con éxito la producción de unas placas de aislación térmica de 60 cm x 60 cm x 10 cm. En este caso la aplicación de la aislación ya se hace en seco (figura 4).



Figura. 4 (abajo) Placas de aislación térmica para el techo hechas de arcilla y paja; adobes hechos en obra.

Los muros exteriores son con técnica de adobe colocado a tizón con revoque de tierra de 1" de cada lado. Los adobes son livianos y tienen la dimensión de 25 cm x 12 cm x 6 cm, con lo cual la pared queda con 25 cm de espesor más 5 cm de revoque que suman 30 cm. El adobe esta hecho con una mezcla de bosta con arcilla (1-2) (10%+20%=35%), arena (30%) y paja de avena (35%), obteniendo un muro aislante para la zona bioclimática con un $\lambda=0,33 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

La técnica adobe con las dimensiones y proporciones de mezcla probadas no es aconsejable para los climas más fríos de Argentina porque no satisface la necesidad de aislación térmica de los muros exteriores. En las zonas medioambientales V y VI, se sugieren otras técnicas de construcción con tierra, más aislantes, tal como la “paja encofrada”.

Sin embargo, para paredes interiores curvas y para arcos de puertas o dinteles, se utiliza el mismo adobe. Este adobe fue probado por su facilidad constructiva así como su inercia térmica propicia en el interior expuesto a radiación solar directa.

4. ESTUDIO DE CASO. VIVIENDA C&D

4.1. Entorno / contexto

El lugar de implantación está situado en un terreno en la Municipalidad de La Granja en la Provincia de Córdoba, el cual tiene un área aproximada de 4700 m² en una Latitud de 31°S.

El presente proyecto está constituido por una construcción de 1 planta, escalonada en 3 niveles de cotas. Por tener una pendiente hacia el Sur, el terreno apenas queda expuesto al Sol, lo que dedujo en un diseño de la vivienda en distintos niveles. Además, el propio techo acompaña la pendiente y se eleva hacia el Norte para captar la radiación solar. Al Oeste, la vivienda se adapta al desnivel del terreno para incrustarse en la tierra protegiéndose del Sol estival de poniente.

La zona posee amplitudes térmicas elevadas entre el verano y el invierno y entre la noche y el día. Por ello era imperioso utilizar sistemas de calefacción combinados que requiriesen un mantenimiento mínimo y evitar la utilización de energía eléctrica. Esto resultó en un sistema combinado de colector solar con calefón conectado a estufa a leña como forma de calentar el agua. La demanda de calefacción de la vivienda se cubrió con el aporte directo del invernadero direccionado plenamente al Norte y Noroeste. Al invernadero se suma un sistema pasivo de piso y muro acumulador por inercia térmica y la ganancia directa dada por ventanas y claraboyas. En el verano, en el invernadero, hay una pérgola al Norte que le protege del exceso de radiación directa. Se aprovechó para el cálculo de protección solar el ángulo del Sol casi vertical, igual a 80°.

A nivel de sistemas solares pasivos para calefacción se ubicó un muro acumulador con ventilación (tipo muro Trombe-Michel) de 1 m de ancho por 2 m de alto en la pared Norte de 20 cm de espesor, donde se dejó el color oscuro del revoque en tierra. Sobre esa superficie se dispuso una caja con las mismas dimensiones con marcos de madera a los costados y un policarbonato hacia el frente. Esta caja, de un espesor de 10 cm desde el muro, genera una cámara convectiva. En la pared se encuentran dos perforaciones, arriba y abajo, de 0,01 m² cada una con una tapa interior de manera a poder generar el proceso convectivo y permitir la circulación de aire. En invierno, durante el día, la radiación solar acumulada en la cámara de aire asciende por convección ingresando al espacio interior por las perforaciones superiores. El muro tiene un rendimiento de 35% en relación al área a calentar (15 m²), ayudando en el ahorro de energía. *A través de las aberturas situadas estratégicamente, el aire caliente penetra al local (aberturas superiores) y el aire frío retorna a la cámara (aberturas inferiores) para ser nuevamente calentado. Este sistema proporciona dos formas de restitución de calor: la convección natural (diurna) y el retraso térmico debido a la inercia del muro (nocturno)* (Evans; Schiler, 1988, p. 146).

La parte central de la casa, la cúpula, posee una claraboya de abrir, de manera a funcionar como chimenea de ventilación natural. Además, la ventilación se hace por procesos naturales de convección de manera cruzada por ventanas selectivas. La calefacción y refrigeración pasiva de la sala y cocina será ayudada por un conducto bajo tierra, a una profundidad de 1 m, con un diámetro de caño de PVC de 20 cm. El conducto tiene una pendiente de 5% en el sentido de la aspiración para la evacuación de los condensados. La salida del conducto es al Sudeste, cerca de la entrada vehicular de la casa colocada a 1,20m de altura para evitar el ingreso de polvo y tiene una rejilla que evite la entrada de

animales. Se puede instalar un pequeño ventilador de 5 w en la rejilla interior para facilitar la circulación de aire.

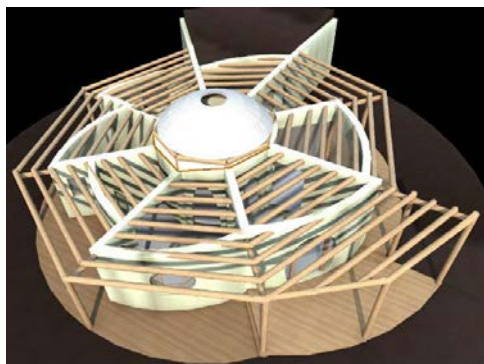


Figura. 5 (a la izquierda) Maqueta tridimensional de la morfología y la estructura del techo.

Figura. 6 (a la derecha) Vista de la fachada Sur de la vivienda.

4.2 Forma / espacio

El espacio central es el foco de la casa. Está determinado por un polígono regular octogonal que asume tridimensionalidad con su materialidad en el contorno del alero y en la división de espacios interiores. En el centro del octógono se materializa una cúpula en caña con cubierta de tierra y una claraboya central, funcionando como captador de luz. Esto beneficia la fluidez de espacios interiores y su comunicación con los espacios envolventes. Los espacios que envuelven el centro derivan de la rotación de secciones de espiral de Oro de levógiro y dextrógiro, las mismas que encontramos en la formación de múltiples morfologías de la Naturaleza biológica como el girasol o la piña (figura 5).

La espiral de Oro fue originada por un proceso geométrico, con la determinación en primer lugar de un rectángulo de Oro. Innumerables son las referencias en la Naturaleza biológica

al rectángulo de Oro asociada al Número de Oro: $\frac{1+\sqrt{5}}{2} = \Phi = 1,618....$

Las secciones curvas de espirales de Oro al interceptarse con los ejes de un octógono determinan los límites de cada división interior correspondiente a los 8 espacios definidos por el programa original, promoviendo así una simetría dinámica rotatoria de acuerdo a las estructuras biológicas.

La aproximación al proyecto se hace desde varios puntos de manera jerarquizada, aunque la entrada de servicio al Sur esté delineada por un gesto formal que protege de los vientos y lluvia.

La morfología del techo, así como su técnica constructiva y su especificidad estructural corresponde a la intención de materializar una “paraboloide hiperbólica” derivada del objetivo de hacer un espacio orgánico en la plenitud tridimensional.

4.3 Materia / técnica

La vivienda está construida con una estructura independiente de madera de eucalipto con muros de tierra y terminaciones y pinturas a base de arcilla.

Las paredes exteriores son de “Tapial húmedo” con 30 cm de espesor, dejando las columnas de 20cm de diámetro adentro de la pared (figura 6).

El “tapial húmedo”, es una técnica en estado plástico, moldeable sin necesidad de compresión con auxilio de un encofrado y que una vez seco puede ser utilizado como material portante siempre y cuando se respete su capacidad de resistencia a la compresión. Para acelerar el proceso de secado se ha colocado tubos de PVC de 50 cm de diámetro cada 50 cm que una vez extraídos dejan huecos en la pared, posteriormente llenados con aserrín o viruta. Esto mejora la aislación térmica y el secado de la pared. En el caso de la vivienda expuesta, la pared ha sido armada con alambre de púa cada 25 cm al alto de la pared para conferirle mayor resistencia a posibles movimientos sísmicos.

La mezcla se hace con un contenido óptimo de humedad de manera que sea plástica y fácil de trabajar sin caer en el exceso para que la pared no se debilite una vez retirado el encofrado. La mezcla se hizo con un 1/3 de tierra arcillosa del lugar, 1/3 de fibra corta (sorgo de Alepo) y 1/3 de arena. Fue importante el material utilizado de manera a proporcionar una aislación térmica sin comprometer la inercia térmica también necesaria para este clima.

Esta técnica, todavía en estudio, fue ensayada en obra y al mismo tiempo ampliada por la práctica de los constructores Francisco Molins y Ruben Molins. Derivó de la necesidad de hacer paredes en curva y aislantes pero al mismo tiempo densas con menor esfuerzo y tecnología empleada que el tradicional tapial. Otra de las ventajas es que permite tener directamente la pared a plomo y lista para el revoque grueso-fino.

5. CONCLUSIONES

Cada proyecto sirve de investigación en relación a la morfología, a la materialidad y a los recursos bioclimáticos adoptados condicionados por el entorno.

Esto permite:

- a) observar y comprender, por parte de los usuarios, los principios aplicados y los procesos consecuentes que ocurren en su vivienda;
- b) conferir condiciones espaciales, formales y sanitarias dignas y con confort higrotérmico que garantizan su bienestar físico y psicológico;
- c) valorizar el medio natural integrándose en su contexto físico-ambiental y socio-cultural;

No se puede pasar por alto que, al atribuirle la materialidad en tierra a la construcción, estos ítems se ven ampliados y articulados entre sí, dotando de coherencia al proyecto sustentable.

Pero huelga recordar que la tierra, por sí misma, no es sustentable. Es a través de la investigación en los procesos de proyecto y obra, que se logra incorporar estrategias de bajo impacto ambiental y de eficiencia energética, que concluye en la sustentabilidad de la vivienda. La investigación ha de realizarse sobre a los núcleos temáticos de entorno, forma y materia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aresta, Marco (2012). *Geometrías sustentables en proyecto y ambiente*. Si + amb: XXV Jornadas de Investigación FADU-UBA y VII Encuentro Regional; Buenos Aires: editora Aulas y Andamios; ISBN: 978-987-1597-22-2

Evans, M.; Schiler, S. (1988). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. Buenos Aires: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires.

González, A.; Gutiérrez, J. (2012). *Determinación Experimental de Conductividad Térmica de Materiales Aislantes Naturales y de Reciclado*; Bariloche; pag.5

IRAM (2002). Norma 11601 *Aislamiento térmico de edificios. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*. 3ª edición; Buenos Aires: IRAM

IRAM (1996). Norma 11603 *Acondicionamiento térmico de edificios – Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires: IRAM

IRAM (2004). Norma 11604 *Aislamiento térmico de edificios – Verificación e sus condiciones. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites*. Buenos Aires: IRAM

IRAM (1996). Norma 11605 *Acondicionamiento térmico de edificios, condiciones de habitabilidad en edificios – Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*. Buenos Aires: IRAM

Mandelbrot, B. (1997). *La geometría fractal de la Naturaleza*. Barcelona: Metatemas 49, Tusquets editores, (traducción de Josep Llosa). ISBN: 978-84-8310-549-8

Spinadel, V. W. de (2010). *From the golden mean to chaos*. Buenos Aires: ed. Nueva Librería (3ª edición). ISBN: 978-987-1104-83-3

Notas

(1) Zona bioambiental de clima templado con baja amplitud térmica. Clasificación según Norma IRAM 11603: 1996 que divide el territorio de Argentina por zonas en función de las características climáticas.

(2) Zona bioambiental de clima templado con alta amplitud térmica. Clasificación según Norma IRAM 11603: 1996 que divide el territorio de Argentina por zonas en función de las características climáticas.

(3) Zona bioambiental de clima muy frío. Clasificación según Norma IRAM 11603: 1996 que divide el territorio de Argentina por zonas en función de las características climáticas.

(4) El concepto de Arquitectura Biológicas estructura el ejercicio teórico/práctico. El postulado teórico tiene como base cuatro principios: 1) la utilización de un diseño bioclimático y de un sistema solar pasivo con la incorporación de tecnologías apropiadas; 2) la utilización de Geometrías de la Naturaleza en diseños que retoman los arquetipos de la humanidad; 3) la lectura cosmo-telúrica: campos y líneas electromagnéticas; 4) y la materialización con materiales sanos, naturales y locales.

(5) El filtro granulométrico sirve para el tratamiento de aguas grises y negras provenientes de la casa y su uso final en lavado o riego (no se aconseja el riego de huertas). Se basa en una cámara bajo tierra de 50 cm de profundidad al inicio y con una pendiente de 2%. La cámara se hace de hormigón con impermeabilización y tiene 1 m de ancho por 5 m de largo. Está compuesta de distintas capas de 30 cm colocadas a 45°. La primera desde donde entra el agua es de grava (piedra canto rodado de 10 cm de diámetro), luego seguido de ripio, arena gruesa, arena fina y tierra. La última capa debe tener una tela sombra para impedir que la tierra se vaya. Una vez terminada la secuencia se vuelve a poner piedra y las siguientes capas. La salida del agua tratada se hace por un caño en "T" de PVC 100 mm. Antes de la entrada del agua esta pasa por una fosa séptica en el caso de las aguas negras y por una grasera en el caso de las aguas grises, encontrándose en una cámara de inspección.

(6) El factor G tiene en cuenta las pérdidas a través de los cerramientos que componen la envolvente (opacos, no opacos, y en contacto con el terreno), más las pérdidas por renovación de aire. $G_{cal} < G_{adm}$. G_{adm} está definido por la norma IRAM11604 (2004) en función de los grados días de calefacción y el volumen de la vivienda a calefaccionar.

(7) Tecnología pasiva de calefacción y refrigeración. Se basa en un conducto bajo tierra donde el aire circula por diferencial térmico ingresando en el interior de la vivienda a una temperatura constante. Esta temperatura es la que se mantiene estable a 1m de profundidad. En el caso de climas templados puede andar alrededor de 17°C a 18°C y en climas fríos alrededor de 13°C a 14°C.

(8) La forma es determinada por el crecimiento de los elementos geométricos (progresión geométrica) que no sufren alteración salvo en su magnitud. Una progresión geométrica es una proporción que se obtiene multiplicando cada término por un factor constante llamado "razón". A esta característica de crecimiento y al fenómeno matemático los griegos le llamaban gnomon. Herón de Alejandría lo definió así "un gnomon es cualquier figura que añadida a una figura original, produce una figura semejante a la original". (Aresta, 2012) Esta es una de las formas de crecimiento más comunes en la Naturaleza.

Currículos

Marco Aresta, Arquitecto y Artista Plástico. Formación en Diseño Bioclimático (SCA Lisboa). Maestría en Lógica y Técnica de la Forma (FADU-UBA). Docente de Morfología General y Arquitectura Sustentable (FADU-UBA). Director de Investigación SI (UBA). Tareas de Investigación, Docencia, Proyecto y Asesoría Técnica en el ámbito de la BioArquitectura y Construcción Natural desde el Grupo Ecohacer.

Gonzalo Castaño, Ingeniero Civil (UNLP). Integrante del Grupo Ecohacer. Tareas de investigación y Proyecto en el ámbito de la BioArquitectura y Construcción Natural.

Giulia Scialpi, Arquitecta (Universidad Sapienza Roma). Integrante del Grupo Ecohacer. Tareas de investigación y Proyecto en el ámbito de la BioArquitectura y Construcción Natural.

Nico Mayer, Arquitecto (FADU-UBA). Integrante del Grupo Ecohacer. Tareas de investigación y Proyecto en el ámbito de la BioArquitectura y Construcción Natural.