

EVALUACION TERMICA DE VIVIENDA BIOCLIMATICA CONSTRUIDA EN TIERRA CRUDA USANDO MATERIALES RECICLADOS

Mario Cúnsulo¹, Mariano Matar Arturo²

Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental “Arq. Alberto Papparelli” (INEAA)
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD)
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)
Santa Fe 198 oeste 5400 San Juan
Tel. 0264-4202664 e-mail: mcunsulo@unsj.edu.ar

Recibido 27/07/17, aceptado 29/09/17

RESUMEN: El objetivo del trabajo es la validación de materiales locales como aporte a la resolución de viviendas sociales rurales, con enfoque bioclimático y sostenible, tendientes a la auto-construcción guiada. Se presenta el estudio de un domo geodésico destinado a vivienda social en área rural de zona árida, (Departamento Albardón, San Juan). El diseño incorpora principios bioclimáticos, utilizando elementos constructivos de fácil ejecución y mantenimiento, con tecnologías y materiales alternativos, con bajo impacto ambiental. La información climática se obtuvo de estaciones meteorológicas instaladas en cercanías de la zona de implantación de la obra. Su procesamiento permitió la elaboración de estrategias de diseño y la evaluación del proyecto utilizando el software SIMEDIF. Se obtienen temperaturas interiores promedio de 17.1°C en invierno y 22,6°C en verano con leves oscilaciones diarias. Se concluye que es posible conseguir condiciones de confort en viviendas utilizando materiales y técnicas constructivas alternativas de bajo costo reciclando materiales descartables.

Palabras clave: domo geodésico, arquitectura bioclimática, tierra cruda, elementos reciclados.

INTRODUCCION

A las puertas de la actual visión de la arquitectura sostenible, es necesario recuperar la tierra cruda como material de construcción, tan conocido y validado por la historia como también casi olvidado por el progreso del siglo XX. La construcción en tierra cruda vuelve a tener un papel preponderante en la nueva arquitectura, como un material de bajo impacto ambiental, de excelente respuesta bioclimática y de gran capacidad expresiva desde el punto de vista morfológico.

En la provincia de San Juan, los deterioros estructurales sufridos como consecuencia de diversos movimientos sísmicos de gran magnitud se originaron principalmente en deficiencias técnicas de la construcción y en la falta de mantenimiento de las mismas, originados en el desconocimiento de las condiciones de sismicidad de la región y la falta de control.

Con el avance científico en arquitectura bioclimática y en sismología aplicada a la edificación, se dan las condiciones propicias de re-pensar la construcción en tierra, de forma eficiente tanto desde el punto de vista bioclimático como estructural.

¹ Ingeniero Civil, Profesor Adjunto UNSJ - Profesional Principal CONICET

² Arquitecto, Profesor Jefe de Trabajos Prácticos Adscripto UNSJ

Otro aspecto muy importante que potencia la iniciativa de la construcción en tierra con materiales reciclados es el económico ya que posibilita el acceso a una vivienda de bajo costo de construcción y mantenimiento, y el ahorro energético tanto en la elaboración de los materiales constructivos y fundamentalmente en el acondicionamiento térmico de la vivienda para lograr condiciones de confort.

La provincia de San Juan, se encuentra localizada dentro de la diagonal árida sudamericana y es la única región Xérica de Argentina. Esta región cubre solo el 1% del territorio nacional y corresponde en su mayoría a la zona centro-este de la Provincia de San Juan y el noreste de la Provincia de Mendoza; posee uno de los climas más rigurosos de las zonas áridas sudamericanas: ocupa el primer lugar por su índice de continentalidad (40,5), temperaturas promedio máximas anuales (26,2°C) y mínimas anuales (10,2°C); el segundo lugar por los porcentajes de heliofanía relativa (71,8%) y el tercer lugar por sus índices hídricos y de aridez (-53,8 y 0,102, respectivamente); por la precipitación anual (96 mm) y por la radiación solar (anual: 456,3 calxcm-2xdía-1). Estas condiciones resultan favorables para la aplicación de diseño bioclimático ya que es posible aprovechar el recurso climático para el acondicionamiento térmico en las viviendas. (Kurbán, 2016)

Esencialmente el sistema de construcción en tierra tiene la capacidad de adaptarse a suelos con poca capacidad portante por su ligero peso por metro lineal de mampostería, en relación a otros sistemas.

Las arquitecturas vernáculas de zonas áridas de América Latina frecuentemente utilizan la tierra cruda y otros materiales de origen vegetal o animal para construir sus viviendas, y en su diseño se aplican estructuras autoportantes como bóvedas o cúpulas. Estas arquitecturas involucran una respuesta a las condiciones climáticas de cada región. (Papparelli *et al*, 1998)

Las viviendas “tradicionales”, no suelen tener en cuenta las variables ambientales para su concepción, construcción y posterior uso u operación, siendo este último un aspecto crítico de cara a la preservación no solo de los recursos naturales, sino también de la sostenibilidad económica de estos hogares, dado que un importante porcentaje de sus ingresos se va en el pago de servicios públicos como energía. La vivienda entonces se convierte en la máxima inversión de una familia promedio, por lo cual este bien inmueble debe procurar cumplir las siguientes condiciones:

- Bajo costo de construcción
- Alta calidad ambiental
- Climatización en línea de confort
- Eficiencia energética
- Uso de eco-materiales

Es necesario a su vez rescatar los conocimientos previos de construcción y utilización de materiales locales para la creación del hábitat, por su aporte al conocimiento empírico de los comportamientos de tales materiales y sus interrelaciones con el clima, siendo la quincha, junto al adobe y tapia, uno de los sistemas constructivos de mayor utilización en esta área no urbana, por su capacidad térmica y de rápida ejecución y la disponibilidad de los elementos necesarios en el entorno natural.

La premisa fundamental se puede sintetizar como “generar hábitats sostenibles, empleando técnicas y materiales que minimicen el flujo de energía y residuos al interior de las ciudades y ecosistemas”. (Bedoya, 2006)

OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS CLIMÁTICOS

La zona de implantación del proyecto de vivienda bioclimática en tierra cruda se encuentra un área no urbana del departamento Albardón a 11 km de la capital de la Provincia de San Juan, (Lat. -31°26', Long. -68° 30' y 627m snm). Se obtuvieron registros climáticos de temperatura y humedad relativa máxima, media y mínima correspondientes al periodo 1992 a 2010 provenientes de una estación instalada en la propiedad de la empresa Expofrut, en proximidades del emplazamiento previsto. Si bien la estadística no es lo extensa que sería deseable, se considera aceptable frente a otras alternativas de generar datos simulados mediante procesos de transpolación de información, ya que la estadística corresponde a datos verdaderos.

Se calcularon los promedios del período 1992-2010 de valores de temperatura y humedad relativa máxima, media y mínima, para cada mes. En razón de la rigurosidad climática de las estaciones de invierno y verano, y de las moderadas condiciones que se presentan en las estaciones de primavera y otoño, se consideraron para la simulación térmica solamente las estaciones de verano e invierno.

A fin de disponer de datos de temperatura hora a hora, necesarios para la simulación térmica y calcular las estrategias de diseño bioclimático se procedió a generar los mismos asumiendo el modelo de variación horaria de una estación meteorológica que se encuentra en un entorno no urbano, similar al de la estación origen de datos. Se establece la correlación con las máximas y mínimas de la serie horaria y por relación porcentual se calculan los valores horarios para el sitio de implantación de la obra. Dado que el clima macroescalar de la región presenta inviernos fríos y veranos calurosos, se estima adecuado calcular las estrategias bioclimáticas utilizando los registros horarios de los meses de junio, julio y agosto para invierno y diciembre, enero y febrero para verano respectivamente, por ser estos los más rigurosos desde el punto de vista bioclimático. En primer lugar se calcularon los promedios estacionales de temperatura y humedad relativa y luego se trasladaron a la hora solar verdadera (HSV). En la Tabla 1 se presentan los valores promedios para invierno y verano correspondientes a las 24 horas.

VERANO ALBARDÓN				INVIERNO ALBARDÓN		
Hora Oficial	Temperatura	Humedad relativa	HSV	Hora Oficial	Temperatura	Humedad relativa
0	23.6	52.9	22:30:00	0	8.2	44.3
1	23.0	54.2	23:30:00	1	7.6	46.3
2	22.3	56.6	0:30:00	2	6.9	48.6
3	21.4	59.3	1:30:00	3	6.2	50.5
4	20.4	61.9	2:30:00	4	5.6	52.1
5	19.5	65.1	3:30:00	5	5.0	53.5
6	18.9	66.8	4:30:00	6	4.3	55.4
7	18.4	69.4	5:30:00	7	3.8	57.2
8	19.5	67.8	6:30:00	8	3.2	58.2
9	22.1	60.2	7:30:00	9	3.2	56.9
10	24.0	53.5	8:30:00	10	6.1	52.2
11	25.7	48.5	9:30:00	11	9.3	42.2
12	27.3	44.2	10:30:00	12	11.7	35.5
13	28.8	40.8	11:30:00	13	13.5	31.2
14	30.0	37.8	12:30:00	14	14.9	28.0
15	31.2	34.8	13:30:00	15	16.0	25.7
16	32.2	32.5	14:30:00	16	16.4	24.5
17	32.5	31.3	15:30:00	17	16.5	23.8
18	32.2	32.1	16:30:00	18	15.9	25.1
19	31.3	34.6	17:30:00	19	13.8	29.3
20	29.3	39.0	18:30:00	20	11.8	33.8
21	26.8	43.7	19:30:00	21	10.6	37.2
22	25.7	45.5	20:30:00	22	9.8	39.7
23	24.6	48.9	21:30:00	23	9.1	41.6

Tabla 1: Valores de temperatura y humedad relativa promedios para verano e invierno en Albardón.

Los datos horarios de Radiación Solar Global para Albardón, necesarios para simular el comportamiento térmico del proyecto se asumieron iguales a los registrados en la estación Fecoagro, cuyo entorno es muy similar al del sitio de implantación de la obra. Estos se presentan en la Tabla 2.

HSV	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
Verano	69.0	260.1	513.8	754.6	946.4	1094.4	1172.9	1185.2	1077.7	916.3	702.9	449.0	190.1	30.1
Invierno			49.0	162.02	274.0	357.0	399.0	388.0	333.0	238.0	125.0	25		

Tabla 2: Valores de Radiación solar global promedio para invierno y verano en Albardón, para cada hora solar verdadera entera.

DETERMINACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO

Para conocer la cantidad de horas que se necesita acondicionar bioclimáticamente una vivienda se aplicó el método analítico desarrollado por Cúnsulo (2014) el que se basa en el método gráfico de Watson *et al.*, (1983) y que consiste en incorporar en la Carta Bioclimática Edilicia, la temperatura y humedad relativa promedio para las 24 horas de los 365 días del año. Debido a que la serie requiere datos de temperatura y humedad relativa para HSVs enteras y como se disponía de información a HSV intermedias (7:30, 8:30 etc.) se ejecutó un modelo para estimar los correspondientes a HSV enteras. Los valores resultantes para verano e invierno (Tabla 3) se volcaron sobre la carta bioclimática edilicia de D. Watson (1983) y se obtuvieron las estrategias bioclimáticas en forma gráfica, las que se muestran en las Figuras 1 y 2.

VERANO			INVIERNO		
HSV	T °C	HR %	HSV	T °C	HR %
0	22.6	55.4	0	7.2	47.4
1	21.9	57.9	1	6.6	49.6
2	20.9	60.6	2	5.9	51.3
3	20.0	63.5	3	5.3	52.8
4	19.2	65.9	4	4.6	54.4
5	18.6	68.1	5	4.1	56.3
6	18.9	68.6	6	3.5	57.7
7	20.8	64.0	7	3.2	57.5
8	23.1	56.9	8	4.6	54.5
9	24.9	51.0	9	7.7	47.2
10	26.5	46.3	10	10.5	38.8
11	28.1	42.5	11	12.6	33.3
12	29.4	39.3	12	14.2	29.6
13	30.6	36.3	13	15.4	26.9
14	31.7	33.6	14	16.2	25.1
15	32.3	31.9	15	16.5	24.2
16	32.3	31.7	16	16.2	24.5
17	31.7	33.4	17	14.8	27.2
18	30.3	36.8	18	12.8	31.6
19	28.1	41.3	19	11.2	35.5
20	26.3	44.6	20	10.2	38.5
21	25.1	47.2	21	9.4	40.7
22	24.1	50.9	22	8.7	42.9
23	23.3	53.5	23	7.9	45.3

Tabla 3: Valores de temperatura y humedad relativa promedios para verano e invierno en Albardón, para cada hora solar verdadera (HSV).

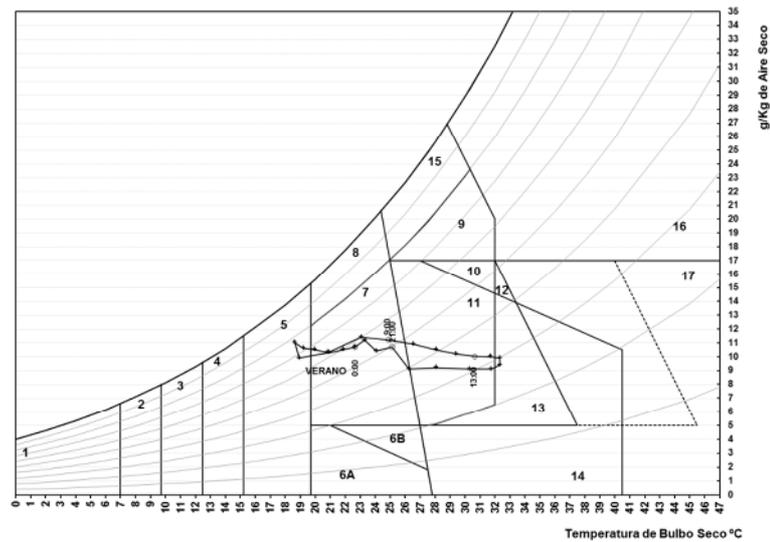


Figura 1: Carta bioclimática edilicia para Albardón – Verano

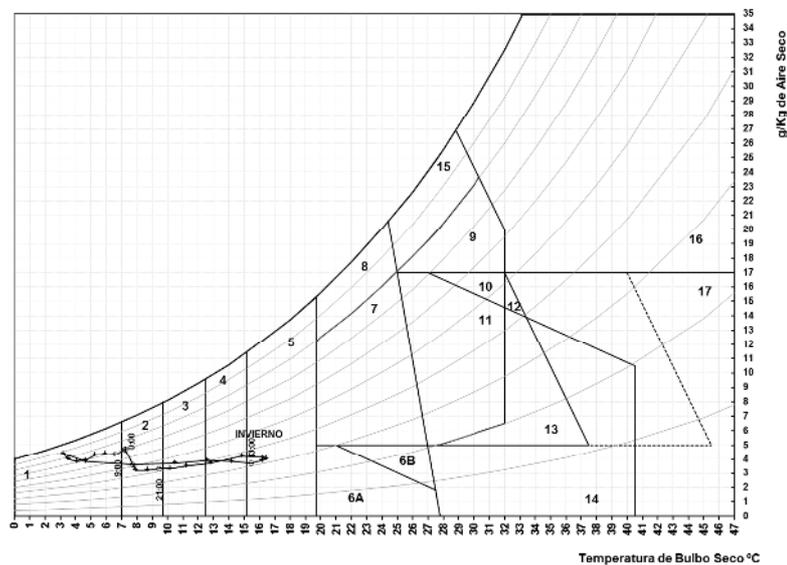


Figura 2: Carta bioclimática edilicia para Albardón – Invierno

La carta bioclimática edilicia de D. Watson (1984) está subdividida en ZONAS. La zona de confort (Zona N° 7) está delimitada hacia el lado frío por la temperatura de bulbo seco de 19,7°C, hacia el lado cálido por la temperatura efectiva de 25,5°C (para la cual se considera una circulación de aire de velocidad mínima: 0,1 m/seg y un nivel de vestimenta de 1 clo). Los límites superior e inferior de esta Zona, es decir hacia el lado húmedo y seco respectivamente, están dados por la curva correspondiente a una humedad relativa del 80% y una presión de vapor de 5,00 mmHg.

Hacia el lado frío de la zona de confort se extiende una zona, con cuatro Zonas: N°5, N°4, N°3 y N°2, donde es posible obtener confort interior mediante estrategias de calefacción solar pasiva. Pasado el límite inferior de la Zona N°2 (TBS = 7°C y Radiación sobre plano horizontal 4.600 Kcal/m²/día), es imposible obtener las condiciones deseadas mediante estrategias pasivas y debe recurrirse a sistemas solares activos o calefacción convencional (Zona N°1).

Inmediatamente sobre la Zona de confort hacia el lado húmedo, se ubica la Zona N°8, a la que corresponde la estrategia de «deshumidificación».

Debajo de la zona de confort, es decir a presión de vapor inferior a 5,00 mmHg, se ubica la Zona N°6. La misma se divide en dos sub-Zonas 6A y 6B, separadas por la línea oblicua de TBH de 10,8°C. A la

6A corresponde sólo la estrategia de «humidificación», mientras que la 6B admite además, el enfriamiento evaporativo.

Hacia el lado cálido-húmedo de la Zona de confort encontramos la zona N°15, en la cual sólo es aplicable la deshumidificación mecánica.

La Zona N°16 con mayores TBS y una PV mínima de 17 mmHg, ocupa todo el rango hacia la derecha de la carta. A ella corresponden las estrategias de «deshumidificación mecánica» y «enfriamiento mecánico».

Por debajo de la Zona N°15 y hacia el lado cálido-húmedo de la zona de confort, se encuentra la Zona N°9, en la que es aplicable la «ventilación de confort».

En las zonas por debajo de PV de 17 mmHg, se ubica una serie de áreas en las cuales se superponen varias estrategias de enfriamiento pasivo y que a continuación se detallan:

- Zona N°10: «ventilación de confort» y «enfriamiento radiante» por acción de la masa térmica del edificio.
- Zona N°11: enfriamiento radiante, ventilación de confort y enfriamiento evaporativo.
- Zona N°12: se aplica enfriamiento radiante solamente.
- Zona N°13: corresponde enfriamiento radiante y enfriamiento evaporativo.
- Zona N°14: enfriamiento evaporativo directo.

Hacia el extremo cálido-húmedo de la carta, sobre una presión de vapor de 17 mmHg, se encuentra la Zona N°16, en la cual sólo es posible obtener confort mediante deshumidificación y enfriamiento mecánico.

Finalmente, la Zona N°17 ocupa al resto de la región cálido-seca de la carta, con límite superior en 17 mmHg. En ella sólo es posible el enfriamiento mecánico.

Para calcular las estrategias de diseño en forma analítica se recurre al método de M. Cúnsulo (2014), el cual se basa en la división del diagrama psicrométrico propuesta por D. Watson (1984). El resultado se muestra en las tablas 4a y 4b para verano e invierno respectivamente.

ESTRATEGIA	HORAS	%
ZONA 1	0	0.0
ZONA 2	0	0.0
ZONA 3	0	0.0
ZONA 4	0	0.0
ZONA 5	3	12.5
ZONA 6 A	0	0.0
ZONA 6 B	0	0.0
ZONA 7	11	45.8
ZONA 11	8	33.3
ZONA 13	2	8.3
ZONA 14	0	0.0
ZONA 17	0	0.0
TOTAL	24	100.0

Tabla 4a (Estrategias para Verano)

ESTRATEGIA	HORAS	%
ZONA 1	8	33.3
ZONA 2	5	20.8
ZONA 3	3	12.5
ZONA 4	4	16.7
ZONA 5	4	16.7
ZONA 6 A	0	0.0
ZONA 6 B	0	0.0
ZONA 7	0	0.0
ZONA 11	0	0.0
ZONA 13	0	0.0
ZONA 14	0	0.0
ZONA 17	0	0.0
TOTAL	24	100.0

Tabla 4b (Estrategias para Invierno)

EJECUCIÓN DEL DISEÑO DE LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA

La premisa de diseño proyectual fue apuntada a una estética y morfología particular, en la búsqueda de una arquitectura apropiada, confortable funcional y espacialmente que respondiese a las exigencias de una vivienda solar pasiva, priorizando las condiciones de calefacción pasiva por sobre las de refrescamiento, debido a los porcentajes obtenidos en la determinación de estrategias de acondicionamiento bioclimático a fin de optimizar su diseño.

Se tomó como punto de partida las mallas espaciales, que comprenden entre varios sistemas estructurales, a las Geodésicas. Las mallas espaciales son sistemas estructurales formados por un gran número de barras, de longitud pequeña comparada con la de toda la estructura, las barras se unen entre sí a través de sus extremos dando lugar a una red tridimensional. Esta red tridimensional funciona por la acción concertada de cada una de sus piezas: las barras unidas en los llamados “nudos” se organizan formando modelos tetraédricos, cúbicos, etc. que al repetirse logran el conjunto espacial, dirigiendo las fuerzas y transmitiendo las cargas, convirtiendo a las largas varas en tramos estructuralmente cortos.

Estas construcciones presentan plantas circulares o elípticas; la malla espacial se logra por la subdivisión de los paños formados por las varas principales, mediante varas cada vez más apretadas y pequeñas, logrando la concertación de todos los elementos estructurales y funcionando como una unidad. La triangulación también está presente rigidizando las barras que forman las paredes.

El estar-comedor-cocina abarca el espacio de planta poligonal, “cuasi” circular, constituyendo el espacio neurálgico del hogar. A este se le anexa dos extensiones, un escritorio al Norte y al Oeste el lavadero y baño, a través de un pasillo, el que se conecta, mediante una apertura de doble hoja, con el patio trasero. El dormitorio se dispone en un entrepiso a 2,5m de altura. Se dispone un muro trombe vinculado al escritorio. La altura del domo en su centro es de 5,7m. En la Figura 3 se presenta la planta y en las Figuras 4 y 5, cortes de la vivienda. En la Figura 6 se muestran detalles constructivos particulares.

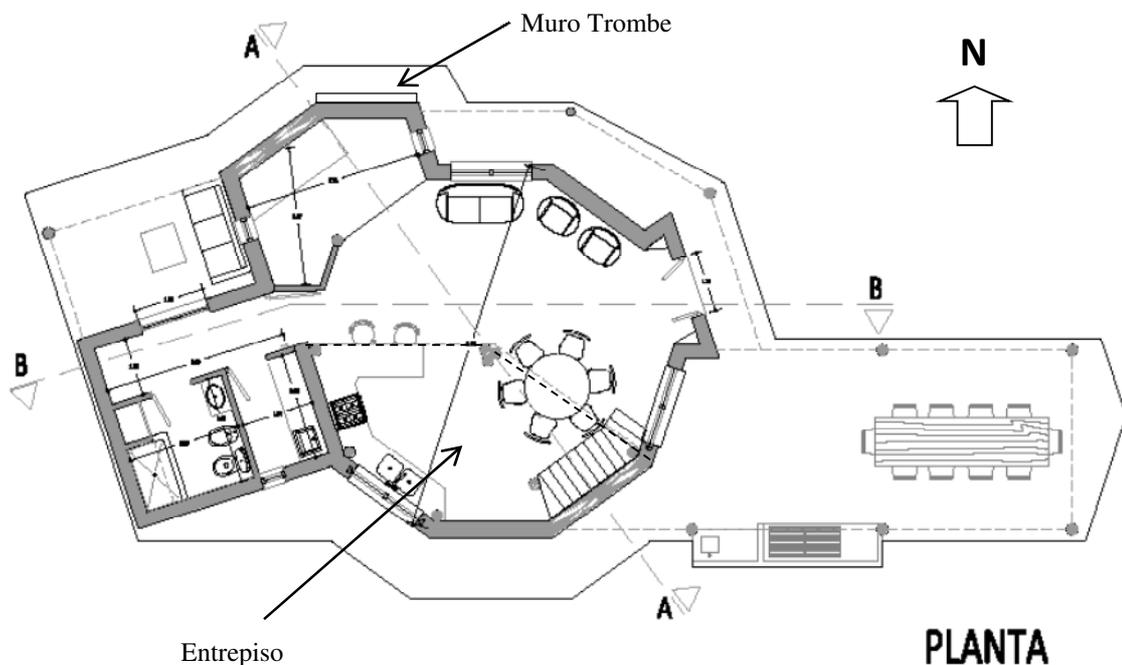
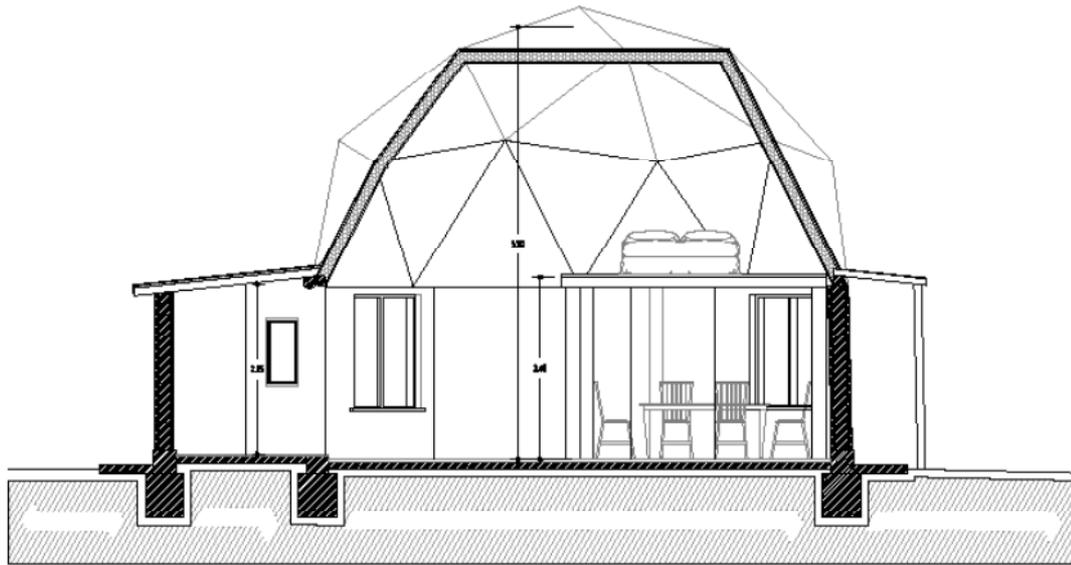


Figura 3: Planta de la vivienda

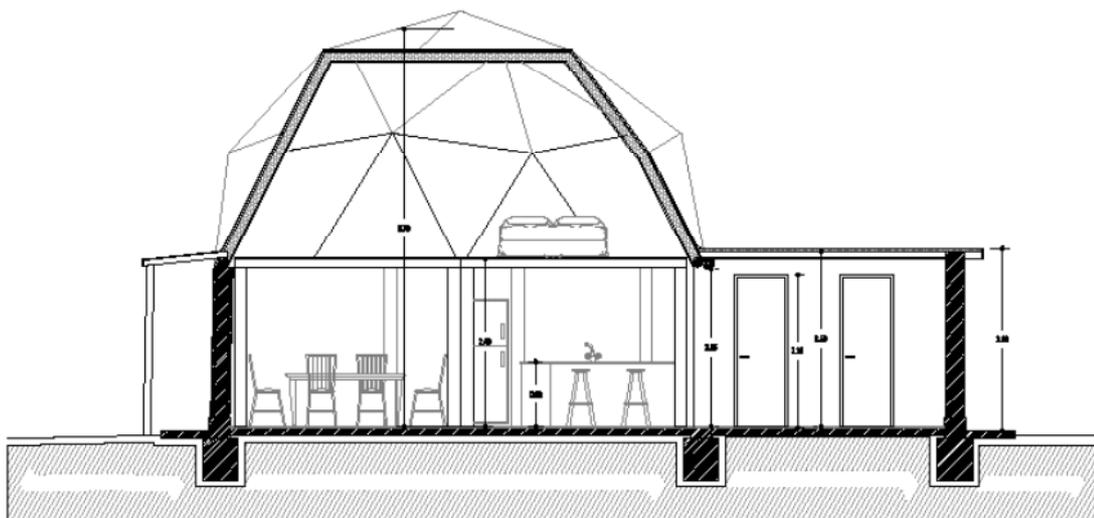
El muro trombe orientado al norte mas las ganancias directas por los aventanamientos contribuyen al acondicionamiento térmico de invierno, el cual será evaluado mediante software de simulación. Posee doble vidriado hermético con cámara de aire de 10 cm de espesor. Posee ventanillas superiores e inferiores hacia el interior y una ventanilla superior hacia el exterior que se abre en verano para evitar sobrecalentamiento. Asimismo se dispone de elementos de sombra tipo blackout que, en verano, cubren toda el área vidriada.

Se disponen aberturas hacia el sur del domo para favorecer la ventilación de confort durante el período cálido. Se agregan además dos ventanillas en la parte inferior del muro hacia el sur, debajo de la escalera, que aumenta esta circulación. Estas se protegen con tela mosquitera para evitar el ingreso de insectos.



CORTE A-A

Figura 4: Corte de la vivienda



CORTE B-B

Figura 5: Corte de la vivienda

El sistema constructivo consiste en una estructura conformada en su basamento y fundaciones por cimientos de zapata corrida de hormigón ciclópeo (Figura 6, detalle 1), unidos a bases de hormigón ciclópeo (Figura 6, detalle 2) donde se anclan las columnas de rollizo de eucaliptus, sobre estas apoyan, en el caso del domo, una cúpula geodésica constituida por nudos metálicos y barras de rollizo de madera de eucaliptus (Figura 6, detalle 3), en los locales Baño, Lavadero y Escritorio se apoyan vigas de encadenado superior y sobre ellas correas también de rollizos de madera de eucaliptus.

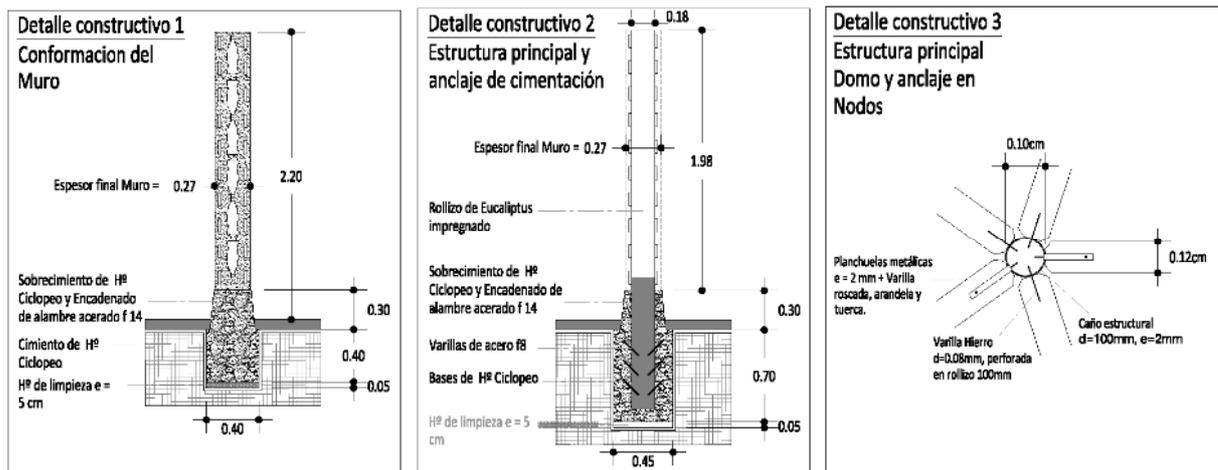


Figura 6: Detalles constructivos

Las paredes están constituidas por tablas de eucaliptus de ½” de espesor (recicladas de pallets) clavadas en ambos lados de los rollizos con una separación vertical de 10cm entre sí. El interior del muro se rellena con botellas descartables vacías y tapadas, las que conforman una cámara de aire de espesor 7cm. Por ambos lados se revocan las paredes con barro especialmente formulado para aumentar la adherencia y prevenir un cuarteado excesivo. Para su preparación se utiliza arena, arcilla, y paja. Este revoque tiene un espesor promedio de 9,5cm. Sobre este revoque grueso se aplica un revoque fino de 0,5cm de espesor, compuesto con los mismos materiales del revoque grueso, con el agregado de cal y jugo de hojas de tuna. La única excepción la constituye la mampostería del muro Trombe, que está compuesta por la misma composición del revoque grueso con un espesor de 26cm sobre el que se aplica el mismo revoque fino que el resto de las paredes, constituyendo un elemento acumulador de calor. Los valores asumidos son: Coef. de absorción: 0,5; Densidad: 1500 Kg/m³; Cp: 1842 J/Kg °C.

Las distintas barras se vinculan en los nodos de unión mediante planchuelas de acero de 4 o 5 brazos según sea la unión, las que se atornillan a la madera mediante tirafondos o bulones de acero. (Figura 6, detalle 3)

Sobre las barras y correas de la cúpula se dispone un cerramiento interior de machimbre de madera de pino de ¾” impregnado en aceite de lino, una mezcla de paja y tierra arcillosa de espesor 10cm y sobre ésta, otro cerramiento exterior de machimbre. Sobre esta última capa, se dispone una membrana asfáltica con lámina de aluminio pintada de color rojo. Los techos planos sobre baño, lavadero, pasillo y escritorio tienen la misma conformación excluyendo la capa de machimbre exterior. Se consideraron para estos elementos un coef. De absorción de 0,6 y un coef. De conducción de 2,7 W/m² °C.

VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Para realizar la simulación del comportamiento térmico de la vivienda se utiliza el software SIMEDIF (Flores Larsen, *et al.*, 2012) ingresando como datos meteorológicos las temperaturas y radiaciones solares correspondientes a las horas solares verdaderas enteras (Tablas 2 y 3). La vivienda se subdivide en locales dentro de los cuales se estima habrá condiciones térmicas similares. Estos locales son: **principal** (que agrupa estar-comedor-cocina-dormitorio), **baño**, **muro trombe**, **pasillo**, **lavadero** y **escritorio**. Por tratarse el techo de una superficie multi-facetada y a efectos de simplificar el cálculo, se considera al mismo formado por 7 superficies poligonales, cada una con una inclinación promedio de las reales, con azimut norte, sur, este, oeste, noreste, noroeste y horizontal (superior) respectivamente. Se designan los elementos constructivos como muros, piso, techos, tabiques, ventanas, ventanillas y se cargan las propiedades termofísicas de sus elementos constitutivos. La simulación se realizó para un período de 15 días de similares características. El resultado de la modelización correspondiente al día 15 de la serie de invierno se presenta en la Tabla 5, y en la Figura 7. En la tabla 6 y en la Figura 8 se muestran los resultados para verano.

HSV	Principal	Escritorio	Baño	Lavadero	Pasillo	Trombe	Exterior
0	10.6	16.4	13.6	13.3	14.5	21.9	8.0
1	10.3	16.2	13.4	13.0	13.6	21.3	7.3
2	9.8	15.9	13.1	12.7	13.1	20.6	6.2
3	9.2	15.6	12.8	12.4	12.6	19.9	5.1
4	8.7	15.4	12.5	12.1	12.3	19.3	4.3
5	8.5	15.2	12.3	12.0	12.0	18.8	4.0
6	8.4	15.1	12.2	11.9	11.9	18.5	4.1
7	8.6	15.1	12.3	11.9	11.9	18.4	4.9
8	9.9	15.3	12.9	12.6	13.2	19.1	6.1
9	12.5	15.7	14.6	14.3	16.1	21.2	7.8
10	15.3	16.3	16.7	16.2	19.5	24.4	9.6
11	17.8	17.1	18.6	18.0	22.7	28.0	11.5
12	19.6	17.9	20.1	19.5	25.1	31.5	13.4
13	20.3	18.5	20.8	20.2	26.3	34.1	14.9
14	20.1	19.0	20.8	20.2	26.3	35.9	15.9
15	19.3	19.3	20.2	19.6	25.6	37.0	16.4
16	18.9	19.6	19.7	19.1	25.6	39.0	16.3
17	14.6	18.5	15.8	15.5	17.0	31.2	15.5
18	13.9	18.0	15.4	15.1	16.4	28.7	14.1
19	13.0	17.6	15.0	14.7	15.8	26.8	12.2
20	12.1	17.2	14.5	14.2	15.1	25.2	10.2
21	11.3	16.8	14.1	13.8	14.5	24.0	8.5
22	10.8	16.6	13.8	13.5	14.1	23.0	7.5
23	10.8	16.6	13.8	13.4	14.1	22.5	7.9

Tabla 5: Resultados de la modelización para invierno

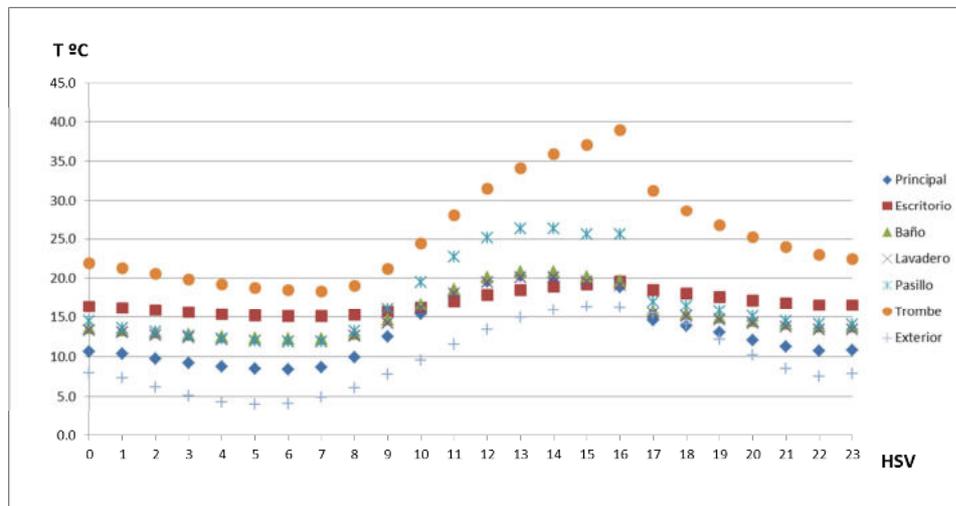


Figura 7: Modelización para invierno

HSV	Principal	Escritorio	Baño	Lavadero	Pasillo	Trombe	Exterior
0	22.5	21.2	22.5	21.9	22.1	21.4	22.6
1	22.2	21.1	22.4	21.8	21.9	21.4	21.9
2	21.7	20.9	22.1	21.6	21.7	21.4	20.9
3	21.3	20.7	21.8	21.4	21.5	21.3	20.0
4	20.8	20.5	21.6	21.2	21.3	21.3	19.2
5	20.5	20.4	21.4	21.1	21.1	21.3	18.6
6	20.6	20.4	21.4	21.1	21.1	21.3	18.9
7	21.3	20.7	21.9	21.4	21.5	21.4	20.8
8	22.3	21.0	22.6	21.9	21.9	21.6	23.1
9	23.1	21.4	23.0	22.3	22.3	21.7	24.9
10	23.8	21.7	23.5	22.7	22.7	21.8	26.5
11	24.6	22.0	24.0	23.1	23.1	22.0	28.1
12	25.2	22.2	24.5	23.4	23.4	22.2	29.4
13	25.8	22.5	24.9	23.7	23.8	22.4	30.6
14	26.3	22.7	25.2	23.9	24.0	22.5	31.7
15	26.6	22.9	25.1	24.0	24.1	22.3	32.3
16	26.7	23.0	25.1	24.0	24.1	22.3	32.3
17	26.5	22.9	24.9	23.9	24.0	22.2	31.7
18	25.9	22.7	24.6	23.6	23.8	22.1	30.3
19	25.0	22.4	24.0	23.2	23.4	22.1	28.1
20	24.3	22.2	23.6	22.9	23.0	22.0	26.3
21	23.8	22.0	23.3	22.7	22.8	22.0	25.1
22	23.3	21.8	23.1	22.5	22.6	21.9	24.1
23	23.0	21.7	22.9	22.3	22.4	21.9	23.3

Tabla 6: Resultados de la modelización para verano

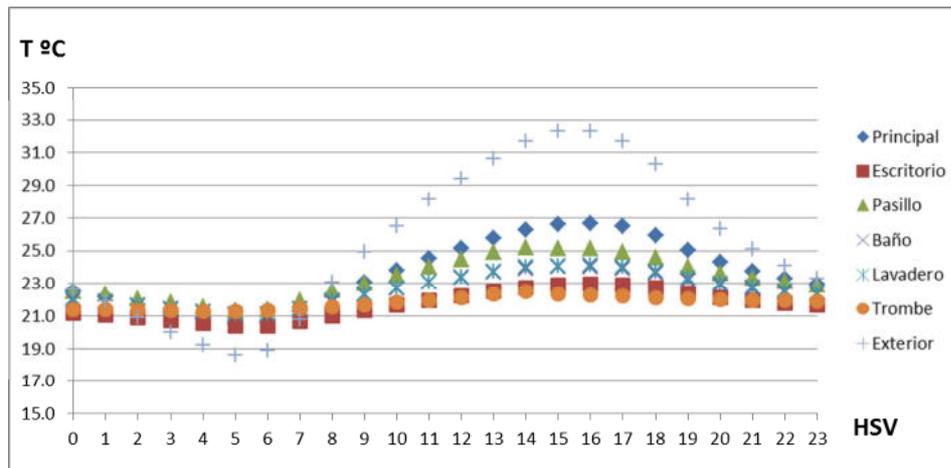


Figura 8: Modelización para verano

RESULTADOS

En relación con las estrategias de diseño bioclimático, solo el 33% de las horas de invierno, el confort de la vivienda se logrará con energías convencionales, debido a la rigurosidad climática de la zona de implantación. El resto del tiempo, el diseño bioclimático representa una solución para su acondicionamiento térmico. Para el caso del verano, el 100% de los requerimientos de acondicionamiento térmico se puede proveer con diseño bioclimático, implementando ventilación de confort, enfriamiento radiante + enfriamiento evaporativo. (Zonas 11 y 13 de la Carta Bioclimática de Donald Watson, 1983).

En el invierno, en condiciones exteriores de temperaturas promedio diarias de 9,7°C, la simulación térmica de la vivienda permite estimar una temperatura promedio interior para todos los locales de 17,1°C con un ΔT °C interior entre las 6:00 (HSV) y las 13:00 (HSV) de 11,4°C.

Para el verano la temperatura promedio interior resulta 22,6°C, valores dentro de los límites de confort para todas las horas del día, con un ΔT °C promedio de 3.3°C interior entre las 5:00 (HSV) y las 16:00 (HSV). Por tanto, se obtienen condiciones de confort térmico durante el 100% de las horas del día, concordantemente con lo calculado en las estrategias bioclimáticas. Para esta estación se modelizó el comportamiento considerando el bloqueo total del muro trombe, abriendo una ventanilla exterior en la parte superior del mismo, lo que permite la circulación de aire que ingresa al local principal por orificios colocados en la parte inferior del muro sur del domo.

CONCLUSIONES

El hábitat no urbano de zonas áridas es un ámbito propicio para la experimentación de nuevas tecnologías de diseño de viviendas bioclimáticas de bajo costo con confort higrotérmico, ambas condiciones ambientales de alto impacto para la población en general y particularmente la más carenciada.

La construcción de viviendas con tierra cruda en zonas rurales áridas, es una posibilidad al alcance de la mano para los sectores económicamente más vulnerables por la disponibilidad natural de los materiales de construcción, su bajo requerimiento presupuestario asociado y la posibilidad de autoconstrucción guiada.

Se obtienen condiciones de confort higrotérmico incorporando materiales reciclados de costo prácticamente nulo, aplicando principios de diseño arquitectónico bioclimático. La incorporación de cámaras de aire (botellas descartables vacías) y paja en la argamasa de sus muros, y madera y paja en la cubierta, constituyen alternativas válidas como aislación térmica.

La validación científica de una cantidad representativa de experiencias como la presente, facilitará la incorporación de este concepto de tecnología bioclimática en tierra cruda, a las normas de diseño y construcción, las cuales hasta el presente, no las incluye en los estándares establecidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cúnsulo M. (2014) Determinación analítica de las Estrategias de Diseño Bioclimático de acuerdo con el método de D. Watson. Proyecto de Investigación Científica Orientado – PICTO 2009 N° 0002. ANPCyT-SECYT y UNSJ. Res. N199/11.
- Givoni B. (1976) *Man, Climate and Architecture*. Ed. Van Nostrand Reinhold Co. New York.
- Kurbán A., Cúnsulo M., Matar M., Ortega A., Ripoll V. (2015): Prototipo Bioclimático de Vivienda Social para Zona Árida Urbana. AVERMA Vol. 3, pp. 01.39-01.49. Salta. ISBN 978-987-29873-0-5
- Flores Larsen S., Lesino G., Saravia L. (2012) SIMEDIF Programa de Diseño y Cálculo. INENCO. UNSa-CONICET.
- Papparelli A., Kurbán A., Cúnsulo M., de Rosa C., Lelio G., Solanes F., Vilapriño R. (1998). *Arquitectura y Clima en Zonas Áridas*. EFU. Argentina.
- Watson, D., Faia y Kenneth Labs. (1983) *Climatic Design*. Ed. Mc. Graw-Hill Book Company. USA.

ABSTRACT

The aim of the work is the validation of local materials as a contribution to the resolution of rural social housing with bioclimatic and sustainable focus, tending to guided self-building. It shows the study of a geodesic dome for social housing in the rural area of an arid zone, located in Albardón, San Juan. The design incorporates bioclimatic principles, using elements of easy implementation and maintenance, with technologies and alternative materials with low environmental impact. The climatic information was obtained from meteorological stations installed in the implementation area of the project. Its processing allowed the elaboration of design strategies and the evaluation of the project using the SIMEDIF software. There was obtained average interior temperature 17.1°C in winter and 22.6°C in summer with slight daily fluctuations. It is concluded that it is possible to get comfort conditions in housing using alternative materials and construction techniques of low-cost recycling disposable materials.

Keywords: geodesic dome, bioclimatic architecture, mud, recycled elements.