ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 22, pp 01.13-01.24, 2018. Impreso en la Argentina
ISSN 2314-1433 - Trabajo selecionado de Actas ASADES2018

EVALUACIÓN TERMICA DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATICA EN TIERRA CRUDA CON DINAMICA DE FLUIDOS

M. Cúnsulo[1] C. Martinez[2]
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 1º Piso, J5400ZAA San Juan.
Tel (0264) 4202664 e-mail: mcunsulo@unsj.edu.ar

Recibido 11/08/18, aceptado 24/09/18

RESUMEN: Se estudia el comportamiento térmico de un domo geodésico construido en tierra cruda, con materiales reciclados de bajo costo. Se verifican variables climáticas locales relacionadas con el confort térmico de la vivienda durante el verano, mediante la modelización de escenarios con diferentes condiciones iniciales, complementada con la simulación térmica realizada en un proyecto de investigación precedente.

Se evalúa el comportamiento térmico estival con dinámica de fluidos, se valida y complementa el resultado de la modelización del comportamiento térmico de la vivienda citado y se confirman las ventajas de utilizar la oferta ambiental del sitio: clima, materiales locales y de amplia disponibilidad, costumbres vernáculas, etc. como aporte a la resolución de viviendas sociales rurales, con enfoque bioclimático y sostenible, tendientes a la auto-construcción guiada.

Palabras clave: Modelización fluido-dinámica, Domo en tierra cruda, Confort bioclimático, Zonas áridas.

INTRODUCCION

El trabajo se inserta en la disciplina Diseño Arquitectónico Bioclimático, particularizado en el estudio de la vivienda social en área rural de zona árida con la utilización de materiales naturales-ecológicos y reciclados, en este caso situada en el Departamento de Albardón, en la Provincia de San Juan. Constituye un avance respecto del trabajo expuesto en la reunión de ASADES 2017 denominado: "Diseño y simulación térmica de vivienda rural bioclimática en tierra cruda" (Cúnsulo M., Matar M., 2017). En él se presentó el diseño de una vivienda rural, de acuerdo con los condicionantes ambientales de la zona de implantación, se describieron los materiales y tecnología utilizados y se simuló su comportamiento térmico a partir de la aplicación del software SIMEDIF (Flores Larsen, *et al.,* 2012). El domo geodésico bioclimático en tierra cruda se encuentra localizado en un área no urbana del departamento Albardón a 11Km de la capital de la Provincia de San Juan, (Lat. -31º26', Long. -68º 30' y 627msnm). La necesidad de evaluar científicamente desde el punto de vista térmico este tipo de edificaciones se fundamenta en la siempre presente y creciente demanda al derecho a una vivienda digna, y en la falta de respuestas energéticamente responsables, sin criterios de sostenibilidad, diseño y tecnologías apropiadas ni apropiables.

La vivienda conforma un sistema constructivo posible de ser ejecutado por auto-construcción guiada y de bajo mantenimiento, con tecnologías y materiales alternativos, haciendo un aporte superador de las soluciones vigentes, en cuanto al confort térmico y adaptabilidad climática, con bajo impacto ambiental, tanto en su ejecución como en su eventual desmontaje. Los materiales utilizados son rollizos de eucaliptos como postes y vigas-columnas que conforman la estructura resistente del domo

[1] Profesor Adjunto FAUD-UNSJ; Profesional Principal CONICET
[2] Becario Doctoral CONICET

geodésico. Las uniones entre elementos se realizan mediante piezas metálicas diseñadas especialmente para cada caso según la cantidad de elementos que confluyen a cada nudo.

Los muros, confinados entre puntales, consisten en un paquete conformado por dos entablados de eucaliptus a junta abierta de 3cm de separación entre tablas, rellenados con botellas PET[3] vacías. El conjunto se revoca interior y exteriormente con barro estabilizado con jugo de tuna y una parte de arena. Los muros poseen un arriostramiento inferior de hormigón armado entre dichos puntales para evitar su desplazamiento ante fuerzas sísmicas. En las Figuras 1, 2, y 3 se muestran la planta y dos cortes del domo geodésico en estudio.

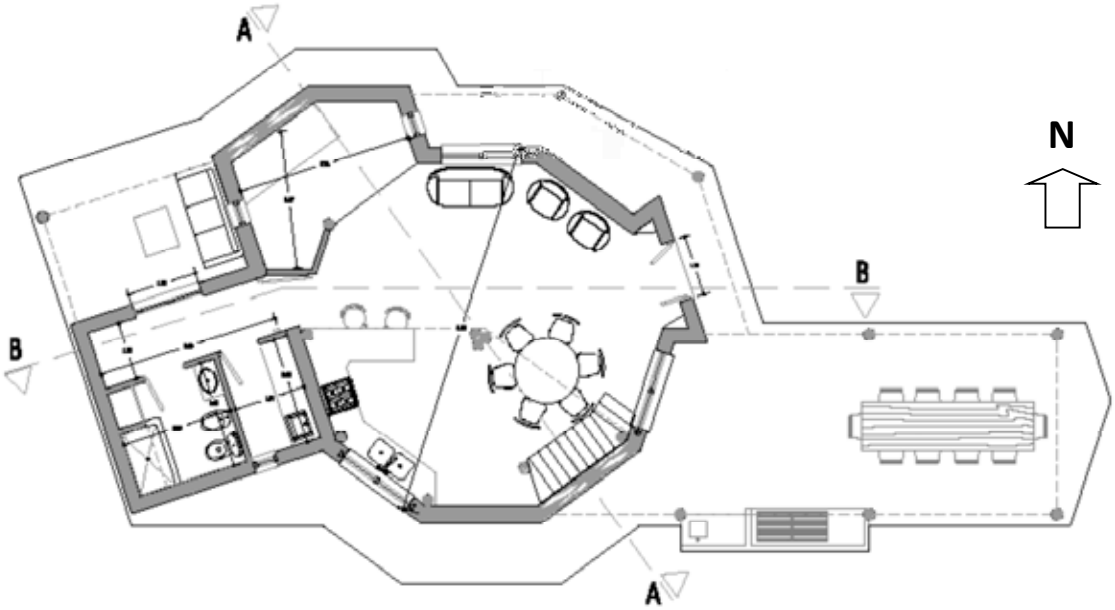

Figura 1: Planta de la vivienda

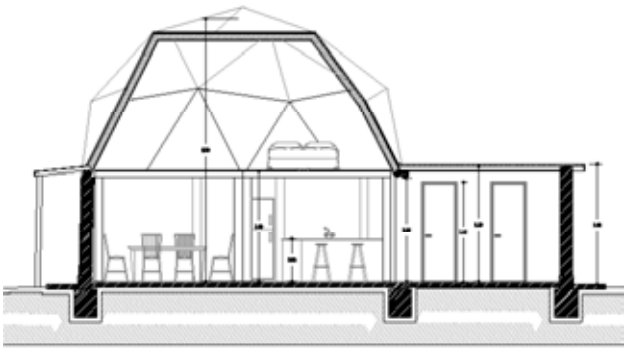

Figura 2: Corte A-A de la vivienda

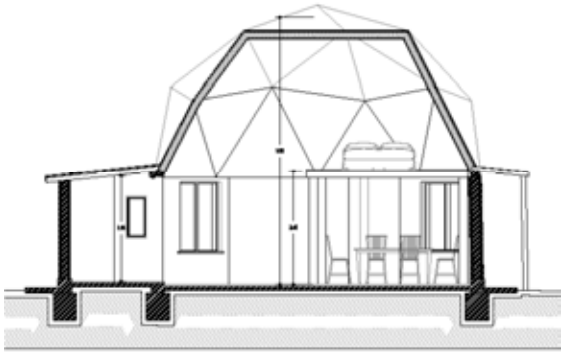

Figura 3: Corte B-B de la vivienda

Para este trabajo se amplió la base de datos climática disponible (período 1992-2010) con datos del período 2014-2016. Se verificaron las estrategias de diseño bioclimáticas para esta nueva información meteorológica y se realizó una simulación fluidodinámica de la vivienda (estado estacionario) mediante el uso de Autodesk Simulation CFD, utilizando como condiciones de contorno la información climática disponible de los meses de diciembre, enero y febrero. Se aplicaron condiciones iniciales (de acuerdo con dicha información climática) para conformar los distintos escenarios en los cuales se evaluó el comportamiento del modelo de vivienda. Los resultados obtenidos de la simulación se complementan con los resultados obtenidos en un trabajo anterior (Cúnsulo M., Matar M., 2017).

[3] PET: polietileno tereftalato

ARCHIVO DE DATOS CLIMÁTICOS

La base de datos utilizada inicialmente, consistió en registros de estaciones meteorológicas instaladas en diferimientos impositivos de la zona de implantación de la obra, correspondientes al período 1992-2010. Estos se complementaron en el actual trabajo, con las provenientes de la estación meteorológica propiedad del INEAA (Unidad Ejecutora), instalada en zona No Urbana. Los parámetros estudiados fueron temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar global, durante las estaciones climáticas de verano (diciembre – enero – febrero) e invierno (junio – julio – agosto).

En este avance, la base de datos anterior se amplió con los registros de los años 2014-2016 de los citados diferimientos impositivos. A los parámetros estudiados anteriormente, se le agregó el viento: dirección y velocidad, registrado para la estación verano (diciembre - enero – febrero) información fundamental como insumo de la posterior modelización fluidodinámica del modelo.

Análisis comparativo entre períodos de registro

Procesados los valores de temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar global promedio para el período ampliado (1992-2010 y 2014-2016) se manifiestan diferencias despreciables (en el tercer decimal) con respecto a los obtenidos inicialmente. En la Figura 4, se muestra la variación horaria (para HSV) de Temperatura del Aire para verano e invierno; en la Figura 5 la correspondiente a Humedad Relativa y en la Figura 6 la de Radiación Solar Global.

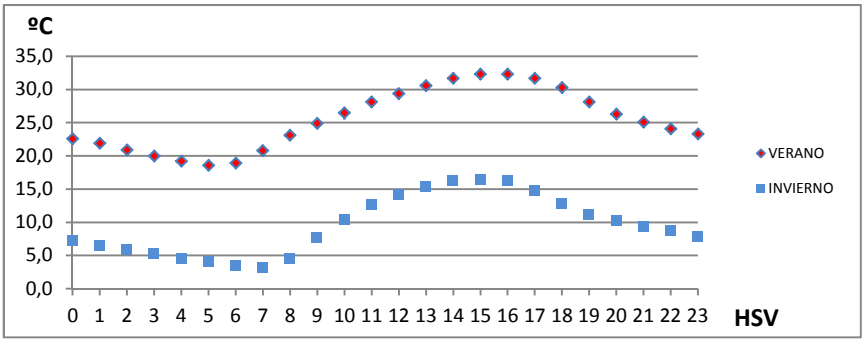

Figura 4: Modelización estacional de Temperaturas

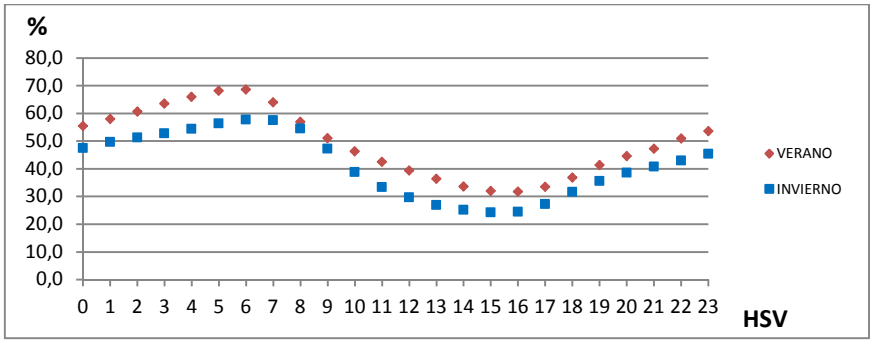

Figura 5: Modelización estacional de Humedad Relativa

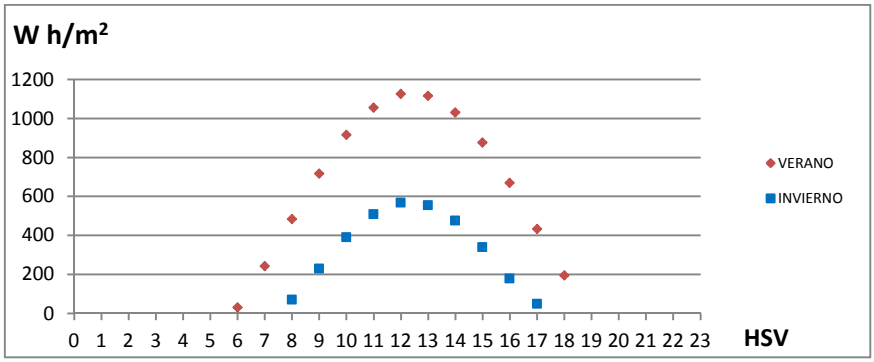

Figura 6: Modelización estacional de Radiación Solar Global

Los valores horarios (HSV) y estacionales (Ver. e Inv.) resultantes se presentan en Tablas 1 y 2.

VERANO		
HSV	**Temperatura (ºC)**	**Humedad relativa (%)**
0	22,6	55,4
1	21,9	57,9
2	20,9	60,6
3	20,0	63,5
4	19,2	65,9
5	18,6	68,1
6	18,9	68,6
7	20,8	64,0
8	23,1	56,9
9	24,9	51,0
10	26,5	46,3
11	28,1	42,5
12	29,4	39,3
13	30,6	36,3
14	31,7	33,6
15	32,3	31,9
16	32,3	31,7
17	31,7	33,4
18	30,3	36,8
19	28,1	41,3
20	26,3	44,6
21	25,1	47,2
22	24,1	50,9
23	23,3	53,5

INVIERNO		
HSV	**Temperatura (ºC)**	**Humedad relativa (%)**
0	7,2	47,4
1	6,6	49,6
2	5,9	51,3
3	5,3	52,8
4	4,6	54,4
5	4,1	56,3
6	3,5	57,7
7	3,2	57,5
8	4,6	54,5
9	7,7	47,2
10	10,5	38,8
11	12,6	33,3
12	14,2	29,6
13	15,4	26,9
14	16,2	25,1
15	16,5	24,2
16	16,2	24,5
17	14,8	27,2
18	12,8	31,6
19	11,2	35,5
20	10,2	38,5
21	9,4	40,7
22	8,7	42,9
23	7,9	45,3

Tabla 1: Valores de temperatura y humedad relativa promedios para verano e invierno en Albardón, para cada hora solar verdadera (HSV). Período (1992-2010 y 2014-2016).

PERÍODO	**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**
R_G prom Ver. (W h/m2)	31,9	244,2	485,2	718,8	916,5	1056,8	1126,0	1117,4	1031,9	877,8	670,6	433,4	196,5
R_G prom Inv. (W h/m2)			70,9	231,2	391,6	510,3	568,7	554,8	476,4	340,4	179,1	50,0	

Tabla 2: Valores de R_G promedio (W h/m^2) para invierno y verano en Albardón, para cada hora solar verdadera (HSV). Período (1992-2010 y 2014-2016).

VERIFICACION DE LAS ESTRATEGIAS DE DISEÑO BIOCLIMATICO

Metodológicamente, para conocer la cantidad de horas anuales en las que se necesita acondicionar bioclimáticamente una vivienda, se aplica el método analítico desarrollado por Cúnsulo, M. (2014) el que se basa en el método gráfico de D. 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.

Se estima adecuado re-calcular las estrategias bioclimáticas estivales e invernales determinadas en Cúnsulo y Matar (2017) por ser estas estaciones las más rigurosas del clima macroescalar, con inviernos fríos y veranos calurosos.

En las Figuras 7 y 8 se presentan las estrategias resultantes del procesamiento de datos climáticos ampliados, para ambas estaciones climáticas.

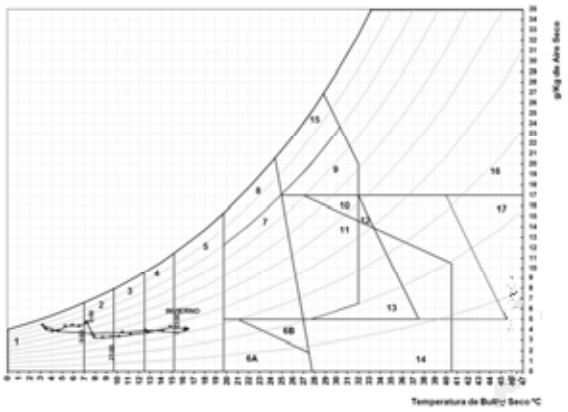

Figura 7: Invierno.

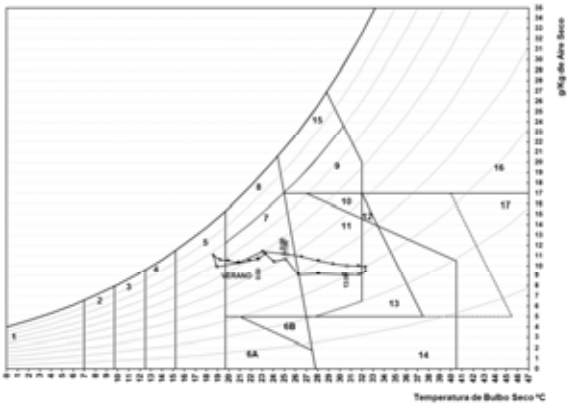

Figura 8:Verano

El resultado analítico del cálculo de Estrategias Bioclimáticas se muestra en las Tablas 3a y 3b para invierno y verano respectivamente.

3a Invierno		
Estrategia	**Horas**	**%**
Zona 1	8	33,3
Zona 2	5	20,8
Zona 3	3	12,5
Zona 4	4	16,7
Zona 5	0	16,7
Zona 6A	0	0,0
Zona 6B	0	0,0
Zona 7 (Confort)	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**

3b Verano		
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 6A	0	0,0
Zona 6B	0	0,0
Zona 7 (Confort)	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 3: Cantidad de horas anuales por Estrategias Bioclimáticas. 3a de Invierno y 3b de Verano

SIMULACIÓN FLUIDO-DINÁMICA DE LA VIVIENDA

Se consideran las condiciones de ventilación nocturna como herramienta y estrategia bioclimática de refrescamiento en verano (Zona bioclimática 11), la cual constituye el 33,3% de las horas del día. El enfriamiento radiante (Zona bioclimática 13, 8,3%) se consigue abriendo las ventanas cenitales del domo durante la noche. A partir de la documentación precedente, se ejecuta un modelo digital tridimensional representativo del domo geodésico utilizando un software de diseño asistido por computadora, cuidando la precisión, ya que el modelo CFD no admite incongruencias de borde, es decir, no permite ninguna superposición ni hendija en el mismo. Se genera el modelo del domo con caras sin espesor y luego se procede a extruirlo hacia afuera para evitar superposiciones de elementos. Se conforma de este modo el diseño volumétrico a modelizar.

La vivienda se evalúa con herramientas informáticas de simulación fluidodinámica como el software Autodesk Simulation CFD. Para el invierno, el modelo no es aplicable ya que se supone que las aberturas permanecen cerradas y no existe circulación de aire desde el exterior. En el análisis para verano se consideran dos escenarios posibles en la situación de apertura de puertas y ventanas:

- Escenario **E1**: corresponde a todas las puertas y ventanas totalmente abiertas.
- Escenario **E2**: corresponde a puertas cerradas y la abertura superior del domo que mira hacia el norte también cerrada; el resto todo abierto.

En cada escenario se plantean dos situaciones de velocidad de vientos del sur (viento dominante) de 5km/h y 10km/h (velocidad promedio y máxima respectivamente) entrando por las respectivas aberturas. Se calcula la componente normal al plano de cada abertura. Las alturas consideradas en la simulación se corresponden con las actividades que se desarrollarán en el interior del domo: en el nivel inferior, a la altura de 1,5m para una persona de pie; otra a 0,50m para una persona sentada. Para el entrepiso se simula a una altura 0,5m por encima del entrepiso correspondiente a la ubicación sobre la cama. Los resultados se muestran en planos ubicados a: 0,5m; 1,5m y 3m desde el nivel de piso de Planta Baja. En las Figuras 9 a 16, para el escenario **E1** y Figuras 17 a 24 para el escenario **E2**. Además se muestra para cada escenario y cada caso de estudio, una vista (norte) del plano de corte vertical central del domo. (Figuras 15 y 16 para el escenario **E1**; Figuras 23 y 24 para el escenario **E2**).

Escenario **E1**

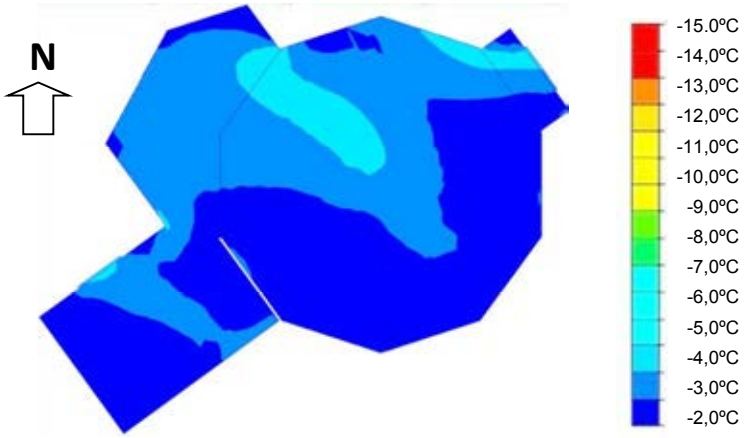

Figura 9: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 0,5m desde el nivel de piso; v=5Km/h – **E1**

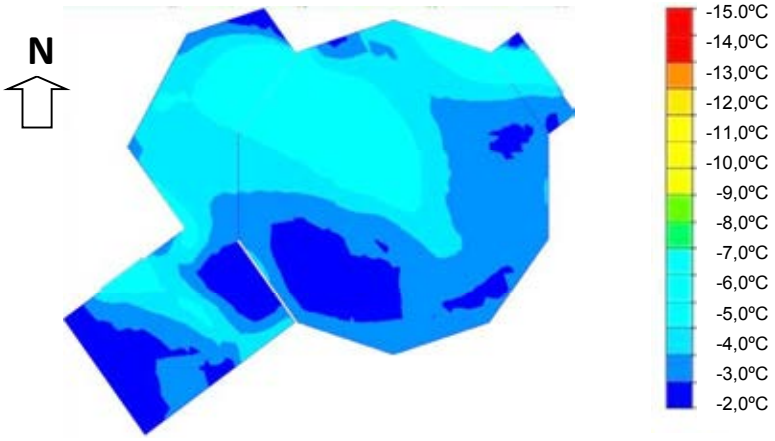

Figura 10: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 0,5m desde el nivel de piso; v=10Km/h. – **E1**

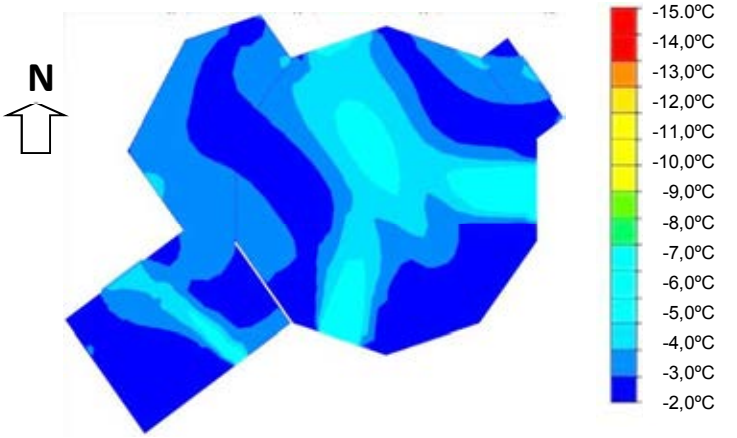

Figura 11: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 1,5m desde el nivel de piso; v=5Km/h. – **E1**

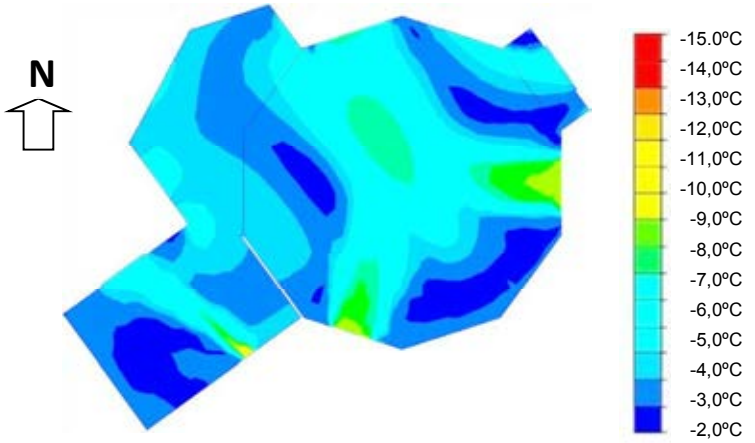

Figura 12: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 1,5m desde el nivel de piso; v=10Km/h. – **E1**

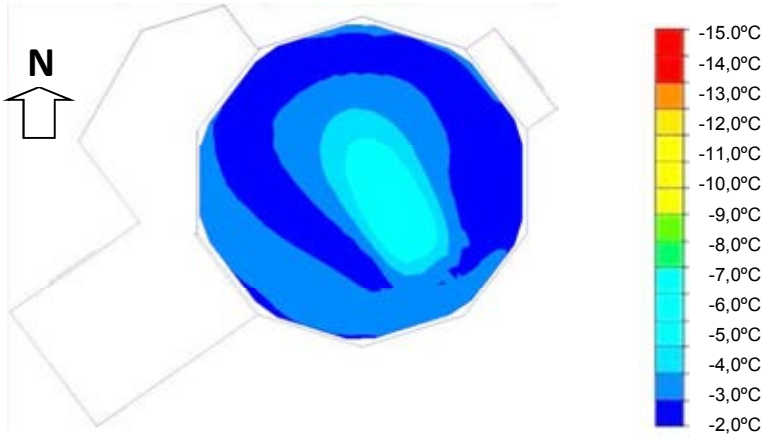

Figura 13: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 3,0m desde el nivel de piso; v=5Km/h. – **E1**

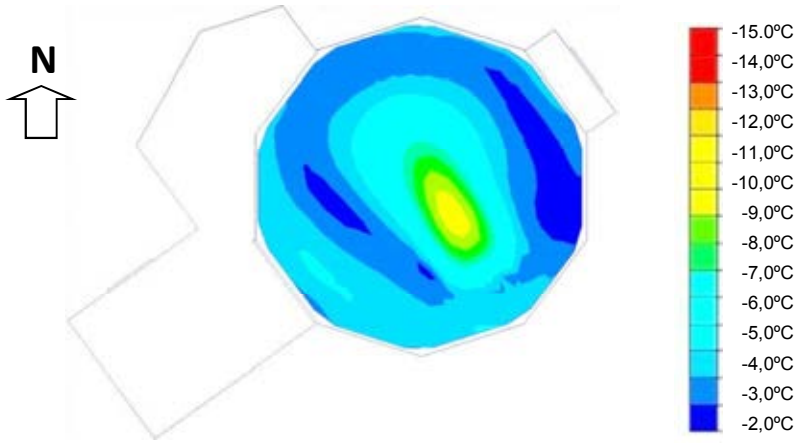

Figura 14: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 3,0m desde el nivel de piso; v=10Km/h. – **E1**

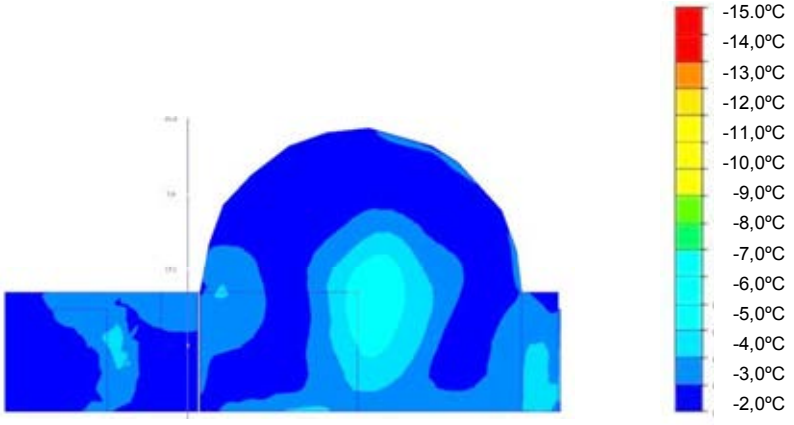

Figura 15: Esquema de distribución del aire dentro del domo. Corte vertical; v=5Km/h. – **E1**

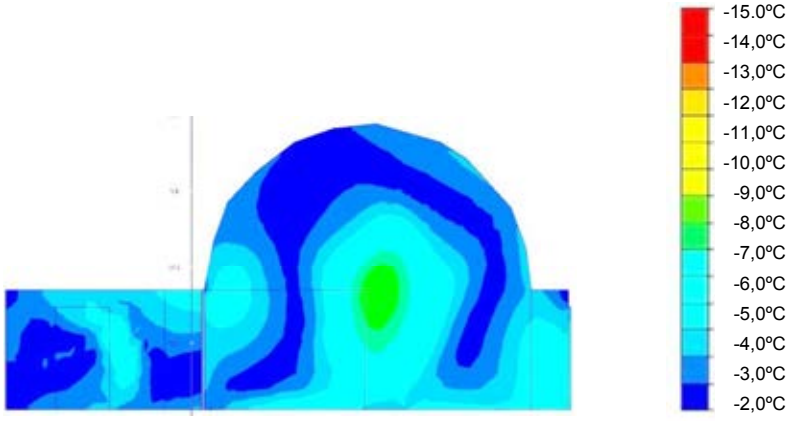

Figura 16: Esquema de distribución del aire dentro del domo. Corte vertical; v=10Km/h. – **E1**

Escenario **E2**

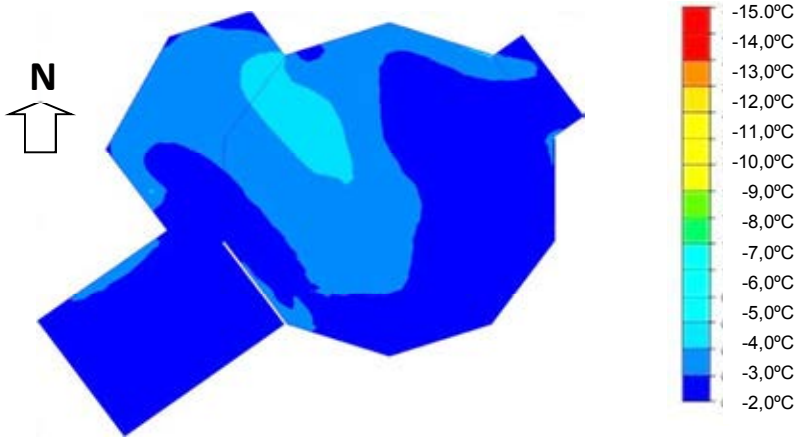

Figura 17: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 0,5m desde el nivel de piso; v=5Km/h. – **E2**

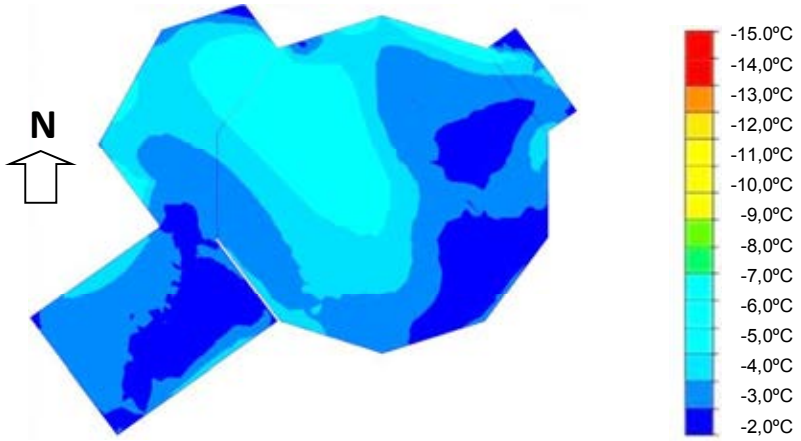

Figura 18: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 0,5m desde el nivel de piso; v=10Km/h. – **E2**

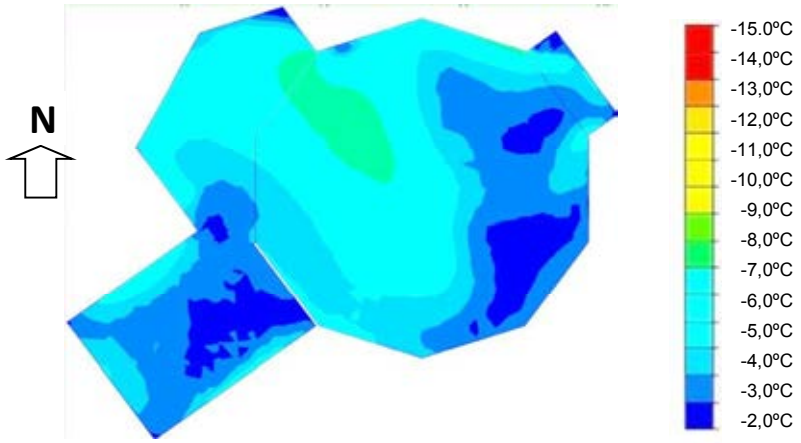

Figura 19: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 1,5m desde el nivel de piso; v=5Km/h. – **E2**

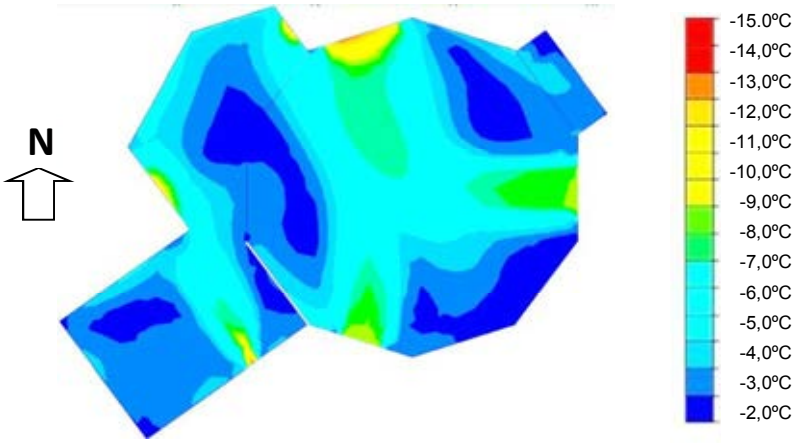

Figura 20: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 1,5m desde el nivel de piso; v=10Km/h. – **E2**

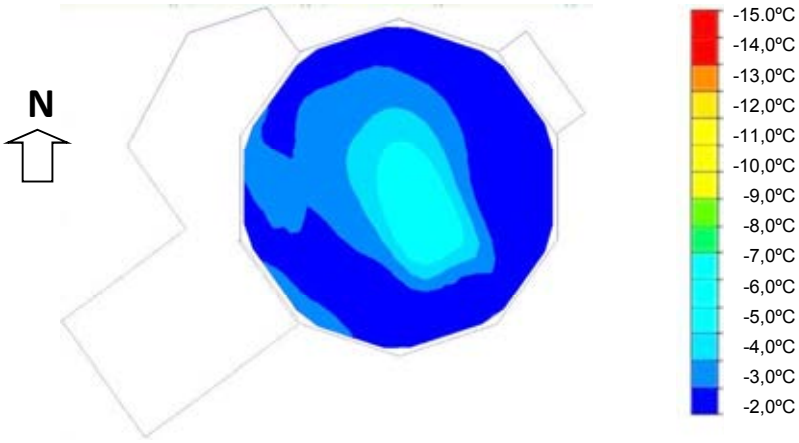

Figura 21: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 3,0m desde el nivel de piso; v=5Km/h. – **E2**

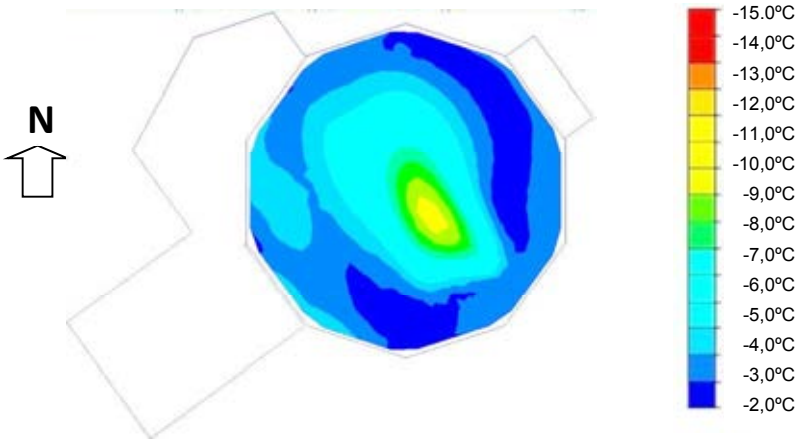

Figura 22: Esquema de distribución del aire dentro del domo a 3,0m desde el nivel de piso; v=10Km/h. – **E2**

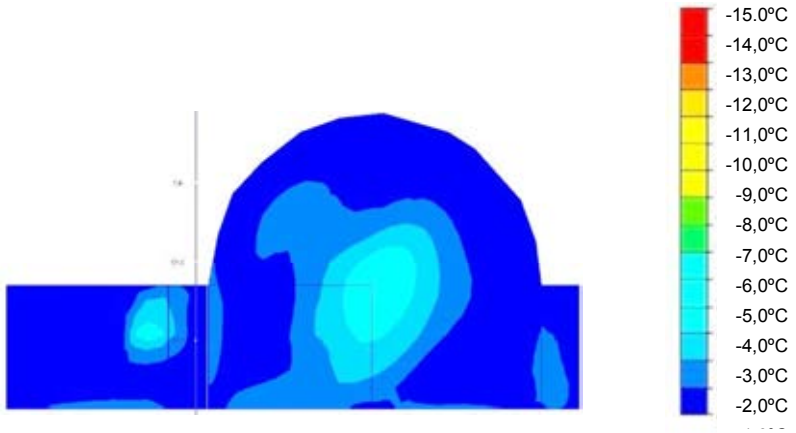

Figura 23: Esquema de distribución del aire dentro del domo. Corte vertical; v=5Km/h. – **E2**

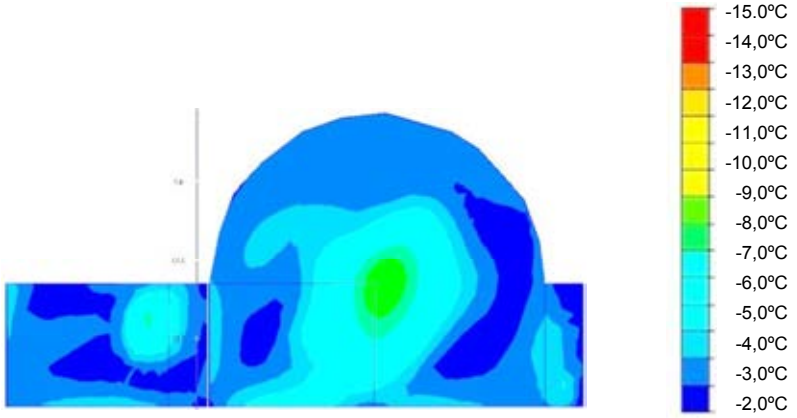

Figura 24: Esquema de distribución del aire dentro del domo. Corte vertical; v=10Km/h. – **E2**

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En verano, la ventilación de las viviendas puede mejorar las condiciones de confort a través de dos maneras: ventilación natural directa sobre las personas, denominada Ventilación de Confort y ventilación sobre la masa interna del edificio, que también se denomina Ventilación Nocturna (por las horas más propicias para realizarla). Ambas son consideradas Sistemas Pasivos de Refrescamiento, basados en la potencial capacidad térmica del aire en movimiento (Yarque, 2005).

Neila y Bedoya (2001) establecen una correlación entre la velocidad del aire y el descenso de temperatura efectiva. Esta correlación está referida a unidades de velocidad en m/seg, motivo por el cual, las modelizaciones se realizan en estas unidades. La sensación de refrescamiento es de 1ºC por cada 0,2m/s de velocidad del aire. Las escalas gráficas a la derecha de las Figuras 9 a 24, muestran que cada superficie de color equivale a saltos de 1ºC. El límite al que la velocidad del aire llega a ser incómodo, se sitúa entre 1,1m/s y 1,2m/s. Con esta velocidad puede llegarse a una temperatura efectiva 6ºC menor que la temperatura del aire de bulbo seco.

En la modelización realizada (Cúnsulo y Matar, 2017) mediante el software SIMEDIF (Flores Larsen, *et al.,* 2012) la máxima diferencia entre la temperatura exterior y el espacio principal es de 6ºC, valor que también se verifica en la modelización fluido-dinámica del Escenario 2 para velocidades de viento de 10Km/h (Figura 20), a 1,5m de altura, valor levemente superior al que se alcanza en el Escenario 1 en las mismas situaciones (Figura 12). También en los perfiles verticales se muestra esta reducción de temperatura, especialmente en el centro del espacio principal.

Para una velocidad del aire de 5Km/h, la reducción de la temperatura sensible es un poco inferior, aproximadamente 4ºC, lo cual hace ingresar las condiciones ambientales a la Zona de Confort.

En los cortes a 3m de altura, donde está situado el plano de reposo del dormitorio, en el entrepiso, las condiciones que se presentan también se muestran con reducciones importantes (de 3ºC a 4ºC) que hacen que resulten confortables en ese sector, con velocidad del aire de 10Km/h (Figuras 22 y 24). Con velocidad del aire de 5Km/h, la sensación térmica se reduce entre 1ºC y 3ºC.

CONCLUSIONES

El análisis permite evaluar la distribución del flujo de aire dentro de la vivienda, sin tener en cuenta las propiedades termofísicas de los materiales utilizados en los cerramientos. Esto limita el campo de aplicabilidad a situaciones donde la ventilación de confort y la ventilación nocturna son estrategias importantes de refrescamiento durante el verano, como es el caso de estudio.

Las simulaciones fluido-dinámicas confirman los resultados a los que se arribó para esas condiciones con la modelización térmica cuantitativa (Cúnsulo y Matar, 2017) mediante el software SIMEDIF (Flores Larsen, *et al.,* 2012) tanto en el efecto de refrescamiento como en la intensidad del mismo.

Este tipo de estudios permite visualizar las zonas donde el efecto de refrescamiento se produce con menor y mayor intensidad. Esto posibilita la toma de medidas en cuanto a disposición y dimensiones de las aberturas, de modo que sean eficientes, principalmente en verano.

La masa térmica y las aislaciones incorporadas al diseño completan el resto de las horas del día con condiciones de confort térmico en el domo, durante el verano. Son también los elementos que proveen condiciones de confort durante el invierno.

REFERENCIAS

Cúnsulo M. (2014) Determinación analítica de las Estrategias de Diseño Bioclimático de acuerdo con el método de D. Watson. En Proyecto de Investigación Científica y Técnica Orientado – PICTO 2009 Nº 0002. ANPCyT-SECYT y UNSJ. Res. N199/11.

Cúnsulo M., Matar M. (2017) Evaluación Térmica de vivienda bioclimática construida en tierra cruda usando materiales reciclados. AVERMA Vol. 20, pp 05.25 a 05.36. Salta. ISBN 978-987-29873-0-5

Flores Larsen S., Lesino G., Saravia L. (2012) SIMEDIF - Programa de Diseño y Cálculo. INENCO. UNSa-CONICET.

Neila F., Bedoya C. (2001). Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental. 2º Edición Murilla - Lería. Madrid.

Watson, D., Faia y Kenneth Labs. (1983) Climatic Design. Ed. Mc. Graw-Hill Book Company. USA.

Yarque E. (2005). Ventilación Natural de Edificios. ISBN 987-584-036-X. Ed. NOBUKO. Bs. As.

ABSTRACT

The thermal behavior of a geodesic dome built in raw land, with low-cost recycled materials is studied. The different local climatic components and their correlations with the thermal comfort of the house during the summer were checked, through the modeling of scenarios with different initial conditions, complemented with the thermal simulation made in a previous work.

Summer thermal behavior with fluid dynamics was evaluated; the results of modeling the thermal behavior of the house was validated and supplemented, and the advantages of using local materials widely available were confirmed as a contribution to the resolution of rural sustainable social housing, focused on bioclimatic and guided self-build.

Keywords: Fluid-dynamic modeling, raw land dome, bioclimatic comfort, arid zone.