21º SIACOT

21º Seminario Iberoamericano
de Arquitectura y Construcción con Tierra
Bogotá y Tibasosa – Colombia, 9 al 13 de noviembre de 2023



Memorias

editores:
Alejandro Ferreiro
Zazanda Salcedo Gutierrez
Célia Neves

ISBN 978-956-416-763-3

Alejandro Ferreiro
Zazanda Salcedo Gutierrez
Célia Neves
(Editores)

21º SIACOT
Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra

ISBN 978-956-416-763-3 emitido en 9 de enero de 2024 por la Cámara Chilena del Libro solicitado por Natalia Soledad Jorquera Silva (autora)

Bogotá/Tibasosa – Colombia
Universidad Nacional de Colombia/Escuela Taller de Boyacá
PROTERRA
2023

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA COCINA-FÁBRICA EN EL VALLE CALCHAQUÍ TUCUMANO

Amalita Fernández[1], David Elsinger[2], Beatriz Silvia Garzón[3]

Facultad de Arquitectura y Urbanismo-Universidad Nacional de Tucumán - CONICET, Tucumán, Argentina,
[1]afernandez@herrera.unt.edu.ar; [2]delsinger@herrera.unt.edu.ar; [3]bgarzon06@gmail.com

Palabras clave: eficiencia térmico-energética, confort térmico, monitoreo higrotérmico, termografía

Resumen

La región de los Valles Calchaquíes, en la provincia de Tucumán, tiene un acceso limitado a las energías secundarias, lo que afecta el confort térmico y dificulta establecer actividades laborables permanentes. Es por ello que resulta necesario proyectar edificios eficientes, con mínimos requerimientos energéticos. El presente trabajo aborda el estudio de las condiciones térmicas interiores de una cocina-fábrica de dulces ubicada en el campo experimental Encalilla, Amaicha del Valle. El objetivo del presente trabajo es verificar las condiciones de eficiencia térmico-energética con las que fue proyectado por un estudio de arquitectura local y ajustado bioambientalmente por este equipo. Se analizan los resultados obtenidos tanto en el interior como en el exterior y se comparan entre sí. Se realiza un monitoreo higrotérmico para un período de quince días en invierno y se evalúa la correcta ejecución de la envolvente mediante termografía. Se analizan los resultados obtenidos tanto en el interior como en el exterior y se comparan entre sí. Se incluye también, el estudio de las condiciones de confort según ASHRAE 55, voto medio predicho (PMV). Los resultados que se obtienen son favorables, se evidencia como la masa de los muros genera un importante amortiguamiento térmico y las orientaciones de las ventanas permiten ganancias térmicas favorables.

1 INTRODUCCIÓN

La región de las Cumbres y Valles Calchaquíes tiene un acceso limitado a la red eléctrica y no cuenta con infraestructura para el abastecimiento de gas natural (INDEC, 2010). El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria expone que ante la falta de infraestructura en los valles se origina un problema complejo (INTA, 2020). Esta abarca distintos aspectos como la falta de generación de empleo genuino y por ende la migración y el despoblamiento de las zonas rurales, así como también una carencia de entidades productoras consolidadas. Frente a este contexto, resulta necesario apelar a una mejor utilización de energías naturales que permita disminuir o independizar a los edificios de las energías secundarias.

En Argentina, el 37 % del consumo energético es responsabilidad del sector edilicio, siendo la climatización el ítem más representativo (Kuchen; Kozak, 2020). Se puede afirmar que aproximadamente un tercio de la energía que se genera en el país es consumido por las edificaciones y un poco menos de la mitad de esa energía se pierde en la demanda de acondicionamiento térmico (INTI, 2005). Frente a este escenario, toda mejora tecnológica que posea la capacidad de disminuir las pérdidas y ganancias de calor en edificaciones tiene un potencial impacto muy alto en la reducción de emisiones de gas de efecto invernadero y del consecuente calentamiento global (Costantini; Francisca, 2022). Las auditorias edilicias y la relación que ellas guardan con la materialización constructiva y los consumos energéticos, son un importante aporte para el desarrollo de estrategias de eficiencia energética y el adecuado diseño arquitectónico (Re; Blasco L., 2008). El objetivo del presente trabajo es dar a conocer el comportamiento térmico de la cocina fábrica del campo experimental Encalilla sin la utilización de elementos de acondicionamiento térmico activos.

2 METODOLOGÍA

La metodología del presente trabajo consiste íntegramente en técnicas cuantitativas de análisis y evaluación. Se analiza y evalúa el comportamiento térmico de una cocina fábrica a partir del monitoreo higrotérmico, estudio termográfico de la envolvente y análisis del confort térmico durante la estación más desfavorable, invierno.

El monitoreo se realiza con tres sensores higrotérmicos acumuladores de datos (dataloggers) HOBO UX100-003. Los mismos cuentan con un rango de temperatura desde -20 °C a 70 °C, con un error ±0,21 °C. Estos se testean en situación controlada de temperatura, mediante un sistema de acondicionamiento de aire con termostato a 26 °C y se corrobora que los cuatro sensores empleados están correctamente calibrados. La toma de datos se realiza en intervalos de 15 minutos durante un período de catorce días. Los sensores se colocan a la altura de la ocupación humana, en muros interiores no expuestos a radiación solar.

El estudio termográfico de la envolvente se realiza a partir de una cámara termográfica infrarroja. La misma, corresponde al modelo FLIR C2 y cuenta con una precisión de ±2 °C o 2 % y un rango de temperatura que va desde -10 a +150 °C.

Se realiza el análisis del confort térmico según el estándar ASHRAE 55 (2004) a partir del software SIMEDIF 2.0. Es un programa para el diseño y simulación del comportamiento térmico de edificios desarrollado íntegramente en el Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) (Flores L.; Lesino, 2000). Se utilizan los datos de temperatura y humedad relativa registrados en el monitoreo. Dicho estándar (ANSI/ASHRRAE 55) permite estimar la sensación de confort mediante el voto medio predicho (PMV) y el porcentaje de personas insatisfechas (PPD). El método analítico calcula ambas variables en base al índice de arropamiento, la tasa metabólica, la velocidad de aire, la temperatura operativa y la humedad. El método predice el PMV en una escala con 7 rangos: muy frío (PMV<-2,5), frío (-2.5<PMV<-1,5), fresco (-1,5<PMV<-0,5), neutral de confort (-0,5<PMV<PMV<PMV+2,5). La zona de confort establece las condiciones en las que el 80% de las personas, en actividad sedentaria o de actividad ligera, encuentran el ambiente térmicamente aceptable. Las condiciones de cálculo empleadas son: índice de arropamiento en verano: 0,5 clo; tasa metabólica: 1,3 met y velocidad del aire (mínima): 0,1 m/s.

3 DESARROLLO

3.1 Presentación y caracterización de la localidad de estudio

El caso de estudio se emplaza en el campo experimental Encalilla, en Amaicha del Valle, Tucumán. El mismo se encuentra hacia el noroeste de la capital tucumana, a 170 km de distancia y una altitud de 1700 m (figura 1).

Según IRAM 11603 (2012), la localidad se clasifica como zona IIIa, templado cálido, con amplitudes térmicas superiores a los 14ºC. Se caracteriza por grandes rangos de temperatura durante el día, por lo cual es aconsejable el uso de todos los elementos o recursos que tiendan al mejoramiento de la inercia térmica. En cuanto a las orientaciones, se destaca la necesidad de proveer protecciones solares adecuadas hacia el oeste y se recomienda también que las aberturas estén provistas de sistemas que obstruyan la radiación.

A nivel nacional, no existe ninguna estación meteorológica fija en la región. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) cuenta con estaciones meteorológicas en la región de Cafayate, cuyo primer registro fue en 2014 y el último en 2020, de esta estación solo se puede obtener valores de humedad relativa. El INTA, también cuenta con registro de datos climáticos en la localidad de Andalgalá, pero las últimas mediciones fueron en 2012, no se cuenta con datos actuales. Tampoco se cuenta con datos actuales para Amaicha del Valle. Se puede acceder a mediciones de entre 1944 y 1976. Existen mediciones de principios de los años 2000, pero en períodos no consecutivos y sin datos de algunos meses.



Figura 1. Geolocalización del campo experimental Encalilla (créditos: Google Earth Pro 2023).

La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres cuenta con datos actuales de la localidad de Colalao del Valle, a aproximadamente 20 km del campo experimental a la altitud de 1700 m.



Figura 2. Ubicación de la estación meteorológica más cercana en relación al campo experimental (créditos: Google Earth Pro 2023).

Se analizan los datos climáticos de la estación meteorológica mencionada, ubicada en la localidad de Colalao del Valle. Se vuelcan los datos obtenidos en el diagrama de Givoni. Se determina que la principal estrategia a tener en cuenta es la calefacción solar pasiva, con una incidencia del 72 %, seguida por la ventilación natural correspondiente al 16 %, y solo un 12 % no necesita ninguna estrategia ya que se encuentra en la zona de confort. Se observa, que la situación más crítica para esta localidad es el solsticio de invierno.

3.2 Descripción del caso de estudio

El caso de estudio, consiste en una cocina fábrica ubicada en el campo experimental Encalilla en Amaicha del Valle, Tucumán. La misma cuenta con los siguientes locales:

- Sector de preproducción, resuelto como un espacio semicubierto que permite el ingreso de la materia prima cosechada como así también su limpieza y preparación.

- Un sector de producción, compuesto por la cocina, despensa y vestuario que permiten la cocción y envasado de la producción de dulces.
- Un sanitario completo.
- Zona de ventas en relación directa con la zona de producción.

Su morfología consiste en un volumen prismático, cuyas caras más largas se orientan hacia el norte y sur. El mismo presenta aberturas en sus cuatro caras y cuenta con una galería adyacente al edificio que cubre la cara con orientación este (figura 3).



Figura 3. Vista y planta de la cocina fábrica

La cocina se proyecta atendiendo a cuestiones bioclimáticas, sanitarias y de sustentabilidad. En cuanto a su emplazamiento, su disposición permite que todos los locales principales cuenten con la orientación norte. La galería orientada hacia el este, acentúa su forma lineal. En tal sentido, coincide con la recomendación de Serra y Coch (2018, p 248), “las formas lineales tienen un comportamiento térmico mejor durante todo el año si se alargan en dirección Este-Oeste, ya que tienen más posibilidades de captar radiación en invierno con la gran superficie de exposición que representa la fachada al Norte y en cambio en verano captarán poco a causa de que las fachadas Este y Oeste son más reducidas”.

La ejecución del edificio se resuelve con muros portantes de adobe asentados con barro. Los mismos tienen un espesor de 30 cm. Se asientan en sobrecimientos de piedra, situación típica de la construcción con tierra para evitar contacto con la humedad del suelo. La mampostería se refuerza interiormente con fibras de caña para conferir flexibilidad y mayor resistencia ante el sismo.

Sobre los muros, descansa un envigado de rollizos, sobre el cual se dispone un entramado secundario de madera y, por encima de este, apoya una cubierta de chapa galvanizada con 5 cm de lana de vidrio a modo de aislante térmico.



Figura 4. Proceso constructivo de muros y techo (Crédito: Estudio Bumbacher).

Las superficies interiores del sector cocina-baño y despensa responden a criterios de sanidad para cumplir con las respectivas normativas. La cara interior de los muros presenta un revoque cementicio y el cielorraso es de placas de yeso. En la sala de ventas, no es necesario cumplir con dichos estándares por lo que las terminaciones interiores se resuelven con materiales y técnicas propias del lugar. El revoque se lleva a cabo con barro con fibra de caña y el

cielorraso es un cañizo. Las puertas se conforman con marco y hoja de madera, las ventanas con marco, hojas y postigos de madera y vidrio común.



Figura 5. Terminaciones superficiales (Crédito: equipo GHabSS)

3.3 Análisis termográfico de la envolvente

Con el fin de conocer el comportamiento térmico de la envolvente y evaluar los puentes térmicos, se realiza un análisis a partir de la termografía infrarroja. La toma de datos se efectúa en invierno, a las 12:00 h. Al momento ese, los valores de temperatura y humedad relativa del aire eran de 17,39 °C y 19 % respectivamente.

Por un lado, se exponen fotos tomadas desde el exterior (figura 6). En la mampostería de adobe, se percibe la continuidad en su comportamiento térmico, juntas y mampuestos. Se puede observar, el sobrecimiento como un importante puente térmico. Las zonas de sombra presentan temperaturas considerablemente menores a las de las zonas asoleadas, lo cual pone en evidencia la importancia de contar con la orientación norte libre de obstrucciones.



Figura 6. Termografía exterior

Por otro lado, se toman también imágenes desde el interior (figura 7), las cuales permiten identificar la diferencia de temperatura en tiempo real de la superficie exterior con la interior. Desde adentro es posible también observar la buena práctica constructiva de los muros, en los cuales no se perciben puentes térmicos en su masa.

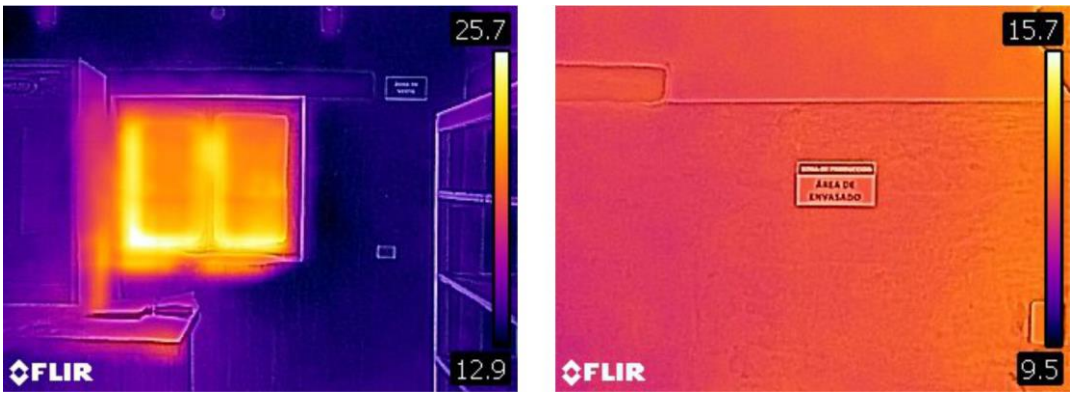


Figura 7. Termografía interior

3.4 Monitoreo higrotérmico

El monitoreo se realiza en la estación más desfavorable, invierno, fuera de la temporada de frutas y, por ende, la cocina no se encuentra encendida, es decir que en este período no se suma la carga térmica generada por el proceso de cocción. El mismo se inicia el día martes 23 de agosto de 2022 y se extiende hasta las 13:00 h del martes 6 de septiembre de 2022. Período de 2 semanas completas.

De los cuatro sensores disponibles, tres se colocan en la cocina-fábrica de la siguiente manera:

- Sensor 1: sala de ventas.
- Sensor 2: sala de producción (cocina).
- Sensor 3: galería sur

Se ubica a los sensores a la altura aproximada de 1,80 m de la zona de ocupación, en muros interiores no asoleados para que no se generen tomas incorrectas de datos debido a la incidencia de la radiación solar.

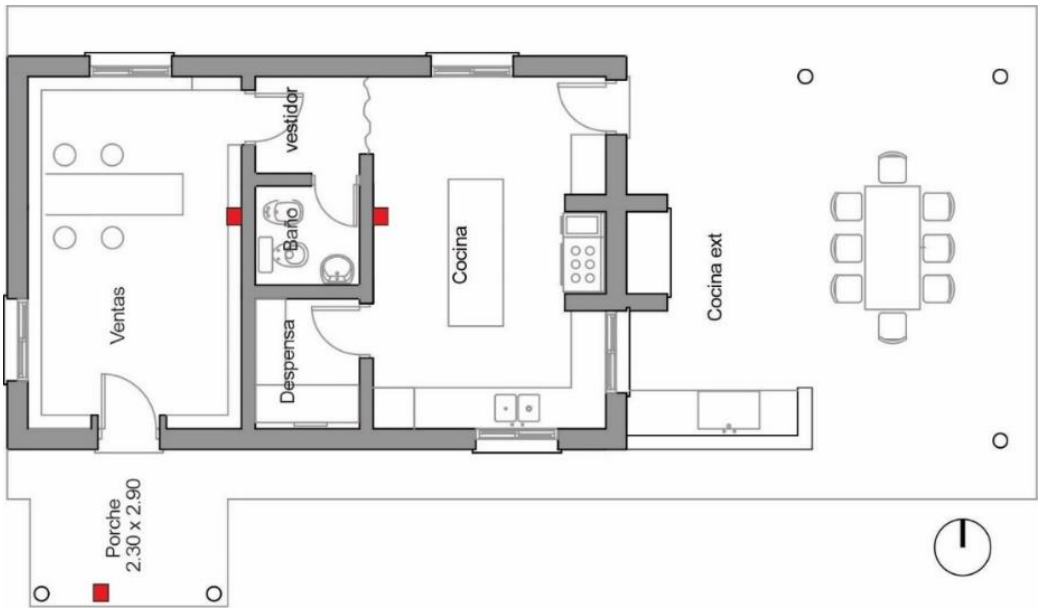


Figura 8. Ubicación de sensores en la cocina fábrica

El cuarto sensor, se coloca en la casilla meteorológica perteneciente al campo experimental, actualmente vacía (figura 9).



Figura 9. Casilla meteorológica del campo experimental

En primera instancia se interpretan los datos higrotérmicos exteriores. El máximo valor registrado es de 29,02 °C y el mínimo de -3,08 °C. Por otro lado, la máxima amplitud térmica diaria detectada es de 29,02 °C y la mínima de 6,15 °C. La humedad relativa media es de 29 %, la mínima de 15 % y la máxima 79 %. Se percibe aridez por los bajos valores de HR.

Para evaluar la acción de la radiación solar en la temperatura del aire, se comparan los valores de temperatura medidos en la casilla meteorológica con los de la galería sur, la cual se encuentra totalmente al resguardo de la radiación solar en invierno. Los resultados (figura 10) demuestran una ligera diferencia entre ambas mediciones, resultando siempre mayores los valores de temperatura medidos en la casilla meteorológica.

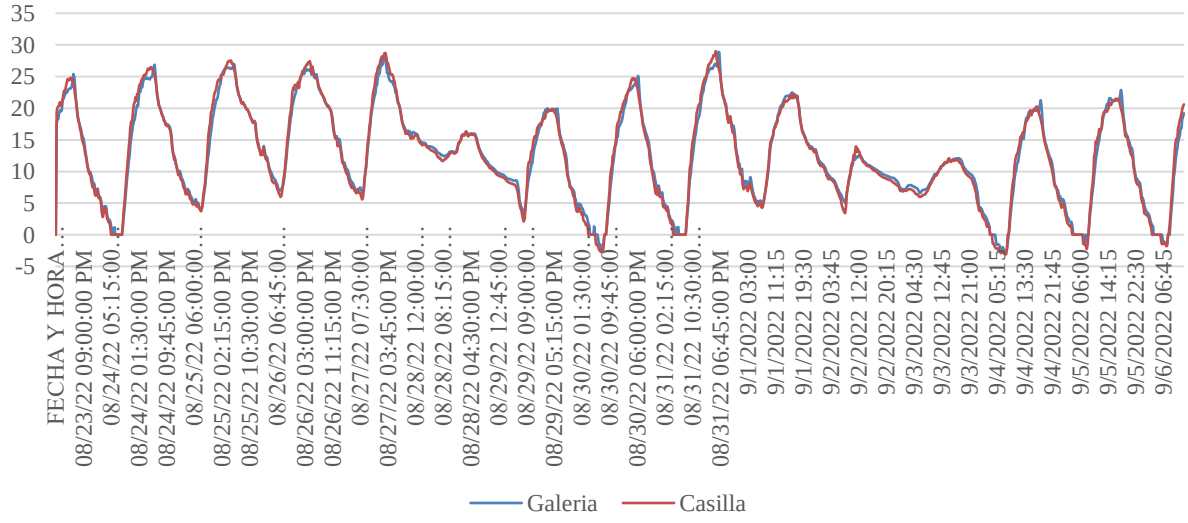


Figura 10. Comparación valores de temperatura exterior medidos en casilla meteorológica y galería sur

En cuanto a las temperaturas interiores (figura 11), se evidencia un importante amortiguamiento térmico, propio de la presencia de muros de adobe con una generosa masa térmica. Mientras la temperatura exterior fluctúa enormemente (hasta 30 °C de amplitud térmica), la interior se mantiene dentro de pequeños rangos (hasta 5 °C de amplitud térmica).

Cuando se dan los picos mínimos de temperatura ambiente, en los horarios nocturnos, el

interior resulta altamente confortable, considerando que la temperatura exterior es inferior a los 0 °C y la interior oscila los 15 °C. Los picos máximos de temperatura exterior, resultan en su mayoría confortables, debido a que corresponde al invierno, en estos casos la temperatura interior resulta inferior y menos confortable. Se hace muy evidente la inercia térmica de los muros que posibilitan este tipo de comportamiento.

Se evidencia también, la acción positiva de las ventanas orientadas hacia el norte, ya que se registra una progresiva ganancia térmica durante el día, cuya curva es más pronunciada que la pérdida que se produce por la noche.

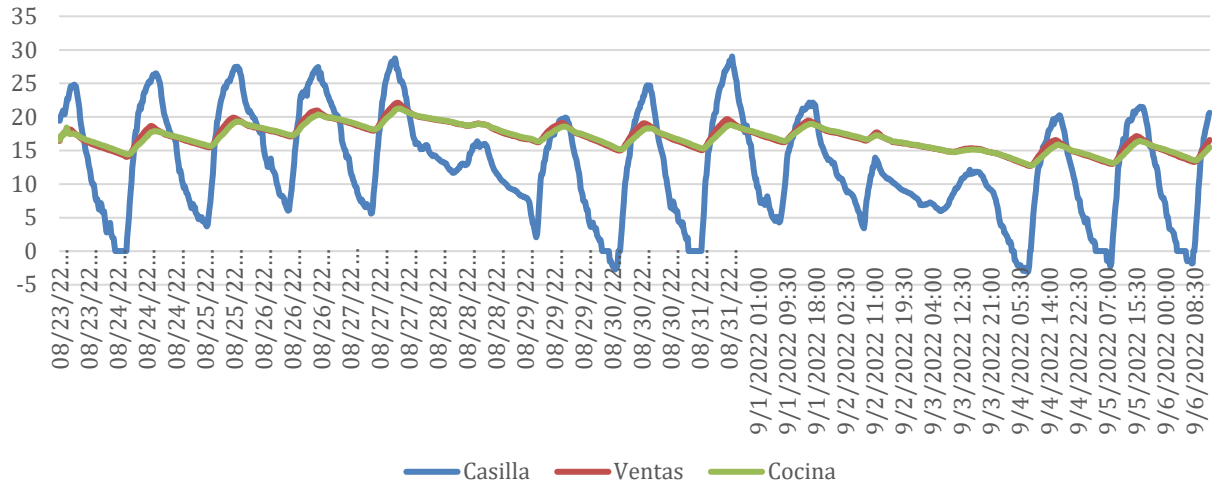


Figura 11. Comparación valores de temperatura exterior e interior en la cocina-fábrica de Encalilla

3.5 Confort higrotérmico

Se realiza el análisis de confort em los dos locales monitoreados y del ambiente exterior. En primera instancia se evalúa el PMV (figura 12 y tabla 1). En el exterior se observa una gran fluctuación de sensaciones térmicas, que va desde frío a cálido, con una importante preponderancia de la sensación de frío, 42 % del total de horas analizadas. En el interior, cocina y sala de ventas, solo se perciben sensaciones de confort, fresco y ligeramente fresco, siendo en ambos casos ligeramente fresco a la situación predominante, 72 % y 71 %, respectivamente (tabla 1). Como situación desfavorable, se observa que en el interior hay menor porcentaje de horas de sensación térmica neutral con respecto al exterior.

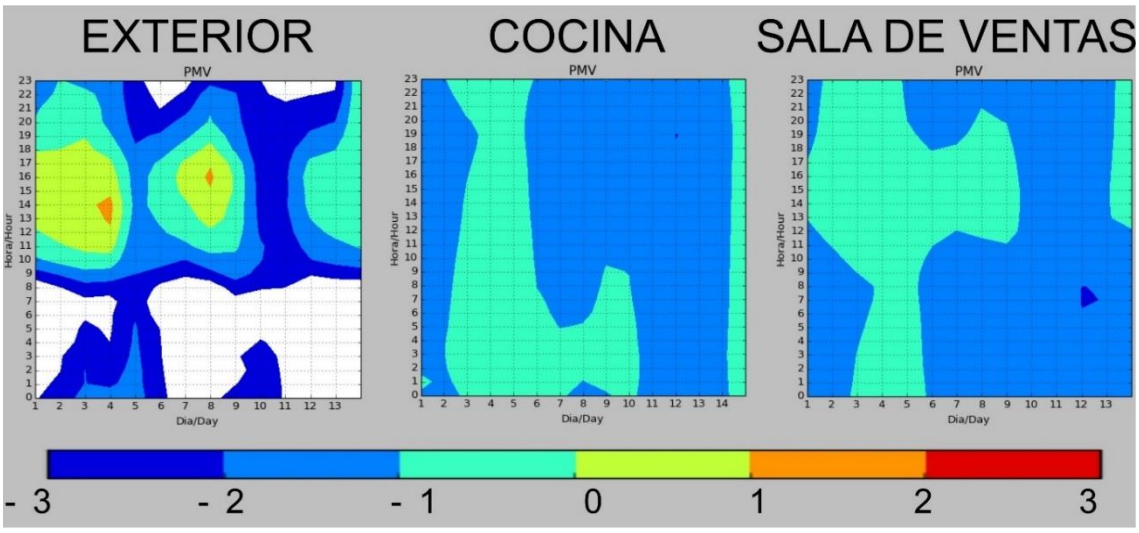


Figura 12. PMV en el exterior, cocina y sala de ventas

Tabla 1. PMV medido en horas y porcentaje

PMV		Exterior		Cocina		Sala de ventas	
		Horas	%	Horas	%	Horas	%
3	Muy cálido	0	0 %	0	0 %	0	0 %
2	Cálido	0	0 %	0	0 %	0	0 %
1	Ligeramente cálido	19	5 %	0	0 %	0	0 %
0	Neutro	43	13 %	11	3 %	15	4 %
-1	Ligeramente fresco	56	17 %	246	72 %	233	71 %
-2	Fresco	68	20 %	79	23 %	77	23 %
-3	Frío	139	42 %	0	0 %	0	0 %

Por otro lado, se estudia el PPD, porcentaje de personas insatisfechas. En la figura 13, se observa la amplia diferencia entre el PPD exterior e interior.

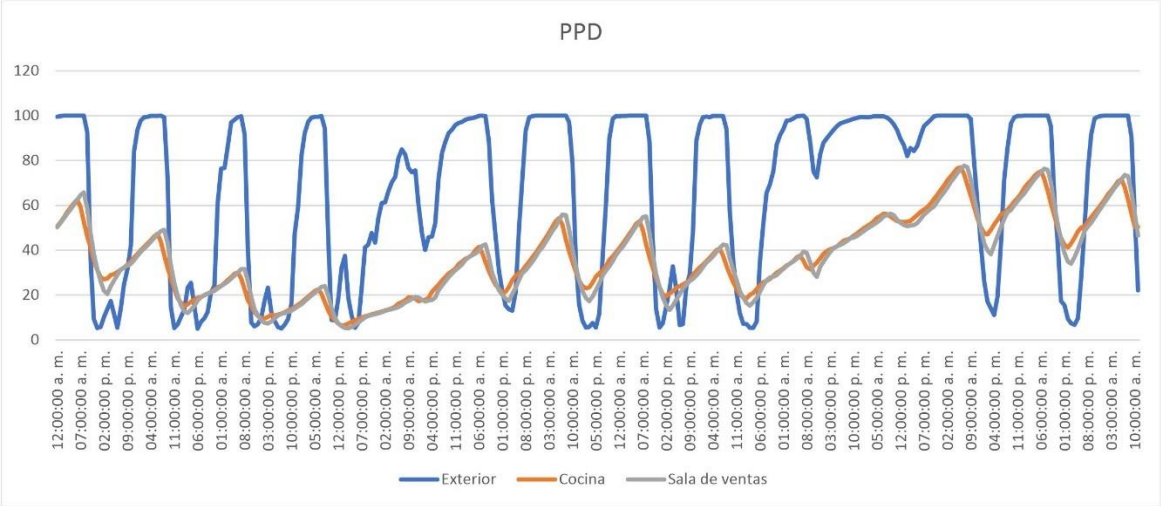


Figura 13. PPD en el exterior, cocina y sala de ventas

La situación exterior llega a un 100 % de personas insatisfechas en los horarios nocturnos, mientras que en el interior no se presenta en ningún momento del día una condición tan extrema. En promedio el interior cuenta con un 36 % de PPD y el exterior un 65,8 %. Se evidencia también, mediante este estudio, una respuesta favorable en el comportamiento térmico de la cocina fábrica.

4 CONCLUSIONES

A partir de lo expuesto, se concluye que el comportamiento térmico de la cocina-fábrica, ubicada en la región de los Valles Calchaquíes, resulta favorable.

Los resultados de las mediciones termográficas e higrotérmicas indican un buen comportamiento del edificio durante la estación de invierno, que es la más desfavorable para la zona en la que se encuentra. Esto sugiere que la construcción de mampostería de adobe correctamente ejecutada ofrece un rendimiento adecuado en términos de aislamiento térmico e inercia térmica.

La ausencia de sistemas activos de acondicionamiento térmico y el hecho que la cocina estuviera apagada demuestran que el edificio utiliza estrategias de eficiencia energética

pasiva para mantener condiciones confortables en su interior. Esto puede traducirse en un menor consumo de energía y una mayor sostenibilidad del edificio.

La mampostería de adobe utilizada en la construcción de la cocina demuestra ser un material eficaz en términos de aislamiento térmico. Los resultados de las mediciones termográficas indican una baja transferencia de calor a través de los muros, lo que contribuye a mantener una temperatura interior más estable y confortable.

En síntesis, los resultados de este estudio sugieren que la cocina fábrica construida con mampostería de adobe presenta un comportamiento favorable durante la estación de invierno, sin sistemas activos de acondicionamiento térmico. Los hallazgos respaldan la eficiencia energética pasiva, el aislamiento térmico efectivo proporcionado por la construcción de adobe. Estos resultados pueden ser relevantes para el diseño y la construcción de edificios sostenibles y respetuosos con el medio ambiente en los Valles Calchaquíes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE 55 (2004). Thermal environmental conditions for human occupancy. USA Atlanta, www.ashae.org

Costantini R., A. B.; Francisca, F. M. (2022). Construcción con bloques de suelo cemento como alternativa sostenible para envolvente. Revista hábitat sustentable, 12(1), 114-125.

Flores L., S.; Lesino, G. (2000). SIMEDIF 2000: nueva versión del programa de diseño y cálculo de edificios. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 4.

INDEC (2010). Censo Nacional de Población 2010. Argentina: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Disponible en: http://www.indec.gov.ar

INTA (2020). Proyecto regional con enfoque territorial desarrollo sustentable de los valles intermontanos y cuencas de la provincia de Tucumán. Enmarcado en: Tucumán, Santiago del Estero.

INTI (2005). Ahorro y certificación energética: la envolvente de los edificios. Saber cómo, (27), 4.

IRAM 11603 (2012). - Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación

Kuchen, E.; Kozak, D. (2020). Transición energética argentina. El nuevo estándar de eficiencia energética en la evaluación de la vivienda social. Caso de estudio: vivienda de barrio Papa Francisco. Revista hábitat sustentable, 10(1), 44-55. https://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.04

Re, M. G.; Blasco L., I. A. (2008). Monitoreo higrotérmico-energético-lumínico de invierno en departamentos ubicados en las ciudades de San Juan y La Plata. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 12.

Serra Florensa, R.; Coch Roura, H. (2018). Arquitectura y energía natural. Universitat Politècnica de Catalunya.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaría de Alimentos de la Provincia de Tucumán por permitirnos participar en la adecuación bioambiental de la cocina fábrica en su etapa de proyecto.

Se agradece también al estudio de arquitectura Bumbacher por brindar información gráfica del edificio durante el proceso de construcción.

AUTORES

Amalita Fernández, arquitecta graduada de la Universidad Nacional de Tucumán (FAU UNT). Doctoranda en Universidad Nacional de Salta (Doctorado en Ciencias- Área Energías Renovables). Becaria doctoral CONICET. Participa de proyectos FAU-SCAIT UNT, CONICET y MinCyT sobre Hábitat Sustentable y Saludable en el Norte Grande Argentino. Docente auxiliar graduada en FAU UNT-Cátedra de Acondicionamiento Ambiental II.

David Elsinger, especialista en Arquitectura Sustentable, arquitecto graduado de la Universidad Nacional de Tucumán (FAU-UNT), doctorando en arquitectura. Becario doctoral CONICET. Participa

de proyectos FAU-SCAIT UNT, CONICET y MinCyT sobre Hábitat Sustentable y Saludable en el Norte Grande Argentino. Docente jefe de trabajos prácticos en FAU UNT- Cátedra de Construcciones II y III.

Beatriz Garzón, doctora en Ciencias de la Universidad Nacional de Salta (Área Energías Renovables), arquitecta egresada de la Universidad Nacional de Tucumán (FAU-UNT), especialista en Gerencia y Vinculación Tecnológica de la UNT. Directora del GHabSS, FAU UNT – CONICET. Investigadora Independiente CONICET. Directora de Proyectos FAU-SCAIT UNT, CONICET y MinCyT sobre Hábitat Sustentable y Saludable en el Norte Grande Argentino. Profesora Asociada a cargo de la Cátedra de Acondicionamiento Ambiental II de FAU UNT.