

Ventilación por convección entre patios en las casas tradicionales de la ciudad de Lima. La casa Riva-Agüero

Convection-based ventilation between courtyards in traditional houses in the city of Lima. The Riva-Agüero house

Martin Wieser (*), Adriana Scaletti (*), Teresa Montoya (*), Natalia Villanueva (*), Sebastián Cisneros (*)

RESUMEN

Las casas-patio tradicionales de la ciudad de Lima fueron edificadas bajo una evidente influencia árabe, en lo constructivo, formal y estilístico. La similitud en el clima desértico litoral permitió la transferencia de algunas estrategias bioclimáticas, entre ellas una disposición particular con dos patios. La ubicación relativa, escala y acabados de dichos patios sugieren la intención de calentar el primero y más amplio, procurando mantener más fresco y húmedo el segundo, y con ello inducir la ventilación por convección de modo que el aire atraviese los ambientes principales. El estudio pretende identificar la presencia de dicha estrategia, para lo cual se realizó un monitoreo energético de la Casa Riva-Agüero en un día cálido y soleado de verano. Los resultados permitieron demostrar que sí se logra activar una ventilación por convección entre los patios, ayudando a mantener los niveles de temperatura al interior de los espacios principales dentro de rangos confortables.

Palabras clave: confort térmico; ventilación natural; enfriamiento pasivo; patrimonio arquitectónico.

ABSTRACT

The traditional patio houses of Lima city were built under an evident Arab influence, in the constructive, formal and stylistic aspects. The similarity in the coastal desert climate allowed the transfer of some bioclimatic strategies, including a particular arrangement with two courtyards. The relative location, scale, and finishes of these patios suggest the intention of heating the first and larger one, trying to keep the second one cooler and more humid, and thereby inducing convection ventilation so that the air passes through the main rooms. The study aims to identify the presence of this strategy, for which an energy monitoring of the Riva-Agüero House was carried out on a warm and sunny summer day. The results showed that it is possible to activate convection ventilation between the patios, helping to maintain temperature levels inside the main spaces within comfortable ranges.

Keywords: thermal comfort; natural ventilation; passive cooling; architectural heritage.

(*) Departamento de Arquitectura. Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP, Lima (Perú).

Persona de contacto/Corresponding author: mwieser@pucp.edu.pe (M. Wieser)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4556-3507> (M. Wieser); <http://orcid.org/0000-0002-8460-2206> (A. Scaletti); <http://orcid.org/0000-0003-2764-5901> (T. Montoya); <http://orcid.org/0000-0002-2677-5504> (N. Villanueva); <http://orcid.org/0000-0001-5236-9182> (S. Cisneros)

Cómo citar este artículo/Citation: Martin Wieser, Adriana Scaletti, Teresa Montoya, Natalia Villanueva, Sebastián Cisneros (2022). Ventilación por convección entre patios en las casas tradicionales de la ciudad de Lima. La casa Riva-Agüero. *Informes de la Construcción*, 74(567): e454. <https://doi.org/10.3989/ic.89687>

Copyright: © 2022 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 27/05/2021
Aceptado/Accepted: 27/01/2022
Publicado on-line/Published on-line: 29/09/2022

1. INTRODUCCIÓN

Las casas virreinales de Lima (s. XVI a s. XIX), en especial las que por su estado de conservación aceptable se han mantenido en uso continuo, son elementos característicos y constituyentes del urbanismo de la ciudad y a su vez documentos patrimoniales para la historia de esta hasta el presente. Por tales motivos, han sido estudiadas bajo múltiples perspectivas, sobre todo las históricas, sociales, morfológicas y culturales. Entre los temas que resultan fundamentales para comprender la complejidad de estos edificios, es necesario considerar un aspecto frecuentemente ignorado para los centros históricos peruanos: el del confort térmico. Este es un aspecto relacionado a una variedad de condicionantes, que van desde los materiales, hasta el desarrollo de las actividades cotidianas de sus habitantes, pasando por la morfología, la orientación y la calidad de sus espacios.

Existe una gran cantidad de investigaciones en otros ámbitos geográficos que analizan los aspectos energéticos de los edificios, pero hasta el momento el estudio desde dicha perspectiva no ha sido sistemático ni técnicamente riguroso en las casas históricas limeñas, al punto que se discuten percepciones de confort en muchas publicaciones sin un soporte científico. La arquitectura doméstica tradicional limeña ha sido estudiada y revisada en múltiples aristas y en diversos momentos, en trabajos tan importantes y específicos como los de Harth-Terré (1), San Cristóbal (2, 3) y Crespo Rodríguez (4); o incluso en el marco de investigaciones más interesadas en el conjunto urbano, su significado simbólico y su conservación, como es el caso de los textos de Velarde (5), Gutiérrez (6) o Walker (7), entre otros.

Por su parte, Wieser (8) y Agüero (9) desarrollaron las dos únicas investigaciones que han abordado el tema específico del desempeño energético de los edificios tradicionales de Lima. La primera de ellas estudia las mejoras en las condiciones térmicas y lumínicas que proveen las teatinas¹ ubicadas en los techos de las casas, mientras que la segunda hace lo propio para el caso de los balcones virreinales. La escasez de estudios en este sentido indica vacíos en el conocimiento que requieren nuevas investigaciones específicas.

La presente investigación busca indagar sobre la situación energética particular que se genera a partir de la presencia habitual de dos patios, los que se ubican a su vez en los ex-

tremos de las crujías² que contienen los espacios más representativos de las viviendas tradicionales de la ciudad de Lima: la sala y la cuadra³. Esta situación de distribución espacial resulta habitual en las casas más representativas y de gran tamaño: Casa de la Riva, Palacio Torre Tagle, Casa de las 13 Monedas, Casa Osambela, etc. Dicha configuración se complementa con ciertas características en la escala y acabados de los patios que sugieren la búsqueda de la generación de un movimiento de aire que atraviese los espacios citados y lograr una situación de confort térmico dentro de los mismos.

La influencia de la arquitectura árabe en la limeña resulta evidente y comprobada por innumerables autores desde Velarde (10), hasta Cosme (11). En la medida que la activación de este fenómeno convectivo ya ha sido demostrada en edificios del norte de África y del sur de España, la hipótesis que se plantea demostrar en el presente estudio es la existencia de dicho fenómeno en las casas-patio de la ciudad de Lima, asegurando el confort térmico en los espacios principales y de uso diurno en los momentos de mayor calor.

El estudio fue realizado utilizando como caso de estudio la emblemática casa Riva-Agüero, debido a las características originales que mantiene, a su buen estado de conservación y la posibilidad de acceso, sin restricciones, a los diferentes ambientes. El edificio corresponde a una casa-patio⁴ del siglo XVIII que es usada en la actualidad como oficinas y archivo del instituto del mismo nombre⁵. A continuación, se hace una breve descripción del clima de la ciudad de Lima y de las condiciones de confort sugeridas para la misma, se describe el edificio en su contexto y sus características y, por último, se presentan los estudios ya realizados en el ámbito energético en la arquitectura árabe.

1.1. El clima de Lima y las consideraciones de confort térmico

El clima de la ciudad de Lima es, en términos generales, bastante suave y predecible. A pesar de su cercanía a la Línea Ecuatorial, los siete kilómetros que separan el Centro Histórico de las aguas relativamente frías del océano evitan que las temperaturas máximas difícilmente suban por encima de 28°C o 29°C; ello a pesar de la presencia del fenómeno de isla de calor⁶. Durante el invierno las temperaturas mínimas no suelen bajar de 14°C. La humedad relativa en el centro de

1 Las teatinas son unos componentes cenitales de iluminación natural y captación del viento, conforman una continuidad constructiva con las cubiertas, y fueron utilizadas de manera recurrente en los edificios limeños entre finales del siglo XVIII e inicios del siglo XX.

2 Generalmente se entiende como “crujía” el ancho de una línea de habitaciones, alineadas paralelamente a la fachada de la construcción.

3 El nombre de la cuadra deriva de la forma de sus primeros antecedentes, cuadrada. Hasta el siglo XIX, aquí se encontraba un tabladillo bajo de madera sobre el que se colocaban cojines, alfombras y mesas bajas. Las mujeres de la familia la ocupaban para hacer sus bordados u otras labores semejantes. Los varones se sentaban en sillas colocadas a los lados, y a ningún no-familiar le estaba permitido el acceso. Con el paso de los siglos, este ambiente se transformó en el comedor. La sala –espacio principal para recibir a las visitas– y la cuadra normalmente se encuentran en sucesión en las grandes casas limeñas, configurando lo que se llama una “doble crujía”.

4 El término se refiere a una tipología tradicional de casa en Lima, asociada a los grupos sociales económicamente más elevados, que organiza los espacios de la casa precisamente alrededor de dos grandes patios, en la tradición de las *domus* romanas.

5 El Instituto Riva-Agüero (IRA), creado en 1947, es una unidad académica de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) dedicada a la investigación y difusión de las disciplinas humanísticas y de la cultura peruana. Se ubica en la que fue la casa familiar del benefactor de la universidad, José de la Riva-Agüero.

6 El efecto de ‘isla de calor’ es un fenómeno que se manifiesta por la presencia de temperaturas notoriamente más altas en zonas céntricas urbanas debido a la mayor absorción y retención de la radiación solar por edificios, pavimentos y otras infraestructuras, junto con la menor velocidad del viento.

la ciudad es moderada en verano y ligeramente alta en el invierno -valores mínimo medios de 60 y 72% respectivamente- debido a la presencia de nubes bajas y garúas ligeras y ocasionales.

Con temperaturas y humedades relativas bastante moderadas, precipitaciones casi inexistentes y con altos niveles de radiación solar, no resulta difícil lograr situaciones de confort térmico durante el verano en los edificios en la medida que se consideren las siguientes estrategias bioclimáticas: protección de la radiación, ventilación diurna y nocturna y un nivel mínimo de masa térmica que amortigüe las condiciones alrededor de temperaturas que coinciden con la zona de confort. Todas estas estrategias están presentes en los edificios tradicionales de la ciudad y, sin embargo, han sido paulatinamente dejadas de lado en la arquitectura desde mediados del siglo XX.

En relación con la valoración del confort térmico para un habitante de la ciudad de Lima, y reconociendo las limitaciones asociadas a cuestiones temporales y culturales, se considera válido realizarlo a partir del modelo adaptativo presentado por De Dear y Brager (12), incorporado a la normativa norteamericana de la ASHRAE en 2004 (13) para edificios ventilados de forma natural. Esta aproximación al confort térmico reconoce las condiciones psicológicas, fisiológicas y la capacidad de las personas de adaptarse al entorno, identificando una temperatura y unos límites de confort en función de la temperatura media exterior. La fórmula presentada a continuación [1] permite identificar dichos rangos:

$$[1] \quad T_{\text{conf}} = 0.31T_{\text{a,out}} + 17.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A partir del resultado obtenido de la temperatura de confort, los autores identifican una franja de 5°C a 7°C para asegurar la condición de confort térmico de entre el 90% y 80% de los ocupantes respectivamente. Reconociendo febrero y marzo como los meses más cálidos en las estadísticas climáticas para la ciudad de Lima, y tomando como referencia los datos de doce años de mediciones obtenidos de la estación Alexander von Humboldt del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y publicadas por la Municipalidad de Lima (14), se identifica una temperatura promedio en dichos meses de 24°C. Aplicando la fórmula previamente expuesta, se deduce que la temperatura de confort en un espacio cerrado y con posibilidad de ventilación natural es de 25.2 °C. La Tabla 1 resume los límites de temperatura según el porcentaje de ocupantes en situación de confort.

Tabla 1. Rango de temperaturas según porcentaje de ocupantes en situación de confort térmico.

| Límites de confort térmico | 90% de ocupantes en confort térmico | 80% de ocupantes en confort térmico |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Límite superior | 27.7 °C | 28.7 °C |
| Límite inferior | 22.7 °C | 21.7 °C |

1.2. La Casa Riva-Agüero

La casa Riva-Agüero es un edificio representativo de las casas-patio de la Lima virreinal del siglo XVIII y está ubicada a dos manzanas de la plaza Mayor de Lima. El damero o cuadrícula del centro histórico de Lima se configura en una trama urbana densa con calles estrechas de 10 metros de ancho, donde cada manzana mide 100 metros por lado.

La fachada con balcones está a plomo de calle y orientada hacia el noroeste (ver Figura 1). El primer ambiente al ingresar es el zaguán⁷ y, tras él, separado solo por una reja, aparece el amplio primer patio -o patio principal- (13.6 m x 13.0 m), el cual brinda luz y ventilación a los ambientes contiguos. La superficie de este patio es rugosa, de canto rodado oscuro.

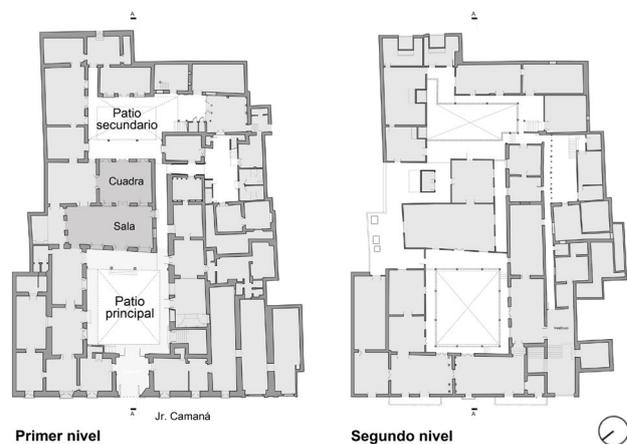


Figura 1. Vista de la fachada y esquemas de planta de la Casa Riva-Agüero.

En el fondo del patio se levanta el nivel con cuatro escalones, configurando una galería, estrecho espacio de transición techado. Este se vincula con el espacio social principal de la casa, la sala (13.5 m x 6.7m). Inmediatamente, el siguiente ambiente es la cuadra (8.8 m x 6.8 m) originalmente espacio íntimo de la familia y cuyo uso cambió a comedor, más público, hacia

⁷ Espacio recibidor techado que sirve de ingreso al edificio, creando un ambiente de transición entre el espacio exterior y el primer patio de la vivienda.

el siglo XIX (Ver Figura 2). Tras la cuadra hay una segunda galería que se conecta con el segundo patio o posterior (14.4 m x 5.8 m). Este patio, más pequeño, tiene un acabado liso de mármol claro y en el centro se ubica una fuente de agua. En este ambiente se encontraban originalmente las destiladeras⁸ y tinajas de agua y se colgaba la ropa lavada a secar; además, en un primer momento, alrededor de este patio se encontraban los ambientes de los sirvientes, la cocina y los depósitos. Por la documentación de la época se conoce también que algunos canales y acequias atravesaban por debajo de la casa, en toda su longitud. En su origen, el predio continuaba y tenía un huerto que era regado por dos de estas acequias, pero con el tiempo el terreno fue fraccionado y vendido (15).

Tanto la sala como la cuadra presentan hacia los patios unas grandes puertas de madera de cuatro hojas, además dos grandes ventanas laterales con vidrios y rejas metálicas. En el muro que separa la sala y la cuadra, perfectamente alineadas con las de la sala que dan hacia el primer patio, existen también una puerta y dos grandes ventanas, todas ellas con puertas y balaustres de madera, lo que permite a los usuarios un control efectivo del eventual viento que atraviesa los espacios (ver Figura 2).

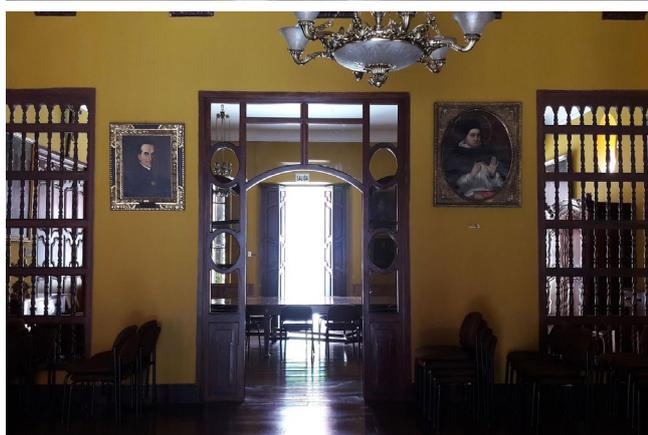
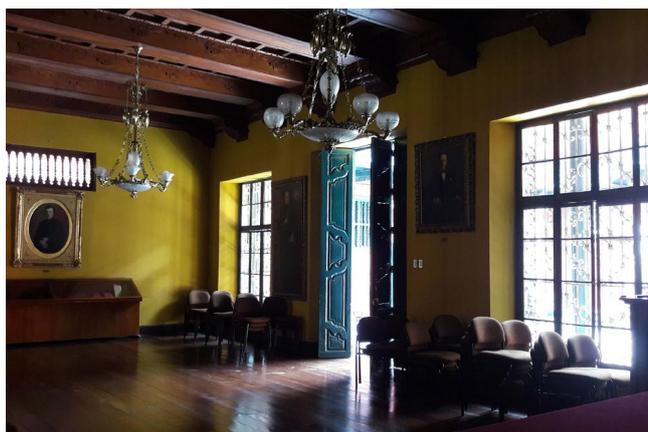


Figura 2. Vista de la sala hacia el patio principal (arriba) y desde la sala hacia la cuadra (abajo).

El primer nivel de la casa está construido con muros de adobe de 50 cm de ancho, lo cual le otorga masa térmica; mientras que el segundo nivel está construido fundamentalmente en quincha⁹ de alrededor de 15 cm de ancho. La altura total de la casa, medida desde el patio principal, es de 11 m, y desde el patio posterior 9.30 m. La altura de piso a techo en los ambientes interiores del primer nivel es de 4.70 metros, la medida tradicional típica. El entrepiso y el techo están conformados por vigas, viguetas y entablados de madera de cedro; el acabado final de la cubierta hacia el exterior es una torta de barro de unos pocos centímetros que permite sellar e impermeabilizar el conjunto en un sitio donde la lluvia es muy escasa.

1.3. Estado de la cuestión del doble patio en el mundo árabe

Las evidencias indican que las viviendas con patios al interior ya existían desde hace unos 8,000 años (16) en lo que es actualmente Irán, consolidándose más adelante como una particularidad tipológica en las viviendas de la civilización mesopotámica. En los siglos siguientes el uso de los patios en los edificios se extendió ampliamente, principalmente en los climas cálido-secos y templados de Medio Oriente, del Norte de África y del Sur de Europa. Cabe mencionar que la presencia de patios en las viviendas se puede encontrar en una gran diversidad de climas, incluyendo los más fríos, ya que el efecto climático de un patio interior dependerá finalmente de sus características y de su relación con el resto de la edificación y del entorno (17).

El patio, en términos compositivos, es la sustracción de un volumen a uno mayor (el edificio), creando un espacio interior, abierto en la parte superior, pero delimitado verticalmente por el propio edificio. Su utilidad más evidente en ámbitos urbanos y densos es el de permitir la iluminación y la ventilación a los ambientes contiguos. Para el caso de climas desérticos rigurosos la presencia de un patio interior permite vincularse a este, reduciendo el contacto con las condiciones externas, generalmente con mayor radiación, viento y polvo. El patio se convierte no sólo en un ambiente de uso eventual cuando las condiciones exteriores son ocasionalmente mejores que las interiores -noches de verano o días de invierno-, sino también en un espacio más de la vivienda, sea de permanencia o de circulación.

Uno de los primeros estudios que evidencia la importancia del patio como regulador térmico en climas áridos y semiáridos lo publicó Daniel Dunham (18), resaltando la importancia de dicho componente en combinación con la masa térmica del edificio, cualidad que permite amortiguar las temperaturas interiores a valores cercanos a la media diaria. El patio, y particularmente el piso de este, lo describe como un acumulador y radiador de calor al mismo tiempo. Al enfriarse con mucha facilidad en la noche, reparte el aire fresco hacia el interior del edificio, permitiendo el enfriamiento de la masa térmica de los muros y del propio piso de las habitaciones.

8 La destiladera es un recipiente de piedra porosa que permite filtrar el agua para hacerla potable. La superficie se mantiene húmeda constantemente, mientras que las gotas de agua son recogidas por otro recipiente en la parte baja.

9 La *quincha virreinal limeña* es un sistema constructivo flexible y ligero conformado por pies derechos de madera, relleno con elementos pesados –como ladrillo o adobe– en el tercio inferior y entramados de cañas más delgadas o madera partida amarradas con cuero en los dos superiores y finalmente enlucido con barro.

Esta misma condición, que reconoce al patio como un ambiente disipador de calor durante la noche, la desarrolla Hassan Fathy con mayor detalle. Este renombrado arquitecto egipcio menciona brevemente el fenómeno de convección que ocurre ante la presencia de dos patios de cualidades opuestas. Al referirse al takhtabush¹⁰, describe claramente el fenómeno de convección y la activación de una circulación de aire que se desplaza desde los jardines frescos y húmedos hacia el patio soleado y seco (19). Menciona el caso específico de la Casa As-Suhaymi en El Cairo del siglo XVII (ver Figura 3). James Steele (20), en una compilación de la obra de Hassan Fathy, reafirma la condición de la generación inducida de la convección que se presenta cuando se combinan ambos patios (cálido y fresco), aunque siempre asumiendo dicha afirmación desde una base empírica, fruto de la observación y el uso.

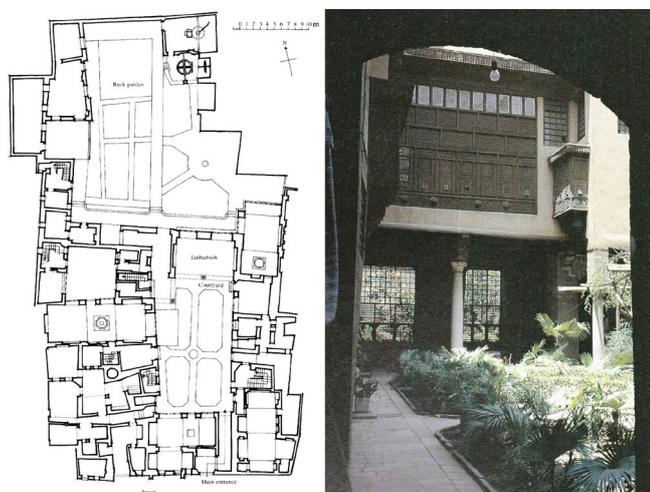


Figura 3. Esquema de planta y vista desde el patio hacia el takhtabush de la Casa As-Suhaymi. Fuente: Steele, J., 1997.

La condición de doble patio (cálido/fresco) había sido ya presentada y expuesta por Cain et al. (21), incluyendo un corte explicativo en el que se ve claramente la estrategia, pero no existe ninguna referencia a estudios que respalden el fenómeno a partir de mediciones o experimentaciones (ver Figura 4). Allan Konya (22) presenta un esquema muy similar, prácticamente una reproducción del anterior, salvo por la adición de vegetación en el patio fresco, citándolo en las referencias.

La primera comprobación realizada con mediciones la desarrolla Ernest Raha en 2012 (23) en su tesis doctoral, en la que registra el comportamiento del viento, la temperatura y la humedad relativa del aire entre los patios de la Casa de Pilatos (Sevilla) a partir de mediciones in situ. La conclusión general resalta que hay una correspondencia entre los modelos teóricos desarrollados en la tesis y las mediciones de campo, comprobándose que “la convección es el principal impulsor del flujo de aire que ingresa a los espacios de transición desde los patios del jardín y sale por la abertura superior en el patio cerrado más cálido” (23). Este y algunos de los trabajos pre-

viamente mencionados fueron compilados por Ulrike Passe y Francine Battaglia (24) quienes dedican un capítulo específico a la estrategia de ventilación basada en la presencia de dos patios.

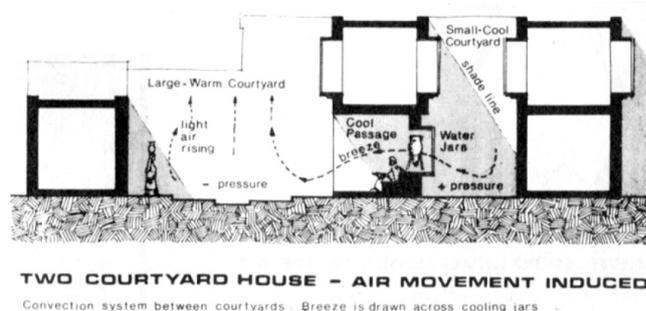


Figura 4: Corte esquemático del movimiento del aire en una vivienda con dos patios. Fuente Cain et al., 1976.

Un último trabajo que recoge la lógica de la ventilación por convección entre patios es de Mady Mohamed (25), quien hace énfasis en el espacio que se ubica estratégicamente en medio de estos y la importancia para el sistema en su conjunto. Compara edificios históricos de El Cairo que contienen uno y dos patios; se evidencia un mejor desempeño térmico de aquellos edificios con dos patios, específicamente a la altura del espacio de uso en medio de ambos (Taktabush). Los estudios alrededor de este tema específico se han realizado casi exclusivamente en climas cálido-secos de las regiones alrededor del Mar Mediterráneo y no hay referencias de investigaciones que lo aborden en otras latitudes. Para el caso específico de Lima, Wieser (2007) advierte la condición típica de la casa limeña, con la presencia de dos patios, uno ‘cálido-seco-amplio’ y otro ‘fresco-húmedo-reducido’ que delimitan los dos ambientes más importantes de la vivienda, situación equivalente a las que se describen para los casos estudiados previamente mencionados. Aun así, no desarrolla un estudio específico que demuestre la hipótesis.

2. METODOLOGÍA

La metodología se basa en técnicas de monitoreo realizadas in situ, a partir de la medición y registro de datos higrotérmicos, así como de la observación de fenómenos asociados al viento. Reconociendo la predictibilidad del clima limeño y las condiciones típicas de un día caluroso de verano, se consideró necesaria la medición continua y exhaustiva en las horas más calurosas del día, con la condición estricta de la presencia de radiación solar directa (cielo despejado) y de una oscilación de temperaturas constantes en los días previos.

Se realizaron dos procesos de monitoreo bajo dichas condiciones durante el verano de 2020; el primero se concretó en el mes de enero con una duración de 24 horas, cuyo

¹⁰ Espacio de reunión semiabierto adjunto a un patio interior de la casa árabe, a manera de galería, que lo separa del jardín trasero, permitiendo el paso del viento a través de una pantalla de celosías (mashrabiya).

fin era ajustar el protocolo final de medición. El segundo y definitivo se realizó el día 7 de marzo, en el que se tomaron mediciones continuas entre las 10:40 y las 16:00 horas. Como se adelantó, se hizo un seguimiento de las condiciones climáticas de los siete días previos a partir de la observación y de los datos registrados por el SENAMHI. Durante dicha semana las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire, dirección y velocidad del viento, así como de radiación solar fueron similares, y los dos días previos prácticamente idénticos: temperaturas mínimas entre 21°C y 22°C en las madrugadas y máximas entre 27°C y 28°C después del mediodía, vientos de dirección predominante entre sureste y oeste, con velocidad promedio de 2 m/s y cielo despejado como condición casi constante.

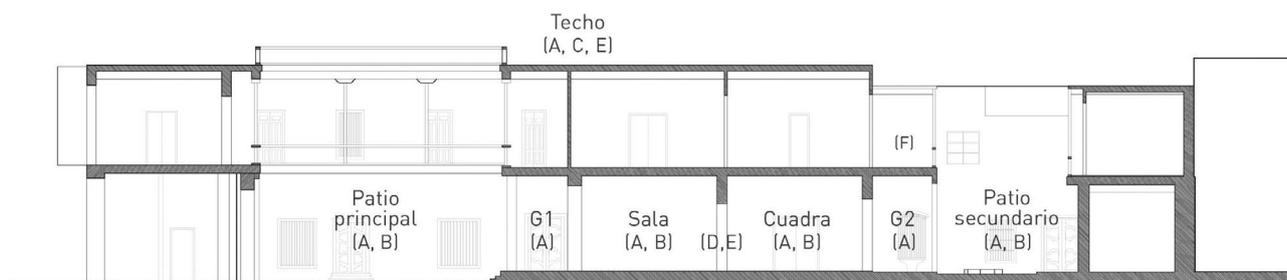
Las mediciones higrotérmicas consistieron en registrar la temperatura y la humedad relativa del aire, tanto en el ex-

terior, como en seis diferentes zonas estratégicas del interior del edificio. Se registró igualmente la temperatura superficial, tanto de los patios como de los dos ambientes interiores, así como la radiación y la velocidad y dirección del viento exteriores, obtenidas en el techo del edificio. Para la identificación de la dirección, el recorrido y velocidad del viento en el interior de los espacios, se utilizaron un anemómetro de interiores, una cinta/veleta y una máquina de humo. Los instrumentos utilizados, sus características y datos registrados se detallan en la Tabla 2; la ubicación de estos se indica en la Figura 5.

La ubicación específica de los registradores de datos, de la veleta y de la máquina de humo, respondieron a la hipótesis planteada: que se genera una corriente de aire entre ambos patios, por lo que los equipos fueron colocados precisamente alineados en el sentido del supuesto recorrido.

Tabla 2: Instrumentos de medición y equipos utilizados en el monitoreo térmico del edificio. Elaboración propia.

| Equipo | Datos registrados (unidades) y frecuencia | Ubicación |
|---|---|--|
| Estación meteorológica Marca: DAVIS Modelo: Vantage Pro 2 Plus | Temperatura del aire interior / exterior (°C) Humedad relativa del aire interior / exterior (%) Dirección y velocidad del viento exterior (m/s) Radiación solar exterior (kW/m ²) Cada 10 minutos | Techo del edificio (exterior) Cuadra (interior) |
| Registradores Temperatura y Humedad relativa (7) Marca: ONSET Modelo: Hobo Ho8-003-02 | Temperatura del aire °C Humedad relativa del aire % Cada 10 minutos | 1. Techo del edificio / 2. Patio húmedo 3. Galería del patio húmedo 4. Cuadra / 5. Salón 6. Galería del patio seco 7. Patio seco |
| Anemómetro para interiores Marca: TESTO Modelo: 405 | Velocidad del aire interior (m/s) Cada 20 minutos | Puerta entre cuadra y salón |
| Cámara termográfica Marca: FLIR Modelo: E5 | Temperatura superficial (°C) Cada 20 minutos | 1. Patio seco / 2. Salón 3. Cuadra / 4. Patio húmedo |
| Cinta de papel y máquina de humo | Dirección y recorrido del viento interior Cada 20 minutos | Patio húmedo Puerta entre cuadra y salón |



- (A) Registradores de temperatura y humedad relativa del aire
- (B) Cámara Termográfica
- (C) Estación Meteorológica
- (D) Anemómetro
- (E) Cinta
- (F) Máquina de humo



Figura 5: Corte esquemático de la Casa Riva-Agüero con la ubicación de los equipos de medición.

Se cuidó de proveer de sombra y ventilación a los dos registradores ubicados en los patios, así como aquellos de las galerías, colocándolos dentro de cajas blancas ventiladas y con doble celosía.

Para lograr condiciones similares al uso original de los espacios exteriores, se retiraron algunas macetas con plantas del primer patio, ya que este solía ser una extensión del espacio público durante el día e ingresaban eventualmente caballos e incluso carrozas. Estas plantas se reubicaron en el segundo patio y se agregaron algunas adicionales. Este patio posterior, asociado a la zona de servicio, era atravesado en la antigüedad por una acequia y, además de ser el lugar de cocina, lavado y tendido de ropa, solía tener cierta vegetación que daba sombra y humedad al ambiente. Se menciona en muchos casos la presencia adicional de destiladeras de agua adjuntas o cercanas a los muros de la cuadra en las que se filtraba el agua, incrementando la refrigeración evaporativa del aire que ingresaba. Es así que se llenó la pequeña fuente existente con agua y se humedeció ocasionalmente el aire con aspersores. Se generó adicionalmente un mínimo de sombra con una malla *raschel* en medio del espacio para compensar los árboles, arbustos y eventuales tolderías que solían tener los segundos patios. Se puede observar el estado final de los patios, en la Figura 6.



Figura 6: Foto del patio seco con pantalla Stevenson (izquierda) y del patio húmedo con fuente de agua, techo con malla *raschel*, vegetación y pantalla Stevenson (derecha).

Para asegurar la reproducción de las condiciones originales en el uso de los espacios, se mantuvo cerrada la puerta que separa el segundo patio del pasillo lateral; dicho pasillo une ambos espacios abiertos y resulta entendible la presencia de la puerta para asegurar la privacidad de la zona de servicio, además de impedir el paso del viento y obligarlo a atravesar los espacios principales de la casa. En relación con las ventanas que vinculan la cuadra y la sala con los patios, y buscando igualmente reproducir el uso original que les daban, estas permanecieron parcialmente abiertas -uno cada cuatro paños- durante la noche, la madrugada y las primeras horas de la mañana previas al monitoreo térmico y totalmente abiertas durante las horas más cálidas. Con ello se aseguró una mayor ventilación en los momentos cercanos al mediodía y la evacuación del calor y el enfriamiento de

la masa térmica de los muros y demás elementos interiores durante los momentos más frescos y ante la ausencia de radiación solar.

Con los equipos instalados, asegurando un día caluroso con radiación solar intensa y directa y con una dirección y velocidad del viento exterior usual en la ciudad, se iniciaron a las 10:40 horas, tanto el registro de las condiciones higrotérmicas con los equipos previamente programados, como la observación continua de la veleta interior y del patrón del humo en patios y ambientes interiores. La observación del viento y el registro de la temperatura superficial se realizaron cada 20 minutos de forma continua hasta las 16:00 horas, momento en que la temperatura exterior comienza a descender de forma sensible. Se muestran a continuación los resultados obtenidos en combinaciones que permiten relacionar mejor diferentes situaciones térmicas.

3. RESULTADOS

Un primer resultado relevante de mostrar son los valores de temperatura y humedad relativa obtenidos en los diferentes espacios, tanto patios como ambientes interiores, así como las condiciones de temperatura y humedad relativa exteriores. La siguiente figura muestra dichos valores según la hora del día, agregando para el caso de la temperatura del aire la zona de confort según el método adaptativo (Figura 7).

Para tener una mejor lectura de los resultados de temperatura y humedad relativa en cuatro momentos en que las temperaturas son más elevadas, se identifica la condición energética del aire en los diferentes lugares de medición sobre el ábaco psicrométrico (Figura 8). Se evidencia que la mayor temperatura, tanto al interior como al exterior se presenta entre la una y las dos de la tarde.

A partir de la lectura de las figuras mencionadas, se pueden identificar las siguientes situaciones:

- Los registros de temperatura en ambos patios suelen ser ligeramente mayores que los del exterior, sobre todo con el avance de las horas; esta situación se explica a partir de la incidencia de la radiación solar que se mantiene en los muros y pavimentos. Situación inversa y predecible sucede con la humedad relativa. En el caso del segundo patio, más pequeño, claro y húmedo, la temperatura y la humedad relativa del aire es prácticamente la misma que la exterior cerca al mediodía.
- Las temperaturas en ambos patios son mayores que en el interior de los espacios, atribuyendo esta condición principalmente a la presencia de masa térmica y, en menor medida, a la refrigeración evaporativa que se presenta en el segundo de ellos.
- Los registros de temperatura del aire en el primer patio son sensiblemente mayores que en el segundo, entre 1 y 2°C más; esto salvo a las 12 del mediodía en los que son prácticamente iguales.
- Considerando un flujo recurrente que va desde el segundo patio ('fresco') hacia el primero ('cálido'), descrito en los siguientes párrafos, se observa que la humedad absoluta del aire sube ligeramente, siguiendo el sentido de las líneas adiabáticas al ingresar desde la galería a los espacios interiores; con ello se evidencia, aunque débil, el fenómeno de refrigeración evaporativa.

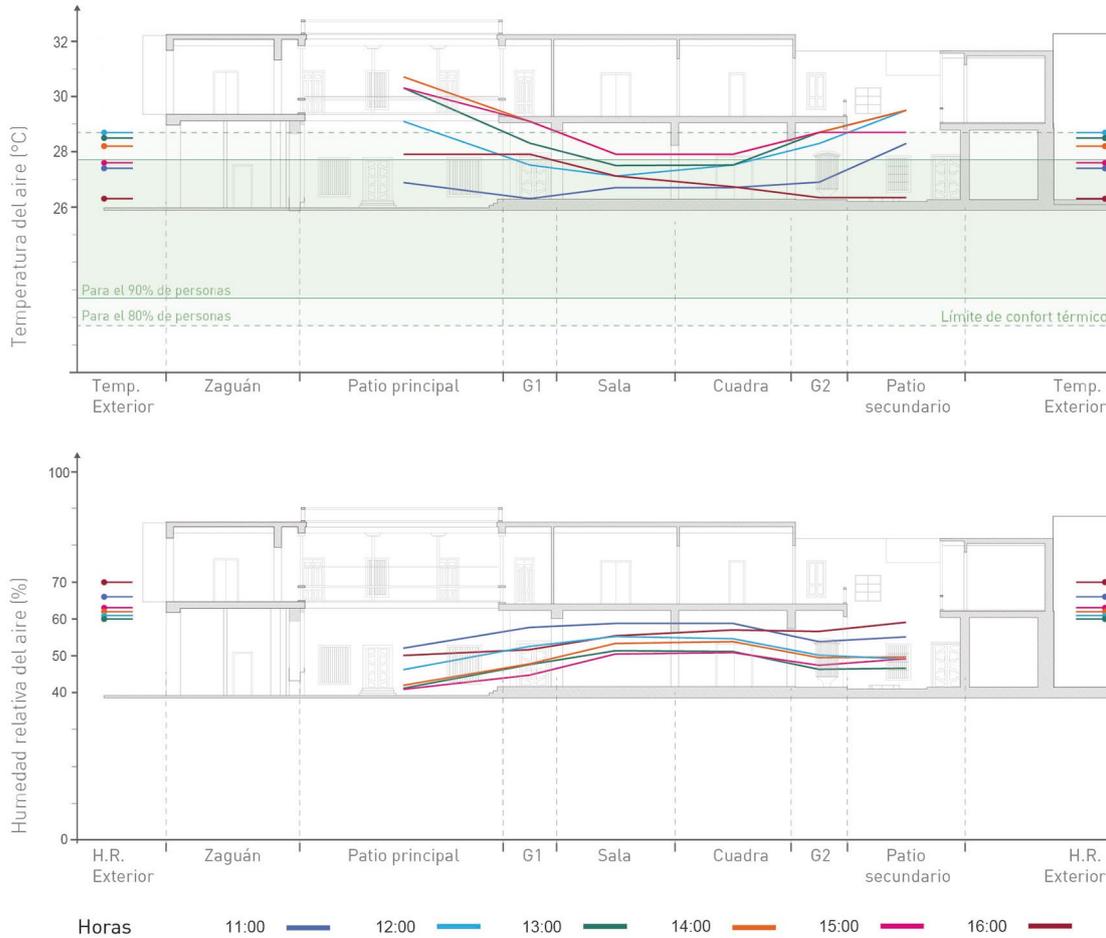


Figura 7: Valores de temperatura y humedad relativa en seis puntos del edificio y al exterior del mismo.

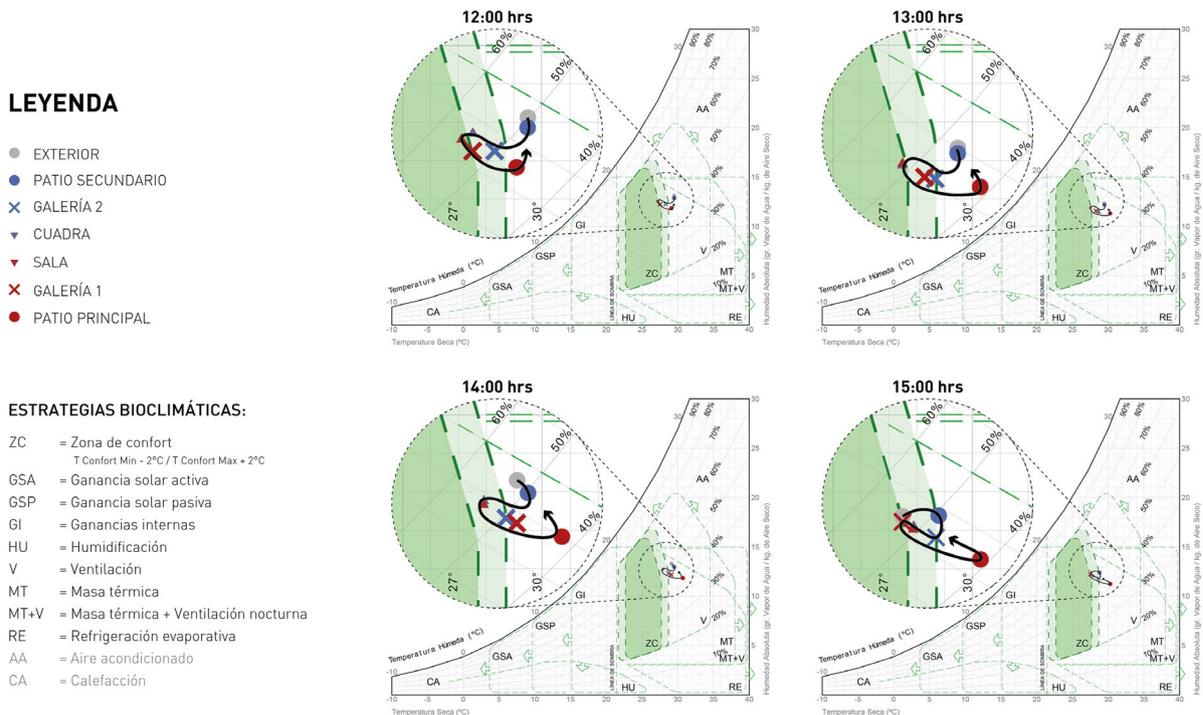


Figura 8: Situación energética del aire a las 12:00, 13:00, 14:00 y 15:00 horas, en los distintos lugares de la vivienda, y del aire exterior.

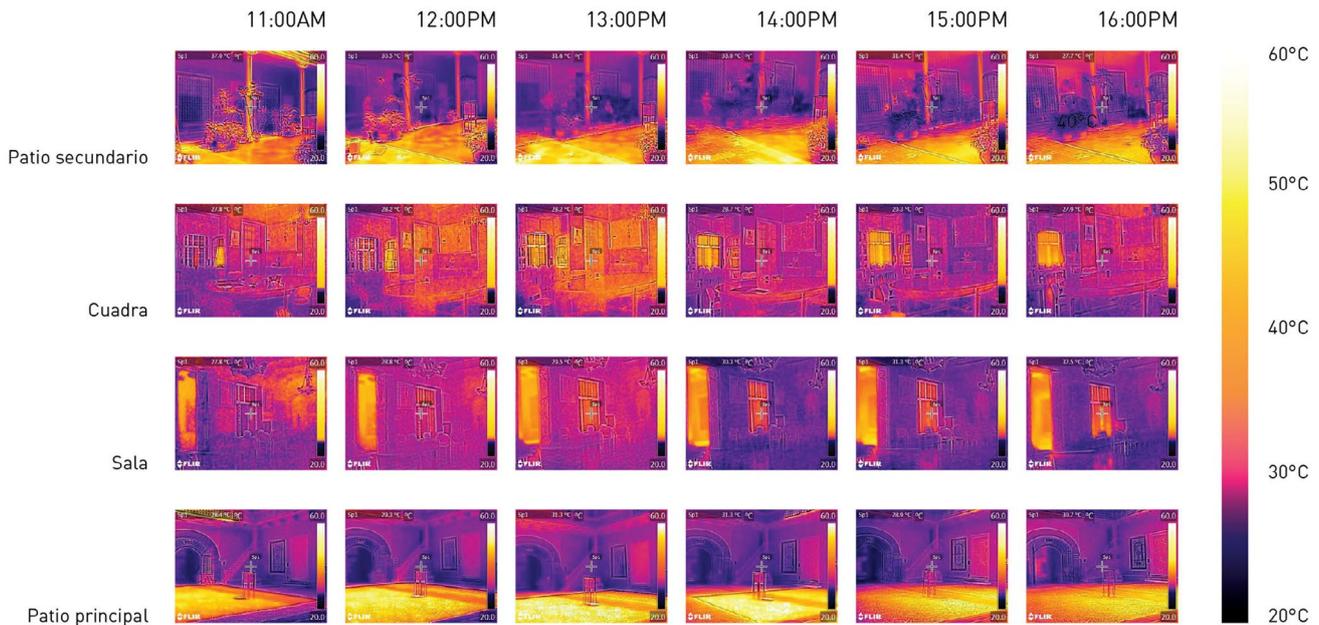


Figura 9: Temperatura superficial de los patios y de los ambientes interiores a diferentes horas del día.

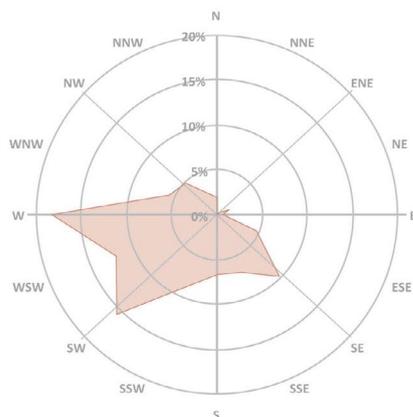
En relación con los valores de radiación solar registrados, estos fueron notoriamente altos, coincidiendo con un recorrido marcadamente vertical y con el sol cercano al cenit al mediodía; los valores estuvieron siempre por encima de los 900 kWh/m² entre las 11:00 y las 14:00 horas, y ocasionalmente por encima de los 1000 kWh/m². Para terminar de entender las condiciones asociadas a las temperaturas alcanzadas, tanto en los patios como en los ambientes interiores, se muestran las imágenes con las temperaturas superficiales en las diferentes horas de registro (ver Figura 9). Se aprecia cómo las superficies del primer patio (más cálido y seco), específicamente del pavimento, son notoriamente más altas que aquellas del segundo patio (más fresco y húmedo), sobrepasando los 50°C en horas cercanas al mediodía.

Con respecto al comportamiento del viento, se puede reconocer un patrón bastante predecible en cuanto a la dirección

de este en el exterior. A pesar de que la estructura urbana ya no tiene la homogeneidad de inicios o mediados del siglo pasado, se evidencia la influencia de la brisa marina que ingresa en el valle desde el Oeste y el Suroeste, principalmente en las horas cercanas al mediodía. Como sucede a lo largo de la costa peruana, esta brisa marina se debilita entrada la tarde y la dirección predominante cambia y suele venir desde el Sureste, tal como se muestra en la Figura 10, izquierda. La velocidad promedio exterior es igualmente predecible, con valores promedio relativamente débiles de 1.65 m/s y ráfagas eventuales de 4.5 m/s en promedio.

La dirección y la velocidad del viento interior se registraron en uno de los tres vanos que unían ambos espacios interiores (sala y cuadra). Con ayuda de una veleta se registró el porcentaje de tiempo en el que el viento discurrió desde el segundo patio ('fresco') hacia el primer patio ('cálido') y viceversa, además de la situación de calma (Figura 10, derecha).

Frecuencia de la dirección del viento exterior (%)



Dirección del viento interior

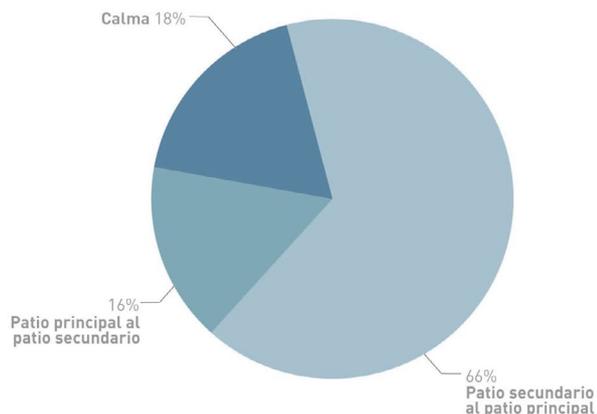


Figura 10: Dirección del viento exterior (izquierda) e interior (derecha) durante las mediciones.

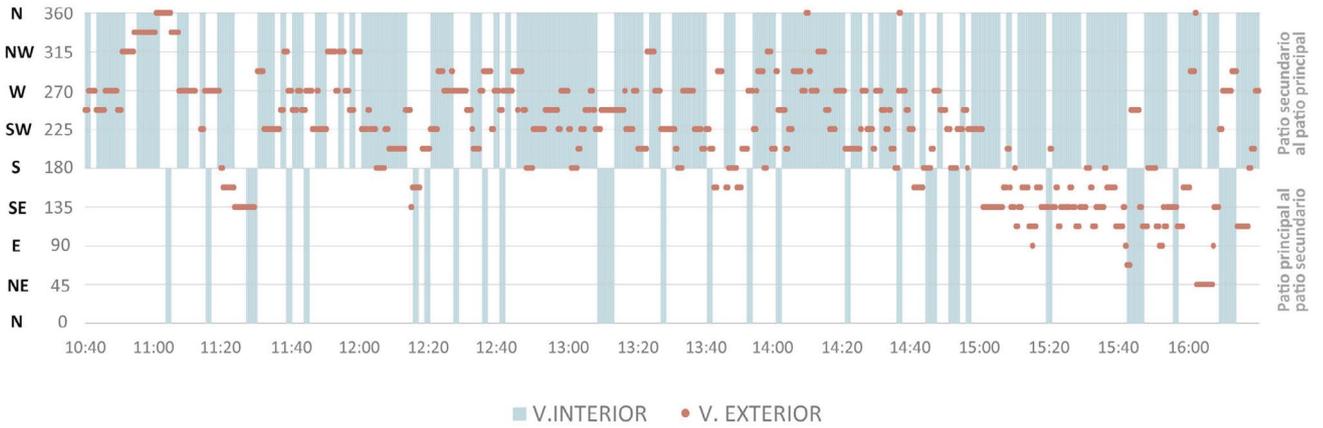


Figura 11: Relación entre la dirección del viento interior frente al exterior



Figura 12: Evidencia del recorrido del aire a partir de la visualización del humo a las 13:20 horas.

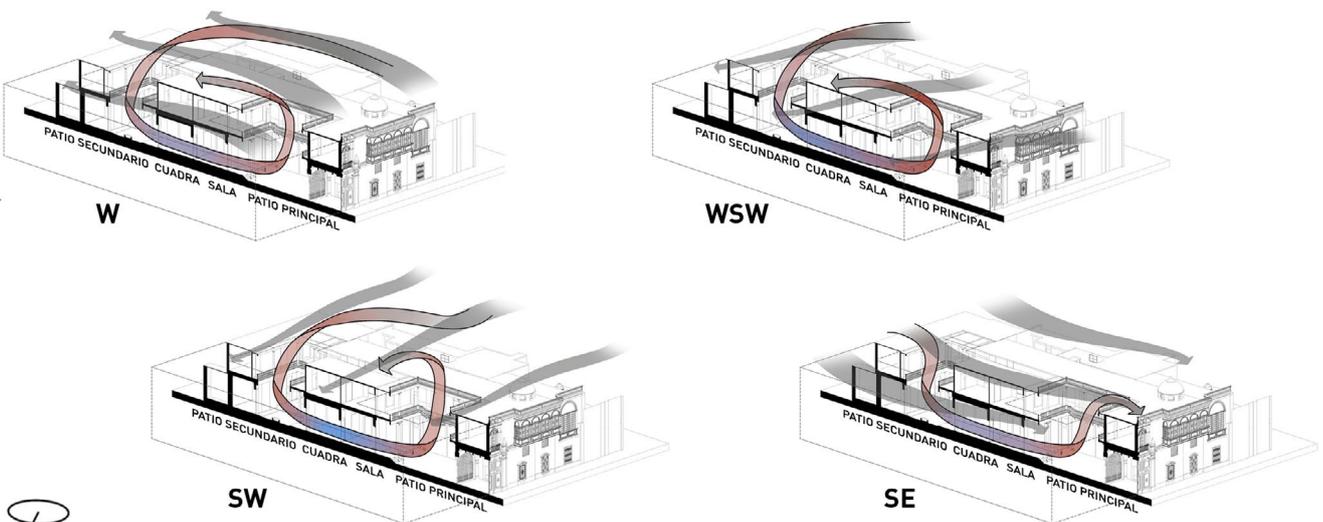


Figura 13: Esquemas de recorrido del viento exterior (SE, SW, WSW y W) y su comportamiento al interior del edificio.

La velocidad promedio al interior de los ambientes, a la altura de la puerta que separa ambas habitaciones, fluctuó entre 0.5 y 1.0 m/s, con un promedio de 0.70 m/s entre las 12:00 y las 16:00 horas. La relación entre la dirección del viento interior frente al exterior se presenta en la Figura 11, y permite observar con claridad que es mucho más frecuente la dirección de la corriente de aire al interior desde el segundo patio 'fresco' hacia el primero 'cálido', no existiendo una correlación con la dirección del viento al exterior. Esta situación es la que permite entender mejor los resultados de la propia temperatura del aire en su recorrido.

Adicionalmente, las filmaciones realizadas cada veinte minutos con la máquina de humo, permitieron evidenciar mejor el patrón del recorrido del viento entre el patio 'fresco', la galería previa a la cuadra y la propia cuadra, aunque a partir de este último espacio el humo se disipaba y se extendía con menor velocidad en el interior, acelerándose nuevamente en los vanos que la separaban de la sala. Se presenta una captura de imágenes por segundo de lo registrado en el momento más cálido del día, a las 13:20 horas (ver Figura 12 en la página anterior). Por último, se muestran gráficamente las diferentes situaciones de recorrido habitual del viento, desde el exterior hacia el interior de la Casa Riva-Agüero, asociadas a las cuatro direcciones más habituales de dirección exterior del viento: SE (10%), SW (16%), WSW (12%) y W (18%); entre todas suman una frecuencia de casi el 60% (Ver Figura 13).

Se puede observar claramente que, al margen de la dirección del flujo exterior, el fenómeno de succión del patio cálido/seco fomenta la convección por la menor presión que ejerce el aire caliente, succionando el aire desde el patio fresco/húmedo y asegurando una corriente que atraviesa finalmente los ambientes ubicados entre ellos.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los niveles de temperatura y humedad relativa del aire al interior de los dos espacios de mayor jerarquía/uso, que a su vez se ubican entre los dos patios del edificio, se mantienen dentro de valores confortables durante un día caluroso de verano, incluso en los momentos de mayor temperatura, entre las 12 del mediodía y las 3 de la tarde. Salvo a las 12 horas, en que la temperatura del aire es prácticamente la misma en ambos patios, en el resto de las horas cálidas, entre las 10:40 y las 16:00 horas, esta es siempre mayor en el primer patio que en el segundo, generalmente con 1.5°C más.

Esta situación es la que permite a su vez entender el comportamiento del viento que se presenta entre ambos patios, a nivel de la sala y la cuadra, específicamente:

- El movimiento del aire en el interior resulta frecuente (82% del tiempo), a pesar de no estar expuesto a los vientos exteriores de manera directa.
- Las velocidades alcanzadas (promedio de 0.7 m/s) resultan relativamente bajas, pero sensibles y agradables en relación con las demás condiciones higrotérmicas presentes.
- En la medida que hay viento interior, el 80% del tiempo este va desde el patio fresco hacia el cálido, evidenciando el efecto convectivo que lo activa y asegurando el ingreso del aire precisamente desde el patio más fresco.

La dirección predominante en el flujo del viento en la cuadra y la sala permite leer nuevamente la Figura 8 (ábacos psicrométricos) e identificar el fenómeno de refrigeración evaporativa. Desde el momento en que el aire baja su temperatura al ingresar al interior de la cuadra, la humedad relativa sube al mismo tiempo que la humedad absoluta, siguiendo precisamente las líneas del proceso adiabático. Aún sin ser muy evidente ni determinante, se puede reconocer que la refrigeración evaporativa junto con la presencia de la inercia térmica de la masa interior logra estabilizar las temperaturas y mantenerlas dentro de límites confortables.

Debido a la presencia de la propia masa térmica, de los patios, los balcones, las teatinas, las ventanas altas y las demás particularidades de la casa patio, es necesario realizar mediciones más extensas y complejas para identificar mejor el desempeño global del edificio y entenderlo como un organismo que respondió durante siglos a los requerimientos de cobijo de sus habitantes. Es necesario igualmente indagar más sobre los hábitos de uso de la época, así como mayores detalles de los patios en su configuración y uso. Por último, es importante mencionar que no solo resultaba muy común en el período virreinal la presencia de pozos de agua en los patios frescos, sino que hay información confiable, aunque no documentada, de la presencia de silos o pozos en la parte posterior de la Casa Riva-Agüero, los que podrían haber ayudado a reforzar el fenómeno de refrigeración evaporativa.

En conclusión, se ha demostrado la activación de la ventilación por convección entre patios y la presencia de condiciones de temperatura y humedad relativa del aire interior de los espacios de mayor jerarquía/uso que aseguran condiciones de confort térmico. Las particularidades de los propios patios aseguran un funcionamiento similar a aquellos ubicados en otras latitudes, con una presencia de la refrigeración evaporativa discreta y sin el protagonismo que tiene en climas más cálidos y secos; esta no resulta imprescindible debido a las temperaturas moderadas que presenta la ciudad.

La arquitectura local, cada vez más ligera, transparente, hermética e insensible a las condiciones locales obliga al uso creciente de sistemas artificiales de ventilación y climatización. Frente a esta situación claramente extendida en el mundo, la arquitectura tradicional nos permite rescatar ciertas estrategias para concebir una arquitectura contemporánea más pertinente y original. La condición específica de la presencia estratégica de dos patios -cálido/fresco- ha demostrado ser válida para brindar confort en el verano de Lima y resulta extensible a cualquier clima cálido o templado en el que sea requerida la ventilación natural.

NOTA

La presente publicación ha sido posible gracias al financiamiento obtenido por el Instituto Riva-Agüero de la Pontificia Universidad Católica del Perú, quien además nos brindó todas las facilidades para realizar las mediciones en sus instalaciones. Se agradece igualmente a las personas y colegas que de manera desinteresada y con entusiasmo participaron y apoyaron en las mediciones, especialmente Paul Ramírez, Saúl Huayta, el equipo del IRA y los miembros del grupo de investigación Patrimonio Arquitectónico PUCP.

REFERENCIAS

- (1) Harth-Terré, E. (1950). ¿Cómo eran las casas en Lima en el siglo XVI? *Mar del Sur*, 10 (separata). Lima: Gráfica Villanueva.
- (2) San Cristóbal, A. (1992). *Lima. Estudios de la arquitectura virreinal*. Lima, Epígrafe Editores.
- (3) San Cristóbal, A. (2003). *La casa virreinal limeña de 1570 a 1687. Tomos I y II*. Fondo Editorial del Congreso del Perú, Lima.
- (4) Crespo Rodríguez, M. D. (2006) *Arquitectura Doméstica de la Ciudad de los Reyes (1535-1750)*. Sevilla: CSIC-Escuela de Estudios Hispanoamericanos, Universidad de Sevilla, Diputación de Sevilla.
- (5) Velarde, H. (1962). *Yo fui su Alarife Mayor*. En *Mercurio Peruano*, 422. Lima.
- (6) Gutiérrez, R. (2002). *Arquitectura y urbanismo en Iberoamérica*. Guida Editori.
- (7) Walker, C. (2012). *Colonialismo en ruinas. Lima ante el terremoto y tsunami de 1746*. Lima: Instituto Francés de Estudios Andinos-Instituto de Estudios Peruanos.
- (8) Wieser Rey, M. F. (2007). *Las teatinas de Lima: análisis energético-ambiental y perspectivas de uso contemporáneo* (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de Catalunya.
- (9) Agüero, Rafael. (2009). *El balcón y la celosía, elementos de confort lumínico y térmico en el clima de la ciudad de Lima*. (Tesis de maestría). Universidad Politècnica de Catalunya.
- (10) Hector, V. (1946). *Arquitectura Peruana*. Fondo de Cultura Económica, México.
- (11) Cosme Mellarez, C. (2016). La influencia hispano árabe en la arquitectura peruana. *Revista De Arquitectura*, 3(1), 99-118. Recuperado de <http://revistas.unife.edu.pe/index.php/arquitectura/article/view/252/315>
- (12) De Dear, R. J., & Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and buildings*, 34(6), 549-561. doi: 10.1016/S0378-7788(02)00005-1
- (13) Standard, A.S.H.R.A.E. (2004). 55 (2004). *Thermal environmental conditions for human occupancy*, 30.
- (14) Municipalidad Metropolitana de Lima. (s.f.) *Temperatura media mensual de la estación Alexander von Humboldt*. <http://www.munlima.gob.pe/images/temperatura-media-mensual.pdf>
- (15) Scaletti Cárdenas, A. (2015). "Haviendo reconocido su fábrica de adovería y telares...": La casa Riva-Aguero (Lima, Perú - siglo XVIII). Trabajo presentado en el Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción. Segovia 13-17 de octubre de 2015.
- (16) Brown, F., & Memarian, G. (2006). The shared characteristics of iranian and Arab courtyard houses. *Courtyard Housing: past present and Future*, edited by Brian Edwards, Magda Sibley, Mohamad Hakmi and Peter Land Abingdon: Taylor and Francis. doi: 10.4324/9780203646724
- (17) Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons.
- (18) Dunham, D. (1961). The courtyard house as a temperature regulator. *Ekistics*, 11(64), 181-186. Retrieved September 8, 2020, from <http://www.jstor.org/stable/43613511>
- (19) Fathy, H (1986). *Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates*. Chicago: published for the United Nations University by the University of Chicago Press, 1986.
- (20) Steele, J. (1997). *An architecture for people: the complete works of Hassan Fathy*. Watson-Guption.
- (21) Cain, A., Afshar, F., Norton, J., & Daraie, M. R. (1976). Traditional cooling systems in the Third World. *The ecologist*, 6(2), 60-64.
- (22) Konya, A. (2013). *Design primer for hot climates*. Elsevier.
- (23) Ernest, R., & Ford, B. (2012). The role of multiple-courtyards in the promotion of convective cooling. *Architectural Science Review*, 55(4), 241-249. doi: 10.1080/00038628.2012.723400
- (24) Passe, U., & Battaglia, F. (2015). *Designing spaces for natural ventilation: an architect's guide*. Routledge. doi: 10.4324/9780203583470
- (25) Mohamed, M. A. (2018). The mastery of the Takhtabush as a paradigm traditional design element in the hot zone climate. *EQA-International Journal of Environmental Quality*, 28, 1-11. doi: 10.6092/issn.2281-4485/7661