



Revista de Arquitectura (Bogotá)

ISSN: 1657-0308

ISSN: 2357-626X

Universidad Católica de Colombia, Facultad de Diseño y
Centro de Investigaciones (CIFAR)

Zúñiga Hernández, José Andrew; Zavala-Ñahui, Betsabé-
Shirley; Mamani-Mendoza, Rocio Arcelia; Esquivel-Meza, Erika
Estabilidad térmica de un edificio centenario de sillar
(ignimbrita) en clima desértico frío. Hospital Goyeneche
Revista de Arquitectura (Bogotá), vol. 25, núm. 2, 2023, Julio-Diciembre, pp. 80-91
Universidad Católica de Colombia, Facultad de Diseño y Centro de Investigaciones (CIFAR)

DOI: <https://doi.org/10.14718/RevArq.2023.25.4220>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=125176913008>

- ▶ [Cómo citar el artículo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Más información del artículo](#)
- ▶ [Página de la revista en redalyc.org](#)

LUZEM 

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Estabilidad térmica de un edificio centenario de sillar (ignimbrita) en clima desértico frío. Hospital Goyeneche

Thermal stability of a centenary Sillar building (ignimbrita) in a cold desert climate. Goyeneche Hospital

José Andrew Zúñiga Hernández

Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa (Perú)
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Arquitectura
Arquitecto, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa (Perú)
Máster Universitario en Diseño y Gestión Ambiental de Edificios, Universidad de Navarra. Pamplona (España)

 <https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=z1iv2zsAAAAJ>

 <https://orcid.org/0000-0001-7571-2852>

 jzunigah@unsa.edu.pe; arq.andrew.z@gmail.com

Betsabé-Shirley Zavala-Ñahui

Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa (Perú)
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Arquitectura
Bachiller en Arquitectura, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa (Perú)

 <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=rbY8Oz8AAAAJ>

 <https://orcid.org/0000-0002-1168-5821>

 bzavala@unsa.edu.pe; happyayel4@gmail.com

Rocio Arcelia Mamani-Mendoza

Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa (Perú)
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Arquitectura
Bachiller en Arquitectura, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa (Perú)

 <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=pFJv-JgAAAAJ>

 <https://orcid.org/0000-0002-3885-7670>

 rmamanime@unsa.edu.pe; roci1624@gmail.com

Erika Esquivel-Meza

Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa (Perú)
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Arquitectura
Bachiller en Arquitectura, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa (Perú)

 <https://scholar.google.es/citations?user=A1-7u6UAAAAJ&hl=es&authuser=1>

 <https://orcid.org/0000-0001-9037-5030>

 eesquivel@unsa.edu.pe; erikaesquivelmeza@gmail.com

Resumen

El sillar (ignimbrita) es un material común dentro de las edificaciones del centro histórico de la ciudad de Arequipa, Perú. Una de ellas es el centenario hospital Goyeneche, considerado Patrimonio Cultural, y uno de los centros de referencia que brindan atención de mediana complejidad. El inmueble está deteriorándose, y se observa la necesidad de calcular su comportamiento térmico, lo cual tiene como objetivo evaluar el coeficiente de estabilidad térmica, el amortiguamiento y el desfase de la onda térmica en una sala de hospitalización con muros de sillar de 80 cm de espesor. La metodología, con enfoque cualitativo, consistió en monitorear la temperatura exterior e interior en época de invierno, hasta finales de primavera (junio-noviembre de 2018). Se determinó que el coeficiente de estabilidad térmica, en promedio, fue de 0,30, y se obtuvo un amortiguamiento del 70% de las fluctuaciones de temperatura exteriores en un clima seco-desértico-frío, con fluctuaciones que llegan hasta los 26°C, con amortiguamiento de la onda térmica promedio de 6,07°C y un desfase de la onda térmica promedio de 3h.20min, debido a la masa térmica del edificio. Se concluye que, al ser la sala de un material autóctono muy antiguo, en un clima con grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche, esta presentó un adecuado comportamiento térmico, por su alta masa térmica respecto a su estabilidad térmica.

Palabras clave: amortiguamiento térmico; confort térmico; coeficiente de estabilidad térmica (C.e.t); hospitales; masa térmica

Abstract

Ashlar (ignimbrite) is a common material within the buildings of the historic center of the city of Arequipa-Peru, one of them is the Goyeneche centennial hospital, considered Cultural Heritage and one of the reference centers that provides care of medium complexity; its state is deteriorating, before it is necessary to calculate its thermal behavior; having as objective to evaluate the coefficient of thermal stability, the damping and phase shift of the thermal wave in a hospitalization room with 80cm thick ashlar walls; for this there were studies that found the thermal conductivity in modules of ashlar edge and rope, comparing it with other materials. The methodology with a qualitative approach consisted of monitoring the outside and inside temperature in winter until the end of spring (June-November 2018). It was determined that the average thermal stability coefficient was 0.30, obtaining a damping of 70% of external temperature fluctuations in a dry-desert-cold climate with fluctuations that reach up to 26°C, with damping of the average thermal wave. of 6.07°C and an average thermal wave lag of 3h.20min, due to the thermal mass of the building. Concluding that, being the room is made of a very old native material, in a climate with large temperature differences between day and night, it presented adequate thermal behavior due to its high thermal mass with respect to its thermal stability.

Keywords: hospitals; thermal comfort; thermal damping; thermal mass; thermal stability coefficient (C.e.t)

Introducción

Presentación y ubicación

El establecimiento de salud, hospital Goyeneche es responsable de satisfacer las necesidades de salud de la población de su ámbito jurisdiccional, a través de una atención integral ambulatoria y hospitalaria, mediante servicios especializados que reciben las referencias de los establecimientos de salud de primer nivel de atención de su ámbito de competencia (Ministerio de Salud [MINSA], 2021). Según el Registro Nacional de IPRESS¹, en Perú se contabilizaron 247 hospitales públicos de segundo y tercer nivel de atención, de los cuales 31 son de categoría III, y otros tres están ubicados en el departamento de Arequipa en su centro histórico, el cual tiene una altitud de 2.335 msnm. Es aquí donde se localiza el hospital objeto de estudio, como se observa en la figura 1.

Hospital

El hospital Goyeneche tiene un aforo que sobrepasa lo establecido en la Norma técnica N.º 119-MINSA/DGIEM-V.01² (MINSA, 2021). Tiene en una sala de hospitalización (servicio de Medicina Varones) 24 camas, que siempre están ocupadas.

Además, según la evaluación del Índice de Seguridad Hospitalaria (ISH) realizada en 2015, se identificó que el hospital Goyeneche presenta bloques antiguos de más de 100 años, con muros de sillar de 80 cm de espesor, así como un sistema de losas aligeradas con rieles, a manera de viguetas prefabricadas en una dirección, con reforzamiento realizado tras el terremoto de 2001. A escala global, en el índice de seguridad obtuvo un puntaje de 0,23, y la del índice de vulnerabilidad fue de 0.77, según lo cual se ubica en la categoría C, y ello significa que se requiere con urgencia tomar medidas en caso de que hubiera un desastre (Salinas et al., 2015); sumado a esto, de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones

(RNE), Arequipa se ubica en la zona sísmica N.º 4-mesoandino, lo cual significa que la zona tiene una fracción alta de aceleración de la gravedad de $z = 0,45$ (Instituto de la Construcción y Gerencia, 2019). A lo anterior se suma que no hay sistemas de acondicionamiento térmico artificial en el interior del edificio.

Clima y salud

Un aspecto que influye en la calidad de la atención integral de los pacientes que asisten al hospital Goyeneche es el clima. Según la clasificación de Wladimir Köppen, se identifica en su área de ubicación un tipo de clima seco, desértico y frío (grupo B, W, K), en altitudes desde los 1200 msnm-1500 msnm hasta 4000 msnm, (Barniol, 2021). Por otro lado, en Perú se hizo una clasificación de 38 climas. Arequipa tiene doce de dichos tipos de climas, y el área del estudio presenta, a su vez, un tipo de clima E(d)B', árido, templado, y con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año; además, registra temperaturas máximas de 22 °C-23 °C y una temperatura mínima de 11 °C en el verano, y de 7 °C en el invierno, con un total de 70 mm anuales de lluvia; febrero el mes más lluvioso, con 28 mm (Castro et al., 2021).

Ante esto, en invierno la temperatura del aire empieza a disminuir, y el descenso se acentúa entre junio y agosto. Además, según el CENEPRED³, las condiciones climáticas consideradas confortables para el ser humano pueden sobrepasar los umbrales de adaptación, y pueden, incluso, ocasionar daños a la salud. La población con mayor probabilidad de sufrir enfermedades respiratorias como las neumonías son los niños menores de 5 años y los adultos mayores de 60 años; ambos grupos poblacionales comprenden un total de 10.954 habitantes en los ocho distritos de muy alto riesgo y 714.039 habitantes del departamento de Arequipa, según las estadísticas del CDC⁴ del MINSA durante el periodo 2008-2018. (CENE-

1 Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud.

2 Infraestructura y Equipamiento de los Establecimientos de Salud del Tercer Nivel de Atención.

3 CENEPRED: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.

4 CDC: Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades.



Figura 1. Localización de la ciudad de Arequipa, de su centro histórico y del hospital Goyeneche.

Fuente: elaboración propia (2020).

Nota: la imagen representa la ubicación del hospital Goyeneche, a partir de imágenes de Google Maps (2020) (<https://www.google.com/maps>).

PRED, 2019). En 2017, durante la estación de invierno, se tuvieron 400 ingresos a la sala de hospitalización de medicina del hospital Goyeneche; cabe señalar que la población que acude al establecimiento es, generalmente, referida de toda la región macro sur de Perú, que no cuentan con muchos recursos económicos y que tienen Seguro Integral de Salud (SIS) (Oficina de Estadística e Informática, 2017).

Patrimonio

Aparte de las problemáticas mencionadas, se ha visto que la edificación ha sufrido deterioro y es necesaria su preservación, pues representa una gran riqueza histórico-cultural. El inmueble, de estilo arquitectónico gótico, fue inaugurado el 11 de febrero de 1912, y su materialidad es el sillar (Salinas et al., 2015), como se aprecia en la figura 2; además, el edificio fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad el 2 de diciembre del 2000, por la UNESCO⁵ World Heritage Convention; por consiguiente, se debe conservar este bien cultural-inmueble (Anglada, 2018).

Objetivo

Ante lo planteado, se ve la necesidad de analizar el comportamiento térmico de esta edificación patrimonial-sanitaria, y por eso la presente investigación tiene por objetivo evaluar el coeficiente de estabilidad térmica de una sala de hospitalización (servicio de Medicina Varones), perteneciente al hospital Goyeneche, y construida con muros de sillar de 80 cm de espesor, estudiando su comportamiento en cuanto a amortiguamiento y desfase de la onda térmica en un clima seco, desértico y frío, como el de Arequipa.

Como ya se mencionó, tanto el estado de la edificación patrimonial como el clima son algunos aspectos que intervienen en la calidad de atención de las personas hospitalizadas, y se identificó como premisa que el material principal de construcción es la ignimbrita; además, la estabilidad térmica de este material influye directamente en el confort tanto del usuario interno como en el personal de salud y externo, que son los pacientes y los familiares de ellos que permanecen en las salas de hospitalización, como se muestra en la figura 2.

5 Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, por su nombre en español.



Figura 2. Vista exterior de la sala de hospitalización del hospital Goyeneche.

Fuente: elaboración propia (2018).

Teniendo este panorama problemático, nace la necesidad de investigar y responder la interrogante de saber si son adecuados los valores del coeficiente de estabilidad térmica, amortiguamiento y desfase de la onda térmica en una sala de hospitalización perteneciente al hospital Goyeneche, construida con muros de sillar de 80 cm de espesor en un clima seco, desértico y frío. Ante esta interrogante, es probable que la sala de hospitalización Medicina para Varones presente un adecuado comportamiento térmico, medida desde la evaluación del coeficiente de estabilidad térmica, el amortiguamiento y el desfase de la onda térmica que tiene el sillar con un espesor considerable.

Estado del arte

Por lo expuesto, es necesario conocer estudios relacionados con el comportamiento térmico del sillar; al respecto, se encontraron varias obras relacionadas con las propiedades físicas y químicas de dicho material, como la investigación de Cáceres (2020) Perú-Arequipa, que realizó el estudio *Comportamiento estructural sísmico estático no lineal de bóvedas de sillar en monumentos históricos; reforzamiento estructural de la Iglesia de Santa Marta*, y el cual concluyó que el sillar es un material isotrópico cuya resistencia a la compresión promedio es de 12,54 MPa, mientras el módulo de elasticidad es de 430 MPa.

Quispe (2021) midió las propiedades físicas del sillar, y determinó que la humedad de este fue del 0,29%, que el peso específico saturado superficialmente seco fue de 1,63 g/cm³ y que la absorción fue del 32,16%. Además, respecto al análisis granulométrico, se vio que el sillar, como agregado, se podría optimizar para que cumpla los rangos de la Norma Técnica Peruana (NTP) 400.037, con un tamaño máximo nominal recomendable de 1/2"; en cuanto a las propiedades químicas, el contenido de cloruros de dicho material es de 170 ppm; el de sulfatos, de 773 ppm; su pH, de 7,83; su temperatura, de 20,4°C, y su contenido de sales solubles, de 1488 ppm, según lo cual cabe concluir que dichos contenidos de sustancias comparados a la norma American Society for Testing and Materials-Standard Test Method for Water-Soluble Sulfate in Soil (ASTM C1580) se encuentran dentro de los rangos mínimos.

Álvarez (2021) realizó el estudio de caracterización petro-mineralógica de las ignimbritas en la quebrada de Añashuayco, y concluyó que las ignimbritas son aprovechadas como canteras de extracción, que tradicionalmente han sido utilizadas para la construcción, la ornamentación y el tallado de obras. Este material presenta características generales como una dureza de 3 en la escala de MOHS6, textura porfídica, una densidad de 1,45 gr/cm³, calidad de roca opaca de alta porosidad y gran variedad de tonos.

Existe un estudio experimental que se enfocó en ver las propiedades térmicas del sillar: Herrera et al. (2020), según consta en la investigación *Evaluación del desempeño térmico del sillar (ignimbrita) de Arequipa, Perú*, construyeron módulos nuevos de 1,00 m × 1,00 m × 1,00 m, sin vanos, inhabitados y de diferentes materiales; uno de ellos fue el sillar en saga de 0,30 m de espesor. Pudieron concluir que en la temporada de invierno el muro de sillar de saga amortigua el 81,40% de la temperatura del aire

6 Es una relación de diez minerales que están ordenados de acuerdo con la dureza del material.

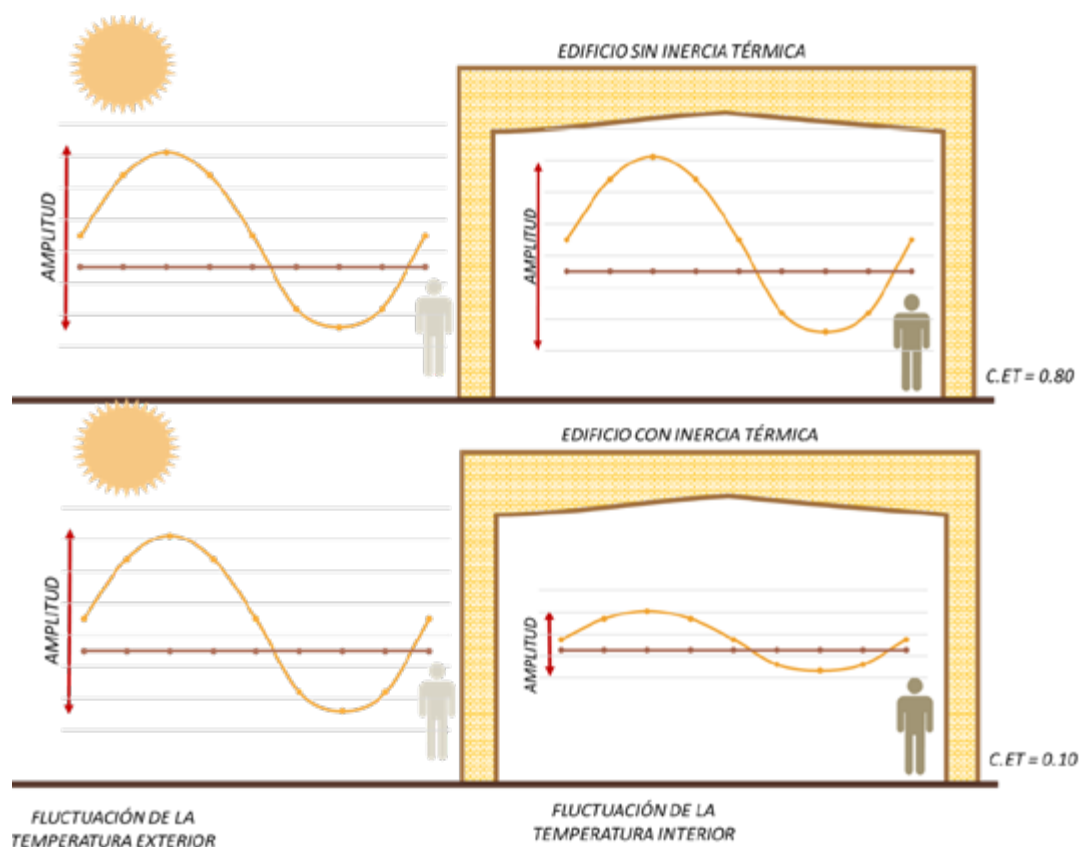


Figura 3. Coeficiente de estabilidad térmica (C.e.t.) en edificios con diferentes masas. Fuente: elaboración propia (2023), con base en Neila González (2004, p. 371).

exterior; además, cumple con la transmitancia térmica requerida por el RNE, pues tiene $0,78 \text{ W/m}^2$; asimismo, el muro de sillar de canto de $0,19 \text{ m}$ de espesor amortigua el $49,37\%$ de la temperatura del aire exterior. En el estudio también se utilizó el registrador HOBO U12, el cual mide cada 10 minutos la temperatura.

En un estudio de construcción de tierra, Evans (2004) comparó el comportamiento térmico de un muro de tierra compactada en un día típico de invierno con adobe. Así encontró diferencias en el *retraso térmico* (desfase térmico), y concluyó que el adobe y la tierra compactada tienen un desfase de $8,4$ horas y $11,4$ horas, respectivamente. El mencionado estudio se hizo en un ambiente de clima templado cálido, en Argentina.

Además, el estudio de Muñoz et al. (2015) evaluó la caracterización del comportamiento térmico de un edificio prototipo en Tandil (Buenos Aires) haciendo el análisis de las mediciones continuas y sistemáticas realizadas con sensores de temperatura y humedad en puntos específicos del interior y el exterior; utilizaron seis sensores HOBO U12, que miden cada 10 minutos la temperatura.

Definiciones y mediciones

Coeficiente de estabilidad térmica

La estabilidad térmica se mide con un coeficiente que relaciona la amplitud de la temperatura interior (temperatura máxima menos temperatura mínima) con la amplitud de la temperatura exterior. Los valores próximos a uno quieren decir que el local no tiene inercia térmica y que cualquier alteración energética (exterior o interior) se nota inmediatamente en el ambiente interior, mientras que los valores pequeños, por debajo de $0,5$ nos hablan de edificios muy

Rangos	Interpretación
$C.e.t > 1$	Local donde los efectos del sobrecalentamiento son críticos.
$C.e.t = 1,0$	Local en el que la temperatura varía al mismo ritmo que en el exterior.
$C.e.t$ entre $1,0$ y $0,5$	Local con suficiente inercia térmica. Se reduce el efecto de la temperatura exterior.
$C.e.t < 0,5$	Local con gran inercia térmica. Repercute en el local menos del 50% de la fluctuación de la temperatura exterior.

Tabla 1. Coeficientes de estabilidad térmica. Fuente: Neila González (2004, p. 371).

estables y por tanto poco dispuestos a cambiar de temperatura (Neila, 2004, p. 370).

La figura 3 y la tabla 1 muestran más información respecto al coeficiente de estabilidad térmica (C.e.t.).

Masa térmica

La masa térmica representa la capacidad del cerramiento para almacenar calor. Es un término para cualquier masa usada para conservar o contener temperatura (Jiménez, 2016). El material ideal para la masa térmica retendría mucho calor y lo liberaría durante un largo periodo. La tierra, la arena de adobe, la roca, el ladrillo y el concreto también son buenos materiales de masa térmica. Cuanto más densa la materia, más calor conserva (Reynolds, 2012). Para el cálculo de la masa térmica, esta se obtiene multiplicando la masa por el calor específico (C_e). A su vez, la masa es el valor del producto del volumen (V) por la densidad (ρ): $mt = V \rho C_e$ (Neila, 2004).

El cálculo de masa térmica (ignimbrita) de la sala de hospitalización Medicina para Varones es:

$$\text{Volumen } (V) = 490,44 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad } (\rho) = 1.306,96 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Calor específico } (Ce) = 463,75 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$Mt = 490.44 \times 1.306,96 \times 463,75$$

$$Mt = 297.257,00 \text{ KJ/}^\circ\text{C}$$

Inercia térmica

Es la capacidad que tiene un material para acumular calor o frío; a mayor inercia térmica, mayor capacidad de acumulación de calor o frío; por ejemplo, en invierno un edificio con elevada inercia térmica puede calentarse durante el día, de forma natural y gratuita, y puede acumular este calor manteniéndolo a lo largo de la noche. La inercia térmica se logra aumentando la masa de los edificios. A mayor masa, mayor inercia térmica y, por lo tanto, mejor comportamiento térmico (De Garrido, 2017). Se expresa como producto del calor específico del material y la densidad de este, en $\text{J/m}^3^\circ\text{C}$ (Martínez, 2015):

Inercia térmica (ignimbrita) de la sala de hospitalización Medicina Varones = $C_p \times \rho$, donde:

$$\text{Calor específico } (Ce) = 463,75 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{Densidad } (\rho) = 1.306,96 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Inercia térmica} = 606.102,70 \text{ J/m}^3^\circ\text{C}$$

La inercia térmica conlleva dos fenómenos: la amortiguación en la variación de las temperaturas y el retardo de la temperatura interior respecto a la exterior.

Amortiguación de la onda térmica:

Durante el lento proceso de conducción de calor a través del muro, las condiciones exteriores cambian: deja de dar el sol y baja la temperatura. Esto provoca que parte del calor que se había acumulado dentro del muro encuentre una salida térmicamente razonable hacia el exterior, produciéndose un rebote de la onda de calor. A esto se le denomina amortiguación de la onda térmica (fa) (Neila, 2004, p. 382).

El amortiguamiento expresa el porcentaje de la reducción de la temperatura interior respecto a la temperatura exte-

rior (Rey et al., 2020). Se considera que, en la realidad, la aplicación de calor no es constante, sino que existen variaciones en la intensidad de la radiación solar a lo largo del día y, evidentemente, también diferencias de temperatura entre el exterior y el interior. Por ello, generalmente se dice que los muros de una casa son calentados durante el día, y que por la noche desprenden el calor acumulado (Fuentes, 2009). Para el desarrollo del presente proyecto se sacó la diferencia entre las máximas temperaturas del interior y el exterior del edificio, y se cuantificó en grados centígrados ($^\circ\text{C}$). Variable cuantitativa, medida en escala de intervalo, según registro de Data Logger.

Efusividad Térmica (b):

"Indica la capacidad efectiva que ofrecen los materiales para acumular calor" (Neila, 2004).

$$b = \sqrt{\rho \times Ce \times \lambda}$$

Efusividad del sillar (ignimbrita):

$$\text{Conductividad térmica } (\lambda) = 0,16 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\text{Densidad } (\rho) = 1.306,96 \text{ kg/m}^3,$$

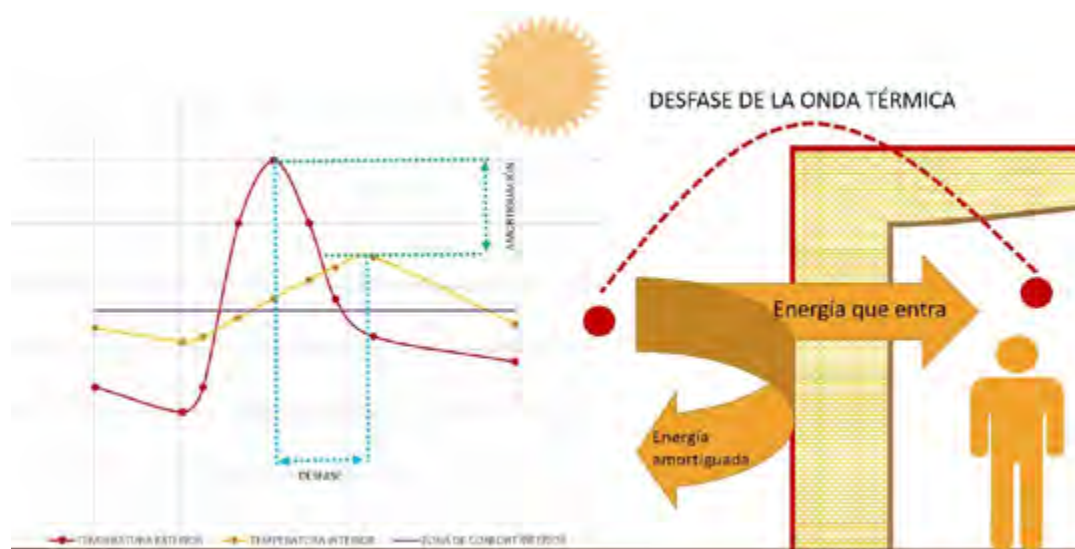
$$\text{Calor específico } (Ce) = 463,75 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$b = 311,41 \text{ S}^{1/2} \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$$

Desfase de la onda térmica:

El tiempo que tarda la onda de calor en atravesar el cerramiento se denomina desfase de la onda térmica. Este desfase (df), que es generalmente de varias horas, depende de la conductividad térmica (λ), de la densidad (ρ), del calor específico (Ce) y del periodo del fenómeno (t) que para aplicaciones climáticas es de 24 horas (Neila, 2004, p. 381).

La figura 4 ilustra respecto a desfase y amortiguación de la onda térmica. La mayor cantidad de calor se libera algunas horas después de que la temperatura ambiente externa ha llegado a sus valores máximos; es decir, un modesto impacto en los espacios interiores. El tiempo de desfase es proporcional a su capacidad térmica, e inversamente proporcional a su conductibilidad. Lo ideal es que el desfase sea de 8-10 horas, para que el frío de la noche se transmita al interior durante el día, y que el calor del día llegue en horas de la noche (Varini, 2016). Se cuantificó en horas y minutos (h). Variable cuantitativa, medida en escala de intervalo, según registro de Data Logger.



■ Figura 4. Desfase y amortiguación de la onda térmica.

Fuente: elaboración propia (2023), con base en Neila González (2004, p. 382).

Difusividad térmica (a):

Es la relación entre la conductividad térmica y la capacidad de almacenamiento térmico, o capacidad calorífica por unidad de volumen del material. Es la velocidad con la que la energía se mueve dentro del cerramiento, pues a mayor cerramiento, más tiempo tarda la energía térmica en forma de calor en propagarse por el muro (Jiménez, 2016).

$$a = \lambda/\rho \times Ce$$

Efusividad del sillar (ignimbrita):

$$\text{Conductividad térmica } (\lambda) = 0,16 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Densidad } (\rho) = 1.306,96 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Calor específico } (Ce) = 463,75 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

$$311,41 \text{ S } \frac{1}{2} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$a = 0,26 \text{ m}^2/\text{s} \times 10^{-6}$$

- **Confort térmico:** Es la zona donde una persona no utiliza mecanismos de autorregulación térmica. Sensación neutra de la persona respecto a un ambiente térmico determinado. Según la norma ISO 7730, “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Si el balance de energía generada entre la utilizada para producir trabajo coincide con la disipada en forma de calor, entonces la persona se encuentra en una situación de neutralidad térmica y su sensación térmica es de confort (Rey et al., 2020), considerándose:

- **Cálculo de la zona de confort:** Se determinó la zona de confort en la ciudad de Arequipa mediante el método adaptativo propuesto en la norma ANSI/ASHRAE 55-2010 (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, 2010). Para el cálculo de la temperatura neutral de invierno-primavera, se tomó el promedio de la temperatura exterior de los días monitoreados. Para definir los rangos superior e inferior de la zona de confort, se determinó utilizar la amplitud de $\pm 2,5^\circ\text{C}$, como sugiere Szokolay (2004).

$$T_n = 17,8 + 0,31(T)$$

Donde:

T_n = temperatura neutral

17,8 = temperatura de núcleo interno

0,31 = Clo

T = temperatura del aire promedio

La temperatura neutral fue de $23,54^\circ\text{C}$ para la temporada invierno-primavera, con un límite superior de $26,04^\circ\text{C}$ y un límite inferior de $21,04^\circ\text{C}$.

- **Temperatura:** Es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, medida en grados centígrados ($^\circ\text{C}$). A escala microscópica, es una medida del movimiento y del estado de vibración molecular de una sustancia (Mar & Rafael, 2016).

Metodología

Área de estudio

El área de estudio de la presente investigación fue el hospital Goyeneche, que es un órgano dependiente e integrante del Gobierno Regional de Arequipa, y un establecimiento de nivel III-1 de referencia de capacidad resolutoria de mediana complejidad. Se encuentra ubicado en la región de Arequipa, provincia de Arequipa, distrito del Cercado.

Limita por el sur con la calle Paucarpata; por el norte, con la calle Siglo XX; por el este, con la avenida Independencia, y por el oeste, con la avenida Goyeneche, como se observa en la figura 1.

Cuenta con 240 camas, distribuidas en 14 servicios hospitalarios, que contribuyen a la atención y la solución de los problemas de salud de la población, que, por lo general, son personas que pertenecen a un sector socioeconómico bajo y a los migrantes de la macrorregión sur de Perú. Uno de los servicios que presentan alta complejidad es el de Medicina, que se encuentra ubicado en el primer y segundo pabellones del nosocomio, con dos servicios: Medicina Mujeres y Medicina Varones; cada servicio es constituido por una sala de hospitalización, y cuenta, además, con un estar de enfermería, sala de descanso y tóxico.

El servicio de Medicina Varones cuenta con 24 camas exclusivamente para dicho servicio. Cada ambiente del usuario está separado por tabiques divisorios; además, el servicio cuenta con la estación de enfermería, tóxico, ambientes para repostería, solarío y servicios higiénicos de personal de salud y los usuarios. En los servicios laboran 20 médicos de diferentes especialidades, seis enfermeras y una jefa enfermera del servicio de medicina, los cuales brindan cuidados a pacientes de diversas patologías.

En cuanto a la infraestructura, el edificio no cuenta con sistemas de acondicionamiento térmico artificial en su interior. La forma de uso del espacio es una sala de hospitalización Varones de diferentes especialidades de medicina (atiende casos graves de enfermedades crónicas e infecciosas). El nivel de ocupación de las 24 camas es estable; su programa de funcionamiento es que a la hora del almuerzo (12:00 m) se abre la puerta central que da al patio, hasta las 16:00 horas, y las ventanas se abren desde las 10:00 horas hasta las 16:00 horas.

Diseño de estudio

El diseño de estudio tendrá un enfoque cualitativo. El tipo de estudio que se va a usar será el estudio de caso único, con una estructura lineal analítica, pues se buscará identificar una pregunta de investigación, así como revisión de literatura, métodos, hallazgos, discusión y conclusiones. Además, tendrá un enfoque cualitativo, al usar datos cuantitativos en su mayoría. Tal tipo de estudio no requiere un análisis arduo de la muestra, pues no se intervendrá en el análisis de los datos (Groat & Wang, 2013). El diseño usado será el observacional, por cuanto no se intervendrán los resultados obtenidos. Se seguirá una temporalidad longitudinal, pues las mediciones se hicieron a lo largo del tiempo; asimismo, se hará un estudio retrospectivo al respecto, porque los datos fueron captados en el pasado y se analizarán en el presente (Manterola & Otzen, 2014). El estudio se hizo en dos periodos de toma de datos, correspondientes a los periodos 5 de junio-9 de julio y 3 de agosto-12 de noviembre de 2018.

Definición de la población

El estudio de caso se desarrolló en el hospital Goyeneche, el cual cuenta con 14 servicios, de los cuales se eligió el de Hospitalización Medicina Varones, porque mantiene el diseño original patrimonial y atiende a personas con múltiples especialidades de alta complejidad —entre ellas, las enfermedades respiratorias— y es uno de los servicios más antiguos; tiene las siguientes dimensiones: 6,90 m de ancho \times 40,0 m de largo \times 5,0 m de altura, como se aprecia en la figura 5.

Variables

Se toma la temperatura T° como variable cuantitativa, según registro de Data Logger, considerando:

Zona de confort térmico: 21,04 °C-26,04 °C. Para definir los rangos superior e inferior de la zona de confort, se utilizó la amplitud de +/- 2,5 °C, como sugiere Szokolay (2004), y se la calculó de la siguiente manera:

$$T_n = 17,8 + 0,31(T) \rightarrow T_n = 17,8 + (0,31 \times 18,532^\circ\text{C}) \rightarrow T_n = 23,54^\circ\text{C}$$

$$ZC_{min} = T_n - 2,5 \rightarrow ZC_{min} = 23,54^\circ\text{C} - 2,5^\circ\text{C} \rightarrow ZC_{min} = 21,04^\circ\text{C}$$

$$ZC_{max} = T_n + 2,5 \rightarrow ZC_{max} = 23,54^\circ\text{C} + 2,5^\circ\text{C} \rightarrow ZC_{max} = 26,04^\circ\text{C}$$

Donde:

T_n = temperatura neutral

17,8t = temperatura de núcleo interno

0,31 = constante

T = temperatura del aire promedio

Z_{cmax} = límite de confort térmico máximo (°C)

Z_{cmin} = límite de confort térmico mínimo (°C)

La temperatura neutral (T_n) de invierno-primavera (junio-noviembre de 2018) se calculó a partir de la temperatura de aire promedio exterior (T) de los días registrados por el equipo Data Logger, (cada 10 minutos las 24 horas), con un promedio de T = 18,532 °C, multiplicando este por la constante de 0,31 y adicionando la temperatura de núcleo interno, que fue de 17,8 °C. Se tuvo como resultado la temperatura neutral de 23,54 °C, con un límite superior de confort térmico de 26,04 °C y un límite inferior de 21,04 °C.

Las temperaturas que están en la zona de confort térmico son las que fueron registradas (por el equipo Data Logger cada 10 minutos), cuyos valores están dentro del rango de 21,04 °C-26,04 °C.

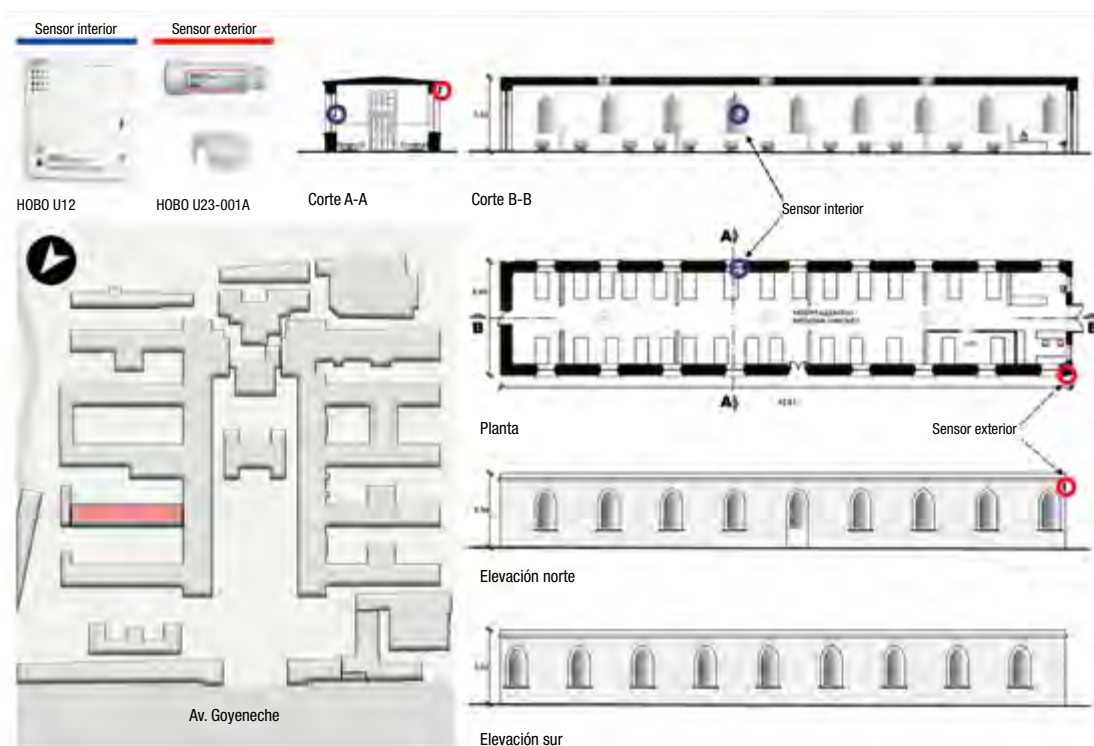
Zona de desconfort térmico: Son las temperaturas registradas (por el equipo Data Logger cada 10 minutos) cuyos valores son < 21,04 °C y > 26,04 °C.

Además, para tener una mejor visión de las variables que intervienen en el presente estudio, se elaboró la tabla 2. Operacionalización de Variables, para evaluar el proceso metodológico.

Variables	Subvariables	Indicador	Unidad de medida	Instrumento
Estabilidad térmica	Masa térmica-inercia térmica	Coficiente de estabilidad térmica	C.e.t > 1 C.e.t = 1,0 C.e.t entre 1,0 y 0,5 C.e. < 0,5	Data Logger
Amortiguamiento de la onda térmica	Efusividad	Temperatura	°C	Data Logger
Desfase de la onda térmica	Difusividad	Tiempo	Hora y minutos	Data Logger
Zona de confort	Confort térmico	Límite de temperatura superior e inferior	°C	Data Logger

■ Tabla 2. Operacionalización de Variables.

Fuente: elaboración propia (2018).

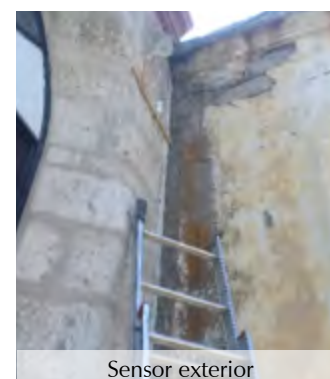


■ Figura 5. Ubicación de área de estudio: Hospitalización Medicina Varones.

Fuente: elaboración propia, con base en los documentos de la investigación (2021).



Sensor interior



Sensor exterior

■ Figura 6. Instalación de los sensores interior y exterior en Hospitalización Medicina Varones.

Fuente: elaboración propia (2018).

Toma de datos

Las mediciones se hicieron en 2018, cuando se encontraba en vigencia la ley EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética, del Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú.

El periodo de monitoreo elegido para la recolección de datos fue durante el invierno y parte de la primavera y el otoño en Arequipa: del 5 de junio al 9 julio, y del 3 de agosto al 12 de noviembre de 2018. El invierno durante 2018 duró del 21 de junio al 22 de septiembre (Gobierno del Perú, 2018).

Los instrumentos aplicados en el área de estudio fueron:

- Una guía de observación documental de monitoreo de temperatura y humedad.
- Equipos de registro digital de temperatura y humedad interior y exterior: tanto en el interior como en el exterior de la sala de hospitalización, se instalaron dos equipos HOBO, de la marca ONSET⁷, como se aprecia en las figuras 5 y 6.
- **Monitorización de temperatura y humedad interna:** Se utilizó el Data Logger HOBO U12 (Temperature/Relative Humidity/2 External Channel Data Logger) puesto en el centro del servicio de Medicina Varones, con un cable termopar, que toma la temperatura del muro como, se observa en la figura 6.
- **Monitorización de temperatura y humedad externa:** Se utilizó el Data Logger U23-001A termohigrómetro HOBO de temperatura y humedad para uso exterior, ubicado en el techo del servicio; los equipos registraron

⁷ El registrador de datos de temperatura y humedad tipo HOBO es un sensor con dos canales que logra mayor precisión; se usó la marca ONSET de Clase I, que cumple con la Norma ISO 7726:1998 (Ergonomía del entorno térmico. Instrumentos de medida de magnitudes físicas).

los datos cada 10 minutos, las 24 horas del día, durante los periodos de monitoreo, como se observa en la figura 6.

Aspectos éticos

Se solicitó la autorización pertinente a las autoridades del hospital Goyeneche, y se coordinó con los jefes del servicio de Medicina Varones para la colocación de los equipos y la toma de datos mediante los instrumentos en el área objeto de estudio; en adición, se descartaron las primeras tomas de datos de los equipos, ya que se necesita un periodo de estabilización para un adecuado registro, según lo indicado en cada manual de uso.

Análisis de datos

Para la obtención de los datos a partir de los equipos se utilizó el *software* gratuito HOBOWare, y para el procesamiento de los resultados se utilizó el programa Microsoft Excel 2016, con el cual se elaboró una tabla de recolección y realización de gráficos.

Resultados

Temperaturas

El monitoreo se realizó del 5 de junio al 9 de julio y del 3 de agosto al 12 de noviembre de 2018. Los datos de temperatura exterior se obtuvieron del Data Logger HOBO U23-001A Termohigrómetro. La temperatura exterior máxima registrada en dicha temporada fue de 35,56°C (agosto), y la mínima, de 7,5°C (agosto), con un promedio de 27,13°C. La temperatura interior máxima fue de 27,38°C (noviembre), y la mínima, de 15,58°C (agosto), con un promedio de 24,64°C.

Los resultados obtenidos de cada variable se presentan en la tabla 3.

Temperaturas	Unidad	Junio-julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Resultados principales
Temperatura máxima exterior	°C	33,94	35,56	32,30	29,77	27,95	35,56
Temperatura mínima exterior	°C	9,24	7,54	8,47	10,49	10,74	7,54
Temperatura máxima interior	°C	23,38	25,09	25,57	25,21	27,38	27,38
Temperatura mínima interior	°C	16,77	15,58	16,32	18,39	19,15	15,58

■ Tabla 3. Temperaturas.

Fuente: elaboración propia (2018), con base en los datos obtenidos de la monitorización de la sala de Hospitalización Varones.

Variables térmicas	Und.	Junio-julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Resultados principales
C.e.t. promedio	C.e.t.	0,33	0,22	0,32	0,34	0,41	0,30
Amplitud máxima exterior	°C	24,34	26,21	23,00	18,66	15,11	26,21
Amplitud mínima exterior	°C	17,98	15,38	15,98	12,07	12,95	12,07
Amplitud máxima interior	°C	5,72	8,48	7,99	6,65	6,85	8,48
Amplitud mínima interior	°C	1,88	2,91	4,96	3,94	4,76	1,88

■ Tabla 4. Coeficiente de estabilidad térmica.

Fuente: elaboración propia (2018), con base en los datos obtenidos de la monitorización de la sala de Hospitalización Varones.

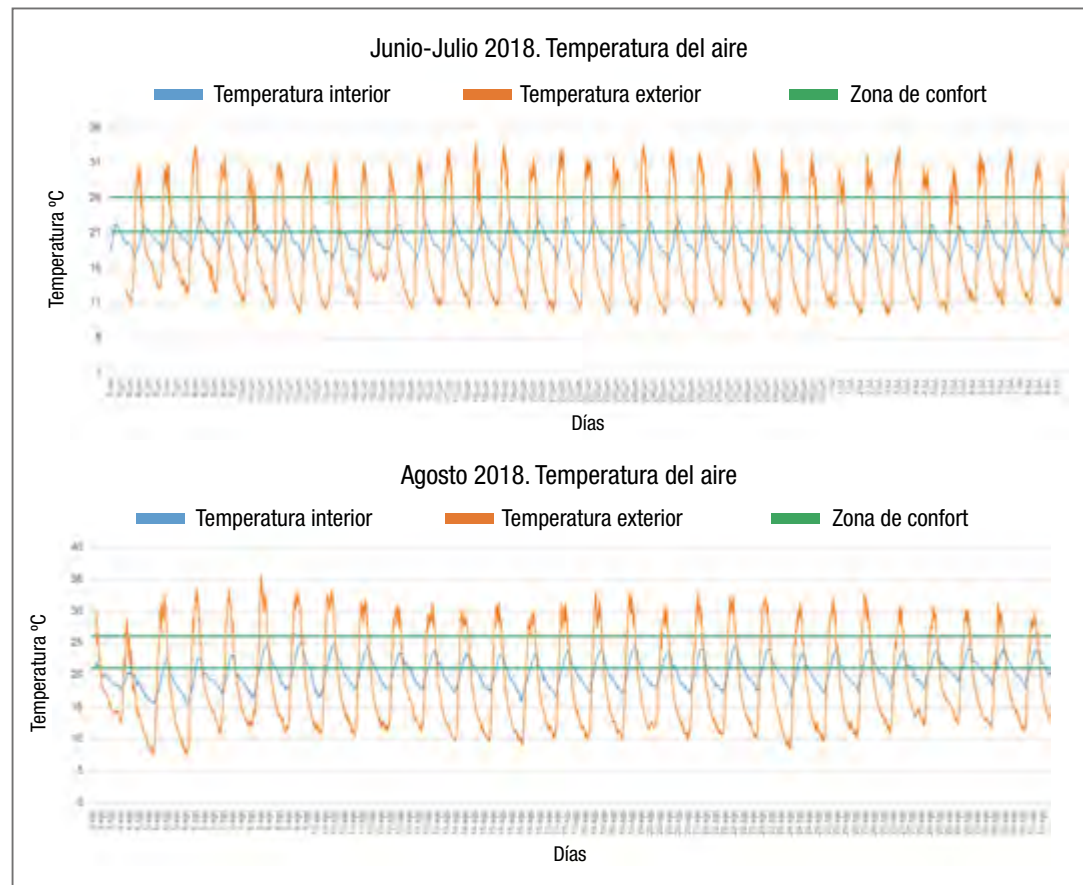
	Und.	Junio-julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Total
Confort	%	26,07 %	36,54 %	47,59 %	66,24 %	70,31 %	46,14 %
Disconfort	%	73,93 %	63,46 %	52,41 %	33,76 %	29,69 %	53,86 %

■ Tabla 5. Zona de confort interior.

Fuente: elaboración propia (2018), con base en los datos obtenidos de la monitorización de la sala de Hospitalización Varones.

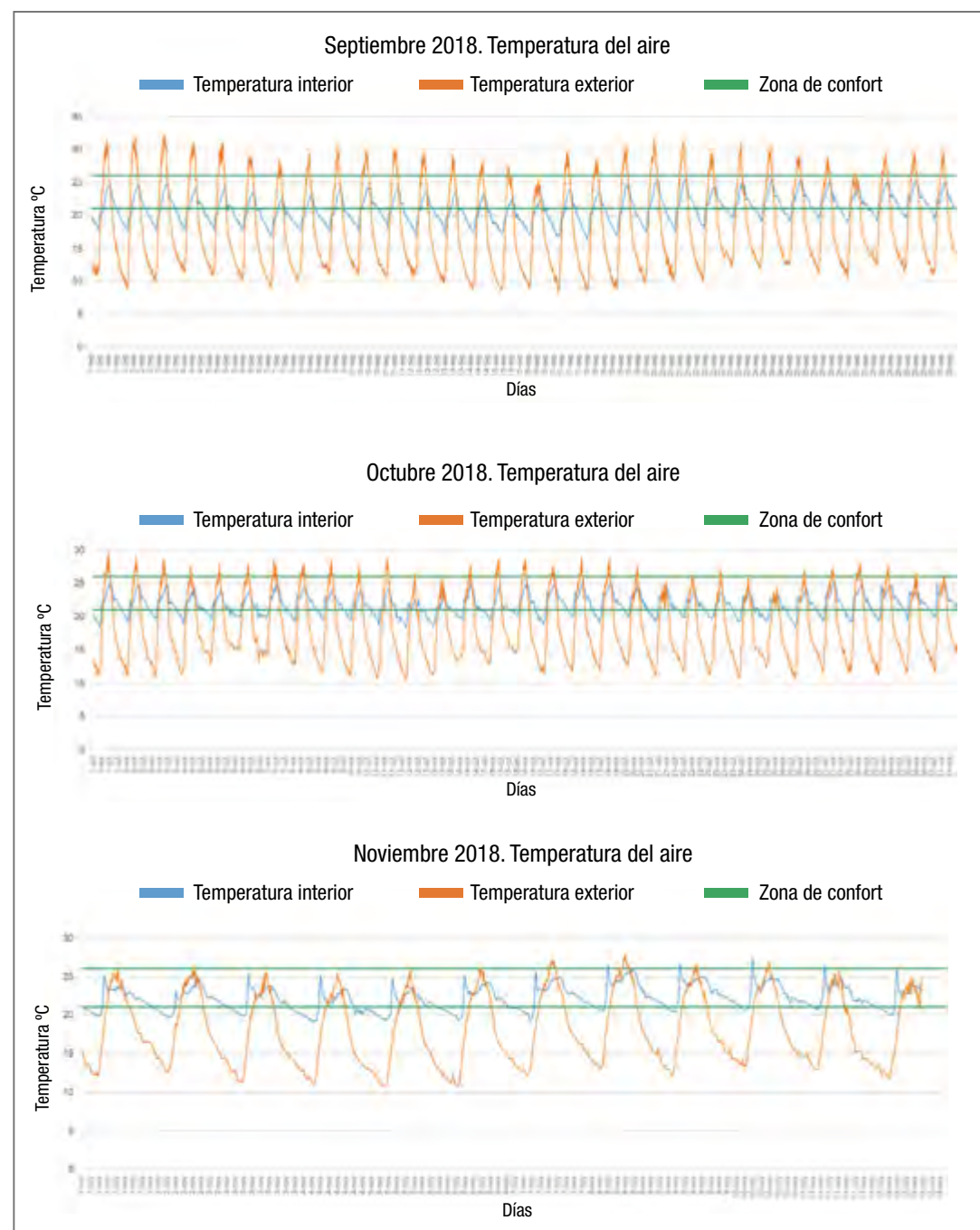
■ Figura 7. Gráficos mensuales de las temperaturas de junio-julio y agosto de 2018.

Fuente: elaboración propia (2018), con base en los datos obtenidos de la monitorización de la sala Hospitalización Varones.



■ Figura 8. Gráficos mensuales de las temperaturas de septiembre, octubre y noviembre de 2018.

Fuente: elaboración propia (2018), con base en los datos obtenidos de la monitorización de la sala Hospitalización Varones.



Coefficiente de estabilidad térmica

El C.e.t. promedio de todo el periodo de monitorización es de 0,30; llegó, como máximo, hasta 0,5 (10 de noviembre), y como mínimo, hasta 0,1 (9 de julio); la amplitud térmica máxima exterior fue de 26,2°C (6 de agosto); la mínima, de 12,07°C (25 de octubre), y la promedio, de 18,97°C. La amplitud máxima interior fue de 8,48°C (10 de agosto); la mínima, de 1,88°C (9 de julio), y la promedio, de 5,58°C, como se muestra en la tabla 4.

Zona de confort

Para definir los rangos superior e inferior de la zona de confort, se determinó utilizar la amplitud de +/- 2,5°C, como sugiere Szokolay (2004).

La sala de hospitalización estuvo en el 46,14% en la zona de confort térmico (21,04°C-26,0°C) de todo el tiempo de monitoreo (se calculó con base en el registro obtenido cada 10 minutos), como se visualiza en la tabla 5. Se observa, además, que el porcentaje de confort aumenta mientras nos alejamos de junio, cuando se inicia el invierno; también

podemos observar, en las figuras 7 y 8, en cada mes, el acercamiento de las temperaturas interiores y exteriores con los límites de la zona de confort.

Amortiguamiento de la onda térmica

El amortiguamiento de la onda térmica máxima es de 11,23°C (24 de junio), y el mínimo es de 0,19°C (4 de noviembre), y con un promedio de 6,07°C, como se observa en la tabla 6.

Desfase de la onda térmica

El desfase de la onda térmica máxima es de 7h 50 min (10 de junio); el mínimo es de 10 min (25 de octubre), con un promedio 3h 20 min, como se aprecia en la tabla 7.

Día de mayor amplitud térmica exterior

El 6 de agosto fue el día de la máxima amplitud térmica exterior, con 26,22°C (temperatura máxima exterior 33,78°C a las 12:50 p. m.; temperatura mínima exterior de 7,56°C

Tipo de amortiguamiento	Und.	Junio-julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Resultados principales
Amortiguamiento de la onda térmica máxima	°C	11,23	10,98	7,60	4,82	2,04	11,23
Amortiguamiento de la onda térmica mínima	°C	8,01	5,51	2,28	0,73	0,19	0,19
Amortiguamiento de la onda térmica promedio	°C	9,08	9,58	5,56	2,93	0,53	6,07

■ Tabla 6. Tabla de amortiguamiento.

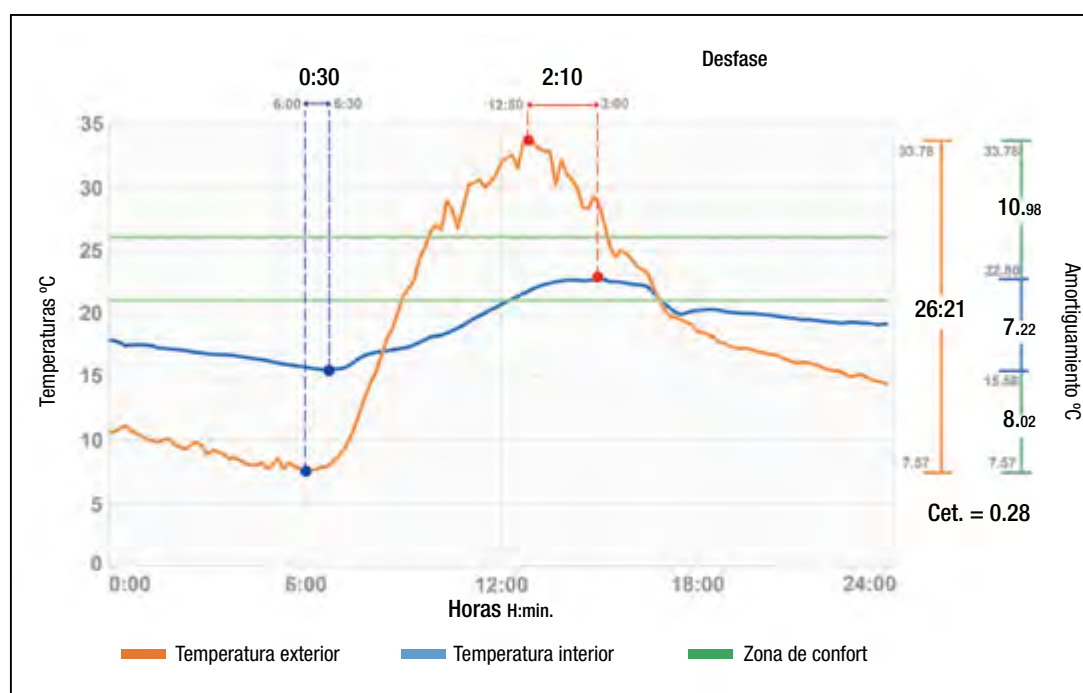
Fuente: elaboración propia (2018), con base en los datos obtenidos de la monitorización de la sala Hospitalización Varones.

Tipo de desfase	Und.	Junio-julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Resultados principales
Desfase de la onda térmica máximo	H min.	7:50	5:00	3:30	15:30	1:40	7:50
Desfase de la onda térmica mínimo	H min.	3:00	00:10	00:20	00:10	-	00:10
Desfase de la onda térmica promedio	H min.	5:29	5:30	2:02	1:48	-	3:20

■ Tabla 7. Desfase de la onda térmica.

Fuente: Elaboración propia (2018), con base en los datos obtenidos de la monitorización de la sala Hospitalización Varones.

Nota: (-) Datos inválidos de monitoreo.



■ Figura 9. Gráfico del día de mayor amplitud térmica exterior.

Fuente: elaboración propia (2018).

VARIABLES TÉRMICAS	6 de agosto	UNIDAD
C.e.t.	0,28	Coefficiente
Amplitud exterior	26,22	°C
Amplitud interior	7,22	°C
Amortiguamiento de la onda térmica	10,98	°C
Desfase de la onda térmica	2:10	H. min.

■ Tabla 8. Día de mayor amplitud térmica exterior.

Fuente: elaboración propia (2018), con base en los datos obtenidos de la monitorización de la sala Hospitalización Varones.

a las 6:00 a. m.), y en el interior tuvo una amplitud de 7,22°C (temperatura máxima interior 22,80°C a las 3:00 p. m.; temperatura mínima interior de 15,58°C a las 6:30 a. m.), todo lo cual nos da un coeficiente de estabilidad térmica de ese día de 0,28 (amortigua el 72% de la fluctuación exterior). El amortiguamiento de la onda térmica fue de 10,98°C (temperatura máxima exterior de 33,78°C menos temperatura máxima interior, de 22,80°C), con un desfase de 2h 10min (hora de la temperatura máxima exterior, 12:50 p. m.; hora de la temperatura máxima interior, 3:00 p. m.), como se visualiza en la ■ Figura 9. Gráfico del día de mayor amplitud térmica exterior. y la tabla 8.

Los principales resultados promedio de toda la información de monitoreo están en la tabla 9, y muestran, a grandes rasgos, el comportamiento de la sala de hospitalización observada.

Discusión

Los resultados muestran un C.e.t. promedio de 0,30 (teniendo como máximo uno de 0,5, el 10 de noviembre, y como mínimo, de 0,1, el 9 de julio) en la sala de hospitalización objeto de estudio, lo cual quiere decir que, en promedio, el edificio amortigua el 70% de las fluctuaciones de temperatura exterior; comparado con un estudio reciente, los resultados no son distantes; según Herrera-Sosa et al. (2020, pp. 157-158), los muros de sillar de 30 cm de espesor amortiguan el 81,40% en la temporada de invierno, y el 59,87%, en la temporada de verano. Cabe contextualizar que dicho estudio monitorizó durante 10 días, cada temporada, un módulo de 1 m³ habitado y sin vanos (ventanas y puertas), construido con sillares nuevos; mientras, la presente investigación tuvo 137 días de monitoreo (4 meses y medio), en una sala de hospitalización centenaria con vanos (puertas y ventanas) y habitada.

El día monitorizado con mayor amplitud térmica exterior (fluctuación de la temperatura, diferencia entre máxima y mínima) fue el 6 de agosto, con una fluctuación de 26°C de la temperatura exterior (temperatura máxima: 33,78°C a las 12:50p. m.; temperatura mínima: 7.56°C, a las 6:00 a. m.) y una fluctuación de la temperatura interior de 7,22°C (temperatura máxima: 22,8°C, a las 3:00 p. m., y temperatura mínima: 15,58°C, a las 6:30 a. m.), lo cual da como resultado el C.e.t. de ese día de 0,28. Esto quiere decir que el edificio amortiguó el 72% de la fluctuación de la temperatura exterior. También se halló que el amortiguamiento de la onda térmica de ese día fue de 10,98°C, con un desfase de la onda térmica de 2 h 10 min.

VARIABLES TÉRMICAS	DATO	UNIDAD
C.e.t. promedio	0,30	Coefficiente
Zona de confort %	46,14	%
Amortiguamiento de la onda térmica	6,07	°C
Desfase de la onda térmica	3:20	H. min.

■ Tabla 9. Resultados generales.

Fuente: elaboración propia (2018), con base en los datos obtenidos de la monitorización de la sala Hospitalización Varones.

En términos generales de los datos de monitorización, se halló que la amortiguación de la onda térmica promedio es de 6,07°C y el desfase de la onda térmica promedio es de 3 h 20 min.

También cabe resaltar que, si bien la sala de hospitalización no está la mayor parte del tiempo en la zona de confort térmico (46,14% zona de confort), sí tiene temperaturas interiores estables, que llegan a ser de 15,58°C, como mínimo, y de 27,38°C, como máximo.

Pese a las limitaciones propias de no haber monitorizado todo un año, el estudio es importante, ya que se realizó durante los meses más críticos de Arequipa en su clima seco, desértico y frío (de hecho, los de invierno).

Conclusiones

Los resultados sirven para demostrar que el sillar (ignimbrita) en un sistema constructivo de muros de 80 cm de espesor da estabilidad térmica (inercia térmica) —en este caso, a una sala de hospitalización—, y que logra amortiguar más del 50% (70%, en promedio) de la fluctuaciones de temperatura exteriores, con un amortiguamiento de la onda térmica promedio de 6,07°C y un desfase de la onda térmica promedio de 3 h 20 min., y que, no obstante ser un material autóctono de más de 100 años, puede seguir brindando estas prestaciones.

También se llega a la conclusión de que para futuras restauraciones de edificios patrimoniales hechos de sillar (ignimbrita), como es el caso del hospital Goyeneche, utilizar materiales con masa térmica como el sillar contribuye a las mejoras del confort térmico en el interior de los edificios restaurados. El sillar tiene una inercia térmica de 606.102,70J/m³°C, que, aparte de dar propiedades térmicas, ayuda a que los edificios sigan manteniéndose como patrimonio al utilizar su material autóctono.

Se deduce del estudio que en un clima con grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche, como en el caso del clima de Arequipa, se necesitan edificios con alta masa térmica para mantener la estabilidad térmica en sus espacios interiores.

Las recomendaciones para climas secos, desérticos y fríos donde se encuentran grandes fluctuaciones de temperatura, son: construir con materiales del lugar que tengan alta masa térmica y, para futuras investigaciones, buscar técnicas o combinaciones con otros materiales autóctonos, para conseguir alta masa térmica con menor espesor.

Contribuciones y agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Nacional de San Agustín y al personal del hospital Goyeneche por el apoyo en la presente investigación.

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés relevantes en relación con la investigación presentada.

Referencias

- Álvarez Prudencio De Rozan, M. (2021). *Caracterización petromineralógica de las ignimbritas en la quebrada de Añashuayco, Arequipa* [Tesis de maestría]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/13472>
- Anglada, S. (2018). *Instrumento de financiamiento urbano para la conservación del Patrimonio arquitectónico de la ciudad de Arequipa* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Unidad de Posgrado de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Arequipa.
- Barniol, A. (2021). *El desafío del clima* (Vol. 1). RTVE.
- Cáceres Vilca, G. P. (2020, 28 de diciembre). *Comportamiento estructural sísmico estático no lineal de bóvedas de sillar en monumentos históricos: Reforzamiento estructural de la iglesia de Santa Marta – Arequipa* [Tesis de maestría]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12387>
- Castro, A., Dávila, C., Laura, W., Cubas, F., Avalos, G., López Ocaña, C., Marín, D. (2021). *Climas del Perú – Mapa de Clasificación Climática Nacional*. SENAMHI- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Ministerio del Ambiente, Lima. www.gob.pe/senamhi
- CENEPRED. (2019). *Escenario de riesgos por descenso de temperatura 2019*. Pronóstico de Temperaturas, Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.
- De Garrido, L. (2017). *Manual de arquitectura ecológica avanzada*. Ediciones de la U.
- Evans, J. (2004). *Construcción en tierra: aporte a la habitabilidad*. 1er Seminario Construcción con Tierra FADU - UBA.
- Fuentes Freixanet, V. (2009). *Modelo de análisis climático y definición de estrategias de diseño bioclimático para diferentes regiones de La República Mexicana*. [Tesis doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Azcapotzalco]. Repositorio institucional - Zaloamati.
- Gobierno del Perú. (2018). *Fechas de las estaciones astronómicas en el Perú*. Plataforma Digital Única del Estado Peruano para Orientación al Ciudadano. <https://www.gob.pe/11000-fechas-de-las-estaciones-astronomicas-en-el-peru>
- Groat, L., & Wang, D. (2013). *Architectural Research Methods*. Wiley
- Herrera-Sosa, L. C., Villena-Montalvo, E. E., & Rodríguez-Neira, K. R. (2020). Evaluación del desempeño térmico del sillar (ignimbrita) de Arequipa, Perú. *Revista De Arquitectura (Bogotá)*, 22(1), 152-163. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2261>
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones* (10 ed.). Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Jiménez, J. G. (2016). *Programas informáticos en eficiencia energética en edificios*. ENAC0108. www.iceditorial.com
- Manterola, C., & Otzen, T. (2014). Estudios observacionales. Los diseños utilizados con mayor frecuencia en investigación clínica. *International Journal of Morphology*, 32(2), 634-645.
- Mar, S., & Rafael, P. (2016). *Termografía Infrarroja. Nivel II Ensayos No Destructivos*. Fundación Confemetal.
- Martínez, Á. (2015). *Edificación y eficiencia energética en los edificios*. UF0569 (5.1 ed.). Elearning.
- Ministerio de Salud (MINSA). (2021). *Diagnóstico de brechas de Infraestructura y Equipamiento del sector salud*. Diagnóstico, Oficina General de Planeamiento, Presupuesto y Modernización, Secretaría General.
- Muñoz Vásquez, N., Marino, B., & Thomas, L. (2015). Caracterización del comportamiento térmico de un edificio prototipo en Tandil (Buenos Aires). *An. AFA*, 26(2), 78-87. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-11682015000200006
- Neila, J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. <https://www.casadellibro.com/libro-arquitectura-bioclimatica-en-un-entorno-sostenible/9788489150645/950918>
- Oficina de Estadística e Informática. (2017). Base de datos de Hospitalización 2017. Arequipa, Perú.
- Quispe Ticona, S. (2021). *Influencia del sillar en la mejora de las propiedades físico-mecánicas del concreto f'c= 175 kg/cm2 para cercos prefabricados* [Tesis, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Arequipa]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/63669>
- Rey Martínez, F. J., Velasco Gómez, E., Rey Hernández, J. M., San José Alonso, J. F., Tejero González, A., & Esquivias Fernández, P. M. (2020). *Diseño y gestión de edificios de consumo de energía casi nulo*. <https://books.google.com.pe/books?id=cVUFEAAAQBAJ&pg=PA81&dq=Amortiguaci%C3%B3n+de+la+onda+t%C3%A9rmica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj3vNCaxsn1AhURGbkGHc4zAZcQ6AF6BAglEAI#v=onepage&q=Amortiguaci%C3%B3n%20de%20la%20onda%20t%C3%A9rmica&f=false>
- Reynolds, M. (2012). *La navetierra. Como construir la suya*. eBookIt.com.
- Salinas Rocha, F., Beltrán Córdova, O. R., & Espinoza Tarqui, N. M. (2015). *Informe de evaluación del establecimiento de salud*. Hospital Goyeneche III-1, DIRESA (Dirección Regional de Salud de Arequipa), Arequipa.
- Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción. (2010). NORMA ANSI/ASHRAE 55-2010, Condiciones de Ambiente Térmico para Ocupación Humana. ASHRAE.
- Szokolay, S. V. (2004). Introduction to architectural science the basis of sustainable design. *Elsevier/Architectural Press*, 1(2), 327. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-939-8_1
- Varini, C. (2016). *Ecoenvolventes: Entre continuidad e innovación*. Universidad Piloto de Colombia.

