

CAPÍTULO 4

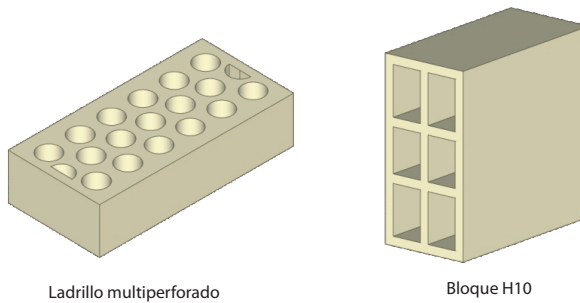
CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA MITIGACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR. CASO DE ESTUDIO: UNIDADES CONSTRUCTIVAS PARA MAMPOSTERÍA

Los criterios de diseño para la mitigación de la transferencia de calor para unidades constructivas de mampostería nacen de las necesidades a tener en cuenta de un producto para la construcción en el proceso de diseño.

El proceso de conceptualización de los criterios de diseño comprende lo siguiente:

- » Planteamiento de criterio a través de la identificación de la necesidad y su solución.
- » Proposición de soluciones a través del diseño basado en el objetivo del criterio aplicado en productos tradicionales de la industria cerámica de Norte de Santander. Los productos seleccionados son el ladrillo multiperforado y el bloque H10, con el fin de abordar soluciones en dos formatos de producto con perforaciones verticales y horizontales, respectivamente.

Figura 15. Productos tradicionales en Norte de Santander



Ladrillo multiperforado

Bloque H10

Fuente: elaboración propia.

Valoración del rendimiento térmico de las soluciones a través de simulaciones de distribución de temperaturas y flujos de calor. Este proceso implementó la metodología para la innovación del diseño de producto enfocado en la mitigación de la transferencia de calor.

Planteamiento de criterios

El planteamiento de criterios se realiza de manera grupal y, después, la proposición de soluciones y valoración del rendimiento térmico se realiza de manera individual en cada criterio. Posterior al planteamiento de criterio, continúa la valoración térmica de las unidades constructivas tradicionales, ladrillo multiperforado y el bloque H10, los cuales son los puntos de referencia de las nuevas soluciones propuestas a partir de los criterios de diseño.

La necesidad de consideración de vegetación en muros de fachadas no se aborda en esta investigación porque requiere múltiples variables externas al diseño de producto como el tipo de planta, sistema de riego, mantenimiento y estructura del sistema. Por tanto, es una estrategia pasiva que merece un estudio detallado y enfocado en los requerimientos del sistema constructivo.

¿Cómo se formula un criterio de diseño para una unidad constructiva que contribuya a la mitigación de transferencia de calor en envolventes arquitectónicas?

El planteamiento de criterios nace de la identificación de necesidades de la revisión de literatura sobre el aislamiento térmico como valor agregado de unidades constructivas para mampostería. En consecuencia, se plantean soluciones objetivas con aplicabilidad en el diseño de productos para mampostería y, para finalmente, conceptualizar el criterio.

Tabla 5. Matriz para la definición de criterios de diseño a partir de necesidades

Necesidad	Solución aplicada en el diseño de producto	Criterio
La geometría de los productos o sistemas constructivos determina el recorrido de la transferencia de calor (Navarro y Niño, 2015; Colmenares-Uribe et al., 2019).	Explorar geometrías de celdas disipadoras de transferencia de calor que generen mayor recorrido entre la superficie expuesta a la incidencia solar y la superficie interior del producto.	Geometrías disipadoras
Las propiedades de los materiales, especialmente la conductividad térmica, influye en la concentración de energía (Sánchez-Molina, Corpas Iglesias y Álvarez Rozo, 2018).	Considerar materias primas con valores conductivos bajos, como los residuos agroindustriales, los cuales funcionan como nutrientes tecnológicos en mezclas con arcillas.	Identificación de materias primas
Las juntas de mortero son potenciales puentes térmicos, por tanto, es necesario diseñar tratamientos que regulen o eliminen dichos puntos críticos (Navarro y Niño, 2015; Arias y Bobadilla, 2017).	Definir estrategias de aislamiento y/o eliminación de juntas de mortero, tanto verticales como horizontales.	Tratamiento de juntas de mortero
La sombra es una estrategia pasiva para amortiguar la incidencia solar directa en fachadas (Colmenares- Uribe, Sánchez-Molina y Diaz-Fuentes, 2018).	Considerar afectaciones de la geometría de superficies exteriores para disminuir el área expuesta a la incidencia solar.	Superficies autosombreadas
La implementación de cámaras de aire ventiladas es una estrategia recurrente con muchas posibilidades, porque aprovecha un recurso natural, desde formas básicas hasta sistemas complejos (Diaz-Fuentes, Colmenares-Uribe y Peñaranda-Méndez, 2020; Narváez-Ortega, Sánchez-Zúñiga y Peñaranda-Méndez, 2020).	Generar canales de aire ventilado a través de las perforaciones del producto y garantizar la circulación del aire.	Implementación de cámaras de aire ventilado

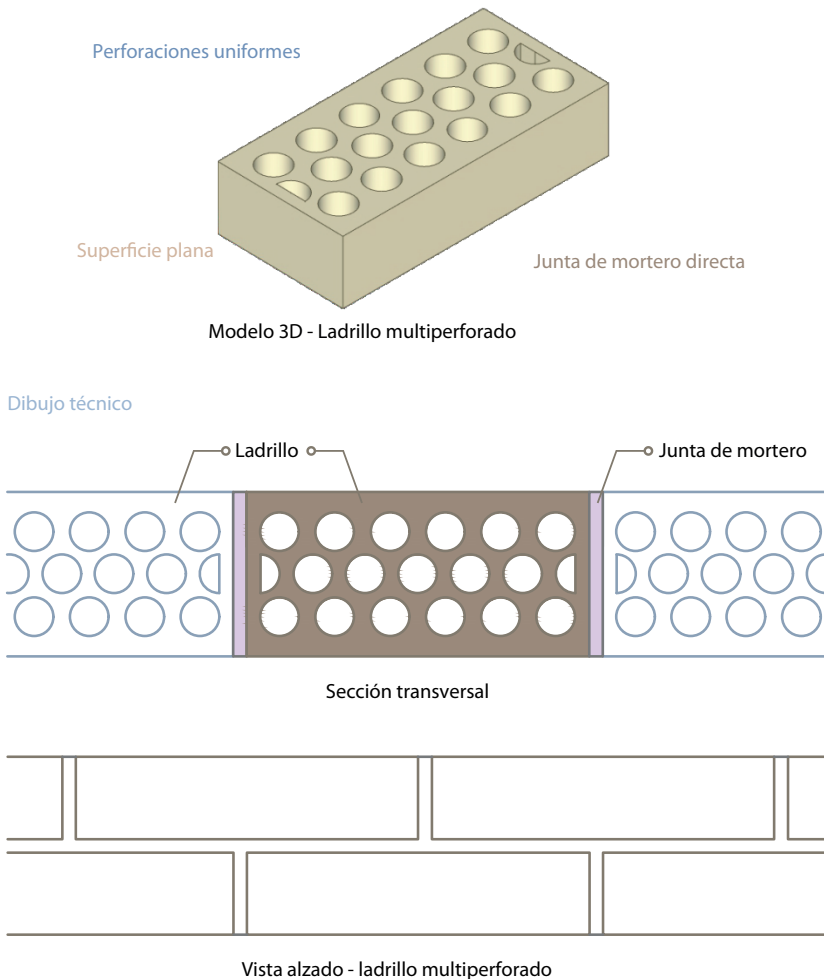
Fuente: elaboración propia.

Antes de continuar con la descripción de los criterios desde la proposición de soluciones y la valoración térmica, es vital identificar las características formales y el rendimiento de las unidades constructivas de referencia.

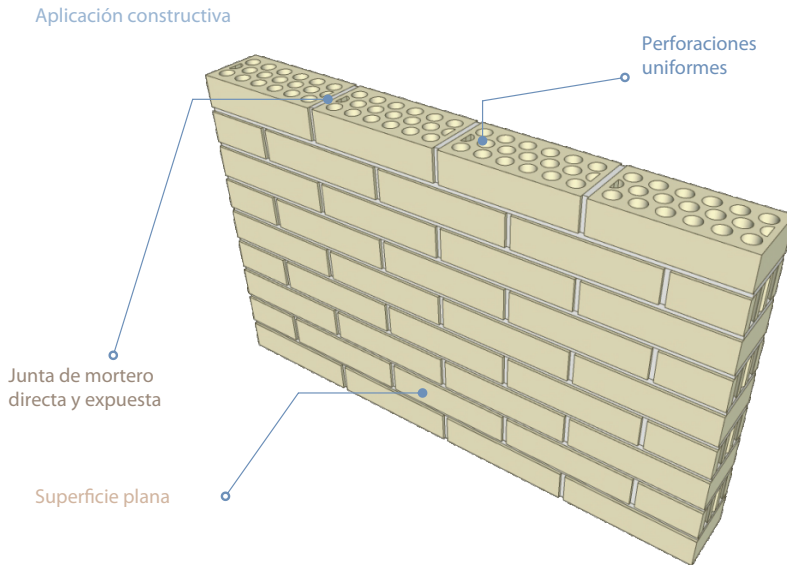
Ladrillo multiperforado

Es una unidad constructiva para mampostería de formato rectangular con perforaciones verticales y cilíndricas (Icontec, 2018). La geometría consiste en una malla uniforme de 17 círculos y 2 semicírculos distribuidos en 2 filas de 6 círculos; y 1 fila de 5 círculos y 2 semicírculos dispuestos en las paredes laterales, cada uno. Es un producto estructural con textura lisa, ideal para fachadas (Navarro, 2020).

Figura 16. Dibujo técnico del ladrillo multiperforado



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Modelo 3D de muro de mampostería tradicional - ladrillo multiperforado

Fuente: elaboración propia.

Análisis de transferencia de calor

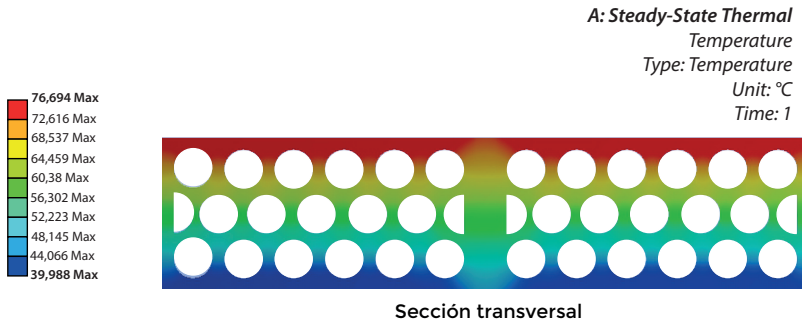
Las condiciones de simulación del ladrillo multiperforado corresponden a los datos del entorno registrados en el Capítulo 3.

La conductividad de la arcilla es $0,407 \text{ Wm. } ^\circ\text{C}$, correspondiente a M Aa.

Distribución de temperaturas

De acuerdo con los resultados de la simulación, las temperaturas del ladrillo multiperforado oscilan entre $39,98. ^\circ\text{C}$, desde la superficie interior, hasta $76,69. ^\circ\text{C}$, en la superficie exterior. Lo anterior indica que la diferencia de temperaturas es de $33,47. ^\circ\text{C}$, entre ambientes exteriores y espacios habitables edificados con la unidad constructiva.

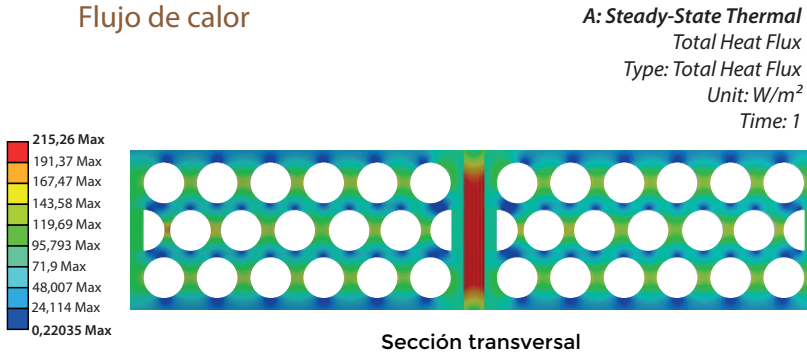
Figura 18. Distribución de temperaturas - ladrillo multiperforado



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Ladrillo multiperforado

Flujo de calor



Fuente: elaboración propia.

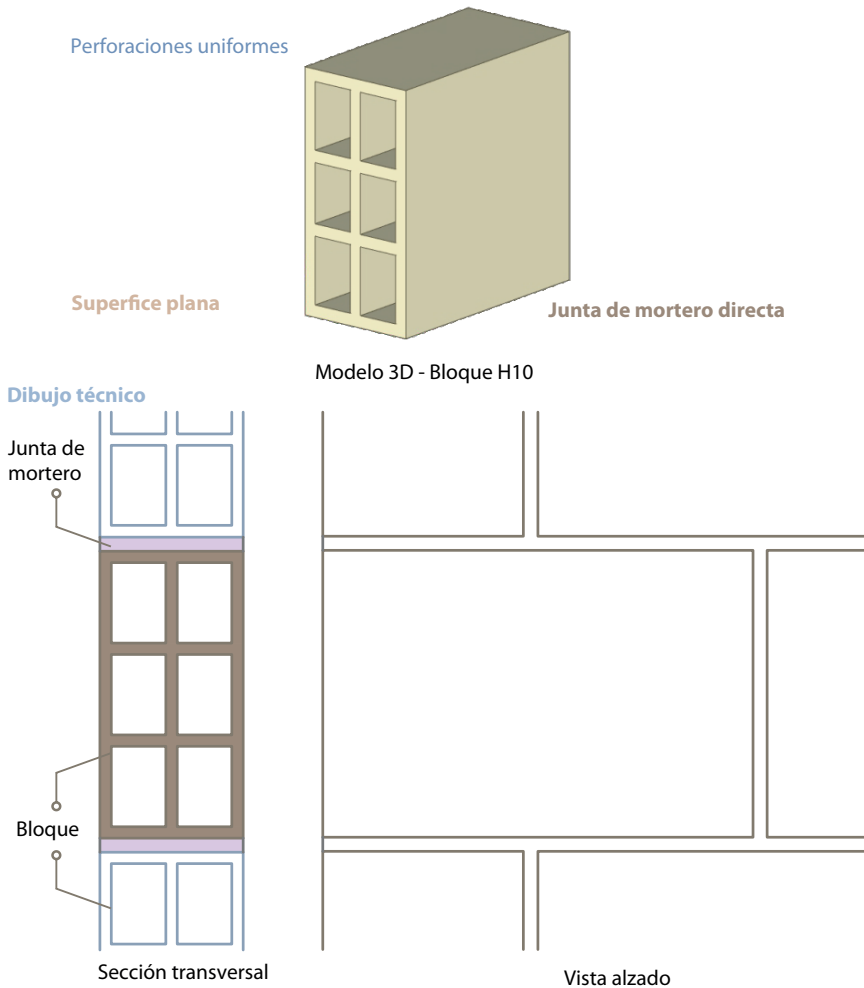
Los flujos de calor del ladrillo multiperforado indican que el punto de mayor concentración es la junta de mortero directa (215,26 W/m²). De acuerdo con la geometría de las perforaciones, los puntos más críticos son los tabiques perpendiculares a la superficie exterior e interior. Sin embargo, la concentración de calor en estas zonas es 33,30 % y 44,40 %, menor que la junta de mortero.

Por otra parte, las zonas con menor concentración de energía son los tabiques paralelos en la superficie exterior e interior del producto. El beneficio se refleja una reducción del 77,67 % y 99,90 % del flujo de calor.

Bloque H10

El bloque H10 es un ortoedro en arcilla cocida utilizado para mampostería tradicional de perforaciones horizontales con textura rayada (Icontec, 2018; Navarro, 2020).

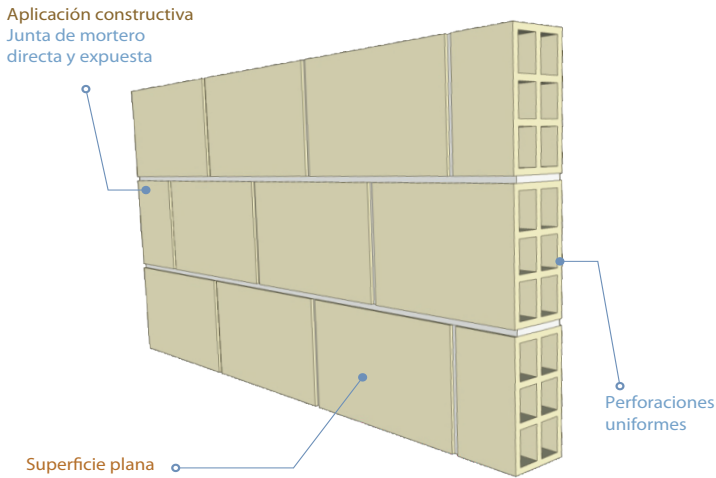
Figura 20. Dibujo técnico del bloque H10



Fuente: elaboración propia.

La geometría de las celdas es una malla compuesta de 6 rectángulos con tabiques verticales y horizontales directos, que conectan la superficie exterior e interior del producto.

Figura 21. Modelo 3D de muro de mampostería tradicional - Bloque H10



Fuente: elaboración propia.

Análisis de transferencia de calor

Las condiciones de simulación del ladrillo multiperforado corresponden a los datos del entorno registrados en el Capítulo 3.

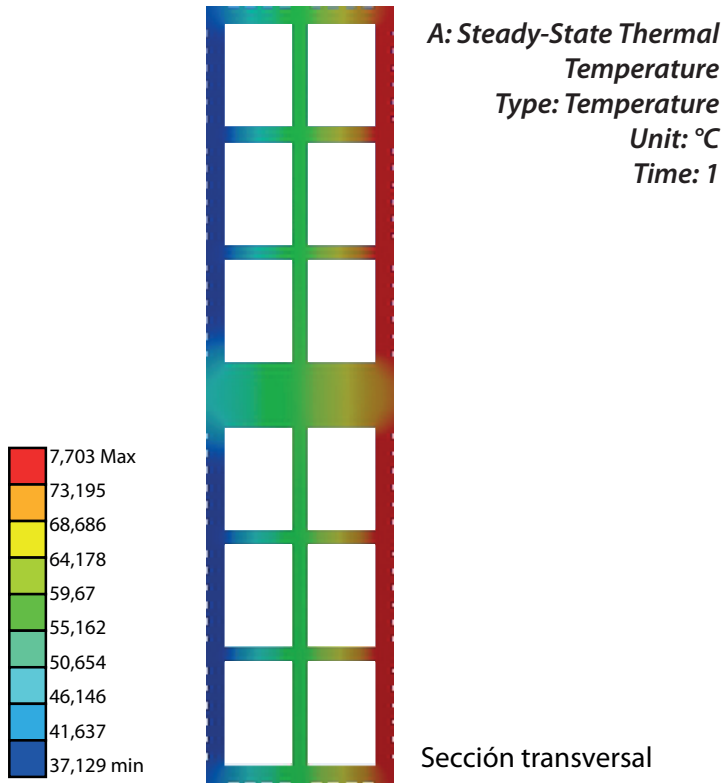
La conductividad de la arcilla es $0,407 \text{ Wm.}^\circ\text{C}$, correspondiente a M Aa.

Distribución de temperaturas

La distribución de temperaturas del bloque H10 registra que el rango va desde $37,13^\circ\text{C}$, en la temperatura interior, hasta $77,70^\circ\text{C}$, en la temperatura exterior. Lo anterior indica que, la diferencia de temperaturas entre el exterior e interior es de $40,58^\circ\text{C}$, es decir, $7,11^\circ\text{C}$ menos que el ladrillo multiperforado.

Además, la diferencia entre las temperaturas de las superficies interiores es de $5,34^\circ\text{C}$, a favor del bloque H10.

Figura 22. Distribución de temperaturas del bloque H10



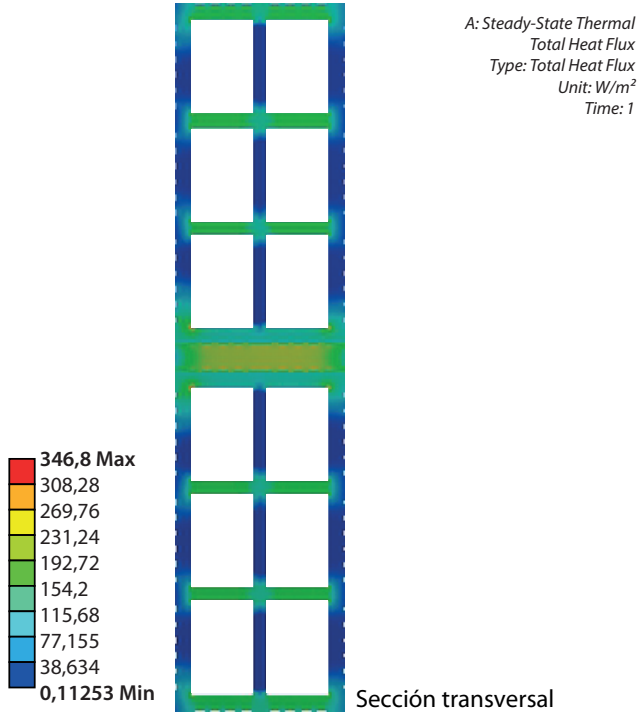
Fuente: elaboración propia.

Flujos de calor

Al igual que el ladrillo multiperforado, el bloque H10 concentra el mayor flujo de calor en la junta de mortero ($231,94 \text{ W/m}^2$). Los tabiques horizontales que conectan la pared exterior con el interior de los productos son puntos neurálgicos en la geometría del producto. No obstante, su concentración de energía es 13,91 % menor en los tabiques adyacentes a las perforaciones, y 33,52 % menor en los tabiques adyacentes a la junta de mortero.

Finalmente, los puntos de menor concentración son los tabiques verticales que conforman las superficies exteriores e interiores y la pared central del producto, con concentraciones de calor de 0,05 %, es decir, que estas paredes disipan el calor un 99,95 %.

Figura 23. Flujos de calor del bloque H10



Fuente: elaboración propia.

Geometrías disipadoras

Objetivo

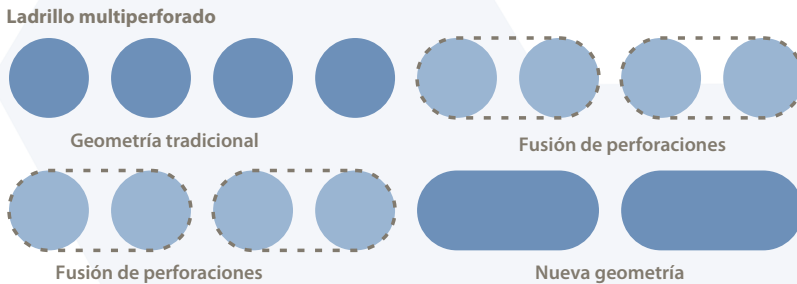
El concepto de geometrías disipadoras se toma de la investigación de Navarro y Niño (2015), donde parten del principio de tabiques o puentes térmicos indirectos. El objetivo de este criterio es generar recorridos más largos entre la superficie expuesta a la incidencia solar y la superficie interior del producto (Colmenares-Urbe *et al.*, 2019).

El planteamiento de este criterio es una pauta general para la consideración de nuevas geometrías de perforaciones de unidades constructivas.

Propuesta de diseño

El proceso de diseño de geometrías disipadoras en el ladrillo multiperforado y el bloque H10 consiste en:

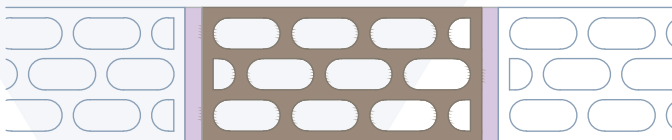
Figura 24. Concepto de geometrías disipadoras en ladrillo



Fuente: elaboración propia.

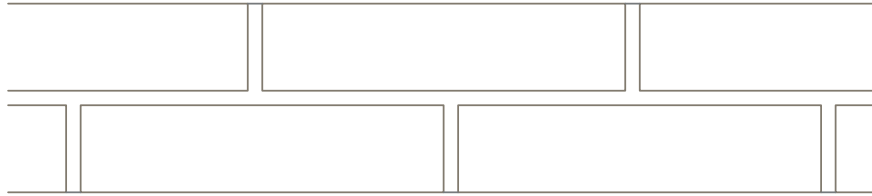
Se han de fusionar dos celdas circulares junto con el tabique que las separa para generar un rectángulo con laterales semicirculares. Se conservan las 3 filas de celdas, pero se traslapan las perforaciones con el fin de elongar el recorrido de los tabiques perpendiculares a la superficie exterior del producto

Figura 25. Sección transversal - geometrías disipadoras en ladrillo multiperforado



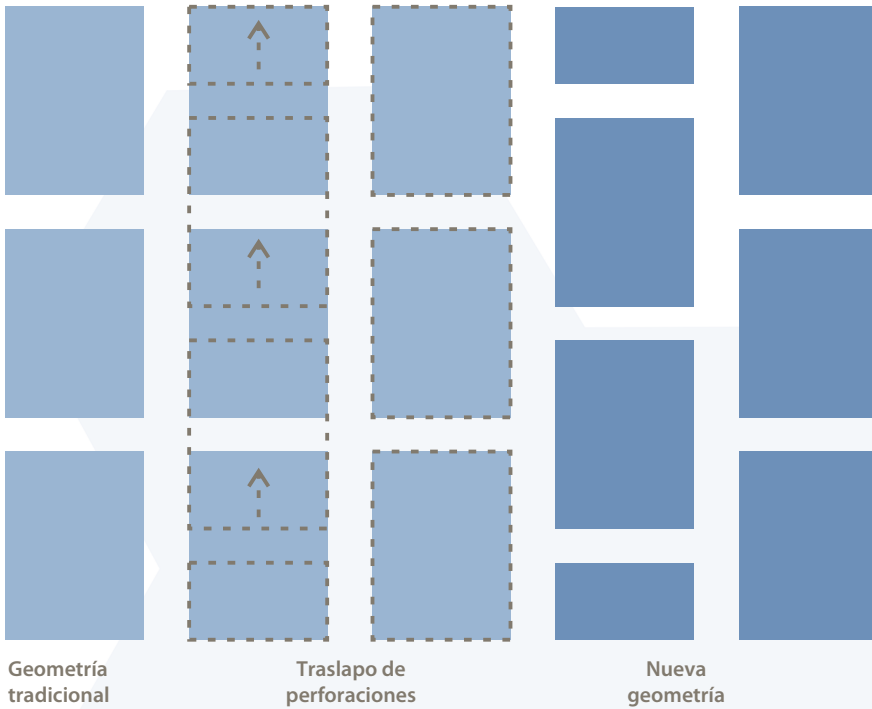
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Concepto de geometrías disipadoras en bloque H10



Vista alzada

Bloque H10

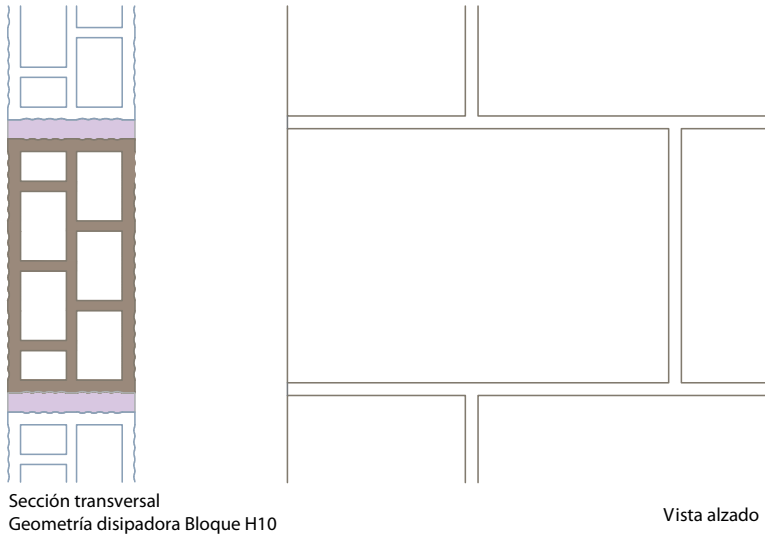


Nota: bloque H10: se conserva la forma rectangular de las perforaciones, pero se traslapan para evitar el paso directo de la energía entre el exterior e interior.

Fuente: elaboración propia.

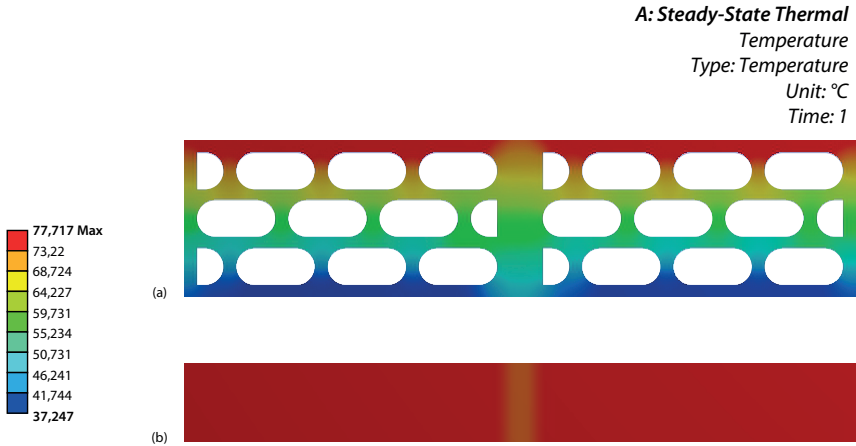
Durante el proceso de diseño se observó que el traslape de las perforaciones genera 4 entradas de calor (tabiques) hacia una superficie y 5 entradas en la superficie opuesta. Por tanto, el diseño considera necesario evaluar el comportamiento de cada superficie en condiciones externas e internas.

Figura 27. Diseño de geometrías disipadoras en bloque H10



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Distribución de temperaturas de ladrillo multiperforado con geometrías disipadoras: (a) sección, (b) alzado



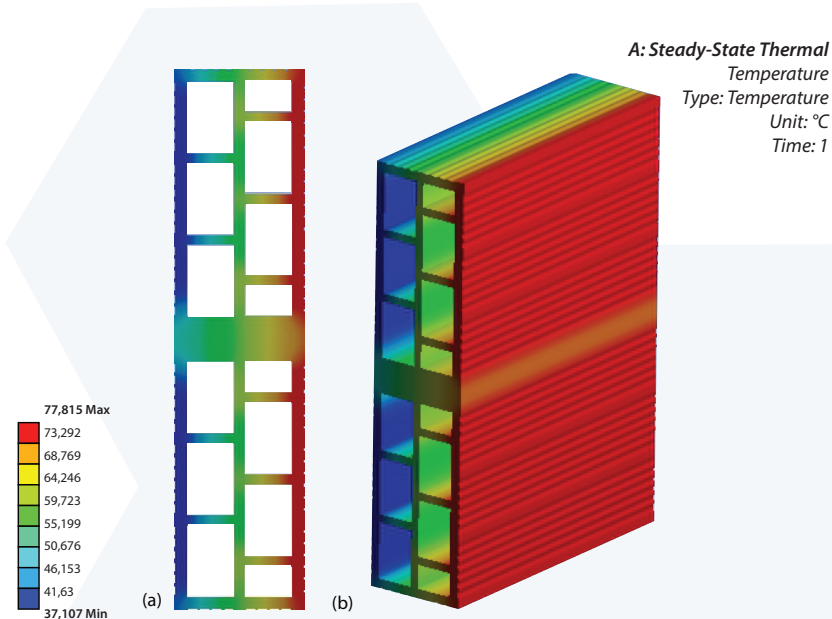
Fuente: elaboración propia.

La implementación de geometrías disipadoras en el ladrillo multiperforado aumenta la diferencia de temperaturas entre las superficies exteriores e interiores hasta 40,47 °C, mientras que el producto tradicional difiere 33,47 °C. Lo anterior es

positivo para el nuevo diseño de perforaciones de producto porque aumenta la diferencia hasta 7 °C. Por otra parte, la temperatura de la superficie exterior aumenta 1,78 °C en el nuevo diseño. Sin embargo, la temperatura de la superficie interior disminuye 5,21 °C más que el ladrillo multiperforado.

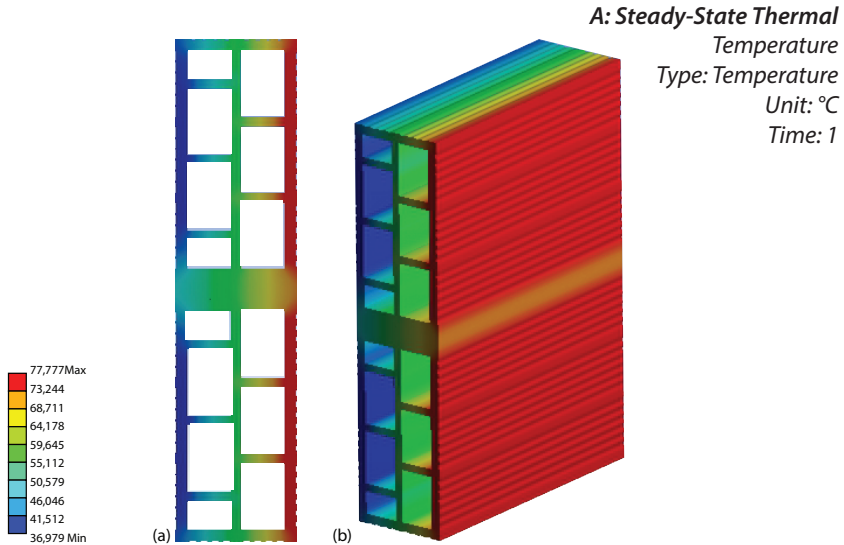
En el caso del bloque H10 existe una excepción en el diseño, debido a que el traslapeo de perforaciones tiene dos sentidos. En una de las caras del producto existen 4 tabiques horizontales que funcionan como entradas de calor y, en la cara opuesta, hay 5 tabiques horizontales, es decir, una entrada de calor adicional. Lo anterior quiere decir que la aplicación constructiva del producto tiene variaciones que pueden repercutir en el rendimiento térmico del producto.

Figura 29. Distribución de temperaturas de bloque H10 con geometrías disipadoras (4 entradas):
(a) sección, (b) perspectiva



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Distribución de temperaturas de bloque H10 con geometrías disipadoras (5 entradas):
(a) sección, (b) perspectiva



Fuente: elaboración propia.

En primer lugar, el análisis de la distribución de temperaturas indica que la diferencia de temperaturas entre la superficie exterior e interior es muy similar al bloque H10 tradicional, incluso al ladrillo multiperforado con geometrías disipadoras (40,58 °C – 40,80 °C). No obstante, mejora la diferencia entre 0,13 °C (5 entradas de calor) y 0,22 °C (4 entradas de calor).

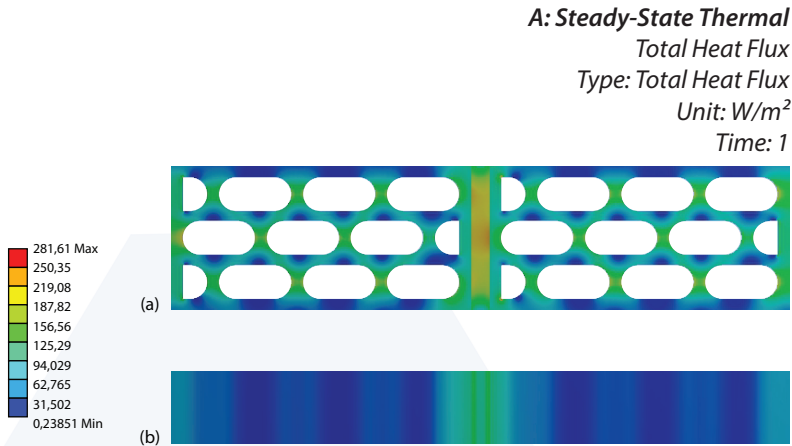
Flujos de calor

Los flujos de calor de mayor concentración en la implementación de geometrías disipadoras en los productos se ubican en las juntas de mortero. Los valores registrados en dichas zonas son 101,77 W/m² en el ladrillo multiperforado y 116,81 W/m² en el bloque H10 con 4 y 5 entradas de calor. Lo anterior significa que la concentración de energía aumenta las juntas de mortero 1,77 % en el ladrillo multiperforado y 16,81 %.

Con relación al diseño de geometrías disipadoras, los tabiques que concentran mayor concentración de calor son los que conectan la superficie exterior con la superficie interior. En el caso del ladrillo multiperforado, el valor alcanza 156,56 W/m² y en los casos del bloque H10 con 4 y 5 entradas es 181,29 W/m² y 180,63 W/m², respectivamente.

...estos tabiques no conectan directamente las superficies exteriores con interiores, por ende, la transferencia de calor no es directa.

**Figura 31. Flujos de calor de ladrillo multiperforado con geometrías disipadoras:
(a) sección, (b) alzado**

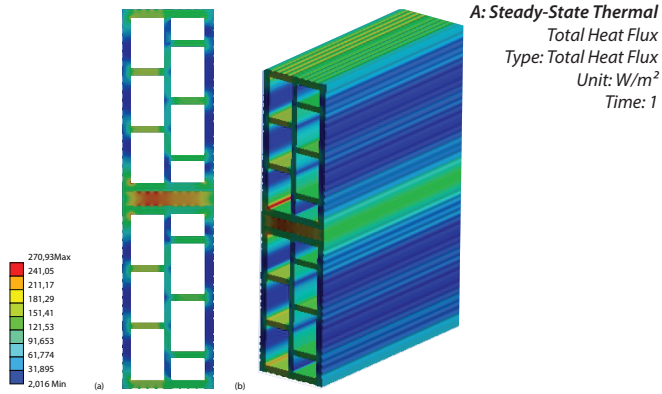


Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con estos valores, la concentración aumenta entre 4,13 % y 18,93 % para el bloque H10 y el ladrillo multiperforado. Sin embargo, estos tabiques no conectan directamente las superficies exteriores con interiores, por ende, la transferencia de calor no es directa.

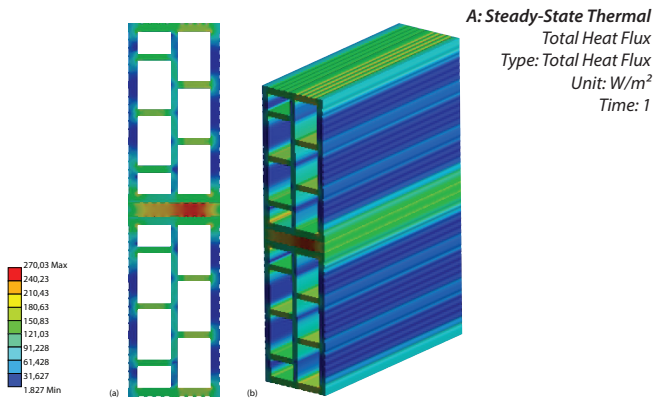
Por último, los puntos de menor concentración son los tabiques paralelos a las superficies exteriores e interiores de los productos, los cuales coinciden con las tipologías tradicionales. En dichas zonas ocurre la disipación de energía de los puntos de mayor concentración. Los calores registrados son 0,23 W/m² en el ladrillo multiperforado y entre 1,88 W/m² y 2,02 W/m² en el bloque H10 con 4 entradas y 5 entradas de calor, respectivamente.

Figura 32. Flujos de calor de bloque H10 con geometrías disipadoras (5 entradas): (a) sección, (b) perspectiva



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Flujos de calor de bloque H10 con geometrías



Fuente: elaboración propia.

Tratamiento de juntas de mortero

Objetivo

El tratamiento de las juntas de mortero es clave para la reducción del consumo energético desde un muro fachada (Navarro y Niño, 2015; Arias y Bobadilla, 2017) debido a que el aislamiento de un puente térmico exterior reduce 0,77 % el impacto del consumo energético, mientras que un puente térmico no aislado demanda entre 8 y 11 % más por el uso de equipos de climatización (Arias y Bobadilla, 2017).

Por otra parte, el caso del tratamiento de las juntas de mortero del bloque termo disipador es una apuesta estética y técnica para facilitar la disposición del material y, de esta manera, reducir los desperdicios en las juntas (Navarro y Niño, 2015). Asimismo, esta modificación mejora los acabados de fachada al ocultar las juntas de mortero horizontales.

El objetivo del tratamiento de las juntas de mortero es disminuir el impacto de los puentes térmicos generados por el mortero. Inicialmente, la investigación plantea estrategias como eliminación o aislamiento de las juntas verticales y horizontales.

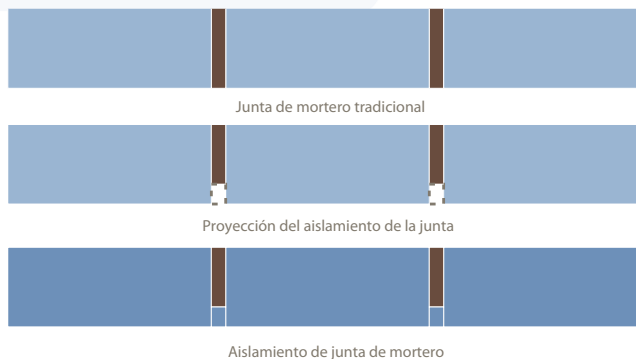
Es importante recalcar que los procesos de diseño son creativos y resultan en muchas soluciones desde un punto de partida.

Propuesta de diseño

Aislamiento de las juntas de mortero

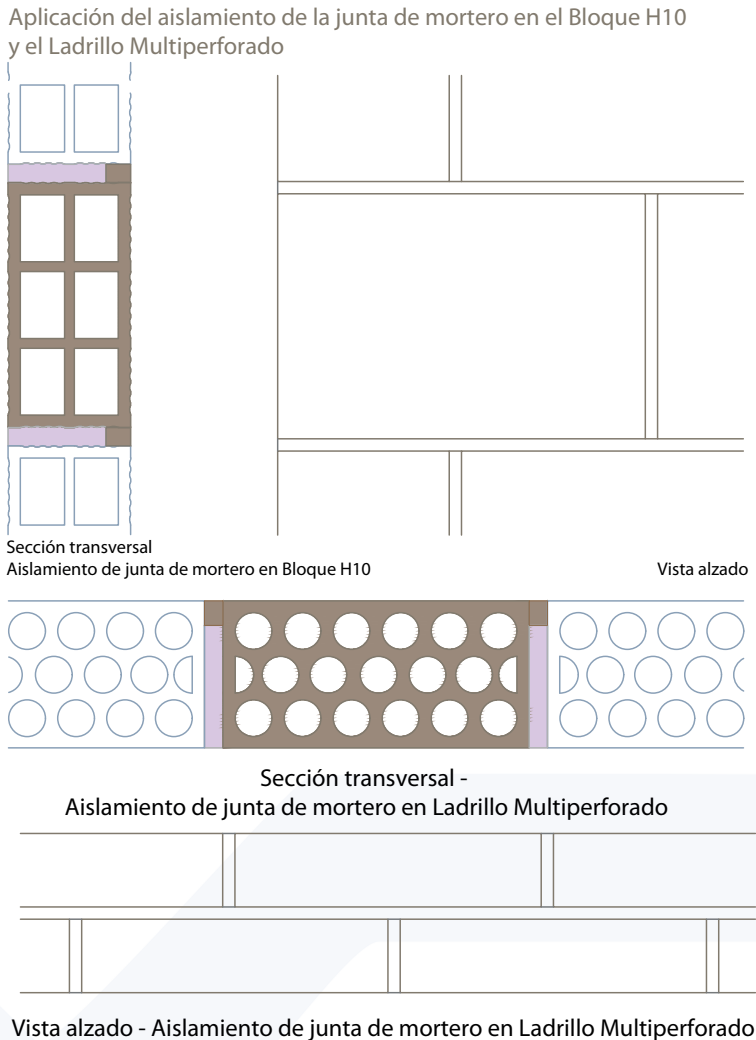
El aislamiento de las juntas de mortero plantea, desde una solución básica, la protección de la junta con un elemento conformado de la misma mezcla de la unidad constructiva. De tal manera que, el diseñador es libre de definir la forma según el producto que esté creando.

Figura 34. Tratamiento de junta de mortero por aislamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Diseño de tratamiento de junta de mortero por aislamiento en bloque H10 y ladrillo multiperforado



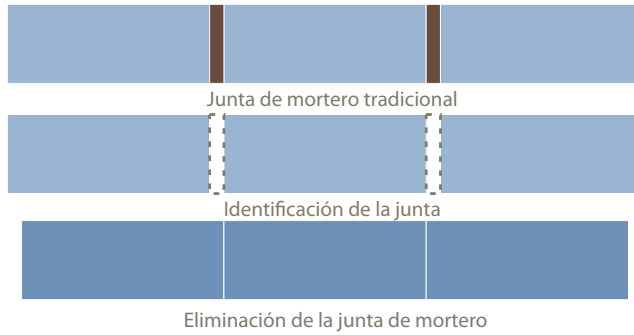
Nota: aplicación del aislamiento de la junta de mortero en el Bloque H10 y el ladrillo multiperforado.

Fuente: elaboración propia.

Eliminación de las juntas de mortero

La eliminación de las juntas de mortero se plantea desde el ideal de no necesitar el pega como refuerzo del sistema. La propuesta nace de diseños modulares que encajan entre sí, sin la necesidad de aplicar mortero de pega y con el propósito de innovar los procesos constructivos para una mampostería sostenible (Ali *et al.*, 2012; Ben *et al.*, 2016; Fay *et al.*, 2014).

Figura 36. Tratamiento de junta de mortero por eliminación

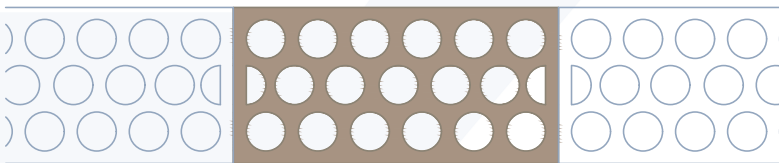


Fuente: elaboración propia.

Jaramillo-Fernández *et al.* (2020), con el sistema machihembrado de traba mecánica, plantearon un sistema gancho que engrana el producto extruido en sentido horizontal y vertical (Universidad EAFIT, 2020). Sin embargo, el planteamiento de esta estrategia se limita a demostrar el impacto en el rendimiento térmico de los productos, sin contemplar los beneficios en costos por el ahorro de material y simplificación del sistema constructivo.

Figura 37. Diseño de tratamiento de junta de mortero por eliminación en bloque H10 y ladrillo multiperforado

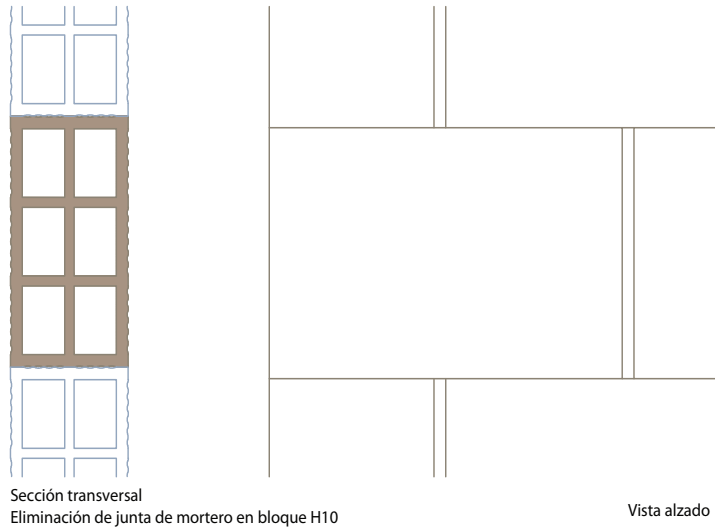
Aplicación de la eliminación de la junta de mortero en el Ladrillo Multiperforado y el Bloque H10



Sección transversal - eliminación de junta de mortero en ladrillo multiperforado

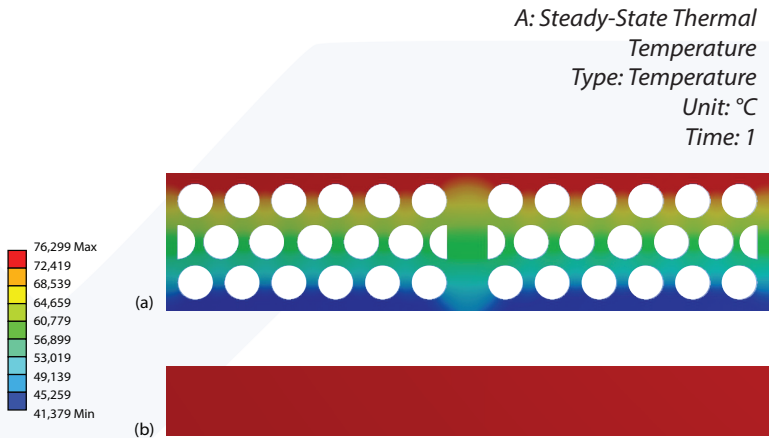


Vista alzado



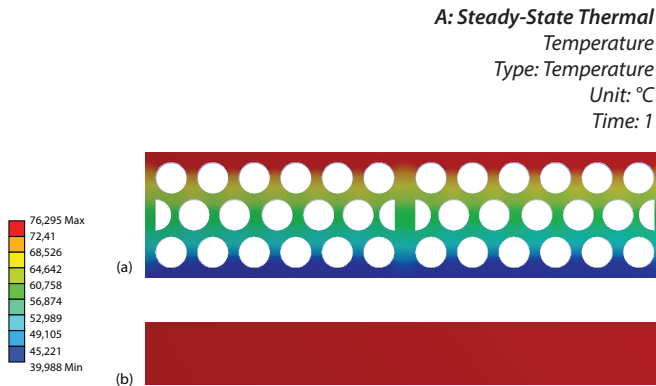
Fuente: elaboración propia.

Figura 38. Distribución de temperaturas de ladrillo multiperforado con aislamiento de junta de mortero: (a) sección, (b) alzado



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Distribución de temperaturas de ladrillo multiperforado con eliminación de junta de mortero: (a) sección, (b) alzado

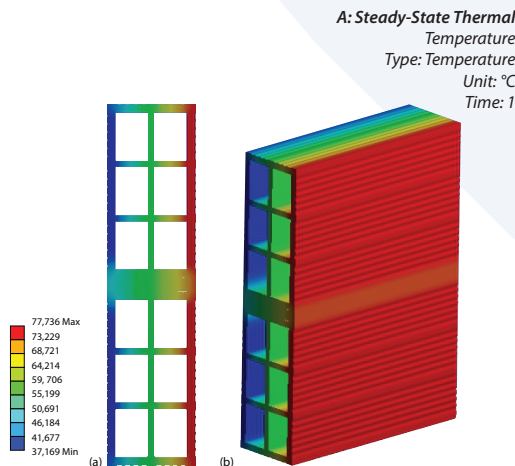


Fuente: elaboración propia.

El tratamiento de las juntas de mortero en el rendimiento térmico del ladrillo multiperforado impacta positivamente en la diferencia entre la temperatura de la superficie exterior e interior del producto. Debido a que el aislamiento y eliminación de la junta aumenta $34,92\text{ °C}$ y $34,96\text{ °C}$, se llega a una mejora de $1,45\text{ °C}$ y $1,48\text{ °C}$ en la resistencia del paso de calor comparado con el producto tradicional.

Por otra parte, las temperaturas de las superficies exteriores aumentan $0,37\text{ °C}$ en ambas estrategias de tratamiento de junta de mortero. Sin embargo, las temperaturas de las superficies interiores registran un beneficio de $1,08\text{ °C}$ para aislamiento y $1,12\text{ °C}$ para eliminación.

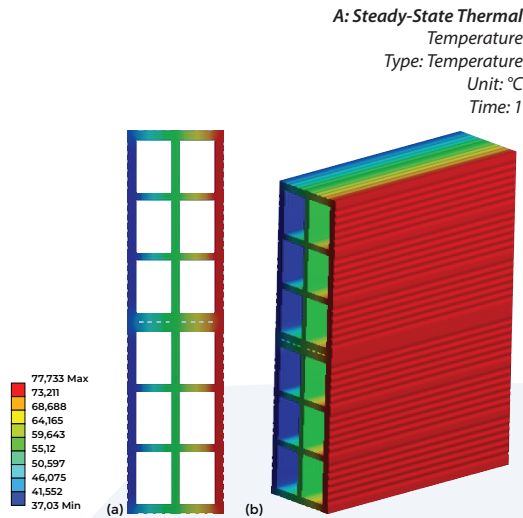
Figura 40. Distribución de temperaturas de bloque H10 con aislamiento de junta de mortero: (a) sección, (b) perspectiva



Fuente: elaboración propia.

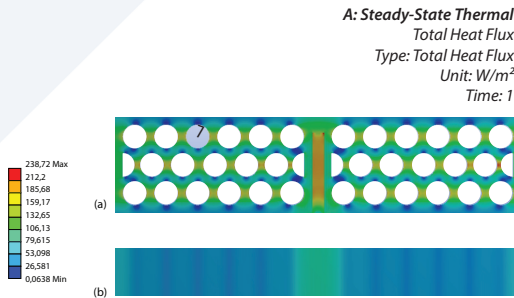
El rendimiento térmico del bloque H10 con tratamiento de junta de mortero no representa mejoras en el aislamiento de la junta de mortero. Los resultados indican que la diferencia de temperaturas entre la superficie exterior e interior aumenta $0,013\text{ }^{\circ}\text{C}$, comparado con el bloque H10 tradicional y, además, aumenta $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura de la superficie exterior y $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura de la superficie interior. La eliminación de la junta de mortero en el Bloque H10 mejora $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}$ la diferencia entre la superficie exterior e interior y casi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura de la superficie interior.

Figura 41. Distribución de temperaturas de bloque H10 con eliminación de junta de mortero: (a) sección, (b) perspectiva



Fuente: elaboración propia.

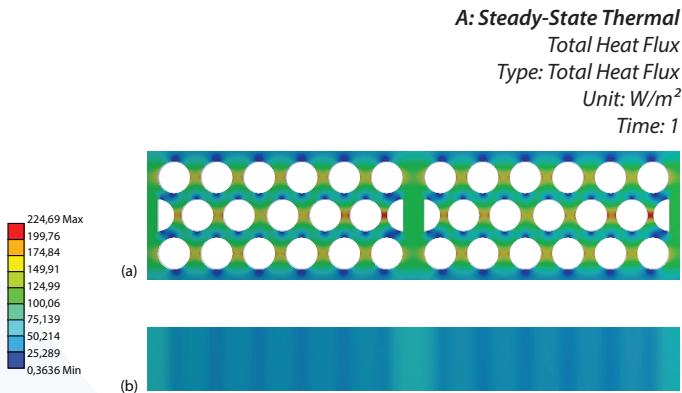
Figura 42. Flujos de calor de ladrillo multiperforado con aislamiento de junta de mortero: (a) sección, (b) alzado



Fuente: elaboración propia.

La eliminación de las juntas de mortero reduce entre 17,48 % y 41,94 % la acumulación de energía en el bloque H10 y el ladrillo multiperforado, respectivamente.

Figura 43. Flujos de calor de ladrillo multiperforado con eliminación de junta de mortero: (a) sección, (b) alzado

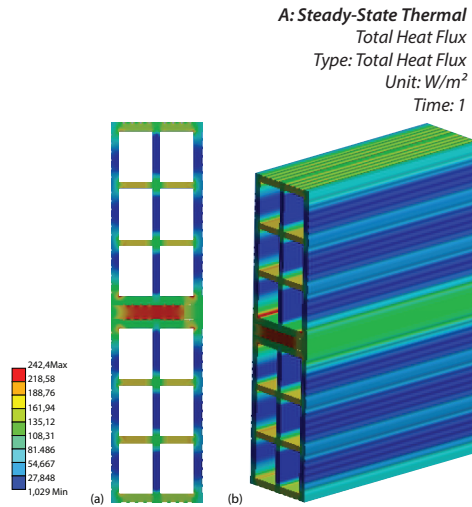


Fuente: elaboración propia.

El tratamiento de las juntas de mortero por aislamiento en el ladrillo multiperforado registra la concentración más alta en la junta de mortero ($212,20 \text{ W/m}^2$); sin embargo, representa una reducción del 1,42 % del flujo de calor. La protección de la junta de mortero con el mismo material del producto concentra $132,65 \text{ W/m}^2$, lo cual significa un aumento de 0,77 %. En el caso del bloque H10, la concentración de la junta de mortero aumenta 12,61 % ($112,61 \text{ W/m}^2$), mientras que la zona del aislamiento de la junta acumula 22,10 % menos flujos de calor que el producto tradicional.

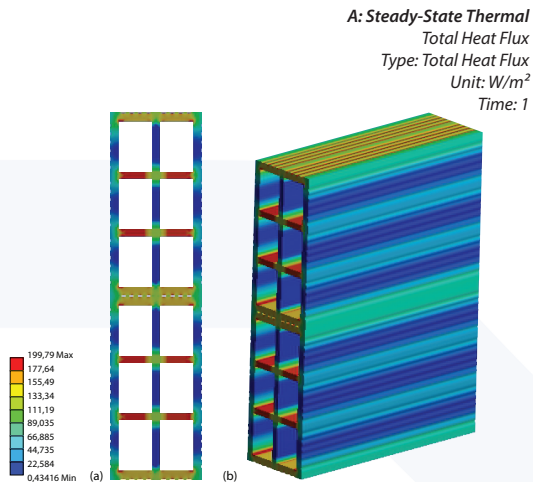
Los flujos de calor de la eliminación de las juntas de mortero concentran $124,99 \text{ W/m}^2$ en las zonas de unión de productos del ladrillo multiperforado, y $177,64 \text{ W/m}^2$ del bloque H10, es decir que, reduce la acumulación de energía 41,94 % y 17,48 %, respectivamente.

Figura 44. Flujos de calor de bloque H10 con aislamiento de junta de mortero: (a) sección, (b) perspectiva



Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Flujos de calor de bloque H10 con eliminación de junta de mortero: (a) sección, (b) perspectiva



Fuente: elaboración propia.

Cámara de aire ventilada

Objetivo

La incorporación de cámaras de aire ventilada en diseños de productos para mampostería es una estrategia pasiva para fachadas arquitectónicas. Así como lo mencionó Stavridou (2015), la arquitectura de la respiración aprovecha un recurso natural como el aire para promover una arquitectura garante del confort espacial. La exploración para el aprovechamiento del aire como mejora del rendimiento térmico de muros es una apuesta que puede darse desde productos tradicionales presentes en los mercados locales.

Un claro ejemplo son Narváez-Ortega *et al.* (2020), quienes le dieron la oportunidad al bloque H15 para evaluar el comportamiento energético y descubrir que la liberación de mortero en una columna de perforaciones mejora las temperaturas interiores entre 1,65 °C y 2,35 °C.

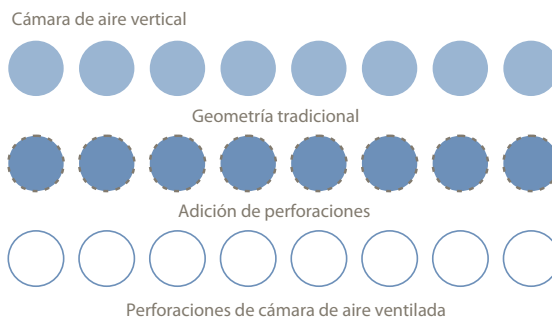
En la aplicación de este criterio en el diseño de producto es importante tener presentes las condiciones climáticas y el tipo de perforaciones de la unidad constructiva, así como lo indica el capítulo 3 sobre la metodología para la innovación del diseño de producto enfocado en la mitigación de la transferencia de calor. Lo anterior debido a que:

- » La velocidad del viento y la temperatura ambiente son determinantes en el rendimiento térmico del producto.
- » La extrusión es uno de los procesos de fabricación más comunes en la industria cerámica. Por tanto, las cámaras deben ser horizontales o verticales, según corresponda el formato del producto.

Propuesta de diseño

Existen dos tipologías de cámaras de aire ventiladas: vertical y horizontal (Figura 46).

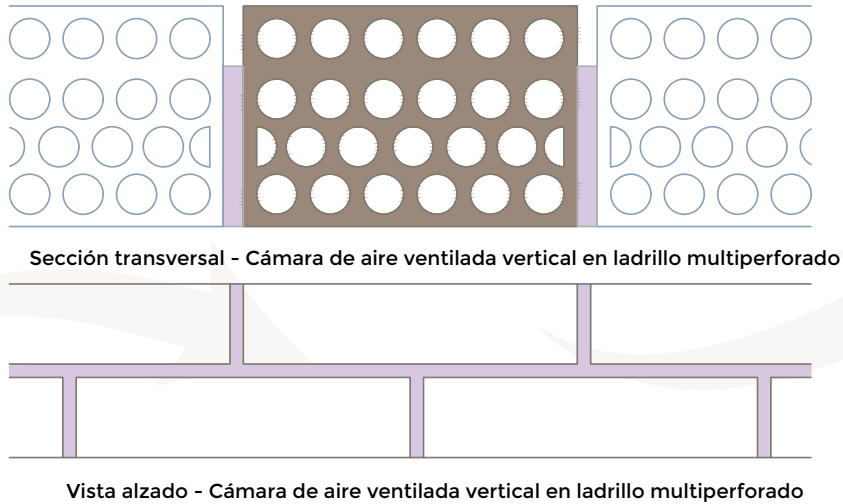
Figura 46. Concepto de cámaras de aire ventilada vertical



Fuente: elaboración propia.

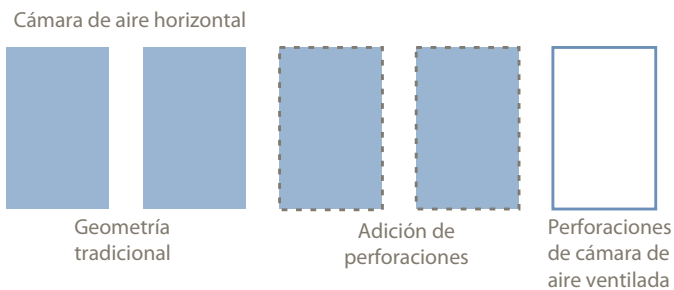
Aplica para unidades constructivas con perforaciones verticales. El sentido de esta cámara es recomendable porque facilita la circulación gradiente del aire desde abajo hacia arriba (Martín, 2018). La incorporación de cámara de aire en el ladrillo multiperforado se realizó a través de la repetición de una fila de 6 perforaciones de base circular, lo cual aumentó el ancho del producto base.

Figura 47. Diseño de cámaras de aire ventilada vertical



Fuente: elaboración propia.

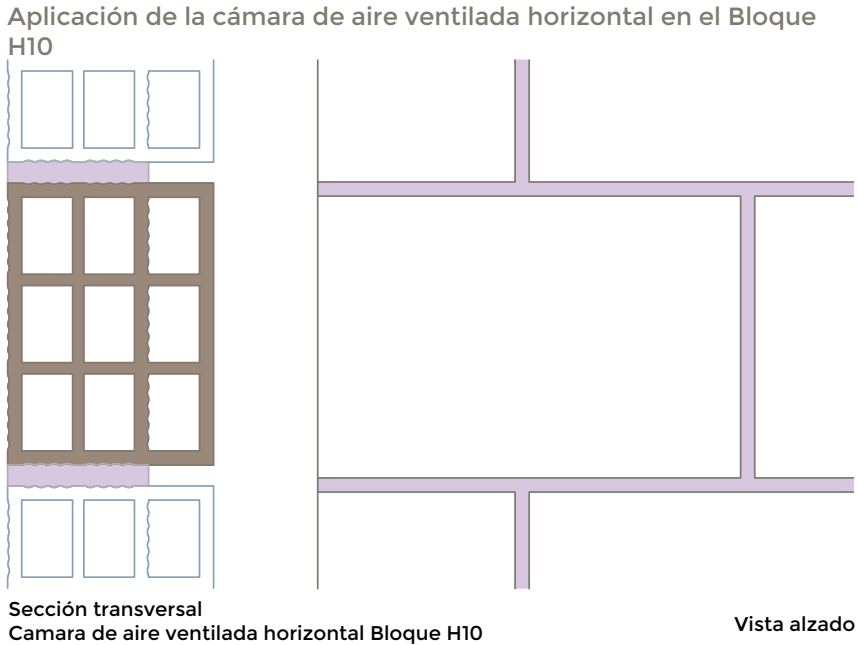
Figura 48. Concepto de cámaras de aire ventilada horizontal



Fuente: elaboración propia.

Aplica para unidades constructivas con perforaciones horizontales. El caso de estudio para la incorporación de este criterio es el bloque H10, conocido por sus perforaciones de base rectangular. El diseño de la cámara ventilada horizontal replicó la columna de 3 perforaciones.

Figura 49. Diseño de cámaras de aire ventilada horizontal

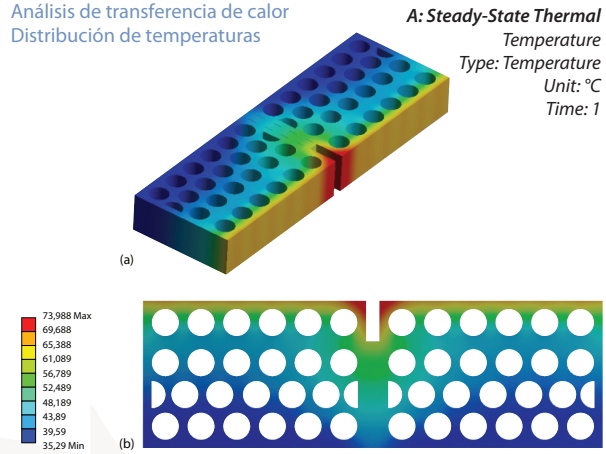


Fuente: elaboración propia.

En ambos casos, la hilera correspondiente a la cámara de aire ventilada debe quedar libre de mortero según corresponda la junta, es decir:

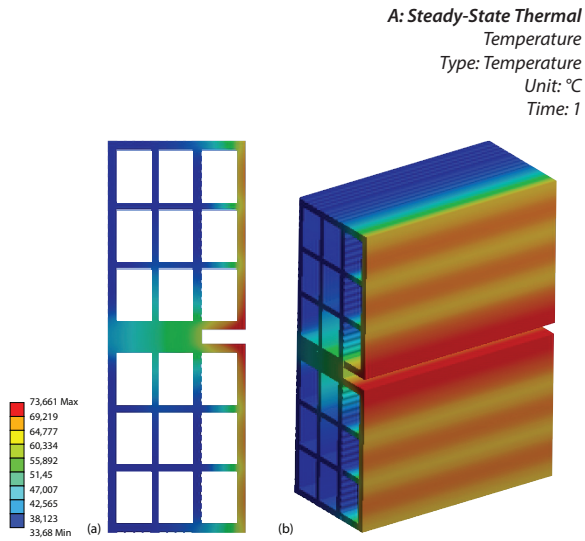
- » Para las tipologías verticales, la junta de mortero horizontal se dispone hasta el tabique o pared donde inicia la cámara. La disposición de mortero de la junta vertical queda a consideración del diseñador según su propuesta.
- » Para las tipologías horizontales, la junta de mortero vertical se dispone hasta el tabique o pared, donde inicia la cámara. La disposición de mortero de la junta horizontal queda a consideración del diseñador según su propuesta.

Figura 50. Distribución de temperaturas la implementación de la cámara de aire ventilada vertical del ladrillo multiperforado:
(a) perspectiva, (b) sección



Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Distribución de temperaturas la implementación de la cámara de aire ventilada horizontal del bloque H10:
(a) perspectiva, (b) sección



Fuente: elaboración propia.

El beneficio de la implementación de cámara de aire ventilada vertical es de $5,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ a favor en la diferencia entre la temperatura de la superficie exterior e interior del ladrillo multiperforado. A pesar de que la temperatura de la superficie exterior aumenta $1,94\text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura de la superficie interior disminuye hasta $7,17\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El caso de la cámara de aire ventilada horizontal no registra mejoras como la cámara vertical. Aunque la diferencia entre temperaturas exteriores e interiores del bloque H10 con cámara de aire ventilada horizontal aumenta $0,60\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $4,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura de la superficie exterior, la mejora se observa en la temperatura de la superficie interior con $3,44\text{ }^{\circ}\text{C}$ menos que el bloque H10 tradicional.

Flujos de calor

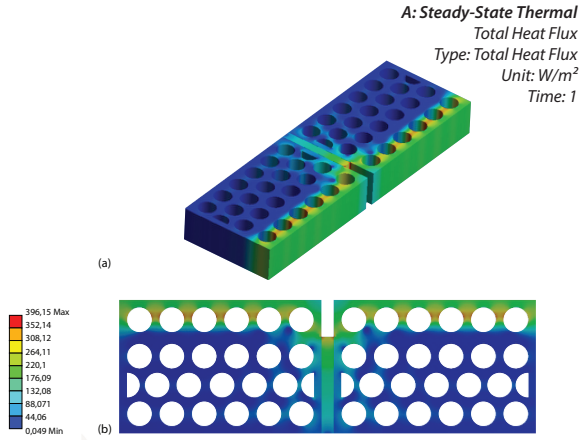
La implementación de la cámara de aire ventilada vertical en el ladrillo multiperforado duplica la concentración de calor de la superficie exterior del producto ($308,12\text{ W/m}^2$), pero disminuye $18,20\%$ ($176,09\text{ W/m}^2$) los flujos de calor de la junta de mortero y $99,80\%$ ($0,049\text{ W/m}^2$) la geometría inicial del producto. Es decir, que la cámara de aire ventilada vertical amortigua la transferencia de calor al producto base.

La implementación de la cámara de aire ventilada vertical disipa la concentración de calor 56% más que la cámara de aire horizontal.

El caso de la implementación de la cámara de aire horizontal aumenta entre $4,88\%$ ($243,27\text{ W/m}^2$) en la junta de mortero y hasta $168,83\%$ ($486,47\text{ W/m}^2$) la superficie exterior del producto. No obstante, la implementación de la cámara de aire ventilada horizontal reduce hasta 43% ($0,06\text{ W/m}^2$) de los flujos de calor del interior del producto.

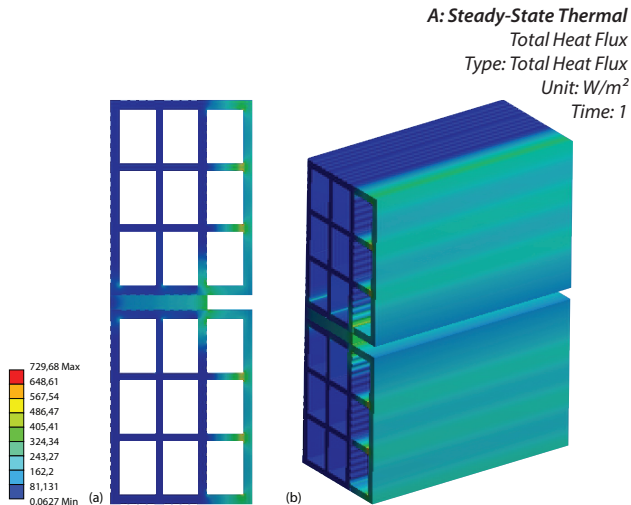
De acuerdo con los resultados, se puede inferir que la implementación de la cámara de aire ventilada vertical es mucho más eficiente porque disipa 56% más que la cámara de aire horizontal.

Figura 52. Flujos de calor de la implementación de la cámara de aire ventilada vertical del ladrillo multiperforado: (a) perspectiva, (b) sección



Fuente: elaboración propia.

Figura 53. Flujos de calor de la implementación de la cámara de aire ventilada horizontal del Bloque H10: (a) perspectiva, (b) sección



Fuente: elaboración propia.

Identificación de materias primas

Objetivo

La reutilización de residuos agroindustriales locales es una estrategia sostenible promovida desde la economía circular. Sánchez-Molina *et al.* (2018) demuestran que el aprovechamiento de estos recursos representa variaciones en la conductividad de las mezclas utilizadas para la fabricación y, por ende, en el rendimiento térmico del producto.

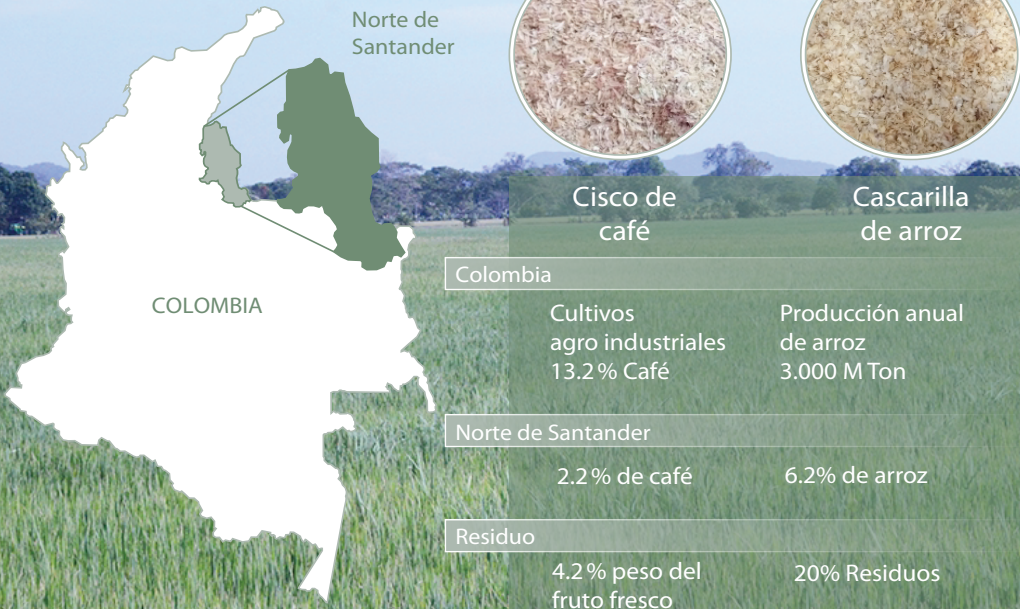
Además, Sánchez-Molina *et al.* (2018) plantean que la formulación de la mezcla cambia a conductividad de los porcentajes de arcilla y aditivos o nutrientes tecnológicos y, por ende, incide en el rendimiento térmico del producto según el tipo de residuo, con beneficios de temperatura de hasta 2,64 °C en el mejor de los casos.

Propuesta de diseño

Los residuos implementados para la definición de este criterio son el cisco de café y la cascarilla de arroz.

Figura 54. Visita de campo de cultivo de arroz en Norte de Santander (Coagronorte)

¿Por qué?



Fuente: elaborado a partir de Sánchez-Molina *et al.* (2021).

¿Para qué?

Teniendo en cuenta la magnitud de residuos generados por la industria arrocera y cafetera en Norte de Santander y Colombia, Sánchez-Molina *et al.* (2021) consideran importante buscar oportunidades para la reutilización de residuos en el sector de la construcción.

De acuerdo los autores mencionados existen múltiples las investigaciones sobre las ventajas de la reutilización de residuos como el cisco de café y la cascarilla de arroz, con lo que concluyen:

- » Baja conductividad térmica (Görhan y Şimşek, 2013; Buratti *et al.* 2018; Sánchez-Molina *et al.*, 2018; Sánchez-Zúñiga *et al.*, 2019; Colmenares-Uribe *et al.*, 2019).
- » Reducción de huella de carbono (Sánchez-Molina *et al.*, 2018).
- » Reducción de contaminación de fuentes hídricas, principalmente ríos (Aristizábal-Arias y Duque-Orrego, 2005; Torres y Bastidas, 2018).

¿Cómo?

Como diseñadores, la implementación de nutrientes tecnológicos resulta compleja al no contar con la formación necesaria en temas relacionados a la ingeniería de los materiales.

Por tal motivo, es pertinente mencionar la necesidad de desarrollar productos para la construcción desde colectivos o equipos de trabajo interdisciplinarios para complementar los procesos de diseño ya que, al ser el primer paso, se debe considerar todas las etapas del desarrollo de un producto, desde la forma y aplicación constructiva hasta la composición del material y el proceso de fabricación.

Tabla 6. Ventajas del uso de residuos agroindustriales en productos para la construcción

Cisco de café	Cascarilla de arroz
Difícil degradación o descomposición (Sánchez-Molina <i>et al.</i> 2018; Sánchez-Zúñiga <i>et al.</i> , 2019)	
15,56% de silicio en cascarilla de arroz (Sánchez-Molina <i>et al.</i> 2018; Colmenares-Uribe A <i>et al.</i> , 2019)	
Aislante térmico (Sánchez-Molina <i>et al.</i> , 2018; Sánchez-Zúñiga <i>et al.</i> , 2019) y acústico (Silvestre-Gutiérrez <i>et al.</i> , 2014)	Conductividad baja (Nastro <i>et al.</i> , 2006)
Baja concentración de azufre, posibilidades de eflorescencias (Fombella, 1997)	Resistente al fuego hasta 1.000 °C (Nnamdi, 2011; Buratti <i>et al.</i> , 2018)

Cisco de café	Cascarilla de arroz
98,24 % de pérdidas por ignición (LOI) (Sánchez-Zúñiga <i>et al.</i> , 2019)	84 % de pérdidas por ignición (LOI) (Sánchez-Molina <i>et al.</i> 2018; Colmenares-Uribe <i>et al.</i> , 2019)
Reducción del 40 % de la resistencia mecánica (Narváez-Ortega M <i>et al.</i> , 2019)	Reducción del peso (Görhan y Şimşek, 2013)
Alteración de propiedades físicas, mecánicas y de contracción (Görhan y Şimşek 2013; Sánchez-Molina <i>et al.</i> 2018; Sánchez-Zúñiga <i>et al.</i> 2019; Narváez-Ortega M <i>et al.</i> 2019)	

Fuente: elaborado a partir de Sánchez-Molina *et al.* (2021)

Análisis de transferencia de calor

Distribución de temperaturas

La implementación de nutrientes tecnológicos como estrategia para alternar las propiedades térmicas de los materiales de fabricación impactan el rendimiento térmico de los productos.

Gracias al análisis de transferencia de calor fue posible corroborar que las mejoras no impactan al mismo nivel que una estrategia de diseño como las geometrías disipadoras, cámaras de aire ventilada o las superficies autosombreadas.

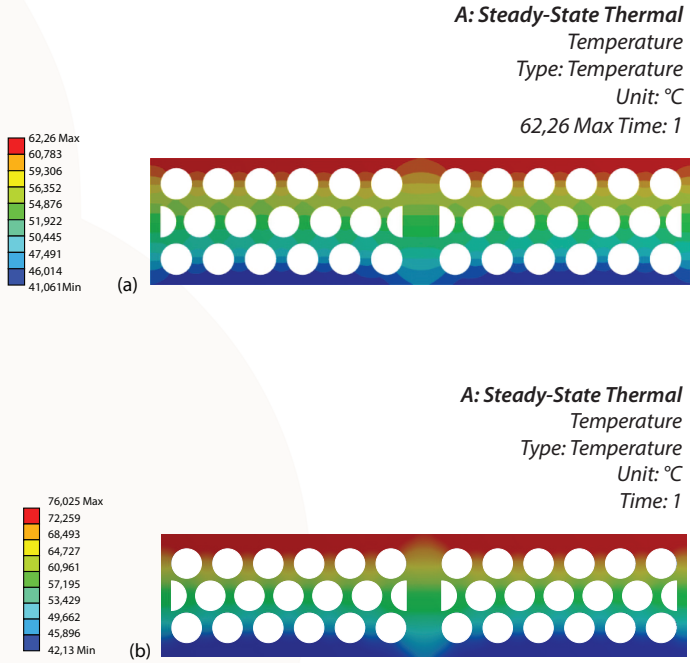
El aditivo de 5 % de café en la mezcla de ladrillo multiperforado mejora 13,67 °C, pero tan solo mejora 0,876 °C la temperatura de la superficie.

La mejora de la conductividad no impacta al mismo nivel que una estrategia de diseño interior.

En este mismo sentido, la implementación del 5 % de cascarilla de arroz aumenta 0,095 °C la temperatura de la superficie exterior y tan solo disminuye 0,33 °C la temperatura de la superficie interior.

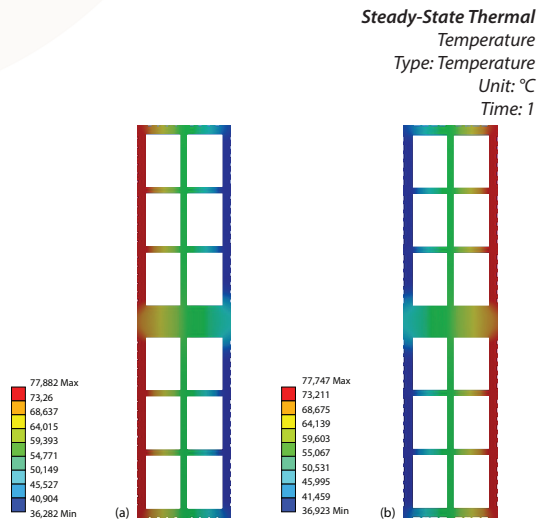
La implementación de nutrientes tecnológicos en el bloque H10 presenta un panorama similar al ladrillo multiperforado. En el caso del aditivo de cisco de café, la temperatura de la superficie exterior aumenta 0,18 °C y disminuye 0,84 °C la temperatura de la superficie interior, mientras que, la incorporación de cascarilla de arroz aumenta 0,5 °C la temperatura de la superficie exterior y disminuye tan solo 0,20 °C la temperatura de la superficie interior.

Figura 55. Distribución de temperaturas de ladrillo multiperforado con aditivo de cisco de café (a) y cascarilla de arroz (b)



Fuente: elaboración propia.

Figura 56. Distribución de temperaturas de bloque H10 con aditivo de cisco de café (a) y cascarilla de arroz (b)



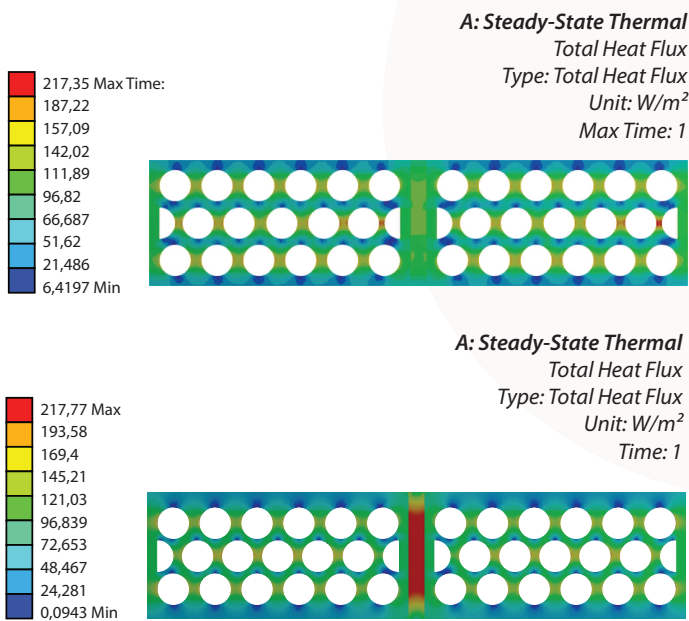
Fuente: elaboración propia.

Flujos de calor

Los flujos de calor de los productos con aditivos de nutrientes tecnológicos como el cisco de café y la cascarilla de arroz alteran la concentración de energía debido a la variación de los valores de conductividad. Sin embargo, los esquemas de simulación coinciden los puntos de mayor concentración, debido a la forma de los productos, lo cual demuestra el planteamiento fundamental de la investigación: la importancia del diseño en la transferencia de calor.

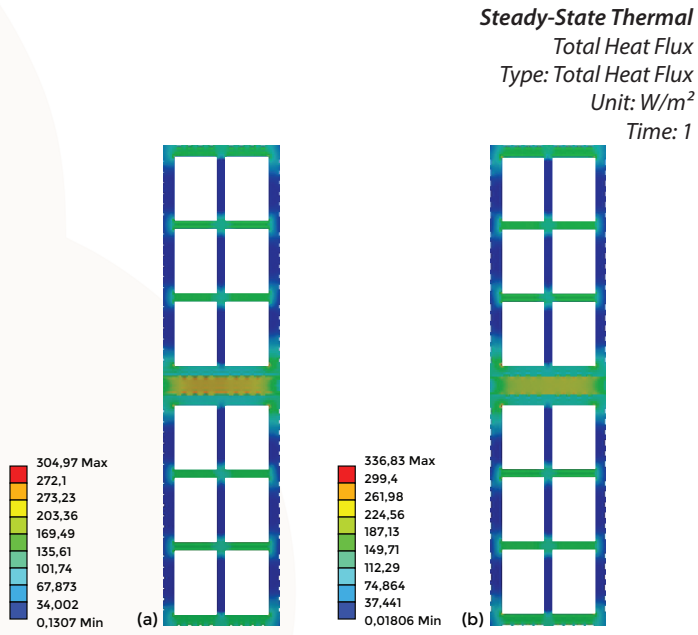
La incorporación del cisco de café concentra $142,02 \text{ W/m}^2$ en los tabiques que conectan la superficie exterior con la interior del ladrillo multiperforado y $169,49 \text{ W/m}^2$ del bloque H10, es decir, aumenta $7,89\%$ y disminuye $2,29\%$, respectivamente.

Figura 57. Flujos de calor de ladrillo multiperforado con aditivo de cisco de café (a) y cascarilla de arroz (b)



Fuente: elaboración propia.

Figura 58. Flujos de calor de bloque H10 con aditivo de cisco de café (a) y cascarilla de arroz (b)



Fuente: elaboración propia.

Superficies autosombreadas

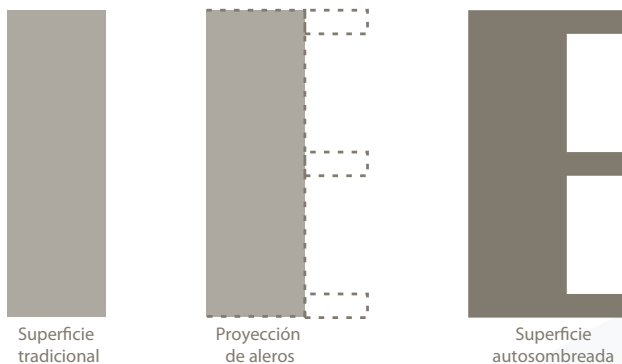
Objetivo

El criterio de superficies autosombreadas pretende proteger las fachadas expuestas al sol a través de afectaciones de la geometría de superficies exteriores para disminuir el área de exposición a la radiación solar (Colmenares-Uribe *et al.*, 2018). Al igual que el *Brise Soleil*, la definición de este criterio plantea la exploración de control solar en superficies de fachadas desde el diseño de producto.

Propuesta de diseño

Las pestañas o aleros se plantean como idea inicial para la exploración de procesos de diseño. El sentido de estos elementos está condicionado por la tipología de la unidad constructiva, ya sea horizontal o vertical.

Figura 59. Concepto de superficies autosombreadas a partir de la generación de aleros



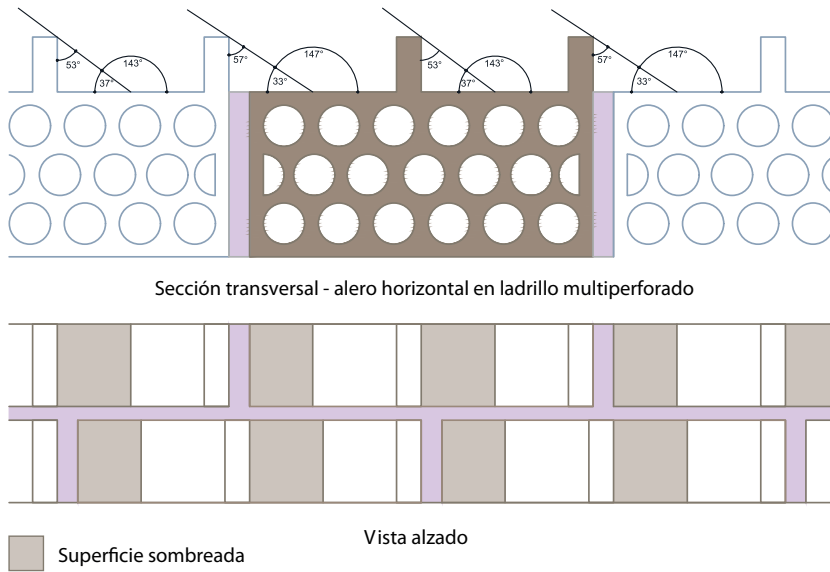
Fuente: elaboración propia.

El recurso principal para tener en cuenta en este criterio es la trayectoria solar, porque el recorrido del sol define los ángulos de incidencia sobre las envolventes arquitectónicas según la orientación de las fachadas (da Silva *et al.*, 2021). En este punto, se recomienda que el equipo diseñador se apoye con herramientas como la Carta solar, *software* de simulación especializado en la incidencia solar o asesorías con expertos en arquitectura bioclimática.

¿Cómo?

El diseño de pequeños aleros sobre las superficies exteriores genera áreas sombreadas que disminuyen entre 44,69 % (ladrillo multiperforado) hasta 46,85 % (bloque H10), la cual es la incidencia solar directa sobre la superficie del producto (Colmenares-Uribe *et al.*, 2022).

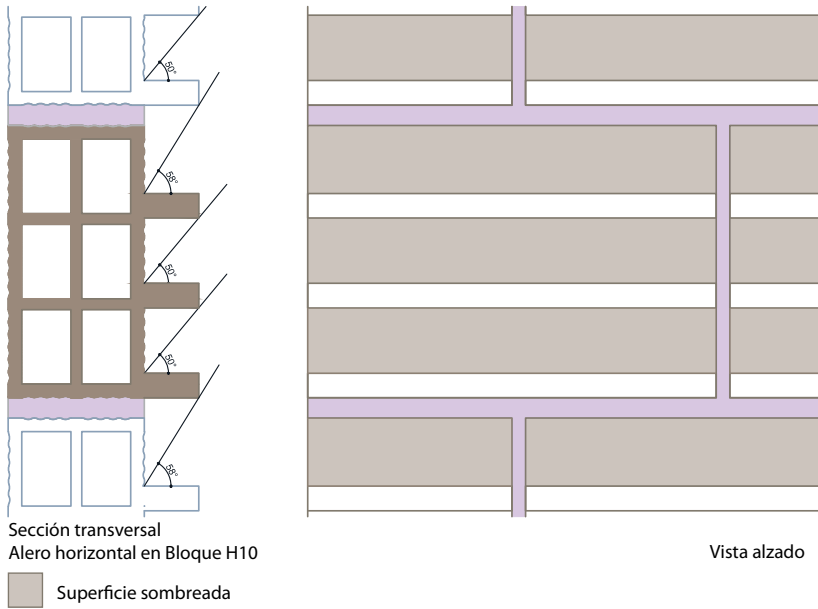
Figura 60. Diseño de superficies autosombreadas en ladrillo multiperforado



Fuente: elaboración propia.

Además, los aleros horizontales, correspondientes al bloque H10, no solo generan mayor porcentaje de sombreado, sino mayor duración de la protección solar en las fachadas más críticas del este y oeste (hasta 3 horas sol) y en las fachadas norte y sur (entre 6 y 10 horas sol); mientras que los aleros horizontales solo protegen entre 1 y 2 horas sol las fachadas más críticas y entre 4 y 10 horas las fachadas norte y sur (Colmenares-Uribe *et al.*, 2021).

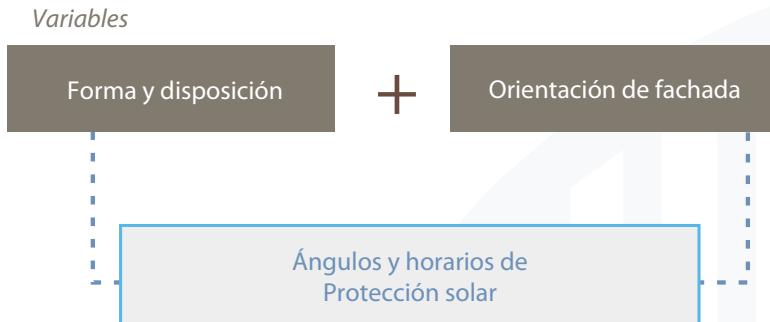
Figura 61. Diseño de superficies autosombreadas en bloque H10



Fuente: elaboración propia.

Las conclusiones de Colmenares-Uribe *et al.* (2021) resume las variables a considerar durante el diseño de productos con aleros en las superficies exteriores.

Figura 62. Variables de diseño de superficies exteriores



Fuente: elaboración propia.

Una vez definidas las pautas relacionadas a la forma y disposición del alero y orientación de la fachada, se obtienen los ángulos y horarios de protección para definir las guías y recomendaciones de la aplicación constructiva, es decir, que desde el diseño del producto se puede lograr lo siguiente:

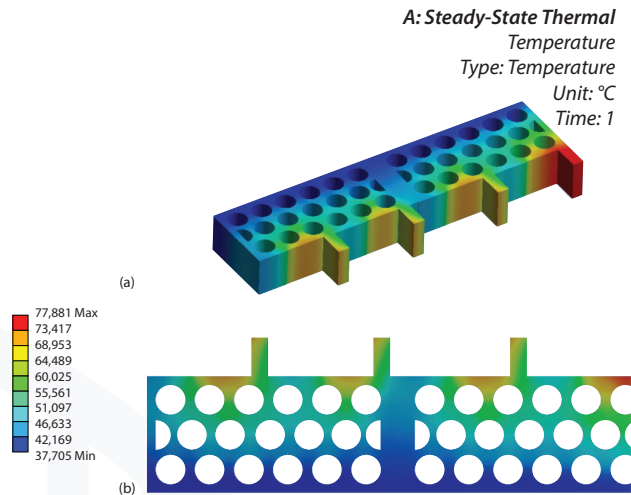
- » Sugerir la aplicación del producto en la fachada con mayor horario de protección o,
- » diseñar a partir de las necesidades de las fachadas de estudio.

Análisis de transferencia de calor

Distribución de temperaturas

La generación de aleros para obtener superficies autosombreadas es positiva, tanto para el ladrillo multiperforado como para el bloque H10. En primer lugar, el ladrillo multiperforado obtiene una mejora de $6,71\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la diferencia entre la temperatura de la superficie exterior e interior del producto y $4,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la temperatura de la superficie interior, comparado con el ladrillo multiperforado. El único aumento se observa en la temperatura de la superficie exterior con $1,95\text{ }^{\circ}\text{C}$.

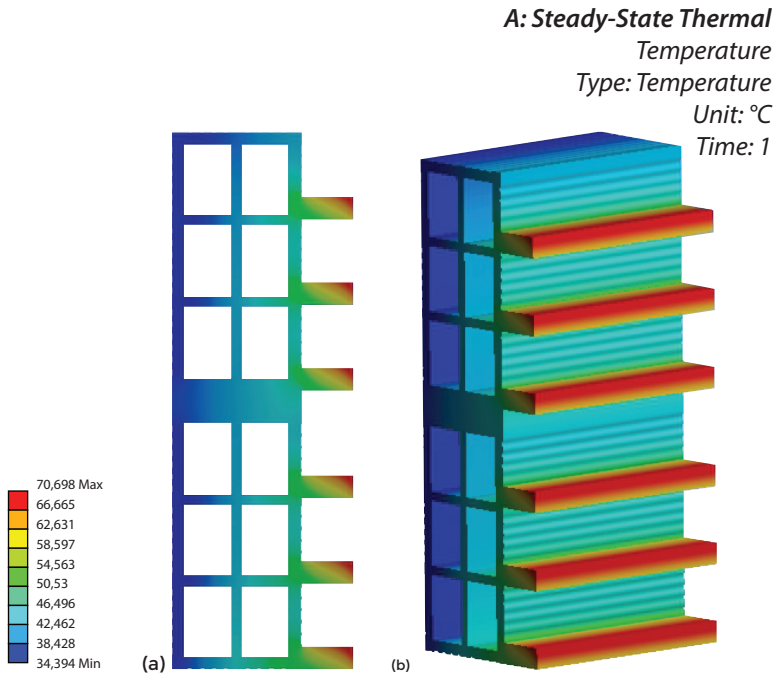
Figura 63. Distribución de temperaturas de superficies auto sombreadas en el ladrillo multiperforado: (a) perspectiva, (b) sección



Fuente: elaboración propia.

En el caso del bloque H10, la diferencia de temperaturas entre la superficie exterior e interior no es positiva porque disminuye $4,27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, las mejoras se observan en la disminución de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la temperatura de la superficie exterior y $2,74\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la temperatura de la superficie interior.

Figura 64. Distribución de temperaturas de superficies auto sombreadas en el bloque H10: (a) perspectiva, (b) sección



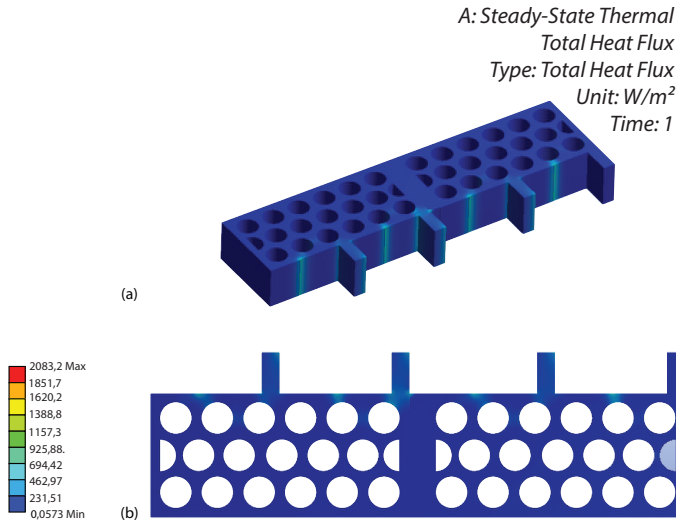
Fuente: elaboración propia.

Flujos de calor

La implementación de aleros para la generación de sobras en el ladrillo multiperforado y el bloque H10 registra altas concentraciones de flujo de calor; no obstante, esta alza solo se concentra en el volumen de los aleros y, al igual que las cámaras de aire ventiladas, la protección de la incidencia solar directa amortigua la transferencia de calor en la superficie interior de las unidades constructivas.

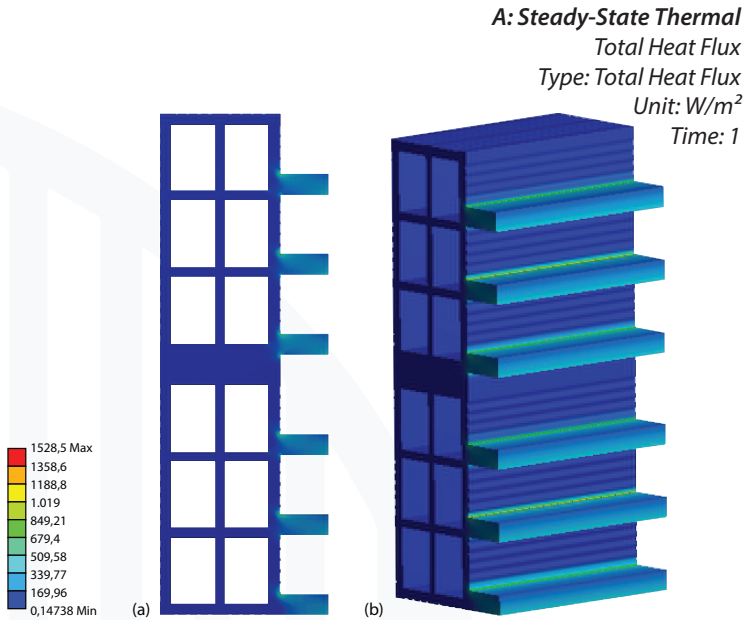
Los flujos registrados en el ladrillo multiperforado con aleros verticales concentran entre $251,51 \text{ W/m}^2$ y $694,42 \text{ W/m}^2$ en las superficies expuestas a la radiación solar directa, $75,87 \%$ y $199,40 \%$ más que la superficie sin protección. Sin embargo, la generación de sombra reduce hasta un $99,76 \%$ la transferencia de calor comparada con el ladrillo tradicional.

Figura 65. Flujos de calor de superficies auto sombreadas en el ladrillo multiperforado: (a) perspectiva, (b) sección



Fuente: elaboración propia.

Figura 66. Flujos de calor de superficies auto sombreadas en el ladrillo multiperforado: (a) perspectiva, (b) sección



Fuente: elaboración propia.

La generación de superficies autosombreadadas reduce hasta 99,76 % la concentración de calor interior del producto.

En el caso del bloque H10 con aleros horizontales, la concentración de calor en las superficies expuestas a la radiación solar directa varía desde 339,77 W/m² hasta 509,59 W/m², lo cual significa un aumento de los flujos de calor entre 95,88 % y 119,71 %. Aunque el flujo de calor de menor concentración es 33,98 % más que el valor mínimo del bloque H10 tradicional, el valor mínimo (0,14 W/m²) es uniforme en la superficie interior del producto, mientras que en el producto tradicional los valores mínimos se registran de forma parcial.