

CAPÍTULO # 2

EL AISLAMIENTO TÉRMICO COMO VALOR AGREGADO DE UNIDADES CONSTRUCTIVAS PARA MAMPOSTERÍA

El aislamiento térmico y los mecanismos de transferencia de calor

García (1966) define el aislamiento térmico como el amortiguamiento de la propagación de energía entre dos cuerpos. Para una mayor comprensión de este tema, García (1966) enfoca sus estudios en la clasificación de materiales aislantes según sus propiedades térmicas, mecánicas, relacionadas con la humedad y físico-formales, concluyendo que el color ejerce influencia sobre el índice de reflectancia solar (SRI). Además, resalta que las tonalidades claras registran un mejor comportamiento térmico sobre las oscuras y que, las propiedades aislantes se anulan ante la exposición de cuerpos de agua como barreras de vapor, películas hidrófobas o materiales fibrosos (García, 1966), debido a la alta conductividad del agua (Alaman, 1972).

García (1976) justifica la importancia del conocimiento de las propiedades termo físicas del material por medio de la descripción de los mecanismos de transferencia de calor para lograr índices óptimos de confort interior de un espacio. El entendimiento de estos procesos resulta clave para diferentes investigaciones con enfoques similares hacia la arquitectura.

Existen 3 mecanismos de transferencia de calor, conocidos como radiación, conducción y convección.

La radiación es el proceso de intercambio de energía por medio de la radiación de ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio (Martín, 1995). La

propagación de energía a través de la radiación se da a la velocidad de la luz y, de esta manera, funciona como cargas de calor sobre superficies de cuerpos expuestos a la fuente de energía radiante (Martín, 2013).

La transferencia de calor por conducción se da a través del contacto con otros cuerpos sólidos con mayor o menor concentración de calor (Martín, 2013). Asimismo, la conducción se observa a través de la exposición de cuerpos sólidos a energía radiante, donde el calor se transmite a lo largo de su volumen desde las superficies de mayor temperatura a las de menor temperatura (Martín, 1995).

La convección es el proceso de transferencia de calor a través de fluidos como el aire y el agua, con el fin de equilibrar las temperaturas. El proceso se da a través de la exposición de un fluido a una superficie de mayor concentración de calor, alterando las densidades del fluido y generando movimientos en este (Martín, 2013).

Lo anterior es un planteamiento que requiere una lectura minuciosa porque ubica al diseño como una estrategia de aislamiento térmico en cerramientos de fachada. En este orden de ideas, es oportuno cuestionar:

¿Cuáles son las formas de los materiales y sistemas constructivos que determinan el aislamiento térmico y/o contribuyen a la mitigación de la transferencia de calor de las envolventes arquitectónicas?

Aunque el principal interrogante se concentra en la incidencia del diseño de producto en el rendimiento térmico, es importante comprender otros factores relacionados a la transferencia de calor como las propiedades de los materiales.

Propiedades termo físicas de los materiales

Es claro que el enfoque del diseñador y el arquitecto ha de ser comprender múltiples aspectos para abordar el proyecto de manera integral, por lo que Martín (1995) sugiere la comprensión de las propiedades del material desde la geometría como causal de la velocidad de la transferencia de energía y su distribución en el cerramiento.

La caracterización de las propiedades termo físicas de los materiales y sistemas constructivos es fundamental para la selección de los productos a utilizar en obra, debido a que el comportamiento energético del edificio no solo se ve condicionado por aspectos relacionados con el producto, sino también con la planeación del proyecto desde etapas previas al diseño, uso, mantenimiento y posteriores procesos de demolición y reciclaje en las fases finales de ciclo de vida de los materiales (Villar *et al.*, 2014).

De esta manera, la apuesta está enfocada en la prevención de futuras modificaciones en la edificación por la necesidad de adecuar la estructura para resolver problemáticas de confort térmico y demanda energética, que puede significar un costo mayor en recursos materiales y económicos (Indraganti *et al.*, 2014; Jazizadeh *et al.*, 2014).

Para finalizar, también es fundamental comprender otros conceptos básicos relacionados a las propiedades térmicas de los materiales como conductividad, resistencia y transmitancia térmica:

- » Conductividad térmica (k): propiedad de un material para conducir el calor o energía. Es decir que, entre mayor es el valor, es mayor la capacidad de conducción (Martín, 2018).
- » Resistencia térmica (R): propiedad de un material definida entre el espesor del cerramiento y la conductividad del material para rechazar el paso de calor de una superficie a otra (Martín, 2018).
- » Transmitancia térmica (U): energía que atraviesa un cuerpo. Es inversamente proporcional a la resistencia térmica. En los cerramientos arquitectónicos, la transmitancia se obtiene de la resistencia total de las capas que componen la envolvente (Martín, 2018).

La envolvente arquitectónica y su impacto en el consumo energético

Así como en la naturaleza, la arquitectura conceptualiza la fachada de los edificios como su piel, expuesta a condiciones ambientales, las cuales pueden ser desfavorables para la calidad del confort interior. Es por esto por lo que sus estructuras deben contemplar adaptaciones según las necesidades de sus usuarios, definidas por una implantación con características climáticas y geográficas propias. Las tipologías de envolventes varían de acuerdo con su forma, materialidad, espacialidad y patrones, que son definidos por parámetros enfocados en la sostenibilidad y la eficiencia energética en la construcción.

De acuerdo con Nouvel (2013), la arquitectura consiste en escuchar la geografía del espacio, su historia y cultura para comprender el contexto del proyecto en su totalidad. Un ejemplo es la fachada del Instituto del Mundo Árabe en París, a partir de la abstracción de la relación que existe entre las geometrías de la cultura islámica y la luz. Nouvel adapta el edificio frente a la variabilidad del entorno gracias a unos componentes receptivos que filtran y gradúan la intensidad de la radiación solar al espacio interior.

El diseño de la fachada debe plantearse como un sistema pasivo, capaz de identificar las determinantes que interactúan en un espacio, con el fin de mejorar el comportamiento energético de un edificio. No obstante, es importante tener en cuenta procesos y parámetros de diseño, como el tipo de construcción, materiales, forma del edificio respecto a la orientación solar, ventilación e iluminación natural, sombreado, túneles de aire, aislamiento térmico, resistencia de los materiales frente a las humedades, condensaciones, tormentas e inundaciones (Shao, 2013; Aravena, 2014; Mitterer *et al.*, 2012; Chandel y Marwah, 2016; Mohammadi y Pazhouhanfar, 2018).

La postura de algunos autores respalda este punto desde la formulación de variables, determinantes, estrategias, parámetros y fases que permiten una mejor visualización de las ventajas y desventajas de cualquier producto arquitectónico (Velasco y Robles, 2011; Baixas, 2012; Vásquez, 2012; Niño y Navarro, 2015; Zappulla, 2014; Marzban *et al.*, 2017). Debido a que la relación interior-exterior del edificio y el papel del cerramiento como un elemento protector establecen las proporciones y morfologías de la superficie se da solución al confort térmico, visual y acústico de los sistemas de cerramiento.

Así como en la naturaleza, la arquitectura conceptualiza la fachada de los edificios como su piel, expuesta a condiciones ambientales, desfavorables para la calidad del confort interior.

Figura 6. Centro de Innovación de la Universidad Católica en Chile, Alejandro Aravena



Fuente: New York Times. Vidic (2014).

La cantidad de variables que definen la configuración de una envolvente resulta compleja al momento de proponer soluciones constructivas, ya que las posibilidades de diseño son infinitas y dependen de la interpretación de los datos obtenidos por los parámetros establecidos. Si bien es claro, la definición de estos parámetros debe relacionar medios físicos y biológicos locales, además de organizaciones materiales y espaciales complejas como una estrategia para orientar la arquitectura.

En este sentido, muchas facultades e investigaciones han apoyado sus metodologías y procesos de diseño en herramientas digitales como CAD, Grasshopper GH, Dynamo, BIM, termografías, sensores de temperatura, entre otros, con el fin de revolucionar la forma de hacer arquitectura hasta el punto de proyectar, visualizar, simular y evaluar nuevas posibilidades de diseño generativo y paramétrico y su respectivo rendimiento energético (Greenberg *et al.*, 2013; Takashi *et al.*, 2013; Stavridou, 2015; Hensel y

Sorensen, 2016; Paoletti, 2016; Peters, 2016; Preisinger *et al.*, 2016; Sadeghipour, 2016; Fantucci *et al.*, 2017). Sin embargo, existen otras formas de evaluar estos ejercicios virtuales como la experimentación, especulación y materialización de las ideas con el propósito de reconocer los materiales por parte del arquitecto o diseñador (Paoletti, 2016; Szivos, 2016).

Existen ejemplos que demuestran la influencia de los parámetros ambientales (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del aire, temperatura exterior e interior, intensidad de la radiación, precipitación) y socioculturales (ropa, tasas metabólicas, sexo, razaedad) en la eficiencia energética del edificio y el confort térmico de los ocupantes por medio de monitoreo térmico del comportamiento de la edificación y la calidad espacial condicionada por factores térmicos, visuales y acústicos (Takashi *et al.*, 2013; Mitterer *et al.*, 2012; Quang *et al.*, 2014; Katafygiotou y Serghides, 2015; Kumar *et al.*, 2016; Yousef *et al.*, 2016). Al registrar información sobre el comportamiento de los usuarios se generan datos claves para una simulación precisa de la influencia de este factor sobre el rendimiento energético del edificio (Gucyete, 2018; Hong *et al.*, 2016).

El diseño de producto como valor agregado

Figura 7. Configuraciones del bloque termodisipador



Fuente: Niño y Navarro (2015).

Le Corbusier era reconocido por su visión proyectual en la arquitectura y el urbanismo. Cada una de sus obras representaba el movimiento moderno de soluciones simples y claras, como fue el caso del *Brise-soleil*, un recurso arquitectónico planteado para quebrar la permeabilidad de luz —total y directa— en los espacios. La función de este elemento era una estrategia de diseño para el control solar, tanto en un estudio de la orientación del edificio como en su incidencia solar.

Con el paso del tiempo, el *brise-soleil* se fue devaluando por el auge de las fachadas acristaladas en los centros económicos de las principales urbes del mundo, hecho que ha generado una alta demanda energética y las emisiones de CO₂ por sistemas de climatización artificial, generando un debate sobre la responsabilidad ambiental de los cerramientos (Morel *et al.*, 2016). La aplicación de este control pasivo se da principalmente en climas cálidos con el objeto de minimizar el aumento de la temperatura interior y evitar deficiencias lumínicas como el deslumbramiento.

Otra solución constructiva similar al *brise-soleil* son las celosías cerámicas. Estos elementos funcionan como un filtro solar que gradúa la temperatura interior por medio de la proyección de sombras y permea el espacio para la renovación del aire a través de los vacíos generados por las celosías (Pich *et al.*, 2018).

A partir de una panorámica de las necesidades más latentes de la construcción, es posible proponer una unidad constructiva capaz de resolver una problemática en específico gracias a su forma, así como lo hicieron Ali *et al.* (2012), Fay *et al.* (2014), Ben *et al.* (2016) y Niño y Navarro (2015).

No obstante, es importante reconocer los procesos de fabricación para materializar las ideas plasmadas en papel. Niño y Navarro (2015) son un referente de Norte de Santander digno de resaltar por su análisis previo de fachadas con bloques cerámicos tradicionales. A partir de esta observación, los autores identificaron variables térmicas, técnicas, estéticas y acústicas, las cuales los llevaron a plantear una unidad constructiva fabricada por extrusión, que resolvía cada problemática y aprovechaba las tecnologías disponibles en la región.

Para el bloque termo disipador se plantea la morfología irregular de las perforaciones con el fin de disipar la radiación absorbida por medio de recorridos más largos para la transferencia de calor y, a su vez, se propone una serie de conductos disipadores de la temperatura para la circulación de aire (Niño y Navarro, 2015).

También existen otros referentes que demuestran la importancia del componente formal de un producto, no solo por las características estéticas, sino por las soluciones que ofrece como la optimización sistemas constructivos gracias a diseños modulares que facilitan el proceso de instalación (Ali *et al.*, 2012; Fay *et al.*, 2014; Ben *et al.*, 2016).

Sin duda alguna, los objetivos del diseño de producto varían según el problema que busca resolver. Urbano y Wanner (2016) experimentan la fusión de técnicas artesanales, tecnologías tradicionales y procesos digitales para producir piezas cerámicas diseñadas con el objetivo de innovar la configuración de ambientes lumínicos cerámicos; mientras que Bechthold (2016) ensaya muestras de impresión 3D para fabricar nuevos elementos que den vida a superficies morfológicas complejas.

En definitiva, todos los casos evidencian los esfuerzos por establecer una sinergia de conocimientos interdisciplinarios de diseño, fabricación y análisis con el fin de replantear los procesos de producción desde una perspectiva integral y la búsqueda de eliminar las barreras mentales de un material convencional, que frustran el desarrollo de nuevas oportunidades arquitectónicas para el sector de la construcción.

Las barreras verdes como estrategia de mitigación de la transferencia de calor

La integración de vegetación en la arquitectura representa una solución consciente que aprovecha los recursos disponibles en un entorno específico, transformándolos en capas vegetales capaces de mitigar situaciones extremas del ambiente como la radiación solar y la isla de calor urbana.

Los beneficios van desde la regulación de temperaturas y la proyección de sombras, hasta la purificación del aire a través de la conexión de la ciudad con la naturaleza (Vissilia, 2009). Incluso, los aislamientos por barreras verde también significan una posibilidad para la creación de redes ecológicas y de biodiversidad para la urbe mientras que para (Collins *et al.*, 2017).

Los impactos de los muros verdes en las edificaciones son muy positivos ambientalmente, pues sus efectos protegen la biodiversidad y el hábitat ecológico, mitigan la isla de calor urbana, regulan el microclima y la temperatura, conservan el agua, mejoran la calidad del aire exterior e interior y reducen el ruido (Djedjig *et al.*, 2017). No obstante, su rendimiento energético varía, principalmente, en el tipo de vegetación (Cuce, 2017), la media de crecimiento de la vegetación, el control de irrigación y el manejo que se le da a la cámara de aire entre el sistema de muro verde y el muro (Coma *et al.*, 2017).

Figura 8. Paneles verdes en edificio Gherkin en Londres, Norman Foster



A pesar del embellecimiento del paisaje, la integración de la ciudad con la naturaleza y la regulación de la temperatura interior de las edificaciones, existen usuarios que descartan esta posibilidad por el mantenimiento y cuidado de la vegetación (Valesan *et al.*, 2010).

Las variaciones de los diseños han evolucionado desde el crecimiento de una planta (tipo enredadera) en un muro, hasta el montaje de un jardín vertical para fachadas de edificios más altos. Esta clasificación se divide en fachadas verdes y muros vivos.

Las fachadas verdes fueron las primeras intenciones de aislamientos con barreras verdes y son aquellas que permiten la adherencia de la planta al muro (directa e indirectamente); en algunos casos se utilizan soportes para guiar y controlar el crecimiento de la vegetación. Por otra parte, los muros vivos son la evolución de las fachadas verdes son utilizados para el revestimiento de edificaciones de gran altura. Las bondades de su estructura permiten la integración de diferentes tipos de plantas y la sistematización del mantenimiento por riego y nutrientes (Perini y Rosasco, 2013; Manso y Castro, 2015; Cuce, 2017; Mohamed *et al.*, 2016).

Las cámaras de aire ventiladas como sistema constructivo aislante

El aire visto como aliento, oxígeno y fluido genera vida y calidad interior de los espacios. Stavridou (2015) plantea el concepto de arquitectura de la respiración como una estrategia de diseño que promueve la respiración saludable de los usuarios y la calidad espacial.

El estudio de los flujos de aire ha sido un punto de partida para el diseño de cámaras de aire en fachadas ventiladas (Vásquez y Prieto, 2013). El desarrollo de este tipo de tecnologías para cerramientos ha evolucionado desde su primera aparición a inicios del siglo XX. Además de delimitar los espacios, la fachada ventilada fue planteada inicialmente como una solución constructiva para el mejoramiento del confort térmico interior.

Actualmente se está retomando su aplicación como una estrategia para minimizar las problemáticas ambientales por la demanda energética de servicios de refrigeración, ventilación y calefacción (Rubiano, 2016). Se ha de tener en cuenta que la eficiencia del edificio está determinada por el tipo de ventilación natural (Schulze y Eicker, 2013; Chenari *et al.*, 2016).

Algunos autores estudian el efecto chimenea del sistema de cerramiento por fachada ventilada para responder correctamente a la evacuación del aire de la cámara por la cavidad superior de la doble piel, el cual es expuesto a un aumento de temperatura por la radiación solar. Gracias a la diferencia de densidades entre aire caliente interior y el aire frío exterior, es posible mantener en constante movimiento las

cargas y, por ende, la renovación del aire para una climatización óptima al interior del edificio (Barbosa y Ip, 2014; Rubiano, 2016; Bravo y Pérez, 2016).

La complejidad del cerramiento varía de acuerdo con el tipo de materiales, tecnologías avanzadas o la cantidad de capas por las que está compuesto. La cámara de aire puede estar delimitada por materiales convencionales o nuevos materiales gracias al reciclaje de residuos industriales, demoliciones, entre otros (Alba *et al.*, 2012). Sin embargo, la innovación de estas fachadas no depende exclusivamente de materiales alternativos, sino también de la creatividad del diseñador al aprovechar los productos existentes y de disponerlos estratégicamente para amortiguar las cargas térmicas, sin elevar los costos finales del sistema (Del Río, 2016).

De acuerdo con Bechthold *et al.* (2015) la materialidad cerámica es una buena alternativa para estos sistemas constructivos gracias a su resistencia al desgaste por exposición al sol, viento y lluvia y su versatilidad, variedad de formatos, acabados en la superficie y tonalidades, logrando configuraciones de sistemas ventilados con valores estéticos agregados.

El desarrollo de fachadas ventiladas contempla muchas opciones de diseño. La innovación de cada sistema se distingue de entre las otras por la forma en la que direcciona los flujos de aire y aprovecha los elementos del sistema para un mejor rendimiento. Las variaciones de las fachadas ventiladas son fachadas de doble piel (DSF), fachada de doble piel con persianas de vidrio rotativas, fachada verde de doble piel (DSGF), fachada ventilada de junta abierta (OJVF) y fachada ventilada de doble cámara.

Las fachadas de doble piel (DSF) son reconocidas como medida de ahorro energético para la regulación de temperaturas de los espacios interiores. Los beneficios ambientales por reducción de consumo de energía, aislamiento acústico, optimización de la ventilación, iluminación natural y la calidad estética se ven reducidas en temporadas invernales y zonas climáticas frías al ser un sistema compuesto por membranas translúcidas como el vidrio, lo cual implica un aumento en la demanda energética en días cálidos por sobrecalentamiento de la superficie que se da por radiación solar (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2016). Además, la capa de vidrio genera ruido y requiere una inversión muy alta por la complejidad de su instalación (Chenari *et al.*, 2016).

En este orden de ideas, es preciso conocer las especificaciones técnicas y requerimientos exigidos por las normas locales (Bikas *et al.*, 2017) y, a su vez, comprender los lineamientos para la configuración adecuada de las DSF, como: la profundidad y ancho de la cavidad, los dispositivos internos de sombreado, las propiedades físicas de la piel externa, elementos de la estructura, aberturas de la cavidad y la orientación para un mejor comportamiento energético (Barbosa y Ip, 2014; Pomponi *et al.*, 2016; Alberto *et al.*, 2017; Joe *et al.*, 2014; Flores *et al.*, 2015).

Asimismo, existen variaciones de la fachada de doble piel. La fachada ventilada de doble cámara es una adaptación de la DSF, la cual tiene como objetivo generar un recorrido más largo para retardar la transferencia de calor por convección. Se crea la doble cámara por medio de una membrana continua a lo largo de la cavidad de la DSF y se controlan los flujos de aire por medio de una válvula que permite la entrada de aire en temporada de verano y que se sella en invierno.

También existen DSF con dispositivos de sombreado en la cavidad, que funcionan como persianas fijas (Li *et al.*, 2017) o móviles de acuerdo con la condición climática. Otro caso es la fachada de doble piel con persianas de vidrio rotativas, una envolvente con potencial en sombreado e iluminación natural, ya que permiten el paso de luz solar al interior del edificio y, a su vez, la proyección de sombras en la fachada minimiza el impacto de la radiación solar.

Al igual que la fachada de doble piel con persianas de vidrio rotativas, la DSGF innova el sistema modificando la capa exterior y, en este caso, incorpora vegetación como estrategia térmica y energética, la cual reduce la temperatura del aire de la cavidad y la temperatura de las superficies al interior del edificio (Yang *et al.*, 2018). El sistema de la OJVF consiste en generar aberturas a lo largo de la cámara de aire para la renovación del aire de la cámara, de abajo (aire frío) hacia arriba (aire caliente). La evacuación constante del aire caliente que se genera en la fachada reduce la transferencia de calor hacia el interior del edificio (Sanjuan *et al.*, 2011; Suárez *et al.*, 2012; Ibañez *et al.*, 2017).

Las conclusiones de estas investigaciones están orientadas al desarrollo de mejoras de la eficiencia energética desde un sistema constructivo ventilado (Vásquez y Prieto, 2013; Barbosa y Ip, 2014; Terrados *et al.*, 2015; Del Río, 2016; Rubiano, 2016; Pomponi *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2016). Sin embargo, la simplificación del sistema de cámara de aire ventilada en un solo producto para la construcción es un campo de estudio con avances limitados.

Reflexiones finales

En definitiva, la literatura sobre las soluciones constructivas para el mejoramiento del rendimiento térmico y energético de fachadas arquitectónicas es muy amplia. Sin embargo, las investigaciones sobre desarrollo de producto con valor agregado son limitadas, por consiguiente, este capítulo da una conclusión de las necesidades que se deben considerar en un producto para mampostería en el proceso de diseño.

- » La geometría de los productos o sistemas constructivos determina el recorrido de la transferencia de calor.
- » Las propiedades de los materiales, especialmente la conductividad térmica, influye directamente en la concentración de energía.
- » Las juntas de mortero son potenciales puentes térmicos, por tanto, es necesario diseñar tratamientos que regulen o eliminen dichos puntos críticos.
- » La sombra es una estrategia pasiva para amortiguar la incidencia solar directa en fachadas.
- » La consideración de vegetación en muros de fachadas debe considerar aspectos como selección de la planta, sistema de riego, mantenimiento, estructura del sistema.

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 y altamente tecnificados.

La escasez de literatura sobre avances en el rendimiento térmico de productos para la construcción limita posibles nuevas investigaciones. Sin embargo, existen muchas herramientas digitales que permiten estimar valores a través de simulaciones. La investigación *El diseño de producto cerámico como estrategia de mitigación de transferencia de calor en envolventes arquitectónicas* analiza la transferencia de calor a través de la distribución de temperaturas y flujos de calor de productos para mampostería fabricados en arcilla cocida por medio de simulaciones ejecutadas en el *software ANSYS*.

El proyecto de investigación *Diseño de prototipos de productos cerámicos para mampostería con propiedades de aislamiento térmico y estético* fue el punto de partida para la metodología para la innovación del diseño de producto enfocado en la mitigación de la transferencia de calor.