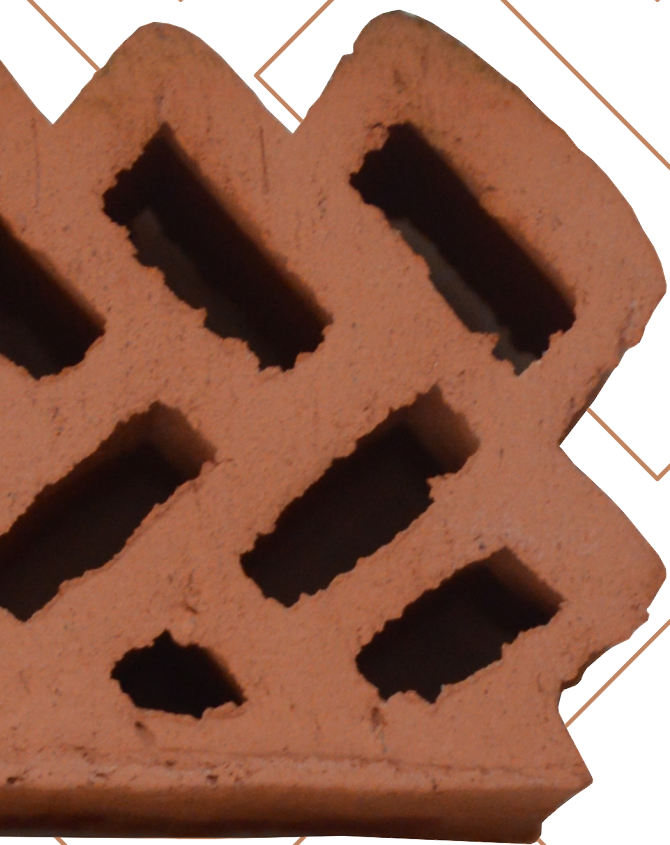


# EL DISEÑO DE PRODUCTO CERÁMICO

COMO ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN DE  
TRANSFERENCIA DE CALOR EN ENVOLVENTES  
ARQUITECTÓNICAS

Andrea P. Colmenares Uribe | Jorge Sánchez Molina

Carmen X. Díaz Fuentes | Jessica V. Sánchez Zúñiga



Universidad Francisco  
de Paula Santander

Vigilada Mineducación



## JORGE SÁNCHEZ MOLINA

Doctor en Avances en Ingeniería de los Materiales y Energías de la U. de Jaén-España, Magíster en Gerencia de Empresas de la U. Nacional Experimental del Táchira, Especialista en Gerencia de Empresas de la Corporación Universitaria de Santander, Especialista en Aseguramiento de la Calidad de la U. Francisco de Paula Santander, Ingeniero Químico de la U. Industrial de Santander y Tecnólogo en Laboratorio de Ingeniería de la U. Francisco de Paula Santander. Como miembro de la Universidad Francisco de Paula Santander se ha desempeñado en los cargos de: Rector, Vicerrector Administrativo, Vicerrector Asistente de Investigación y Extensión, Decano (E) de la Facultad de Ciencias Básicas, Director de Ingeniería de Producción Industrial, Director de departamento (E) de procesos industriales, Director (E) Plan de estudios Especialización en Aseguramiento de Calidad y Jefe (E) de Biblioteca. Director General del Centro de Investigación en Materiales Cerámicos – CIMAC, Director del Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica – GITEC, y Docente Titular.

Se destaca su trayectoria en el campo de la investigación científica, como investigador principal de proyectos de cofinanciación por Colciencias, autor y coautor de más de 80 artículos científicos publicados en revistas indexadas y más de 15 libros resultados de investigación, ha presentado más de 65 ponencias en eventos científicos nacionales e internacionales, tutor de jóvenes investigadores e innovadores, director de más de 60 proyectos de grado en los que se incluyen trabajos de investigación a nivel de doctorado, maestría y pregrado e inventor de 8 productos tecnológicos con patentes de innovación y 4 productos radicados ante la Superintendencia de industria y Comercio para solicitud de patente de invención.



## ANDREA PAOLA COLMENARES URIBE

Arquitecta, U. Francisco de Paula Santander, Colombia. Master en ahorro Energético y Sostenibilidad en la Educación, U. Politécnica de Catalunya, España. Especialista en Práctica Pedagógica, U. Francisco de Paula Santander. Se ha desempeñado como joven investigadora de Minciencias, Arquitecta Junior en el área metropolitana de Cúcuta e investigadora del Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica GITEC y el Grupo de Investigación en Arquitectura en Materiales Alternativos GRAMA. Sus trabajos están enfocados en las líneas de investigación sobre diseño y desarrollo de producto cerámico, mitigación de la transferencia de calor en mampostería y sostenibilidad en la arquitectura, los cuales han derivado en artículos de investigación, presentación de ponencias en Colombia, Mexico, Rusia y Australia, 2 patentes de invención, reconocimientos institucionales por la Gobernación de Norte de Santander y la Universidad Francisco de Paula Santander. Asimismo, ha sido beneficiada con una beca de estudio otorgada por la Organización de Estados Americanos OEA y la Beca para Investigadores emergentes en el XVII Congreso Internacional sobre Principios y Prácticas del Diseño en Lisboa, Portugal.







**EL DISEÑO DE  
PRODUCTO CERÁMICO**  
COMO ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN  
DE TRANSFERENCIA DE CALOR  
EN ENVOLVENTES ARQUITECTÓNICAS

ANDREA P. COLMENARES URIBE  
JORGE SÁNCHEZ MOLINA  
CARMEN X. DÍAZ FUENTES  
JESSICA V. SÁNCHEZ ZÚÑIGA

Colmenares Uribe, Andrea Paola, autor

Diseño de producto cerámico como estrategia de mitigación de transferencia de calor en envolventes arquitectónicas / Andrea P. Colmenares Uribe [y otros tres] -- Primera edición -- San José de Cúcuta : Universidad Francisco de Paula Santander ; Bogotá : Ecoe Ediciones, 2023.  
133 páginas. -- (Ingeniería y afines. Ingeniería de los materiales y construcción)

Incluye datos curriculares de los autores -- Incluye referencias bibliográficas -- Texto en español con resumen en inglés.

ISBN 978-958-503-603-1 -- 978-958-503-604-8 (e-book)

1. Materiales cerámicos - Diseño y construcción - Investigaciones 2. Ladrillos - Diseño y construcción 3. Medios de termotransferencia 4. Materiales de construcción 5. Mampostería - Cúcuta I. Sánchez Molina, Jorge, autor II. Díaz Fuentes, Carmen Xiomara, autor III. Sánchez Zúñiga, Jessica Viviana, autor

CDD: 691.4 ed. 23

CO-BoBN- a1107217

---



**Área:** Ingeniería y afines

**Subárea:** Ingeniería de los materiales y construcción



**Universidad Francisco  
de Paula Santander**  
Vigilada Mineducación

© Andrea P. Colmenares Uribe

© Jorge Sánchez Molina

© Carmen X. Díaz Fuentes

© Jessica V. Sánchez Zúñiga

© Universidad Francisco  
de Paula Santander  
Avenida Gran Colombia  
No. 12E-96, Barrio Colsag  
San José de Cúcuta - Colombia  
Teléfono: 607 577 6655

► Ecoe Ediciones S.A.S.  
info@ecoeediciones.com  
www.ecoeediciones.com  
Carrera 19 # 63 C 32 - Tel.: 919 80 02  
Bogotá, Colombia

**Primera edición:** Bogotá, enero del 2023

**ISBN:** 978-958-503-603-1

**e-ISBN:** 978-958-503-604-8

Directora editorial: Claudia Garay Castro  
Coordinadora editorial: Paula Bermúdez B.  
Corrección de estilo: Paula Rueda  
Diagramación: Andrea Paola Colmenares  
Uribe - Natalia Herrera  
Carátula: Andrea Paola Colmenares Uribe  
Impresión: Xpress Estudio Gráfico y digital  
Carrera 69 H # 77 - 40

*Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.*

*Impreso y hecho en Colombia - Todos los derechos reservados*

## DEDICATORIA

A todos los apasionados que encuentran en la arquitectura reflexiones sobre el impacto de nuestro habitar.

A mis papás y mi familia por apoyarme incansablemente en mis proyectos.

**Andrea Paola Colmenares Uribe**

A mi hija, la arquitecta Jessica, por ser mi motor y enseñarme a sentir pasión por la arquitectura, el desarrollo y aplicación de productos cerámicos.

**Jorge Sánchez Molina**

A mi familia, mi esposo e hija, porque me impulsan a elegir el camino del corazón para ponerle el alma a mi trabajo como arquitecta y docente. A mis estudiantes y egresados por contribuir al futuro de la arquitectura sostenible.

**Carmen Xiomara Díaz Fuentes**

A mi padre Jorge Sánchez Molina por ser mi héroe, a quien le tengo gran admiración. Gracias por ser inspiración y ejemplo en mi vida.

**Jessica Viviana Sánchez Zúñiga**





## AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Jóvenes Investigadores del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno de Colombia por los recursos para desarrollar los proyectos que dieron fuerza a la línea de investigación de diseño y desarrollo de productos para la construcción.

A la Universidad Francisco de Paula Santander, especialmente al Centro de Investigación en Materiales Cerámicos (CIMAC), por brindar la infraestructura adecuada y el acompañamiento del personal calificado durante la ejecución de las investigaciones presentadas en este libro.

Agradecer especialmente al Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica (GITEC) por promover, liderar, orientar y apoyar el desarrollo y la gestión de recursos para los proyectos e investigaciones derivadas de Jóvenes Investigadores y, finalmente, al Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos (GRAMA), por apoyar las investigaciones desde el componente arquitectónico.



# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE DE LAS PRINCIPALES UNIDADES CONSTRUCTIVAS DE ARCILLA COCIDA PRODUCIDAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA</b> .....	7
El clúster de la cerámica en Norte de Santander .....	7
Iniciativas de transformación del sector hacia la innovación y el desarrollo tecnológico.....	9
Unidades constructivas en arcilla cocida para mampostería.....	10
<b>CAPÍTULO 2. EL AISLAMIENTO TÉRMICO COMO VALOR AGREGADO DE UNIDADES CONSTRUCTIVAS PARA MAMPOSTERÍA</b> .....	15
El aislamiento térmico y los mecanismos de transferencia de calor.....	15
La envolvente arquitectónica y su impacto en el consumo energético.....	17
El diseño de producto como valor agregado.....	19
Las barreras verdes como estrategia de mitigación de la transferencia de calor .....	21
Las cámaras de aire ventiladas como sistema constructivo aislante .....	22
Reflexiones finales .....	24

<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA PARA LA INNOVACIÓN DEL DISEÑO DE PRODUCTO ENFOCADO EN LA MITIGACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR</b> .....	27
Datos suministrados.....	27
Datos calculados.....	28
Procedimiento.....	30
<b>CAPÍTULO 4. CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA MITIGACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR. CASO DE ESTUDIO: UNIDADES CONSTRUCTIVAS PARA MAMPOSTERÍA</b> .....	35
Planteamiento de criterios.....	36
Geometrías disipadoras.....	45
Tratamiento de juntas de mortero.....	52
Cámara de aire ventilada.....	60
<b>CAPÍTULO 5. DESARROLLO DE PRODUCTO A ESCALA DE LABORATORIO COMO ESTRATEGIA DE INNOVACIÓN INDUSTRIAL</b> .....	79
Impresión en 3 Dimensiones (3D).....	80
Fabricación a escala de laboratorio.....	82
Caracterización de producto terminado.....	86
<b>CAPÍTULO 6. CASOS DE ESTUDIO: FASE DE DISEÑO</b> .....	91
Ladrillos caravista con Geometrias disipadoras.....	92
Ladrillos ventilados.....	97
ECO Diseño Curvo.....	103
<b>CAPÍTULO 6. CASOS DE ESTUDIO: FASE DE DESARROLLO A ESCALA DE LABORATORIO</b> .....	107
LAdrillo ventilado CAV-4 en arcilla y cisco de cafe.....	108
Patente de invención “Ladrillo para aislamiento térmico que comprende canales pasantes y un tabique frontal” en arcilla y cisco de café.....	116
Macho-hembra en arcilla y chamota.....	120
<b>REFERENCIAS</b> .....	125



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Tamaño de las empresas, volumen de ventas y clientes del sector cerámico en Norte de Santander. Tamaño de las empresas .....	8
Figura 2.	Diseños de los bloques tradicionales para mampostería .....	11
Figura 3.	Diseños de celosías y calado .....	12
Figura 4.	Diseños de los bloques para fachadas.....	12
Figura 5.	Diseños de ladrillos con perforaciones verticales .....	12
Figura 6.	Centro de Innovación de la Universidad Católica en Chile, Alejandro Aravena .....	18
Figura 7.	Configuraciones del bloque termodisipador.....	19
Figura 8.	Paneles verdes en edificio Gherkin en Londres, Norman Foster .....	21
Figura 9.	Esquema del procedimiento de la simulación.....	30
Figura 10.	Modelo 3D en CAD .....	30
Figura 11.	LM en Design Modeller.....	31
Figura 12.	Asignación de materiales de la unidad constructiva y la junta de mortero según corresponda.....	32
Figura 13.	Condiciones de cargas por convección y radiación aplicadas en las superficies del modelo .....	32
Figura 14.	Distribución de temperaturas (a) y flujos de calor (b) de LM en M Aa....	33
Figura 15.	Productos tradicionales en Norte de Santander.....	36
Figura 16.	Dibujo técnico del ladrillo multiperforado.....	38
Figura 17.	Modelo 3D de muro de mampostería tradicional - ladrillo multiperforado.....	39
Figura 18.	Distribución de temperaturas - ladrillo multiperforado.....	40

Figura 19.	Ladrillo multiperforado.....	40
Figura 20.	Dibujo técnico del bloque H10.....	41
Figura 21.	Modelo 3D de muro de mampostería tradicional - Bloque H10.....	42
Figura 22.	Distribución de temperaturas del bloque H10.....	43
Figura 23.	Flujos de calor del bloque H10.....	44
Figura 24.	Concepto de geometrías disipadoras en ladrillo.....	45
Figura 25.	Sección transversal - geometrías disipadoras en ladrillo multiperforado.....	45
Figura 26.	Concepto de geometrías disipadoras en bloque H10.....	46
Figura 27.	Diseño de geometrías disipadoras en bloque H10.....	47
Figura 28.	Distribución de temperaturas de ladrillo multiperforado con geometrías disipadoras: (a) sección, (b) alzado.....	47
Figura 29.	Distribución de temperaturas de bloque H10 con geometrías disipadoras (4 entradas): (a) sección, (b) perspectiva.....	48
Figura 30.	Distribución de temperaturas de bloque H10 con geometrías disipadoras (5 entradas): (a) sección, (b) perspectiva.....	49
Figura 31.	Flujos de calor de ladrillo multiperforado con geometrías disipadoras: (a) sección, (b) alzado.....	50
Figura 32.	Flujos de calor de bloque H10 con geometrías disipadoras (5 entradas): (a) sección, (b) perspectiva.....	51
Figura 33.	Flujos de calor de bloque H10 con geometrías.....	51
Figura 34.	Tratamiento de junta de mortero por aislamiento.....	52
Figura 35.	Diseño de tratamiento de junta de mortero por aislamiento en bloque H10 y ladrillo multiperforado.....	53
Figura 36.	Tratamiento de junta de mortero por eliminación.....	54
Figura 37.	Diseño de tratamiento de junta de mortero por eliminación en bloque H10 y ladrillo multiperforado.....	54
Figura 38.	Distribución de temperaturas de ladrillo multiperforado con aislamiento de junta de mortero: (a) sección, (b) alzado.....	55
Figura 39.	Distribución de temperaturas de ladrillo multiperforado con eliminación de junta de mortero: (a) sección, (b) alzado.....	56
Figura 40.	Distribución de temperaturas de bloque H10 con aislamiento de junta de mortero: (a) sección, (b) perspectiva.....	56
Figura 41.	Distribución de temperaturas de bloque H10 con eliminación de junta de mortero: (a) sección, (b) perspectiva.....	57
Figura 42.	Flujos de calor de ladrillo multiperforado con aislamiento de junta de mortero: (a) sección, (b) alzado.....	57
Figura 43.	Flujos de calor de ladrillo multiperforado con eliminación de junta de mortero: (a) sección, (b) alzado.....	58
Figura 44.	Flujos de calor de bloque H10 con aislamiento de junta de mortero: (a) sección, (b) perspectiva.....	59
Figura 45.	Flujos de calor de bloque H10 con eliminación de junta de mortero: (a) sección, (b) perspectiva.....	59
Figura 46.	Concepto de cámaras de aire ventilada vertical.....	60
Figura 47.	Diseño de cámaras de aire ventilada vertical.....	61
Figura 48.	Concepto de cámaras de aire ventilada horizontal.....	61
Figura 49.	Diseño de cámaras de aire ventilada horizontal.....	62

Figura 50. Distribución de temperaturas la implementación de la cámara de aire ventilada vertical del ladrillo multiperforado: (a) perspectiva, (b) sección .....	63
Figura 51. Distribución de temperaturas la implementación de la cámara de aire ventilada horizontal del bloque H10: (a) perspectiva, (b) sección .....	63
Figura 52. lujos de calor de la implementación de la cámara de aire ventilada vertical del ladrillo multiperforado: (a) perspectiva, (b) sección .....	65
Figura 53. Flujos de calor de la implementación de la cámara de aire ventilada horizontal del Bloque H10: (a) perspectiva, (b) sección .....	65
Figura 54. Visita de campo de cultivo de arroz en Norte de Santander (Coagronorte).....	66
Figura 55. Distribución de temperaturas de ladrillo multiperforado con aditivo de cisco de café (a) y cascarilla de arroz (b).....	69
Figura 56. Distribución de temperaturas de bloque H10 con aditivo de cisco de café (a) y cascarilla de arroz (b).....	69
Figura 57. Flujos de calor de ladrillo multiperforado con aditivo de cisco de café (a) y cascarilla de arroz (b).....	70
Figura 58. Flujos de calor de bloque H10 con aditivo de cisco de café (a) y cascarilla de arroz (b).....	71
Figura 59. Concepto de superficies autosombreadas a partir de la generación de aleros.....	72
Figura 60. Diseño de superficies autosombreadas en ladrillo multiperforado.....	73
Figura 61. Diseño de superficies autosombreadas en bloque H10.....	74
Figura 62. Variables de diseño de superficies exteriores.....	74
Figura 63. Distribución de temperaturas de superficies auto sombreadas en el ladrillo multiperforado: (a) perspectiva, (b) sección.....	75
Figura 64. Distribución de temperaturas de superficies auto sombreadas en el bloque H10: (a) perspectiva, (b) sección .....	76
Figura 65. Flujos de calor de superficies auto sombreadas en el ladrillo multiperforado: (a) perspectiva, (b) sección .....	77
Figura 66. Flujos de calor de superficies auto sombreadas en el ladrillo multiperforado: (a) perspectiva, (b) sección .....	77
Figura 67. Impresión 3D de ladrillos a escala 1:5 en impresora .....	80
Figura 68. Prototipos iniciales con defectos (a) y prototipos finales (b) .....	80
Figura 69. Prototipos de ladrillos en impresión 3D a pequeña escala .....	81
Figura 70. Procedimiento de fabricación a escala de laboratorio.....	82
Figura 71. Corrección y perfeccionamiento de boquillas para adaptar en extrusora de laboratorio del CIMAC .....	83
Figura 72. Preparación de materias primas.....	83
Figura 73. Identificación de desprendimientos y deformaciones en pruebas de extrusión.....	84
Figura 74. Condición húmeda (a), seca (b) y cocida (c) de las muestras .....	85
Figura 75. Prototipos fabricados en arcilla cocida por extrusión a escala de laboratorio.....	86
Figura 76. Muestras eflorecidas y absorción de agua.....	88

Figura 77. Dimensiones .....	89
Figura 78. Ladrillo caravista GD-1 .....	92
Figura 79. Ladrillo caravista GD-2 .....	92
Figura 80. Ladrillo caravista GD-3 .....	92
Figura 81. Secciones y vistas de Ladrillos caravista GD .....	93
Figura 82. Distribución de temperaturas GD-1 .....	95
Figura 83. Distribución de temperaturas GD-2 .....	95
Figura 84. Distribución de temperaturas GD-3 .....	95
Figura 85. Flujos de calor GD-1 .....	96
Figura 86. Flujos de calor GD-2 .....	96
Figura 87. Flujos de calor GD-3 .....	96
Figura 88. Ladrillo ventilado CAV-1 .....	97
Figura 89. Ladrillo ventilado CAV-2 .....	97
Figura 90. Ladrillo ventilado CAV-3 .....	97
Figura 91. Secciones y vistas Ladrillos ventilados CAV .....	98
Figura 92. Distribución de temperaturas CAV-1 .....	101
Figura 93. Ladrillo ventilado CAV-2 .....	101
Figura 94. Distribución de temperaturas CAV-3 .....	101
Figura 95. Flujos de calor CAV-1 .....	102
Figura 96. Flujos de calor CAV-2 .....	102
Figura 97. Flujos de calor CAV-3 .....	102
Figura 98. Ecodiseño curvo .....	103
Figura 99. Distribución de temperaturas de Eco D Curvo en arcilla .....	104
Figura 100. Distribución de temperaturas de Eco D Curvo en arcilla y cisco de café .....	104
Figura 101. Flujos de calor de Eco D Curvo en arcilla y arcilla con cisco de café .....	105
Figura 102. Ladrillo ventilado CAV-4 .....	108
Figura 103. Sección transversal .....	108
Figura 104. Distribución de temperaturas de CAV-4 .....	109
Figura 105. Flujos de calor de CAV-4 .....	110
Figura 106. Ladrillo ventilado CAV-4 en arcilla cocida .....	110
Figura 107. Ecodiseño .....	111
Figura 108. Distribución de temperaturas y flujos de calor de ECO D .....	113
Figura 109. Ecodiseño en arcilla cocida .....	114
Figura 110. Flujos de calor de ECO D en arcilla cocida y diferentes concentraciones de cisco de café .....	115
Figura 111. Ladrillo ventilado CAV-5 .....	117
Figura 112. Distribución de temperaturas y flujos de calor de CAV-5 .....	118
Figura 113. Patente de invención “Ladrillo para aislamiento térmico que comprende canales pasantes y un tabique frontal” en arcilla cocida .....	119
Figura 114. Bloque macho-hembra .....	120
Figura 115. Distribución de temperaturas y flujos de calor del Bloque Macho-Hembra .....	122
Figura 116. Bloque Macho-hembra en arcilla cocida .....	123

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Empresas asociadas a Induarcilla.....	10
Tabla 2.	Conductividad de los materiales suministrados para simulación .....	28
Tabla 3.	Datos climáticos de Cúcuta, Norte de Santander (IDEAM) .....	28
Tabla 4.	Coefficiente de transferencia de calor por convección en las superficies de las unidades constructivas.....	30
Tabla 5.	Matriz para la definición de criterios de diseño a partir de necesidades .....	37
Tabla 6.	Ventajas del uso de residuos agroindustriales en productos para la construcción.....	67
Tabla 7.	Caracterización técnica de CAV-4 .....	110
Tabla 8.	Caracterización técnica de Ecodiseño.....	114
Tabla 9.	Temperaturas de superficies exteriores en diferentes mezclas con arcilla y aditivos de cisco de café.....	115
Tabla 10.	Caracterización técnica de CAV-5 .....	119
Tabla 11.	Caracterización técnica de Bloque Macho-hembra.....	123





## RESUMEN

El libro *El diseño de producto cerámico como estrategia de mitigación de transferencia de calor en envolventes arquitectónicas* es una investigación para diseñadores, arquitectos, constructores y empresarios del sector de la industria y la cerámica de Norte de Santander y Colombia.

Se divide en 5 capítulos, dedicados al estado del arte de los principales productos fabricados en arcilla cocida en el Área Metropolitana de Cúcuta, a la comprensión sobre el aislamiento térmico como valor agregado de unidades constructivas para mampostería, a la definición de una metodología de diseño para análisis de transferencia de calor desde la distribución de temperaturas y los flujos de calor, a el planteamiento de criterios de diseño para unidades constructivas de mampostería con beneficios térmicos, al desarrollo de producto a escala de laboratorio para identificar la viabilidad industrial y, finalmente, a la exposición de casos de estudio en fase de diseño y prototipado.

La investigación concluye que el diseño cumple un rol fundamental en la eficiencia energética de la arquitectura y, por tanto, es necesario crear alianzas interdisciplinarias para avanzar en la innovación de procesos de diseño de producto que tengan posibilidades reales de aplicación industrial, y lo más importante: que ofrezcan valores agregados sustentables.

## ABSTRACT

*El diseño de producto cerámico como estrategia de mitigación de transferencia de calor en envolventes arquitectónicas* is a research for designers, architects, builders and businessmen in the industry and ceramics sector of Norte de Santander and Colombia.

It is divided into 5 chapters, dedicated to the state-of-the-art of the main products made of fired clay in the Metropolitan Area of Cúcuta, comprehension of thermal insulation as an added value of construction units for masonry, definition of a design methodology for heat transfer analysis from temperature distribution and heat fluxes, approach of design criteria for construction units of masonry with thermal benefits, product development on a laboratory scale to identify industrial viability and finally, the presentation of case studies in the design and prototyping phase.

The research concludes that design accomplish a fundamental role in the energy efficiency of architecture and therefore. It is necessary to create interdisciplinary alliances to advance in the innovation of product design processes with real possibilities of industrial application and most importantly, that offer sustainable added values.

# INTRODUCCIÓN

La arquitectura y el clima deben comprenderse en conjunto, desde factores propios de cada entorno como la temperatura, humedad relativa, movimiento y composición del aire (climáticos), nivel y contraste de la iluminancia, efecto sombra, color del ambiente versus rendimiento y temperatura del color de luz (visuales) y nivel sonoro, tono, timbre, direccionalidad y reverberación (Serra, 1999).

La interpretación adecuada de estos factores traduce espacios habitables en las diferentes estaciones climáticas a lo largo del año. García (1976) y Serra (1999) no solo solucionaban aspectos de confort espacial desde estrategias de diseño y comprensión de procesos de transferencia de calor, sino desde sus reflexiones para el mundo contemporáneo y sus formas de habitar foráneas. La reiteración de este tema es un punto decisivo para corregir el consumo de energía de las edificaciones y, de esta manera, minimizar el impacto ambiental que hay sobre el planeta.

A pesar de que esta temática lleva muchas décadas siendo objeto de estudio, la preocupación continúa latente. Después de una reconocida carrera de arquitectura social, Aravena (2014) analiza que la materialidad no es el único camino hacia la sostenibilidad, sino la fusión de fuerzas de la comunidad, el sentido común y la naturaleza definen las formas de cada espacio desde una visión consciente del impacto ambiental que cada uno de ellos demanda.

Así como Aravena (2014), diferentes autores mencionan la importancia de apoyarse en estrategias y políticas para el diseño de edificios saludables con el propósito

de impactar positivamente el ambiente y la salud de los usuarios. Las principales alternativas a favor de la reducción del consumo energético son los dispositivos de sombreado, doble acristalamiento en fachadas, ventilación natural, cubiertas verdes, aislamiento, refrigeración por evaporación, enfriamiento radiante indirecto y revestimientos de color claro, así como el uso de materiales sostenibles y durables, iluminación natural, proporción de los espacios, jardín ecológico, planificación en el montaje de la obra, inclinación del techo, entre otros (Vissilia, 2009; Shao, 2013; Taleb, 2014; Mohtashami *et al.*, 2016; Roslan *et al.*, 2016).

Desafortunadamente, el desarrollo de productos para mampostería comprometidos con la mitigación de la transferencia de calor no es considerado como prioridad en el sector, en consecuencia, los objetivos del Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica (GITEC) y el Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos (GRAMA) se alinearon para crear una estrategia de innovación en el diseño de unidades constructivas con valor agregado relacionados al confort térmico a través del programa de Jóvenes Investigadores del Ministerio de Educación con los proyectos "Diseño de prototipos de productos cerámicos para mampostería con propiedades de aislamiento térmico y estético" y "Desarrollo de un producto cerámico para la construcción bajo principios de bioclimática y arquitectura sostenible".

De esta manera, nace el libro *El diseño de producto cerámico como estrategia de mitigación de transferencia de calor en envolventes arquitectónicas* como una investigación para diseñadores, arquitectos, constructores y empresarios del sector de la industria y la cerámica de Norte de Santander y Colombia.

El punto de partida de la investigación es la identificación de las empresas dedicadas a la producción de unidades constructivas para mampostería en arcilla cocida del Área Metropolitana de Cúcuta, a través del clúster de la cerámica. Como resultado de este primer paso surge el estado del arte de los principales productos fabricados en arcilla cocida en el área.

En segundo lugar, la investigación aborda una revisión de literatura sobre el aislamiento térmico como valor agregado de unidades constructivas para mampostería. Sin embargo, como las investigaciones en este tema son limitadas, la búsqueda de información orientó el enfoque hacia las diferentes modalidades de aislamiento térmico en las envolventes arquitectónicas.

De esta manera, surgen diferentes categorías como conceptos básicos de transferencia de calor en la arquitectura, la forma de la envolvente y los beneficios del aislamiento según su modalidad: diseño de producto, barreras verdes y cámaras de aire ventilada.

La revisión de literatura sobre el aislamiento térmico no solo consolidó una discusión sobre las múltiples estrategias de aislamiento en envolventes arquitectónicas, sino



que también concluyó en los criterios de diseño de productos para mampostería para la mitigación de la transferencia de calor.

Sin embargo, antes de continuar con la conceptualización de cada criterio, la investigación describe la metodología implementada para la innovación del diseño de producto a través de simulaciones de transferencia de calor; por consiguiente, el tercer capítulo detalla el paso a paso para la evaluación del rendimiento térmico de los diseños sometidos a simulación para obtener la distribución de temperaturas y los flujos de calor.

Retomando el tema estructurante de la investigación que ha orientado todos los resultados obtenidos en los últimos cinco años, el cuarto capítulo describe los criterios para tener en cuenta en todo proceso de diseño de producto que tenga como objetivo la mitigación de la transferencia de calor. Los criterios sustentados con análisis de transferencia de calor son: geometrías disipadoras, tratamiento de juntas de mortero, identificación de las propiedades térmicas del material, implementación de cámaras de aire ventiladas y superficies auto sombreadas.

En quinto lugar, la investigación trasciende a la materialización de los productos a través de procesos de fabricación en arcilla cocida a escala de laboratorio en el Centro de Investigación de Materiales Cerámicos (CIMAC). El capítulo sobre el desarrollo de producto a escala de laboratorio describe la metodología para abordar procesos de fabricación, con el fin de promover la exploración de nuevas tipologías de unidades constructivas y garantizar el éxito de futuros procesos industriales.

Como resultado de los procesos mencionados sobre el diseño y desarrollo de nuevos productos para mampostería, los siguientes capítulos recopilan los casos de estudio de las nuevas soluciones constructivas basadas en los criterios de diseño para la mitigación de la transferencia de calor. El capítulo sexto reúne las unidades constructivas en fase de diseño con el análisis de distribución de temperaturas y flujos de calor. Por otra parte, el capítulo séptimo describe los casos de estudio llevados a fase de desarrollo de producto a escala de laboratorio.

Finalmente, la investigación concluye con la importancia del diseño en la eficiencia energética de la arquitectura y la necesidad de crear alianzas interdisciplinarias para avanzar en la innovación de procesos de diseño de producto que tengan posibilidades reales de aplicación industrial, y lo más importante, que ofrezcan valores agregados sustentables.

... el clúster se ha consolidado con el objetivo de integrar el sector arcillero para **optimizar la competitividad** a través de retos como globalización del mercado, innovación en procesos, calidad de productos y servicios...

## CAPÍTULO 1

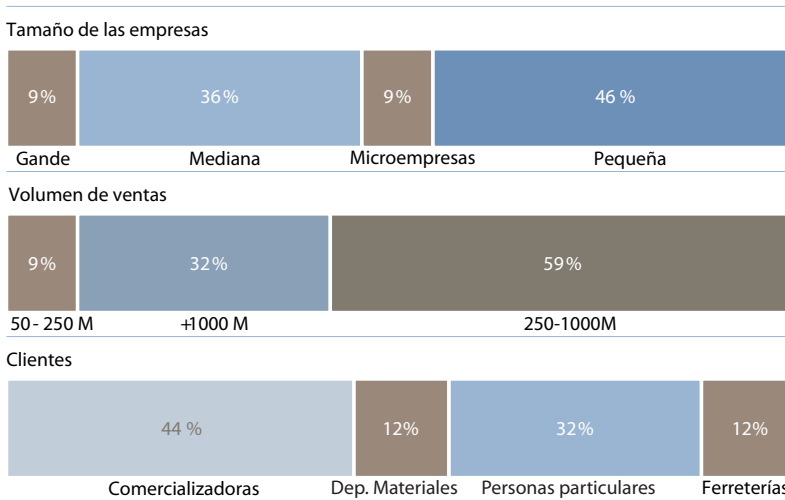
# ESTADO DEL ARTE DE LAS PRINCIPALES UNIDADES CONSTRUCTIVAS DE ARCILLA COCIDA PRODUCIDAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA

### **El clúster de la cerámica en Norte de Santander**

El Área Metropolitana de Cúcuta está conformada por los municipios de Cúcuta, Villa del Rosario, Los Patios, El Zulia, San Cayetano y Puerto Santander, ubicados en el departamento de Norte de Santander, Colombia (AMC, 2022). El clúster de la cerámica de Norte de Santander es una estrategia colectiva de empresas productoras y comercializadoras de unidades constructivas derivadas de la arcilla (Cámara de Comercio de Cúcuta, 2012; Sánchez-Molina y Ramírez-Delgado, 2013).

La conformación de este colectivo surge por la presencia de empresas dedicadas a la fabricación de productos en arcilla cocida en la región, la cual, su ubicación geográfica provee materia prima de buena calidad (Cámara de Comercio de Cúcuta, 2012; Sánchez-Molina y Ramírez-Delgado, 2013). Partiendo de esta premisa, el clúster se ha consolidado con el objetivo de integrar el sector arcillero para optimizar la competitividad a través de retos como globalización del mercado, innovación en procesos, calidad de productos y servicios, entre otros (Sánchez-Molina y Ramírez-Delgado, 2013).

**Figura 1. Tamaño de las empresas, volumen de ventas y clientes del sector cerámico en Norte de Santander. Tamaño de las empresas**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con Sánchez-Molina *et al.* (2019), las tipologías de empresas del sector cerámico del Área Metropolitana de Cúcuta son chircales artesanales, chircales mecanizados, ladrilleras pequeñas, ladrilleras medianas y ladrilleras grandes. El tamaño de las empresas que conforman el sector cerámico en Norte de Santander son 46 % pequeña, 36 % mediana, 9 % grande y 9 % microempresa. Esta clasificación tiene en cuenta los requisitos de la Ley 590/2000 (Sánchez-Molina *et al.*, 2019).

La magnitud del sector se refleja en el volumen de las ventas mensuales. Según Sánchez-Molina *et al.* (2019), el 59 % de las empresas facturan alrededor de 250 y 1.000 millones de pesos, el 32 % más de 1.000 millones y tan solo el 9 % factura entre 50 y 250 millones. Entre los principales clientes del sector cerámico son comercializadoras (44 %), personas particulares (32 %), ferreterías (12 %) y depósitos de materiales (12 %) (Sánchez-Molina *et al.*, 2019).

A pesar de ser un mercado amplio con múltiples posibilidades, la competencia se rige por los intereses personales de cada empresa y dejan a un lado los objetivos iniciales del clúster como asociación para regular precios, estándares de calidad de productos y estrategias de cooperación, sin olvidar mencionar que la competencia no solo es interna con productos de arcilla, sino con productos sustitutos para la construcción fabricados en concreto y otros materiales (Sánchez-Molina *et al.*, 2019, p. 63).

## Iniciativas de transformación del sector hacia la innovación y el desarrollo tecnológico

En el 2013, surge la estrategia de arcillas competitivas liderada por la Cámara de comercio de Cúcuta, entidad que le apostó no solo a la consolidación del clúster de la cerámica, sino a la transformación de la cadena de valor, desde la identificación de las realidades hasta el planteamiento de ideales. De acuerdo con Cámara de Comercio de Cúcuta (2012), las principales problemáticas son la baja inversión en I + D de productos tradicionales, bajo control de calidad por la falta de industrialización, bajo interés por nuevas soluciones constructivas, falta de apoyo de entidades gubernamentales y la más desafortunada de todas: la falta de aprovechamiento de recursos humanos y tecnológicos del Centro de Investigación en Materiales Cerámicos (CIMAC).

En este orden de ideas, Arcillas Competitivas propone el desarrollo de productos con valor agregado enfocado a las necesidades del cliente, alto control de calidad, certificación de productos, equipos de trabajo interdisciplinarios para nuevas investigaciones sobre la aplicación y uso de la cerámica (Sánchez-Molina *et al.*, 2019).

Asimismo, el Plan estratégico departamental de ciencia, tecnología e innovación (PEDCTI 2014-2024) también le apostó a la conversión de Norte de Santander en una región de desarrollo tecnológico e innovación a través de la definición de competencias distintivas por alcanzar en el sector, las cuales están enfocadas, principalmente, en generar valor agregado al producto a través de la personalización del diseño, mitigar problemas ambientales y reducir residuos durante la cadena de valor (Sánchez-Molina *et al.*, 2019).

Por lo tanto, es imposible abordar estas discusiones sin mencionar la importancia de la academia en estas mesas de trabajo. Gracias a la alianza entre el Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica (GITEC) y el Grupo de Arquitectura y Materiales Alternativos (GRAMA) con el apoyo del CIMAC, surge la cátedra de la aplicación de la cerámica en la arquitectura implementada en el programa de Arquitectura de la Universidad Francisco de Paula Santander. Esta iniciativa está alineada con las premisas anteriores, con el fin de promover la identidad de la región y estimular prácticas profesionales innovadoras desde espacios de aprendizaje (Sánchez-Molina *et al.*, 2020).

Sin embargo, las falencias de la industria cerámica con relación a la infraestructura tecnológica limitan procesos de estandarización de producto que garanticen niveles de calidad competitivos en mercados nacionales e internacionales (Sánchez-Molina *et al.*, 2019, p. 10).

## Unidades constructivas en arcilla cocida para mampostería

El estado del arte de las principales unidades constructivas de arcilla cocida producidas en el Área Metropolitana de Cúcuta es una revisión de la oferta de productos para mampostería de la industria cerámica de Norte de Santander. La recopilación de información registra las tipologías formales de los ladrillos, bloques y calados.

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 4205, los productos para mampostería se clasifican según la orientación de sus perforaciones: horizontal, vertical o macizo.

Sin embargo, Induarcilla (2020) amplía la categorización según su aplicación constructiva: mampostería, placas, fachadas, celosías y estructurales.

El producto más fabricado en Norte de Santander es el bloque (77,3%), en segundo lugar, se ubica el ladrillo perforado (34,8% - 54,5%), seguido por la tableta vitrificada y colonial (27,3% - 45,5%), tejas plana y española (27,3% - 40,9%), enchapes y cenefas (22,7% - 31,8%) y rosetones y decorados (13,6%) (Sánchez-Molina *et al.*, 2019).

Tabla 1. Empresas asociadas a Induarcilla

No.	Empresa	No.	Empresa
1	Ladrillera Casablanca	13	Arcillas Castilla
2	Ladrillera Sigma Ltda.	14	Ci Gressol
3	Tejar Margres S.A.	15	Arcillas San Simón
4	Arcillas del Rosario	16	Sumart Diseño
5	Ladrillera Arcigres Ltda	17	Colcucuta Gres
6	Cerámica Italia	18	MSN Inversiones Ltda.
7	Tejar Santa María Ltda.	19	Rústicos y Gres
8	Tejar Arcillas Zuligres	20	Ladrillera Merkgres
9	Cerámica La Española	21	Tejar Tasajero
10	Arcillas Productiva e Industriales	22	Arcilobillos
11	Cerámicas Américas	23	Arcillas de Colombia
12	Ladrillera Las Marías	24	Cerámica Murano

Fuente: elaboración propia.

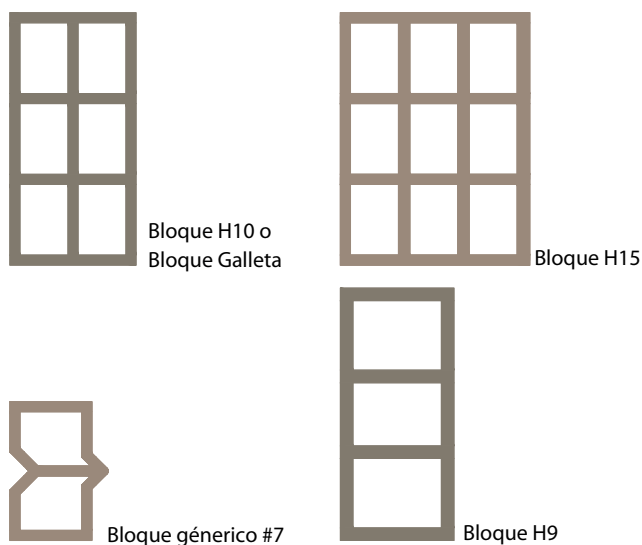
## Perforaciones horizontales

Los productos con perforaciones horizontales son aquellos cuyas perforaciones son paralelas a la superficie base de apilamiento. De acuerdo con Induarcila (2020), existen 3 categorías correspondientes a bloques tradicionales para mampostería, celosías y calados y bloques innovadores para fachadas.

### Bloques tradicionales para mampostería

Como su nombre lo indica, los bloques para mampostería son utilizados para sistemas constructivos de muros y paredes en espacios interiores y fachadas. Son característicos por la geometría de perforaciones rectangulares. La principal variación es el ancho de las celdas y la cantidad de columnas de celdas.

Figura 2. Diseños de los bloques tradicionales para mampostería

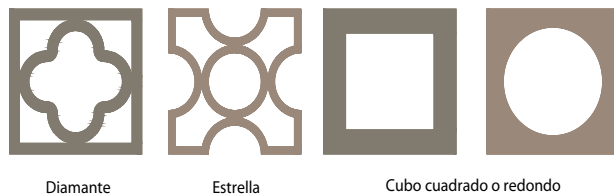


Fuente: elaboración propia.

### Celosías y calados

Las celosías y calados presentan geometrías más complejas. Debido a la flexibilidad de su función, es posible explorar diseños para crear juegos de luz y sombra, desde formatos reticulares hasta formas orgánicas y asimétricas.

Figura 3. Diseños de celosías y calado

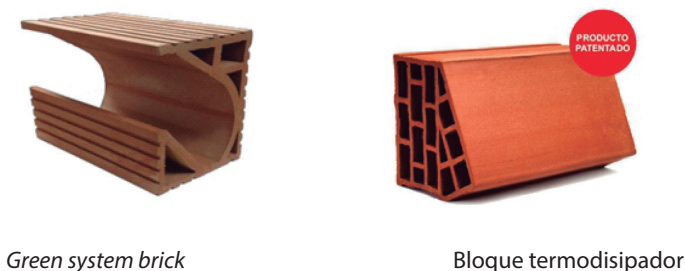


Fuente: elaboración propia.

### Bloques para fachadas

La apuesta por productos innovadores para fachada desde Induarcilla (2020) se consolida en la oferta de dos productos con valores agregados la mitigación de la transferencia de calor. Las soluciones constructivas son el Bloque Termo disipador (BT) y el *Green System Brick* (GSB) (ambas soluciones ofrecen beneficios térmicos desde enfoques diferentes: cámaras de aire ventiladas y capas vegetales de muros verdes, respectivamente).

Figura 4. Diseños de los bloques para fachadas



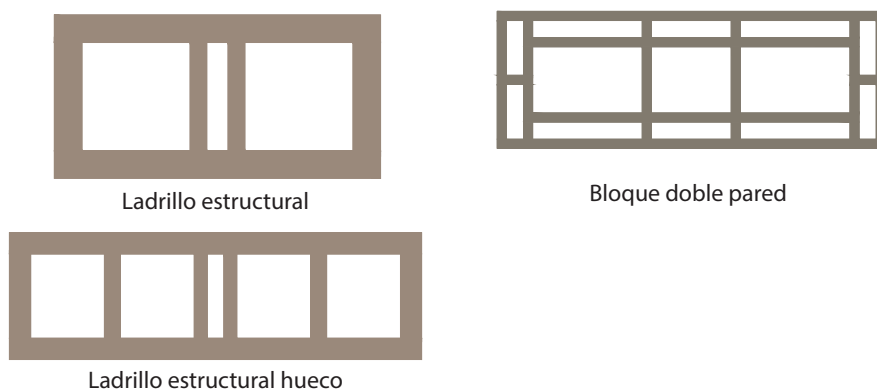
Fuente: elaboración propia.

### Perforaciones verticales

Figura 5. Diseños de ladrillos con perforaciones verticales





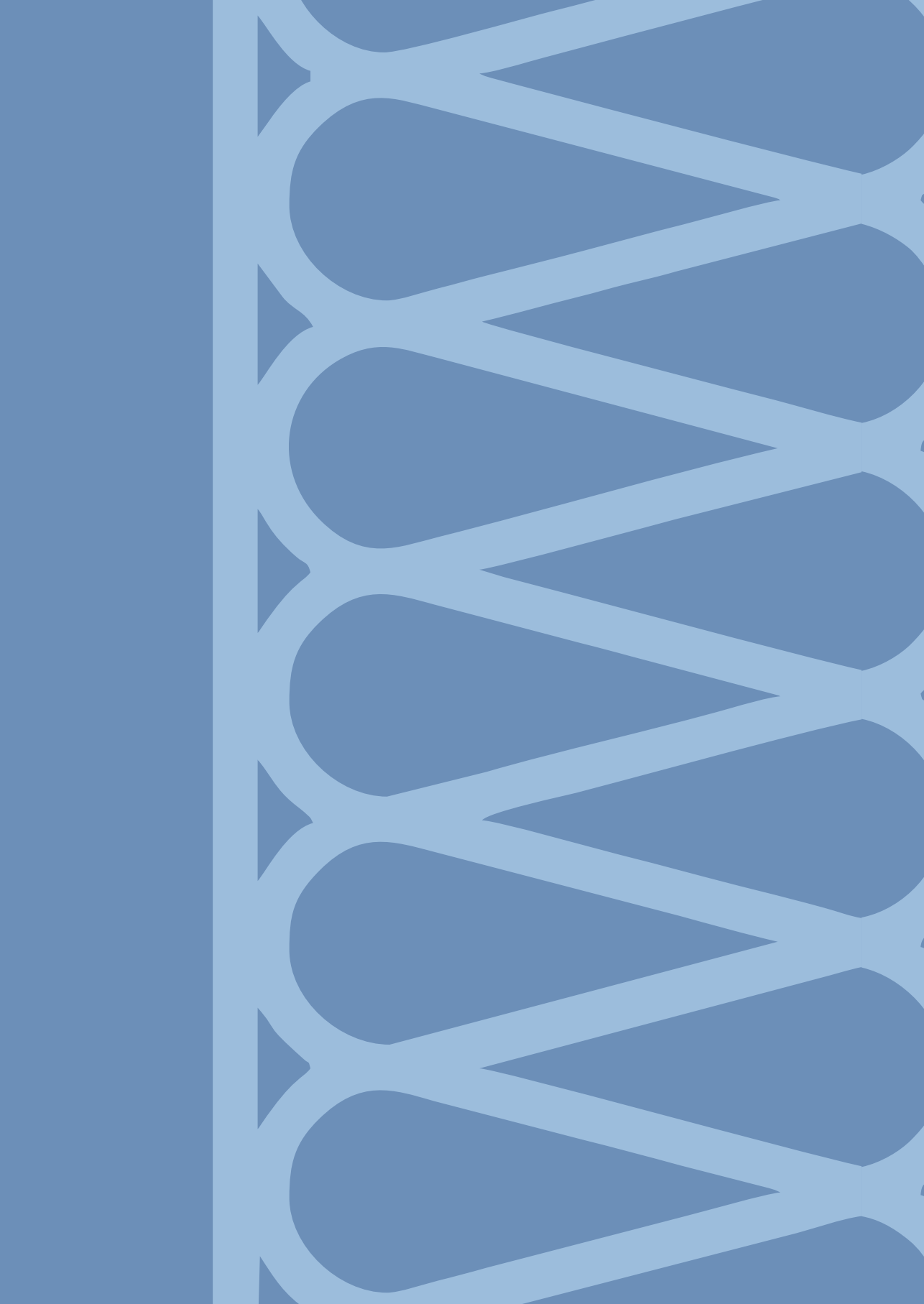


Fuente: elaboración propia.

Los productos con perforaciones verticales son conocidos como ladrillos caravista, es decir, el acabado exterior es liso para utilización en fachadas. La tipología de las perforaciones facilita la instalación de refuerzos y tuberías en el proceso constructivo. Las variaciones son el ladrillo multiperforado, el bloque curvo colonial, el ladrillo estructural, el bloque doble pared y el ladrillo estructural hueco.

Las características formales son retículas regulares con geometrías circulares (ladrillo multiperforado, el bloque curvo colonial) y geometrías cuadradas y rectangulares (el ladrillo estructural, el bloque doble pared y el ladrillo estructural hueco). A pesar de que la variación de la geometría discrepa considerablemente y la aplicación constructiva es mampostería estructural para ambas opciones, pero el peso de los formatos ortogonales es un punto a favor debido al área de la superficie hueca de los productos.

Para concluir, es evidente la necesidad de nuevas soluciones constructivas enfocadas en la mitigación de la transferencia de calor. El mercado de productos para mampostería debe evolucionar con valores agregados orientados a la sostenibilidad, ahorro y eficiencia energéticos. Por tal motivo, la innovación debe plantearse desde las formas de las unidades constructivas con el fin de aprovechar las tecnologías disponibles en la región.



## 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.

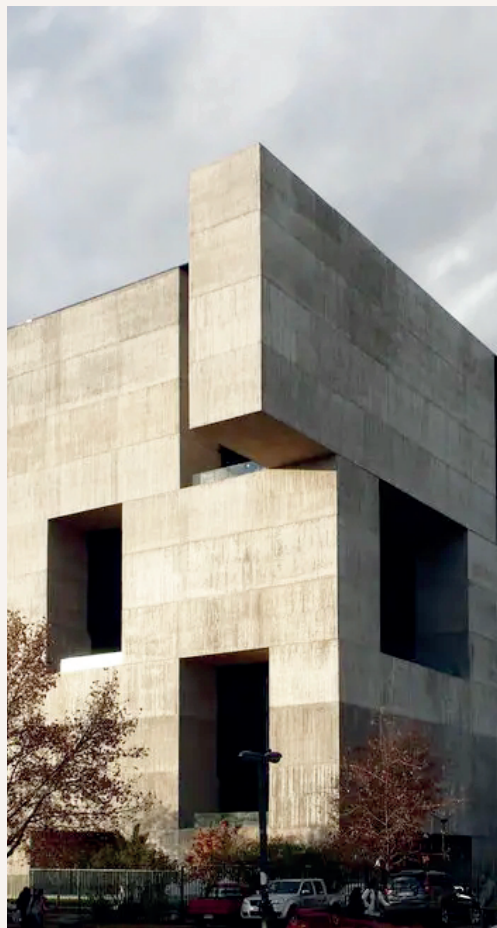
De acuerdo con Nouvel (2013), la arquitectura consiste en escuchar la geografía del espacio, su historia y cultura para comprender el contexto del proyecto en su totalidad. Un ejemplo es la fachada del Instituto del Mundo Árabe en París, a partir de la abstracción de la relación que existe entre las 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 CO<sub>2</sub> 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

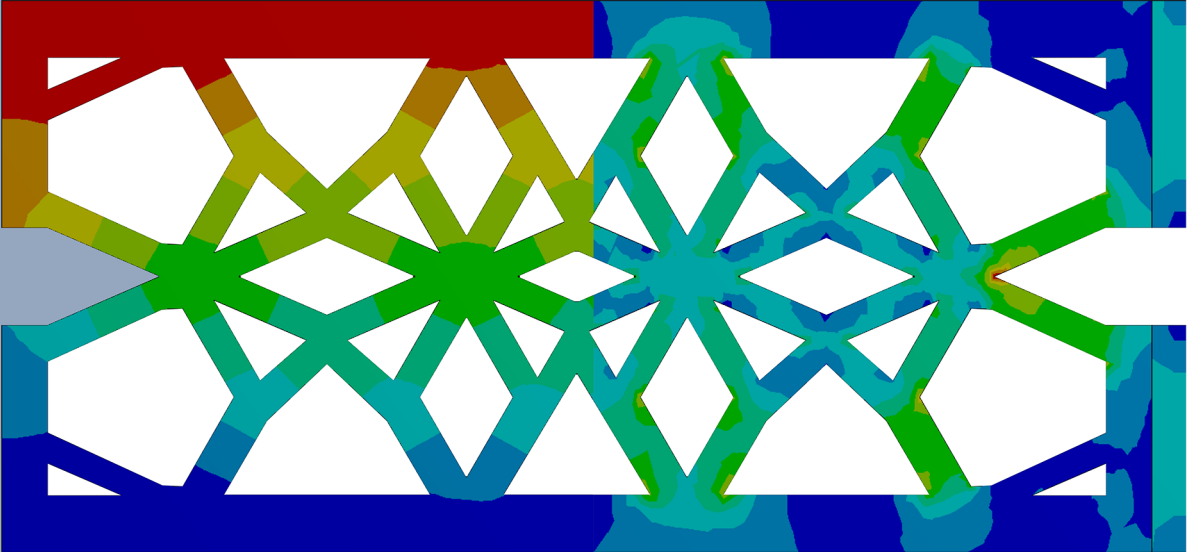
En definitiva, la literatura sobre las soluciones constructivas para el mejoramiento del rendimiento térmico y energético de fachadas arquitectónicas es muy amplia. Sin embargo, las investigaciones sobre desarrollo de producto con valor agregado son limitadas, por consiguiente, este capítulo da una conclusión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



## CAPÍTULO 3

# METODOLOGÍA PARA LA INNOVACIÓN DEL DISEÑO DE PRODUCTO ENFOCADO EN LA MITIGACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

**La metodología consiste en 3 etapas: los datos suministrados, los datos calculados y el procedimiento de la simulación.**

### Datos suministrados

Los datos suministrados se clasifican en 2: la conductividad térmica de los materiales y las condiciones climáticas del entorno a simular.

En este caso, los valores relacionados a la conductividad de los materiales son principalmente arcilla y mortero. En algunas simulaciones, la conductividad térmica de la arcilla varía por su temperatura de cocción o formulación de la pasta (Sánchez-Molina, 2018). Los principales valores manejados se registran en la Tabla 2.

Por otra parte, los datos climáticos suministrados corresponden al escenario más crítico durante un día del mes de septiembre, en la ciudad de Cúcuta, ubicada en Norte de Santander (Colombia), como se ve en la Tabla 2.

**Tabla 2. Conductividad de los materiales suministrados para simulación**

Código	Descripción	Conductividad	Temperatura
M Aa	Mezcla de 100 % arcilla	0,407	1.000 °C
M Ab	Mezcla de 100 % arcilla	0,691	1.100 °C
M-ACA 5a	Mezcla de 95 % arcilla y 5 % cascarilla de arroz	0,380	1.000 °C
M-ACA 5b	Mezcla de 95 % arcilla y 5 % cascarilla de arroz	0,677	Formuladas a partir de M Ab
M-ACA 15b	Mezcla de 85 % arcilla y 15 % cascarilla de arroz	0,677	
M-ACA 30b	Mezcla de 85 % arcilla y 15 % cascarilla de arroz	0,677	
M-ACC 5a	Mezcla de 95 % arcilla y 5 % cisco de café	0,325	1.000 °C
M-ACC 5b	Mezcla de 95 % arcilla y 5 % cisco de café	0,677	Formuladas a partir de M Ab
M-ACC 15b	Mezcla de 85 % arcilla y 15 % cisco de café	0,639	
M-ACC 30b	Mezcla de 70 % arcilla y 30 % cisco de café	0,588	
JM	Junta de Mortero	0,88	N/A

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 3. Datos climáticos de Cúcuta, Norte de Santander (IDEAM)**

Dato	Valor
Temperatura máxima promedio	33 °C
Radiación solar máxima promedio	796,8 W.h/m <sup>2</sup>
Horario correspondiente	12:00 – 13:00 horas (1 hora)
Qsolar	796,8 W/m <sup>2</sup>
Velocidad promedio del viento	4m/s

Fuente: elaboración propia.

## Datos calculados

Los datos calculados corresponden a las cargas por convección y radiación sobre las superficies de las unidades constructivas a simular. El primer cálculo corresponde al coeficiente de transferencia de calor por convección, el cual se obtiene de la



velocidad del viento y las condiciones de temperatura y presión en la que se encuentra, tal como lo indica la Ecuación 1.

$$h = \frac{Nu \cdot k}{Lc} \quad (1)$$

Donde:

$h$ : coeficiente de transferencia de calor por convección.

$Nu$ : número de Nusselt.

$k$ : conductividad térmica del aire.

$Lc$ : longitud característica del producto.

En este orden de ideas, el número de Nusselt es un valor adimensional que indica el aumento de la transferencia de calor sobre una superficie. La ecuación para el caso de una sección transversal rectangular y flujo cruzado es la siguiente:

$$Nu = 0,102Re^{0.675} \cdot Pr^{1/3} \quad (2)$$

Donde:

$Re$ : número de Reynolds.

$Pr$ : número de Prandtl.

Al igual que el número de Nusselt, el número de Reynolds también es un valor adimensional. Es objetivo describir el comportamiento del flujo del aire sobre la superficie del ladrillo (Ecuación 3).

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot Lc}{\mu} \quad (3)$$

$\rho$ : densidad del aire.

$V$ : velocidad del viento.

$\mu$ : viscosidad dinámica del aire.

Con el fin de calcular los datos deseados, las propiedades del aire a 33 °C de temperatura se tomaron de la Tabla A-15 de Cengel (2007).

$$\rho = 1,1526 \text{ Kg/m}^3$$

$$k = 0,026102 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\mu = 0,000018858 \text{ Kg/m} \cdot \text{s}$$

$$Pr = 0,72736$$

Una vez reemplazados los valores en las ecuaciones en el orden (3), (2) y (1), los resultados sobre el coeficiente de transferencia de calor por convección se expresan en la Tabla 4.

**Tabla 4. Coeficiente de transferencia de calor por convección en las superficies de las unidades constructivas**

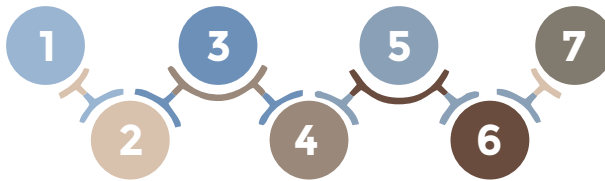
Carga	Valor	Superficie
Coeficiente de transferencia de calor por convección	25,903W/m <sup>2</sup> . °C	Sección exterior de la geometría (donde hay exposición directa al viento)
Transferencia de calor por convección natural	5W/m <sup>2</sup> . °C	Interior

Fuente: elaboración propia.

## Procedimiento

Esta última etapa de la metodología de las simulaciones es la más extensa, pues se basa en el método de elementos finitos (FEM) en el *software* ANSYS y consta de 7 pasos, ilustrados en la Figura 9.

**Figura 9. Esquema del procedimiento de la simulación**

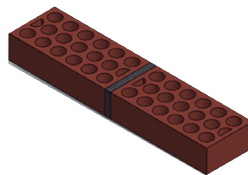


Nota. 1 Analysis System Type. 2 Engineering Data. 3 Geometry. 4 Model. 5 Setup. 6 Solution. 7 Results.

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, antes iniciar el procedimiento, es importante contar con el modelado en 3 dimensiones en formato IGS o IGES obtenido del *software* de Diseño Asistido por Computador (CAD). La Figura 10 ejemplifica el modelo del volumen de la unidad constructiva correspondiente al Ladrillo Multiperforado (LM).

**Figura 10. Modelo 3D en CAD**



Fuente: elaboración propia.

### Analysis System Type

En primer lugar, se realiza el esquema de trabajo donde las geometrías son independientes de acuerdo con la variación del diseño de la unidad constructiva; por otro lado, se asigna material del ladrillo (según corresponda la mezcla) y de mortero.

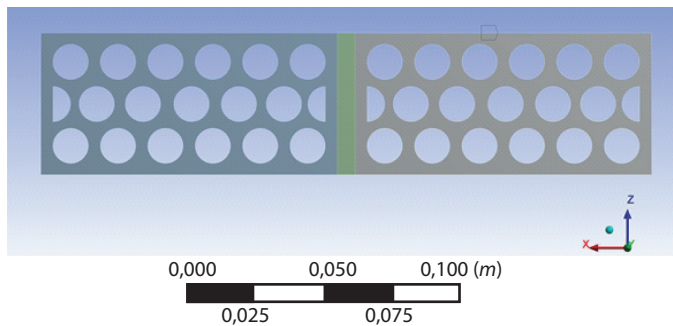
### Engineering Data

En segundo lugar, se introducen las propiedades de los materiales, correspondientes a la conductividad térmica de la Tabla 1, en la base de datos de ANSYS a través el *Engineering Data Source* para relacionarlos con el *Analysis System*.

### Geometry

En tercer lugar, se importan los modelos 3D de las unidades constructivas en formato IGS en el *Design Modeller* para optimizar la geometría y corregir caras, bordes y superficies.

Figura 11. LM en Design Modeller

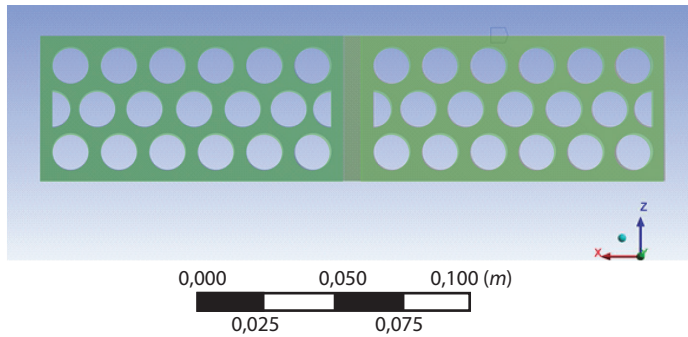


Fuente: elaboración propia.

### Model

A partir del cuarto paso, el procedimiento se trabaja en la interfaz *Mechanical* del mismo programa ANSYS, donde se asignan materiales a la geometría, según corresponda el caso de estudio. La Figura 12 resalta en color verde la asignación de materiales derivados de la arcilla y del mortero, según la ubicación de la junta.

Figura 12. Asignación de materiales de la unidad constructiva y la junta de mortero según corresponda

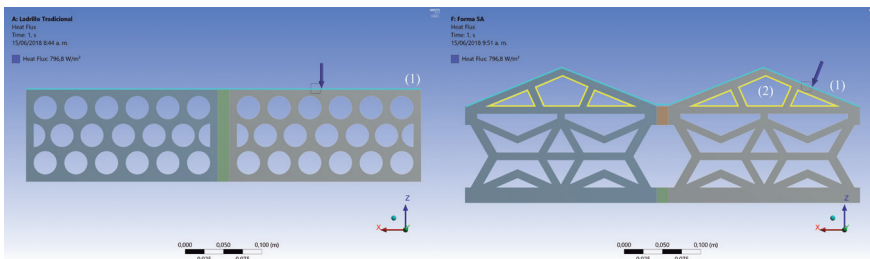


Fuente: elaboración propia.

Una vez finalizada la asignación de materiales, continúa la configuración de la malla del modelo, donde se utiliza el tipo de preferencia física de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) y el solucionador Fluent.

## Setup

Figura 13. Condiciones de cargas por convección y radiación aplicadas en las superficies del modelo



Nota: 1. Superficie expuesta a velocidad del viento y la radiación solar. 2. Convección natural.

Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso consiste en la configuración de las condiciones de exposición de las superficies de las unidades constructivas, es decir, las cargas por convección y radiación. Las superficies exteriores están sometidas a la velocidad del viento y la radiación solar, como se indica en la Figura 5; mientras que las condiciones de las superficies interiores y de las cámaras de aire ventilada (si aplica) solo tienen en cuenta la convección natural.

## Solution

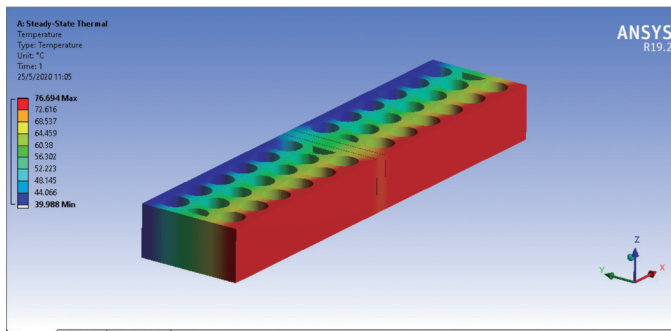
Las soluciones más relevantes de la simulación son distribución de temperatura y flujos de calor.

## Results

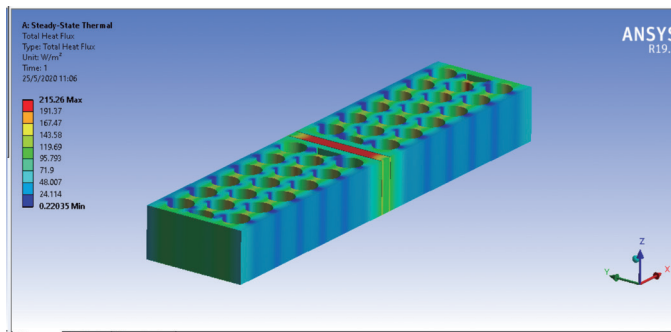
Los resultados arrojan gráficos de la distribución de temperaturas en °C y flujos de calor en  $W/m^2$ . La Figura 14 ejemplifica los resultados obtenidos de las simulaciones, en el caso de LM en M Aa.

Figura 14. Distribución de temperaturas (a) y flujos de calor (b) de LM en M Aa

a.

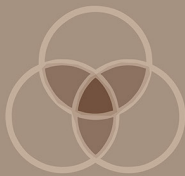


b.



Fuente: elaboración propia.

Para concluir, la implementación de la metodología de simulaciones de transferencia de calor es una herramienta muy valiosa para analizar la relación entre las formas de un producto para la construcción y su rendimiento térmico, debido a que la estimación del comportamiento de la energía es un avance para determinar la eficiencia de un producto en la aplicación constructiva.



## CAPÍTULO 4

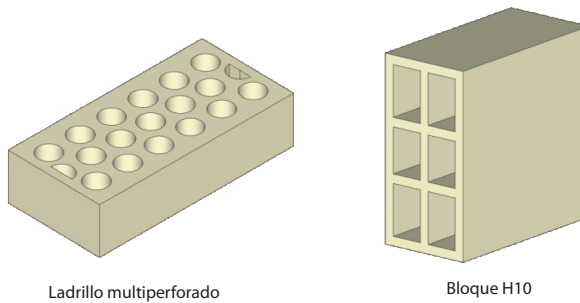
# CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA MITIGACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR. CASO DE ESTUDIO: UNIDADES CONSTRUCTIVAS PARA MAMPOSTERÍA

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.	<b>Geometrías disipadoras</b>
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.	<b>Identificación de materias primas</b>
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.	<b>Tratamiento de juntas de mortero</b>
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.	<b>Superficies autosombreadas</b>
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.	<b>Implementación de cámaras de aire ventilado</b>

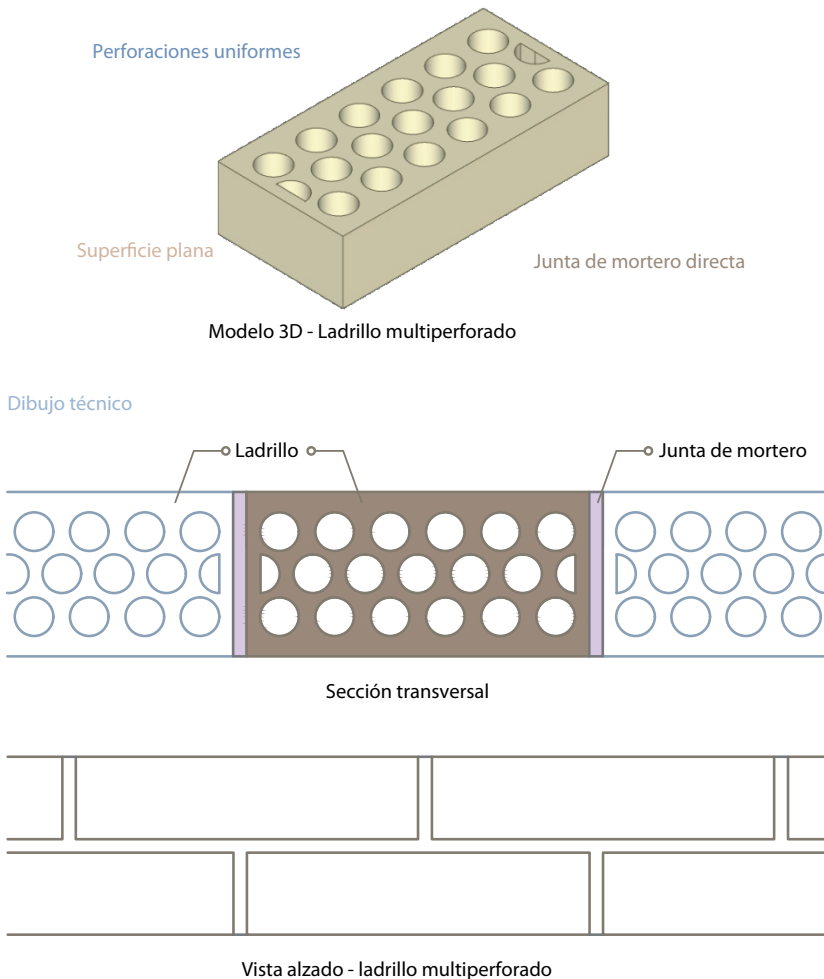
Fuente: elaboración propia.

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.

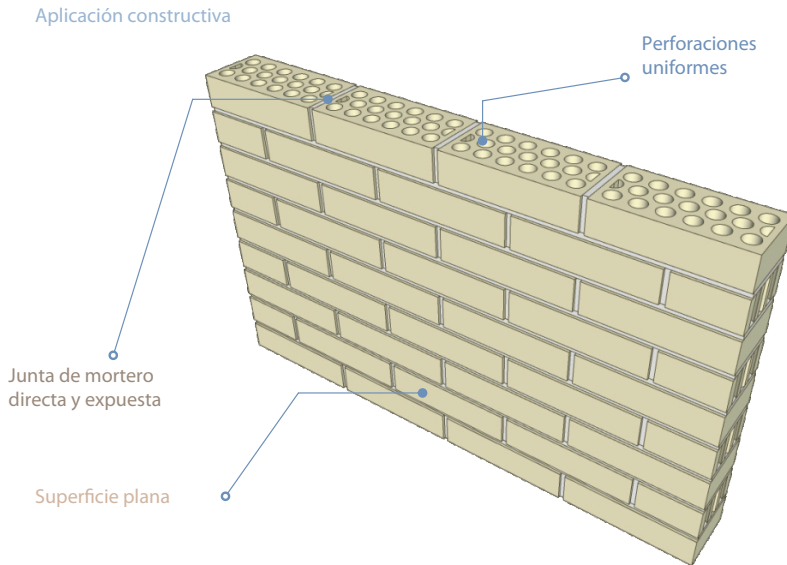
## Ladrillo multiperforado

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***

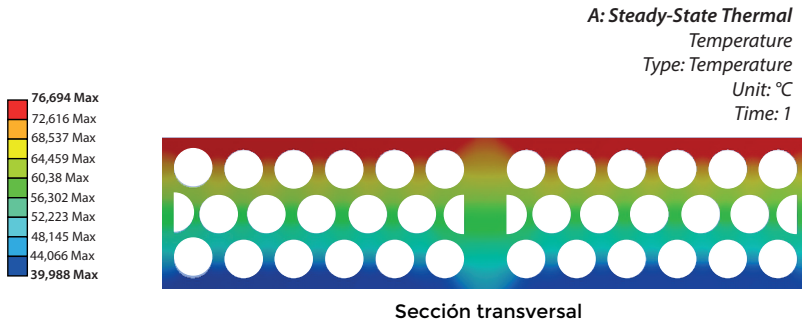
Las condiciones de simulación del ladrillo multiperforado corresponden a los datos del entorno registrados en el Capítulo 3.

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.

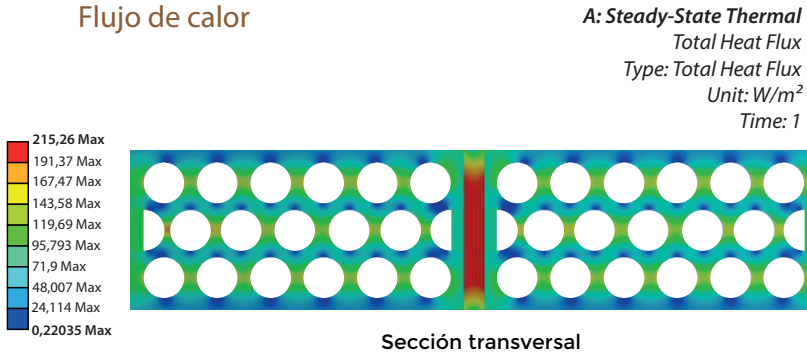
Figura 18. Distribución de temperaturas - ladrillo multiperforado



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Ladrillo multiperforado

Flujo de calor



Fuente: elaboración propia.

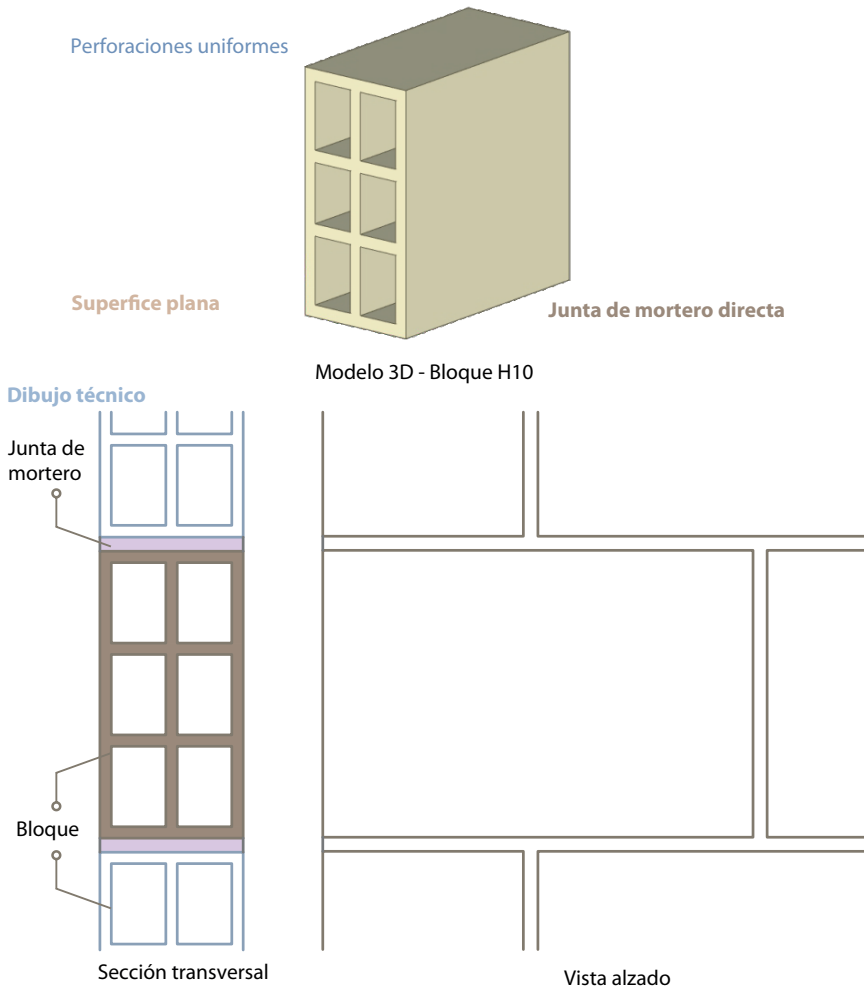
Los flujos de calor del ladrillo multiperforado indican que el punto de mayor concentración es la junta de mortero directa ( $215,26 \text{ W/m}^2$ ). De acuerdo con la geometría de las perforaciones, los puntos más críticos son los tabiques perpendiculares a la superficie exterior e interior. Sin embargo, 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).

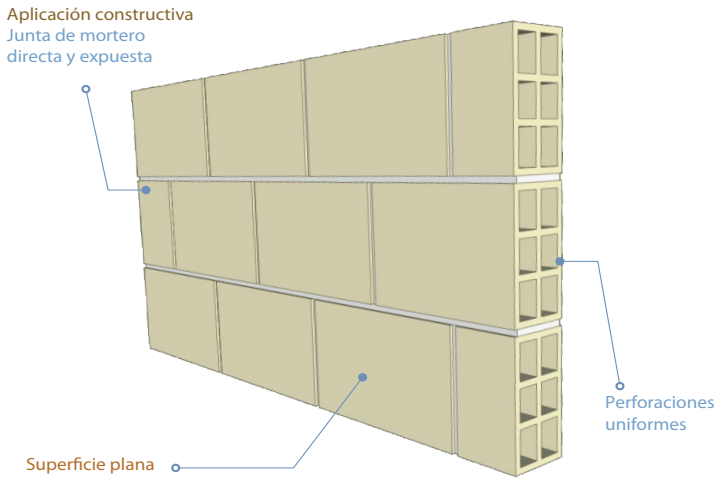
Figura 20. Dibujo técnico del bloque H10



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.

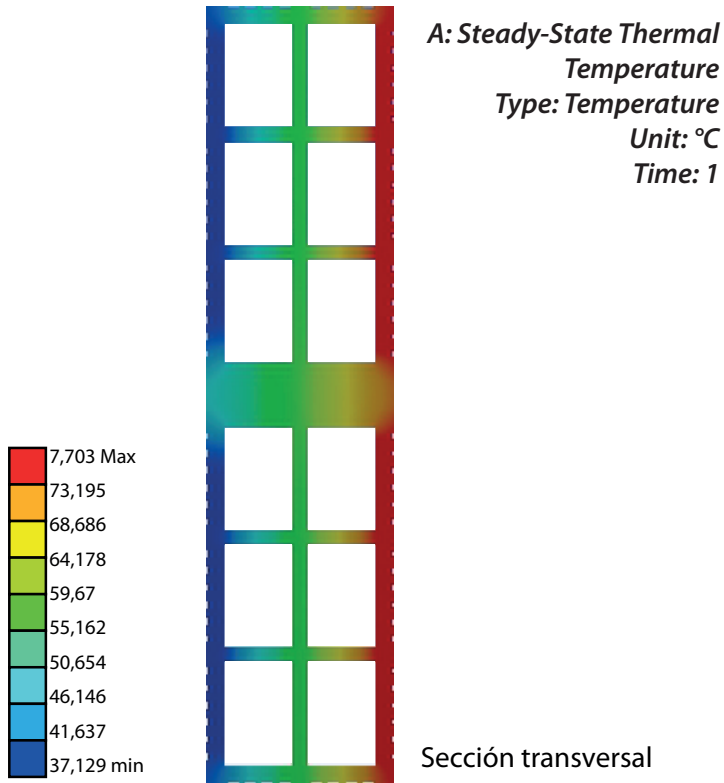
La conductividad de la arcilla es  $0,407 \text{ Wm.}^\circ\text{C}$ , correspondiente a M Aa.

### **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



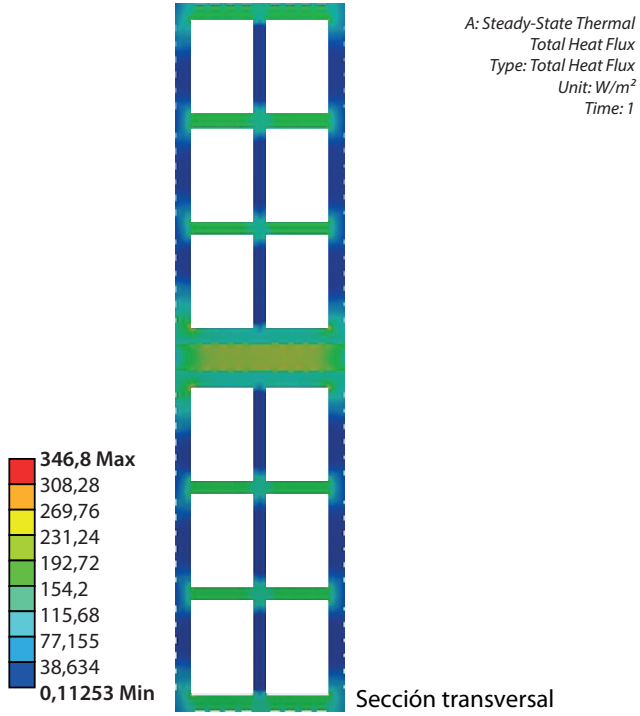
Fuente: elaboración propia.

### 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

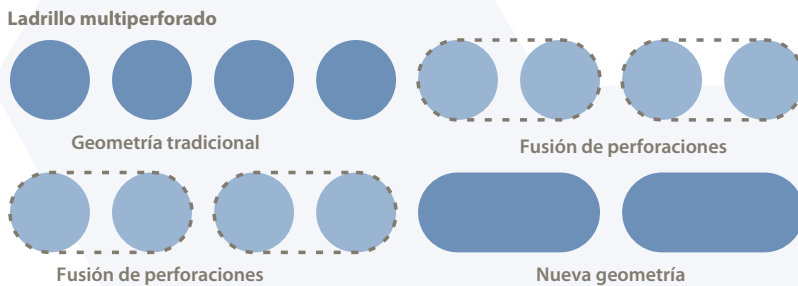
El concepto de geometrías disipadoras se toma de la investigación de Navarro y Niño (2015), donde parten del principio de tabiques o puentes térmicos indirectos. El objetivo de este criterio es generar recorridos más largos entre la superficie expuesta a la incidencia solar y la superficie interior del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

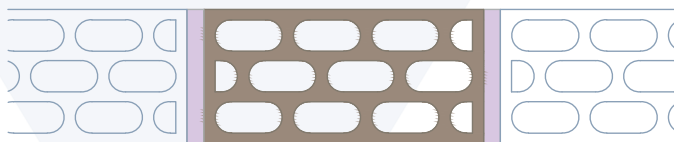
Figura 24. Concepto de geometrías disipadoras en ladrillo



Fuente: elaboración propia.

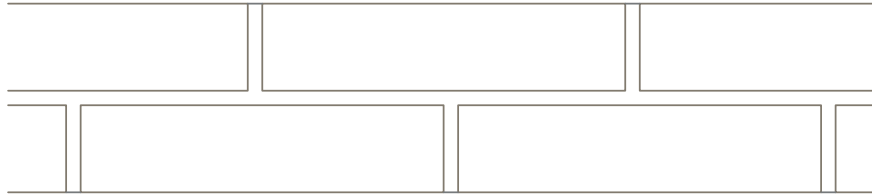
Se han de fusionar dos celdas circulares junto con el tabique que las separa para generar un rectángulo con laterales semicirculares. Se conservan las 3 filas de celdas, pero se traslapan las perforaciones con el fin de elongar el recorrido de los tabiques perpendiculares a la superficie exterior del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

Figura 25. Sección transversal - geometrías disipadoras en ladrillo multiperforado



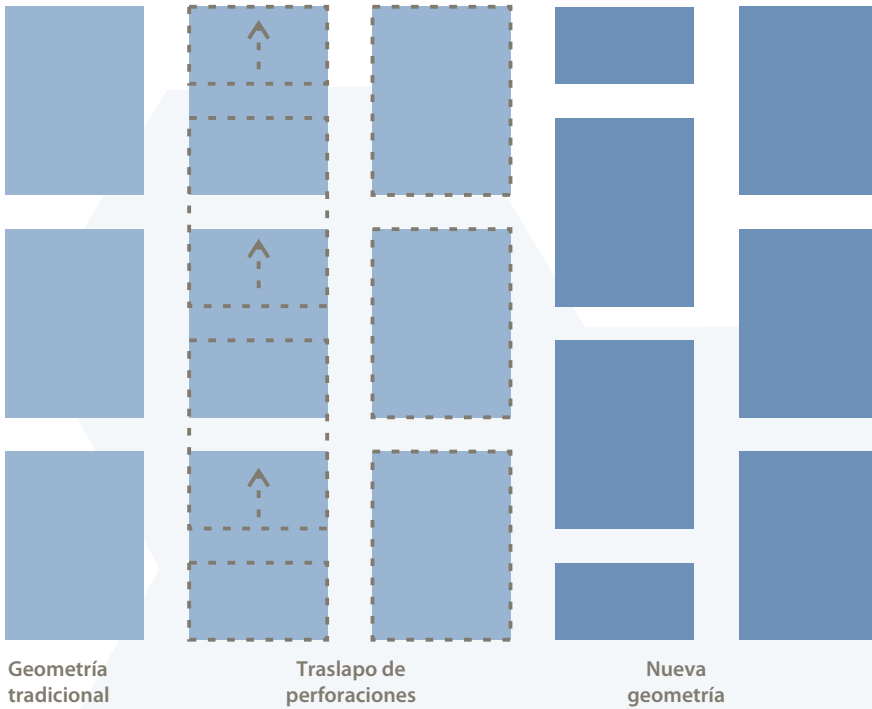
Fuente: elaboración propia.

**Figura 26. Concepto de geometrías disipadoras en bloque H10**



Vista alzada

**Bloque H10**

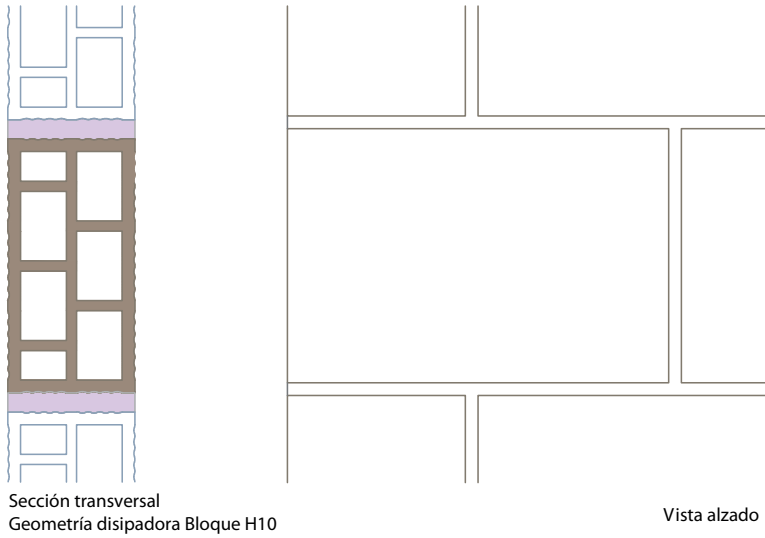


Nota: bloque H10: se conserva la forma rectangular de las perforaciones, pero se traslapan para evitar el paso directo de la energía entre el exterior e interior.

Fuente: elaboración propia.

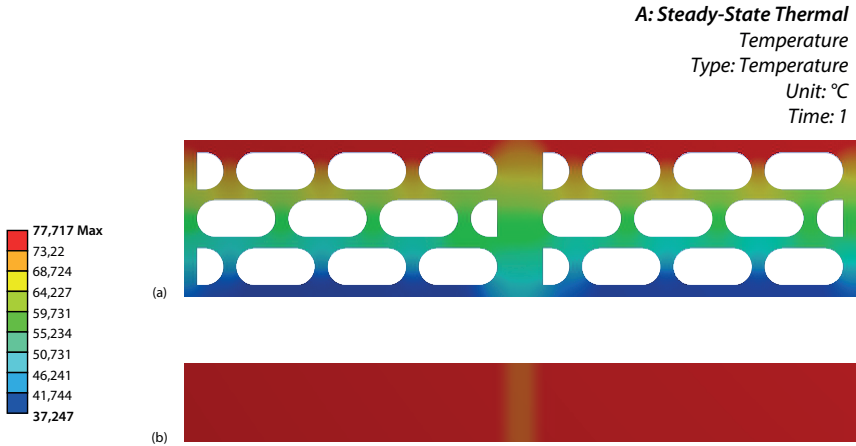
Durante el proceso de diseño se observó que el traslape de las perforaciones genera 4 entradas de calor (tabiques) hacia una superficie y 5 entradas en la superficie opuesta. Por tanto, el diseño considera necesario evaluar el comportamiento de cada superficie en condiciones externas e internas.

**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**



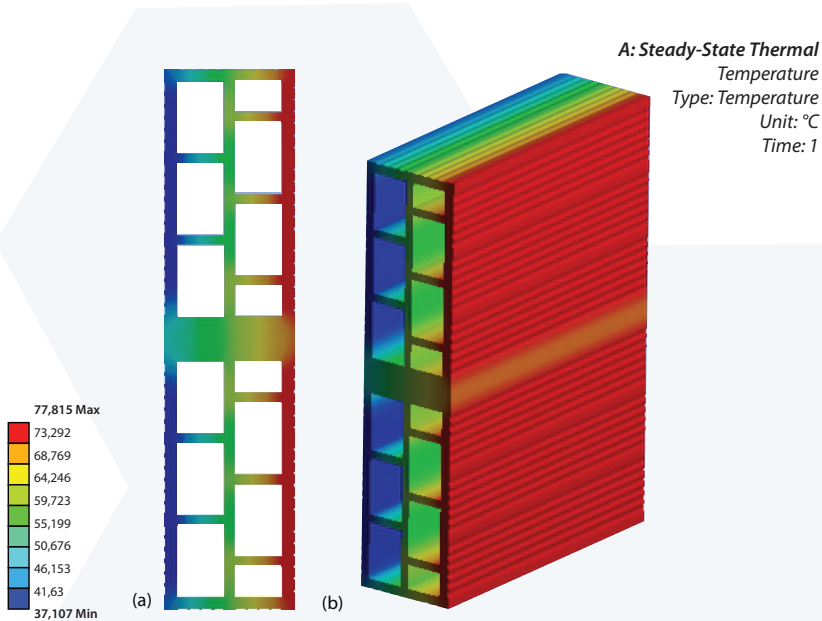
Fuente: elaboración propia.

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.

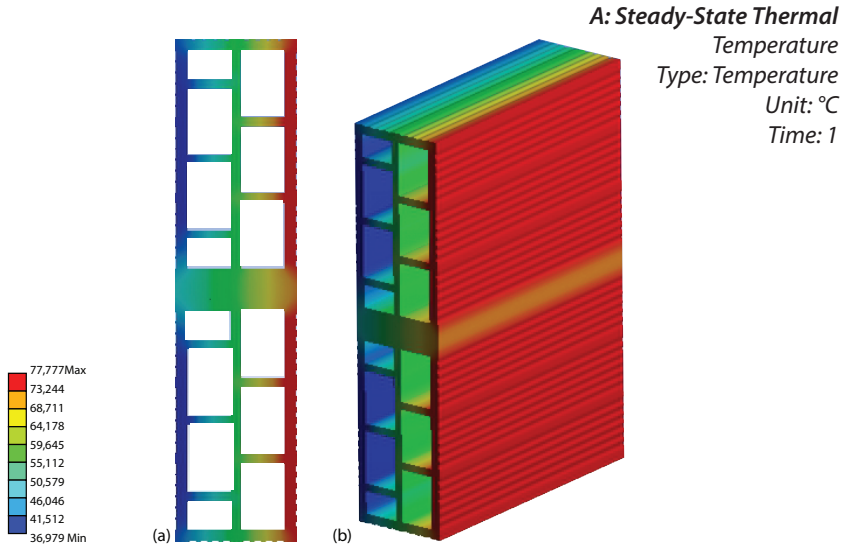
En el caso del bloque H10 existe una excepción en el diseño, debido a que el traslapeo de perforaciones tiene dos sentidos. En una de las caras del producto existen 4 tabiques horizontales que funcionan como entradas de calor y, en la cara opuesta, hay 5 tabiques horizontales, es decir, una entrada de 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).

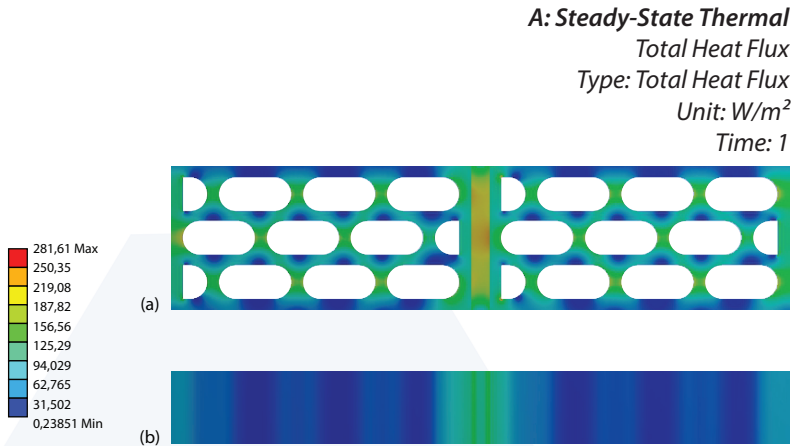
### Flujos de calor

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/m<sup>2</sup> en el ladrillo multiperforado y 116,81 W/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> y en los casos del bloque H10 con 4 y 5 entradas es 181,29 W/m<sup>2</sup> y 180,63 W/m<sup>2</sup>, 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**

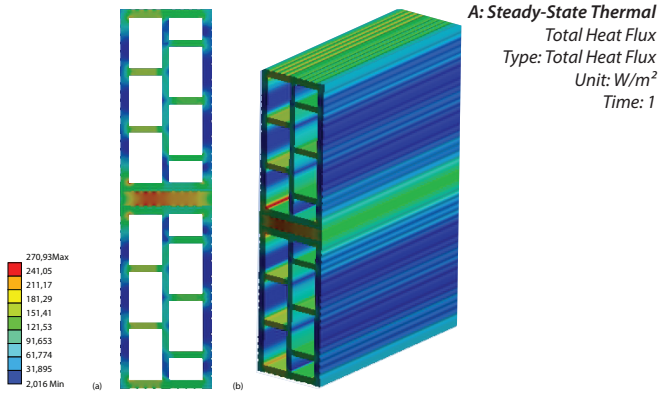


Fuente: elaboración propia.

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.

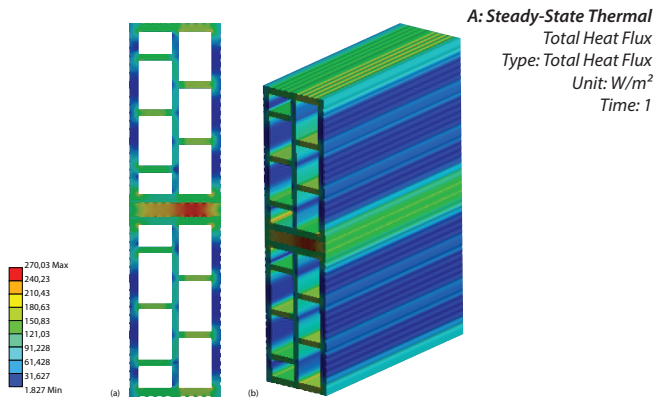
Por último, los puntos de menor concentración son los tabiques paralelos a las superficies exteriores e interiores de los productos, los cuales coinciden con las tipologías tradicionales. En dichas zonas ocurre la disipación de energía de los puntos de mayor concentración. Los calores registrados son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

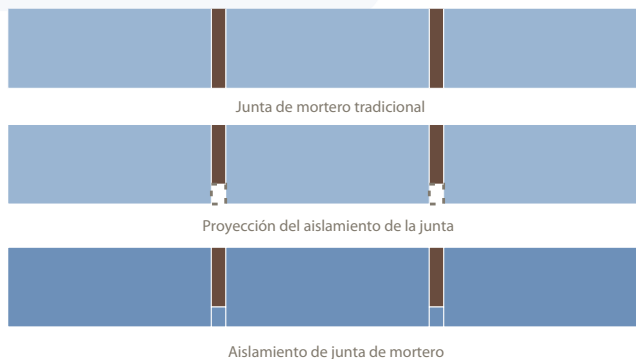
Es importante recalcar que los procesos de diseño son creativos y resultan en muchas soluciones desde un punto de partida.

### 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.

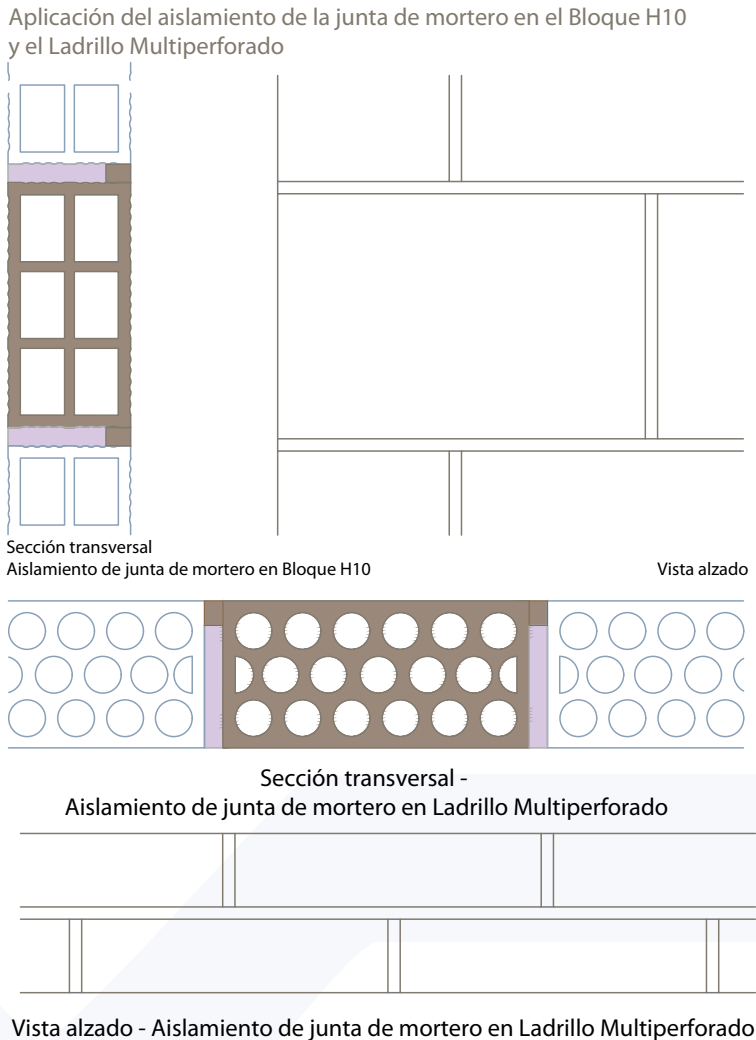
Figura 34. Tratamiento de junta de mortero por aislamiento



Fuente: elaboración propia.



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



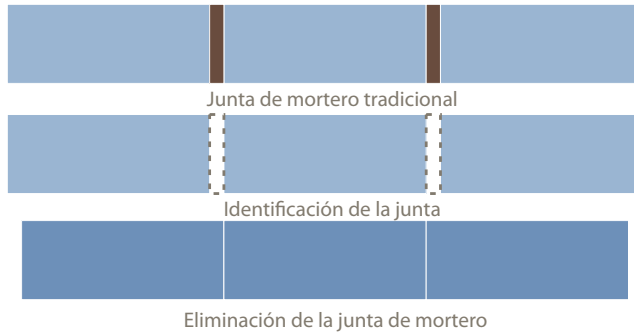
Nota: aplicación del aislamiento de la junta de mortero en el Bloque H10 y el ladrillo multiperforado.

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**

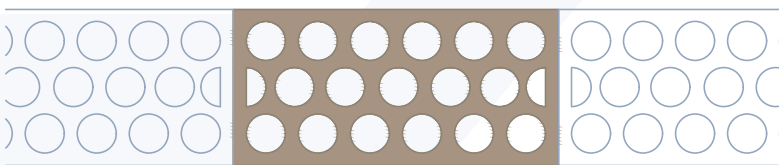


Fuente: elaboración propia.

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**

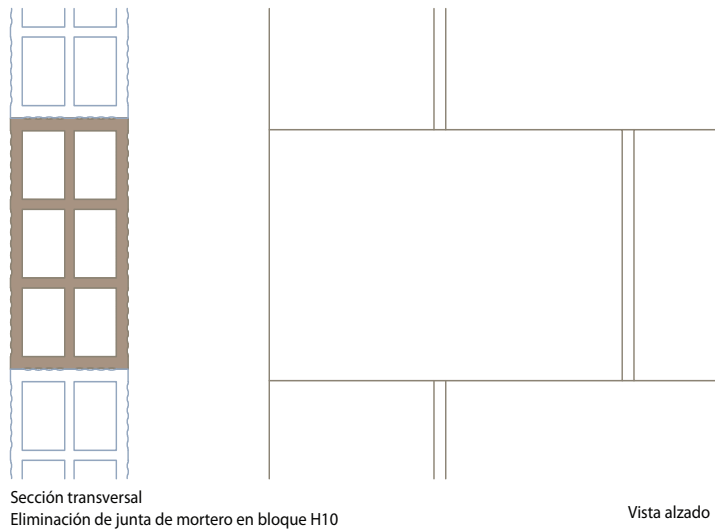
Aplicación de la eliminación de la junta de mortero en el Ladrillo Multiperforado y el Bloque H10



Sección transversal - eliminación de junta de mortero en ladrillo multiperforado

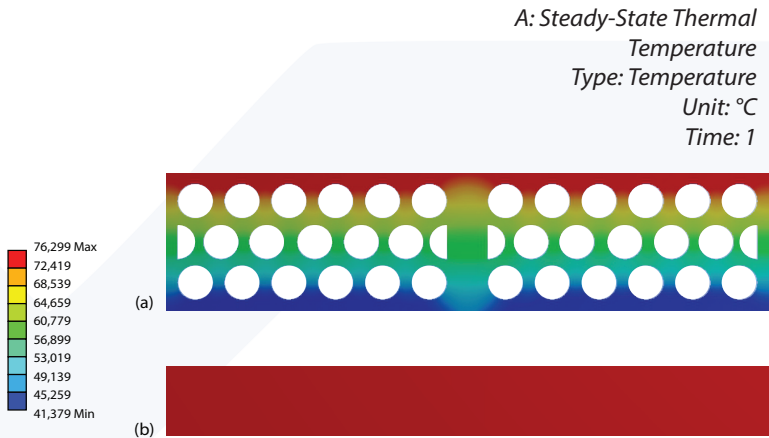


Vista alzado



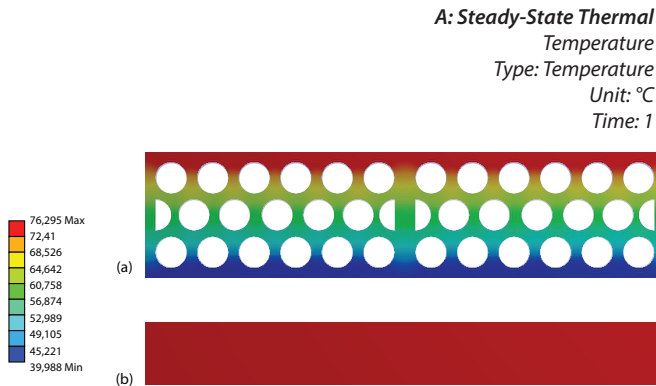
Fuente: elaboración propia.

**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**

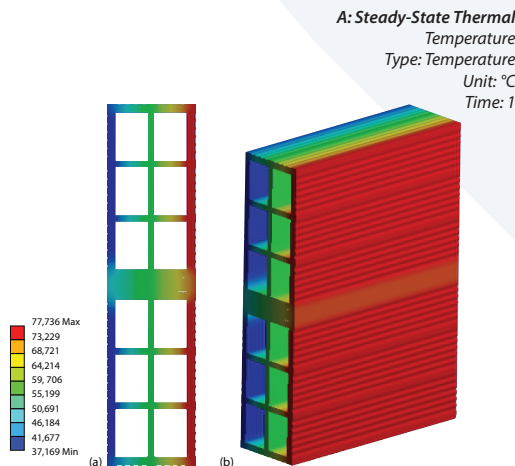


Fuente: elaboración propia.

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.

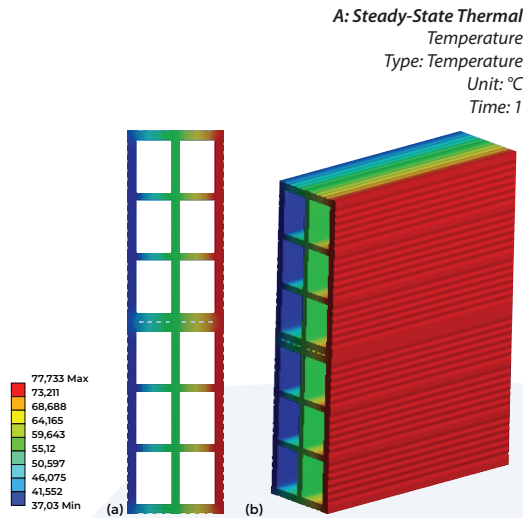
**Figura 40. Distribución de temperaturas de bloque H10 con aislamiento de junta de mortero: (a) sección, (b) perspectiva**



Fuente: elaboración propia.

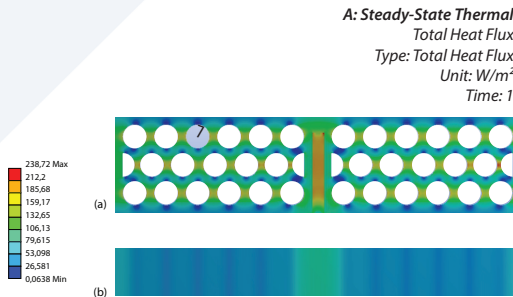
El rendimiento térmico del bloque H10 con tratamiento de junta de mortero no representa mejoras en el aislamiento de la junta de mortero. Los resultados indican que la diferencia de temperaturas entre la superficie exterior e interior aumenta  $0,013\text{ }^{\circ}\text{C}$ , comparado con el bloque 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.

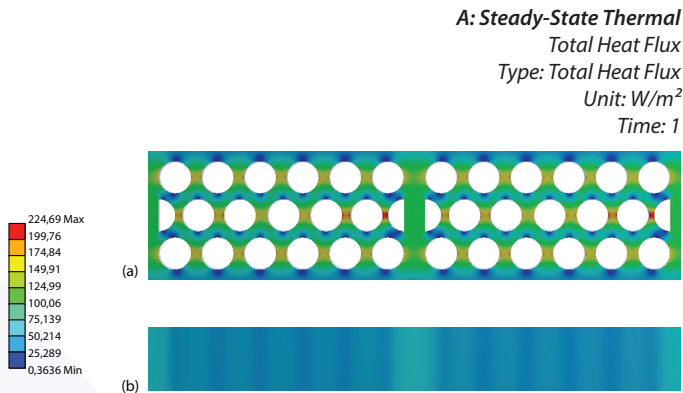
**Figura 42. Flujos de calor de ladrillo multiperforado con aislamiento de junta de mortero: (a) sección, (b) alzado**



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

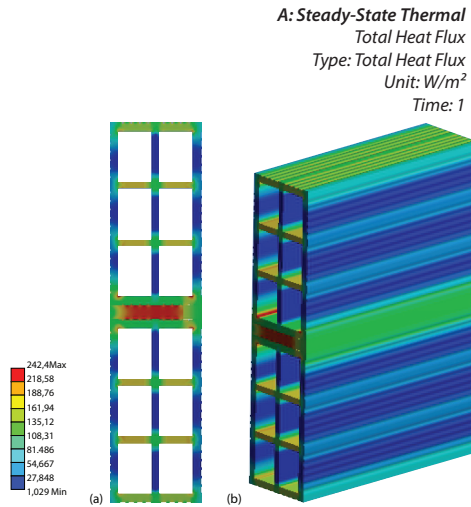


Fuente: elaboración propia.

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.

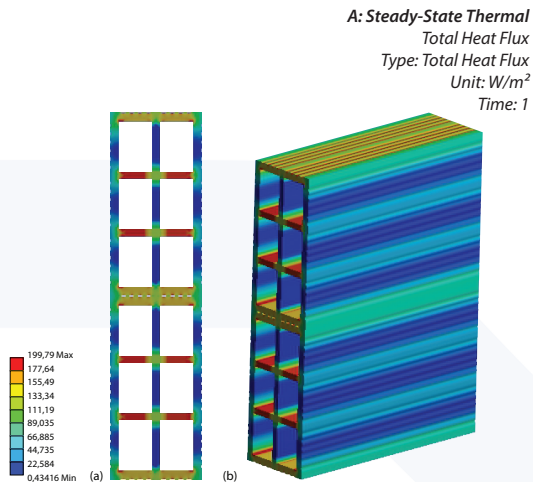
Los flujos de calor de la eliminación de las juntas de mortero concentran  $124,99 \text{ W/m}^2$  en las zonas de unión de productos del ladrillo multiperforado, y  $177,64 \text{ W/m}^2$  del bloque H10, es decir que, reduce la acumulación de energía 41,94 % y 17,48 %, respectivamente.

**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.

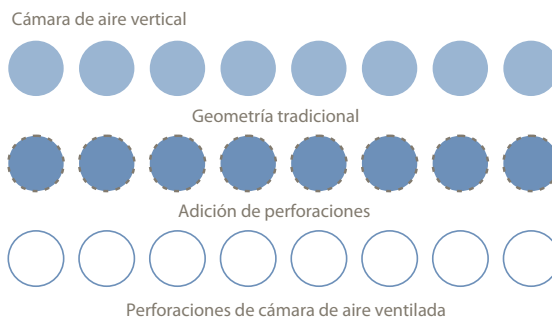
En la aplicación de este criterio en el diseño de producto es importante tener presentes las condiciones climáticas y el tipo de perforaciones de la unidad constructiva, así como lo indica el capítulo 3 sobre la metodología para la innovación del diseño de producto enfocado en la mitigación de la transferencia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

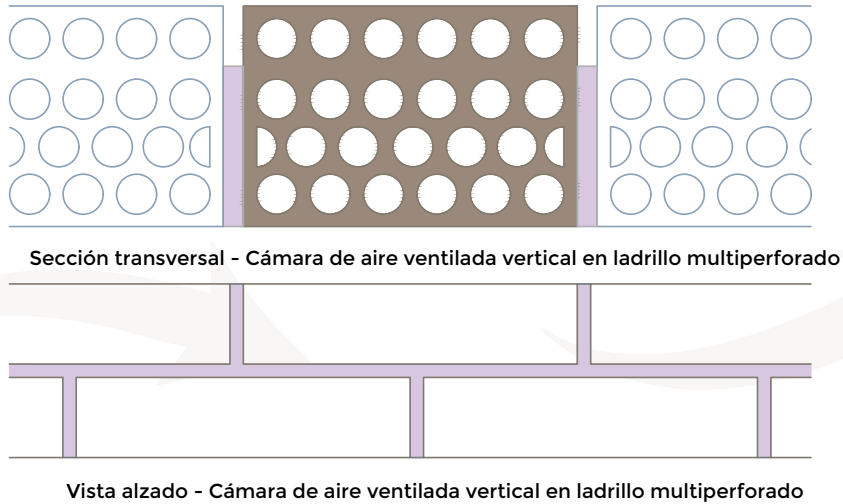


Fuente: elaboración propia.



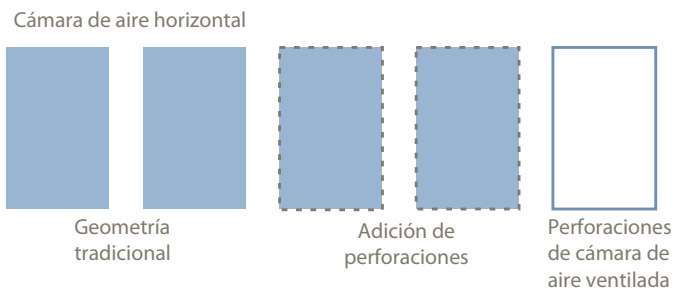
Aplica para unidades constructivas con perforaciones verticales. El sentido de esta cámara es recomendable porque facilita la circulación gradiente del aire desde abajo hacia arriba (Martín, 2018). La incorporación de cámara de aire en el ladrillo multiperforado se realizó a través de la repetición de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

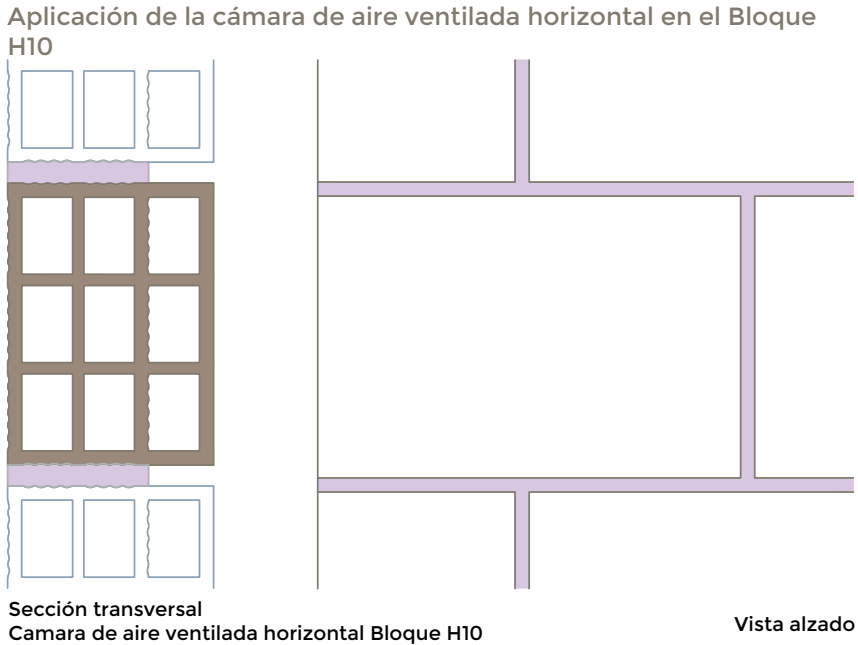
**Figura 48. Concepto de cámaras de aire ventilada horizontal**



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**

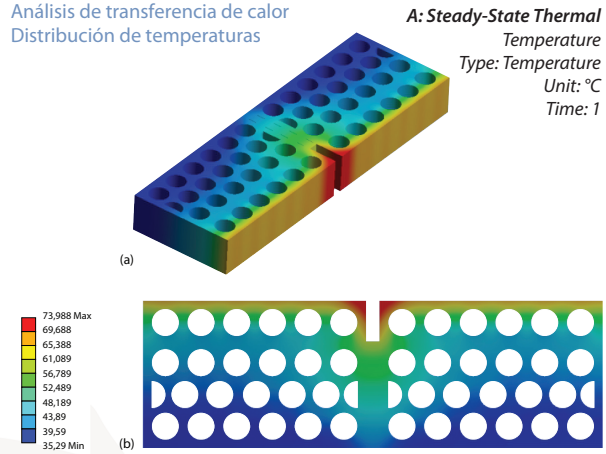


Fuente: elaboración propia.

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

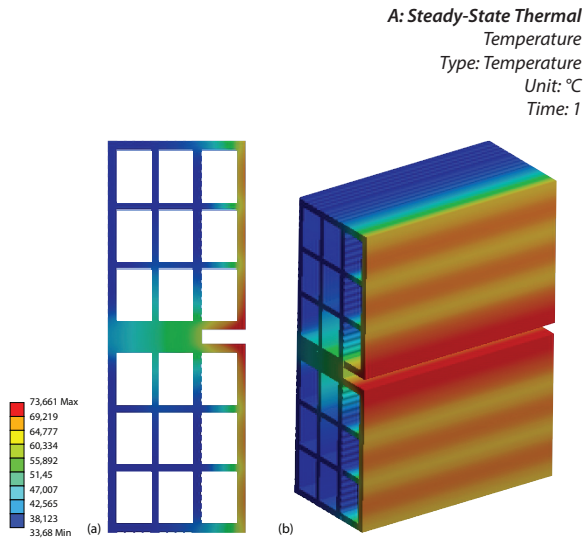
- » Para las tipologías verticales, la junta de mortero horizontal se dispone hasta el tabique o pared donde inicia la cámara. La disposición de mortero de la junta vertical queda a consideración del diseñador según su propuesta.
- » Para las tipologías horizontales, la junta de mortero vertical se dispone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

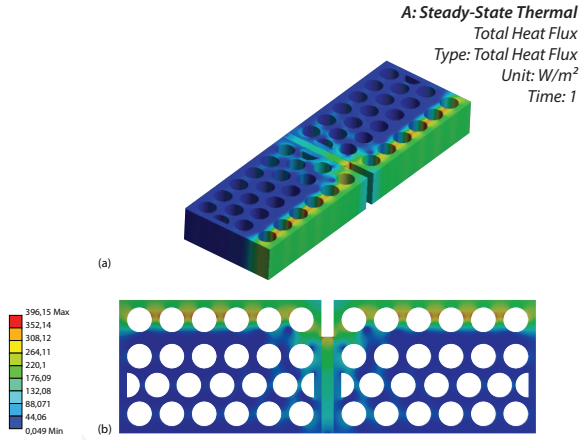
La implementación de la cámara de aire ventilada vertical en el ladrillo multiperforado duplica la concentración de calor de la superficie exterior del producto ( $308,12\text{ W/m}^2$ ), pero disminuye  $18,20\%$  ( $176,09\text{ W/m}^2$ ) los flujos de calor de la junta de mortero y  $99,80\%$  ( $0,049\text{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

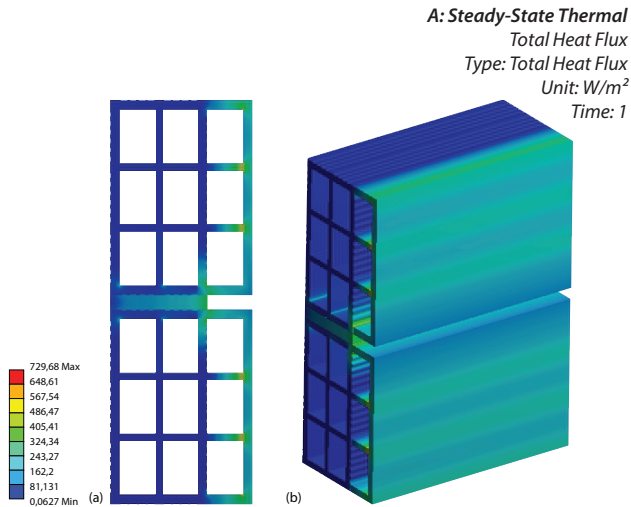
De acuerdo con los resultados, se puede inferir que la implementación de la cámara de aire ventilada vertical es mucho más eficiente porque disipa  $56\%$  más que la cámara de aire horizontal.

**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.

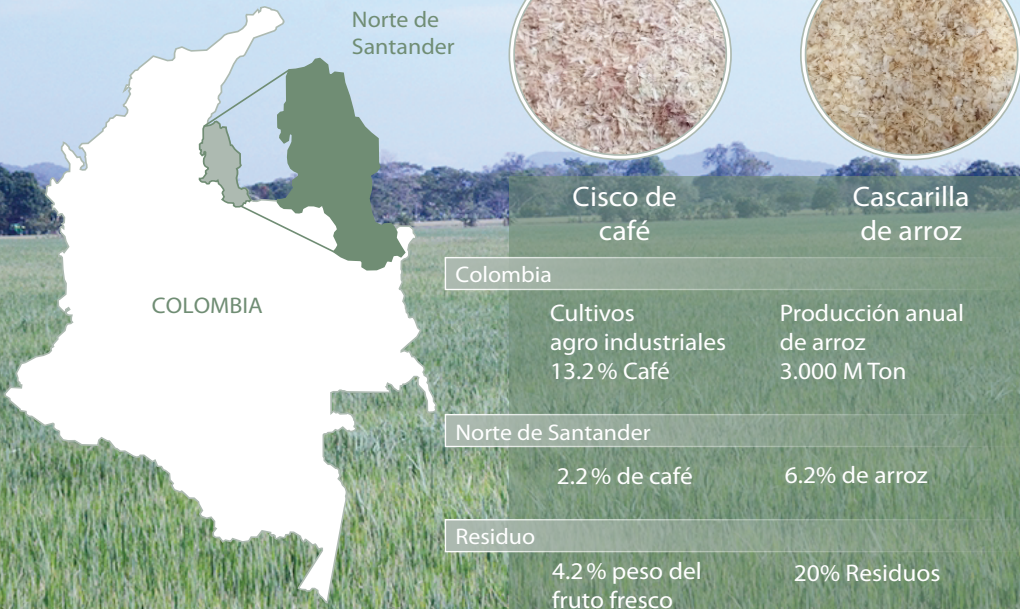
Además, Sánchez-Molina *et al.* (2018) plantean que la formulación de la mezcla cambia a conductividad de los porcentajes de arcilla y aditivos o nutrientes tecnológicos y, por ende, incide en el rendimiento térmico del producto según el tipo de residuo, con beneficios de temperatura de hasta 2,64 °C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

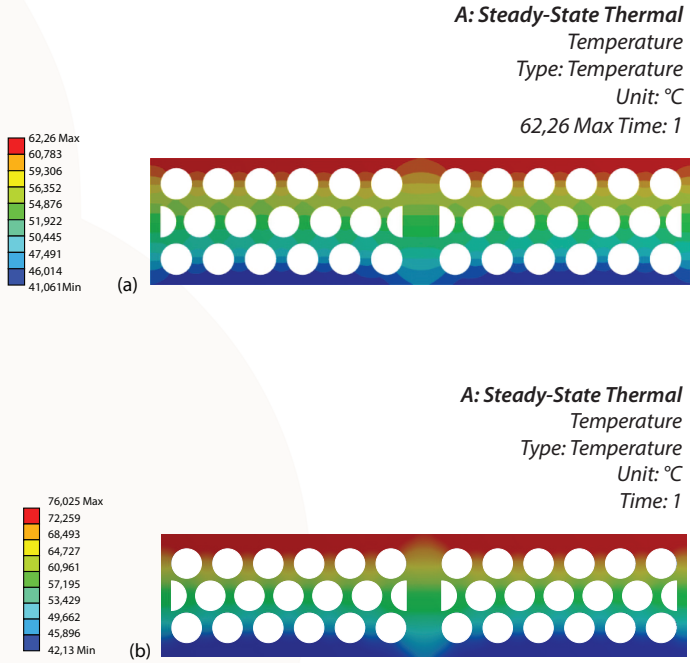
### La mejora de la conductividad no impacta al mismo nivel que una estrategia de diseño interior.

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.

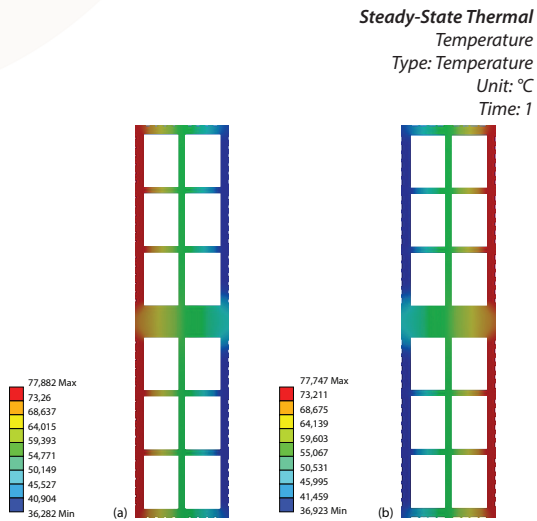


**Figura 55. Distribución de temperaturas de ladrillo multiperforado con aditivo de cisco de café (a) y cascarilla de arroz (b)**



Fuente: elaboración propia.

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



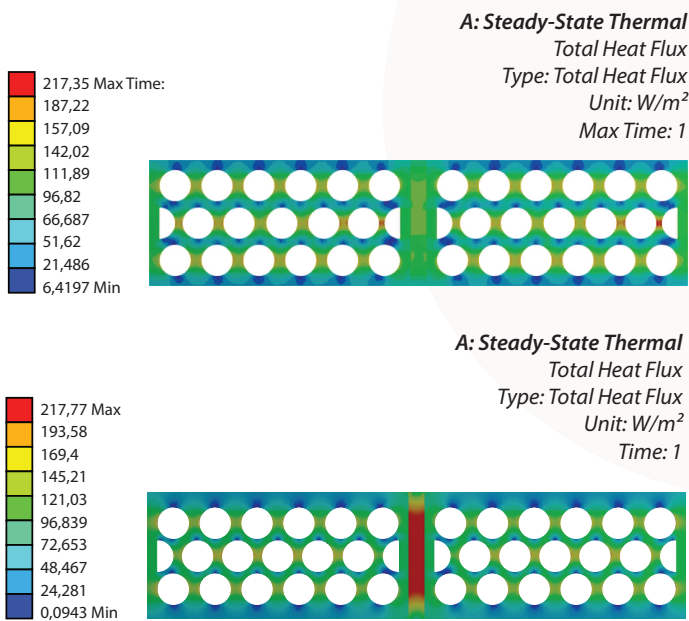
Fuente: elaboración propia.

## 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.

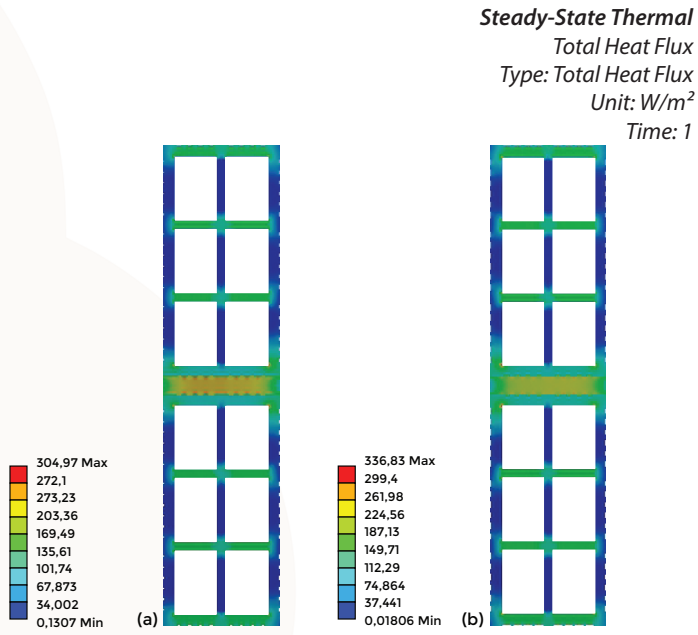
La incorporación del cisco de café concentra  $142,02 \text{ W/m}^2$  en los tabiques que conectan la superficie exterior con la interior del ladrillo multiperforado y  $169,49 \text{ W/m}^2$  del bloque H10, es decir, aumenta  $7,89\%$  y disminuye  $2,29\%$ , respectivamente.

**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

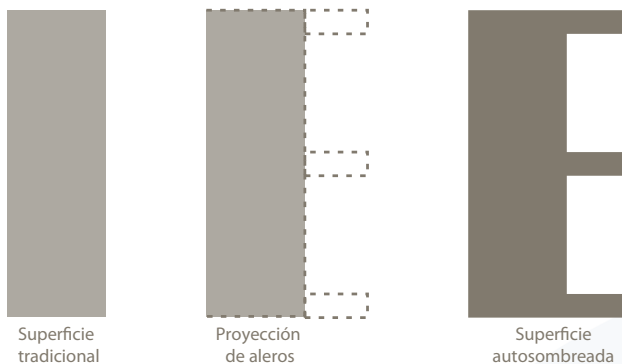
### Objetivo

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-Urbe *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



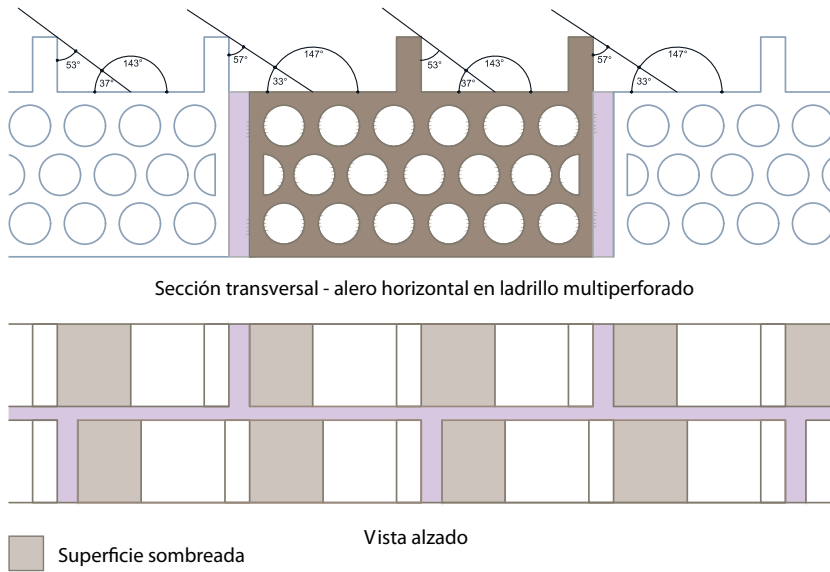
Fuente: elaboración propia.

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).

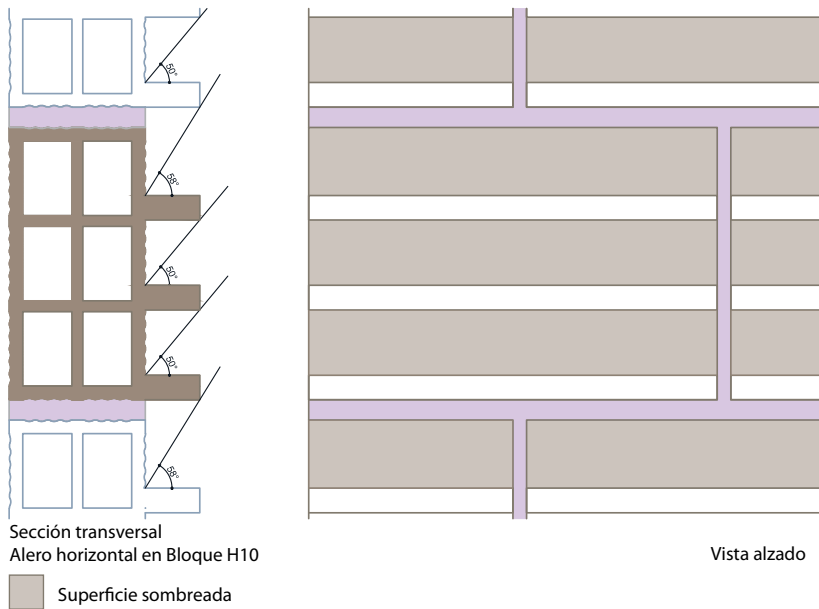
**Figura 60. Diseño de superficies autosombreadas en ladrillo multiperforado**



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:

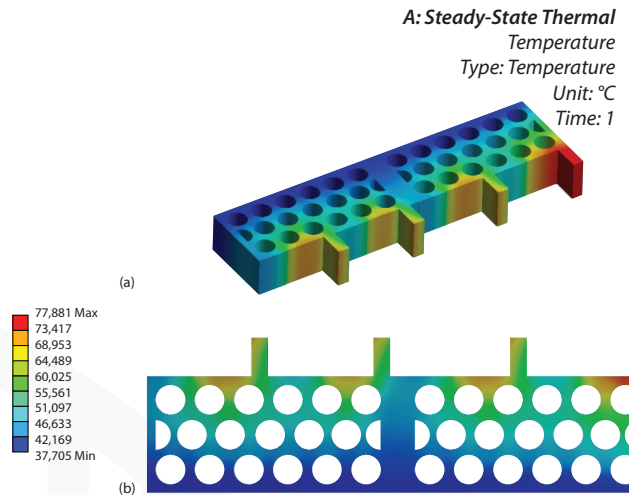
- » Sugerir la aplicación del producto en la fachada con mayor horario de protección o,
- » diseñar a partir de las necesidades de las fachadas de estudio.

## 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  $1,95\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

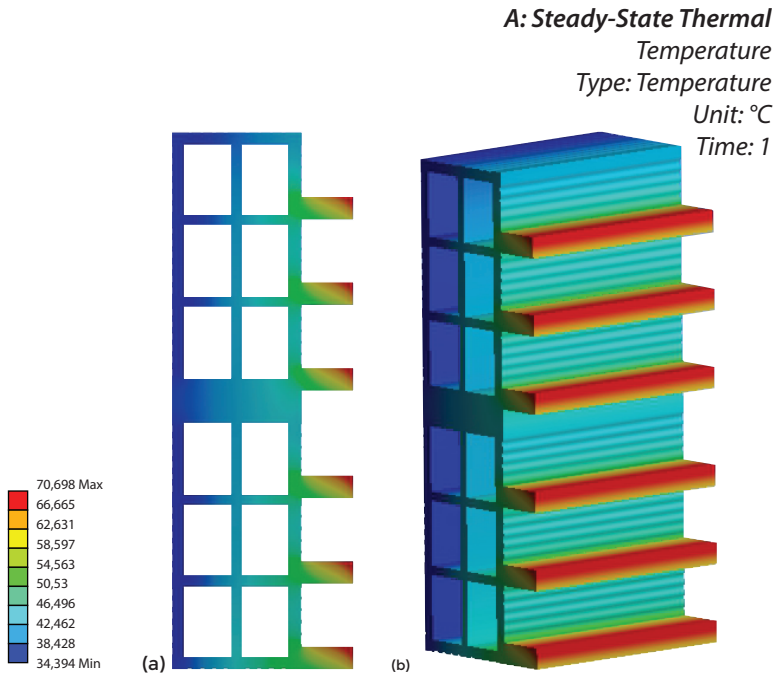
**Figura 63. Distribución de temperaturas de superficies auto sombreadas en el ladrillo multiperforado: (a) perspectiva, (b) sección**



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.

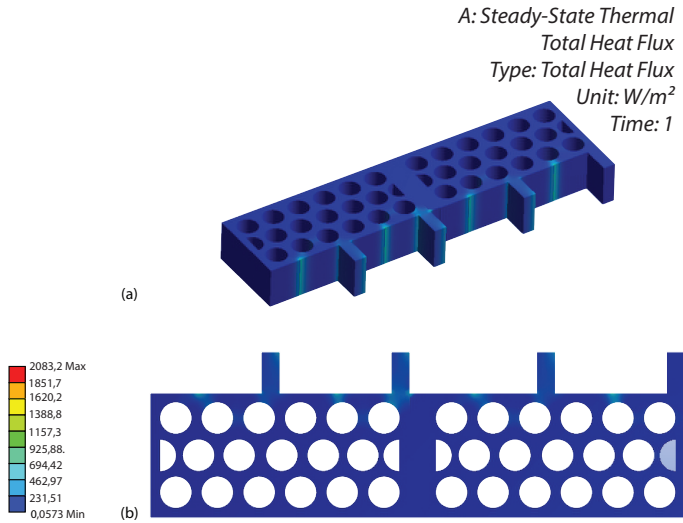
### Flujos de calor

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.

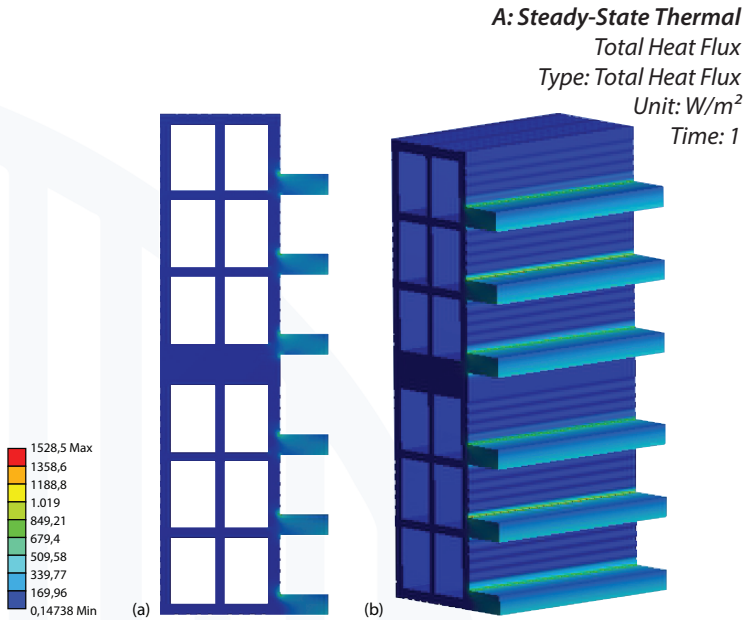


**Figura 65. Flujos de calor de superficies auto sombreadas en el ladrillo multiperforado: (a) perspectiva, (b) sección**



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/m<sup>2</sup> hasta 509,59 W/m<sup>2</sup>, 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/m<sup>2</sup>) es uniforme en la superficie interior del producto, mientras que en el producto tradicional los valores mínimos se registran de forma parcial.

## CAPÍTULO 5

# DESARROLLO DE PRODUCTO A ESCALA DE LABORATORIO COMO ESTRATEGIA DE INNOVACIÓN INDUSTRIAL



La necesidad de establecer una etapa de desarrollo de producto en pequeña escala se fundamenta en una estrategia de innovación industrial con el fin explorar nuevas formas de unidades constructivas con garantías de éxito en la fase de producción.

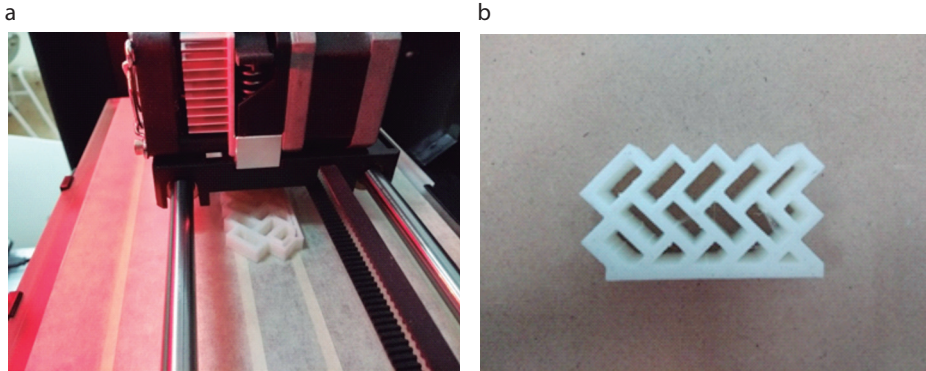
Si bien es claro, los criterios de diseño son una ruta clara para mejorar el rendimiento térmico del producto. Sin embargo, es importante tener en cuenta la viabilidad industrial de acuerdo con el método de fabricación y la infraestructura disponible durante el proceso de diseño. El caso de esta investigación es muy específico, porque está limitado a las unidades constructivas fabricadas en arcilla por extrusión.

Las etapas del desarrollo de producto a escala de laboratorio son: la impresión en 3 dimensiones (3D), fabricación a escala de laboratorio y caracterización de producto terminado.

## Impresión en 3 Dimensiones (3D)

La impresión en 3D es una etapa complementaria del proceso de diseño, debido al primer acercamiento al volumen de la unidad constructiva. La pertinencia de esta etapa es la previsualización volumétrica de los diseños planteados en papel con el fin de comprender la complejidad de las geometrías de los nuevos productos.

Figura 67. Impresión 3D de ladrillos a escala 1:5 en impresora



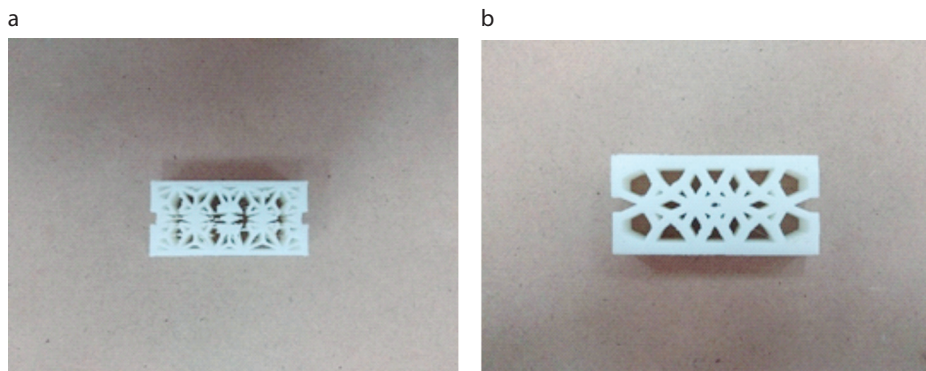
Nota: *makerbot: replicator 2* del aula de diseño cerámico.

Fuente: elaboración propia.

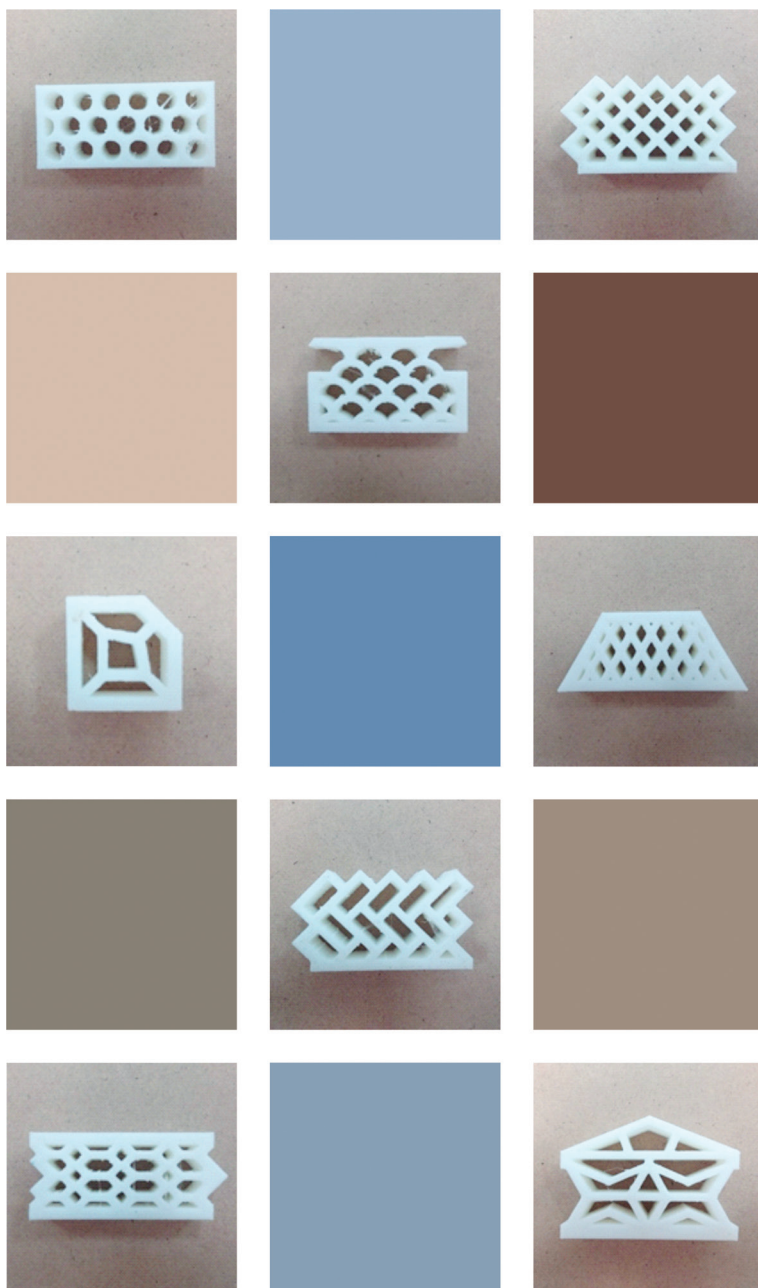
La metodología de la impresión 3D se ejecutó de la siguiente manera: en primer lugar, se realizó el modelado 3D en *SketchUp* para exportarlo en el formato *STereoLithography* (STL) compatible con la impresora *Makerbot: Replicator 2* del aula de diseño cerámico.

En primera instancia, los ladrillos se fabricaron a escala 1:10 en la impresora 3D. Los primeros intentos evidenciaron que la complejidad de las geometrías de las celdas o perforaciones de menor tamaño es una de las fallas principales. Teniendo en cuenta esta situación, la fabricación por impresión 3D ajustó la escala a 1:5 para mejorar la proyección de los volúmenes.

Figura 68. Prototipos iniciales con defectos (a) y prototipos finales (b)



Fuente: elaboración propia.

**Figura 69. Prototipos de ladrillos en impresión 3D a pequeña escala**

Fuente: elaboración propia.

## Fabricación a escala de laboratorio

La fabricación a escala de laboratorio es una estrategia que nace desde el Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica (GITEC), apoyado por el Centro de Investigación en Materiales Cerámicos y el Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos (GRAMA), los cuales tienen el fin de apostar por la innovación de productos para mampostería con beneficios térmicos.

La sinergia entre las 3 partes consolidó la adaptación de una metodología industrial a escala de laboratorio para ejecutar los objetivos propuestos. Las etapas de la metodología de la fabricación a escala de laboratorio son elaboración de boquillas, preparación de la mezcla, extrusión, secado y cocción.

Figura 70. Procedimiento de fabricación a escala de laboratorio



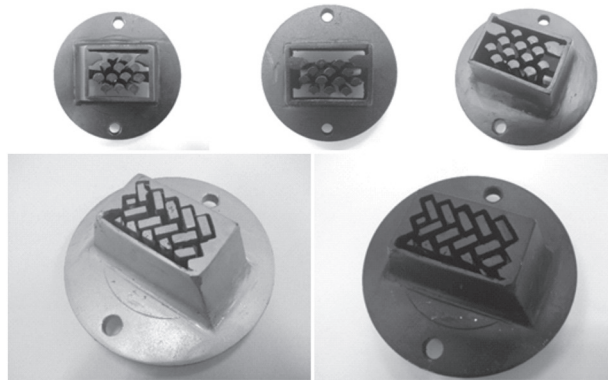
Fuente: elaboración propia.

## Fabricación de boquillas

La elaboración de boquillas para adaptar en la extrusora del laboratorio de extrusión del CIMAC se realizó en un taller de metalurgia especializado. El equipo encargado requirió la planimetría del diseño en AutoCAD y el porcentaje de contracción de la mezcla para diseñar la boquilla para definir la escala de las boquillas según la capacidad de la extrusora.



**Figura 71. Corrección y perfeccionamiento de boquillas para adaptar en extrusora de laboratorio del CIMAC**



Fuente: elaboración propia.

## Preparación de la mezcla

La preparación de la mezcla varía de acuerdo con el tamaño de las partículas de las materias primas. El material principal de la investigación es la arcilla y los materiales complementarios son el cisco de café y la cascarilla de arroz. Los procesos de preparación son secado, triturado, molienda y tamizado.

Materiales como el cisco de café y la cascarilla de arroz exigen procesos de tamizados con mallas pequeñas debido a que su alta capacidad de ignición genera poros en los productos durante los procesos de cocción. Por tal motivo, no solo es importante garantizar la uniformidad del tamaño de partícula, sino un tamaño de partícula que no afecte las propiedades mecánicas del producto terminado. Finalmente, la preparación de la mezcla consiste en amasar las porciones correspondientes según los requerimientos de la formulación de la mezcla.

**Figura 72. Preparación de materias primas**



Fuente: elaboración propia.

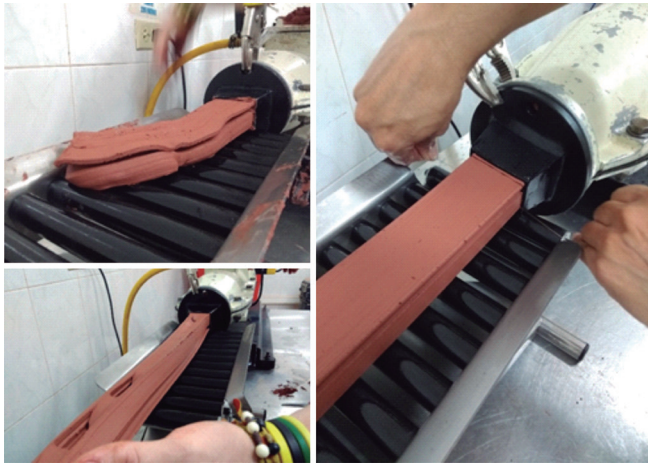
## Extrusión

El proceso de extrusión es, sin duda, la prueba de fuego porque se pone a prueba la materialización del producto a través de la boquilla y la mezcla formulada. Durante esta etapa es recomendable prestar atención a todos los factores involucrados para identificar posibles errores en la fabricación como roturas, hundimientos, fisuras, entre otros que comprometan el diseño original del producto.

Algunas causas registradas en la experimentación de esta investigación son: partículas de gran tamaño que se atorán en la boquilla, lo cual corta el material en lugares no deseados, errores en el diseño de la boquilla, el exceso de agua en la mezcla deforma el producto en húmedo y, en el caso contrario, dificulta el moldeo durante la extrusión, por último, la complejidad de la geometría de las perforaciones.

Una vez finalizada la extrusión, las muestras en condición húmeda son codificadas para los ensayos de laboratorio y dispuestas en una bandeja limpia para iniciar el proceso de secado.

Figura 73. Identificación de desprendimientos y deformaciones en pruebas de extrusión



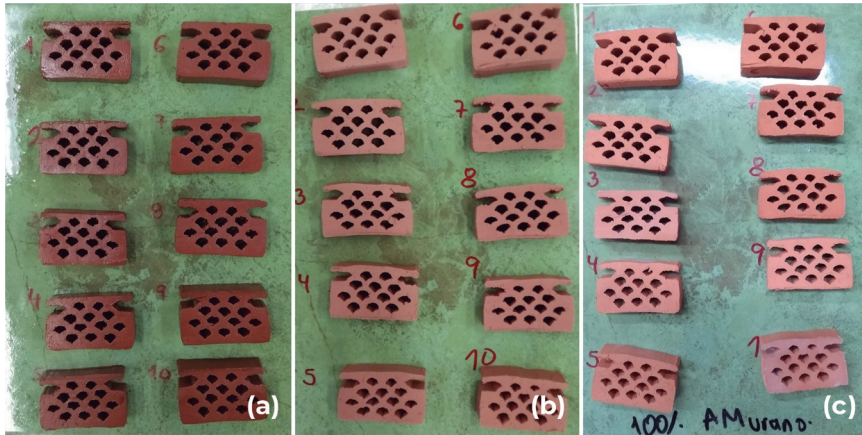
Fuente: elaboración propia.

## Secado

El proceso de secado inicia con las muestras recién extruidas en condición húmeda, las cuales se someten a un periodo de reposo a temperatura ambiente durante 24 horas. Finalizado el secado natural, continúa el proceso en horno de secado marca Franco Gabrielli *Technology* durante otras 24 horas, aproximadamente.



Figura 74. Condición húmeda (a), seca (b) y cocida (c) de las muestras

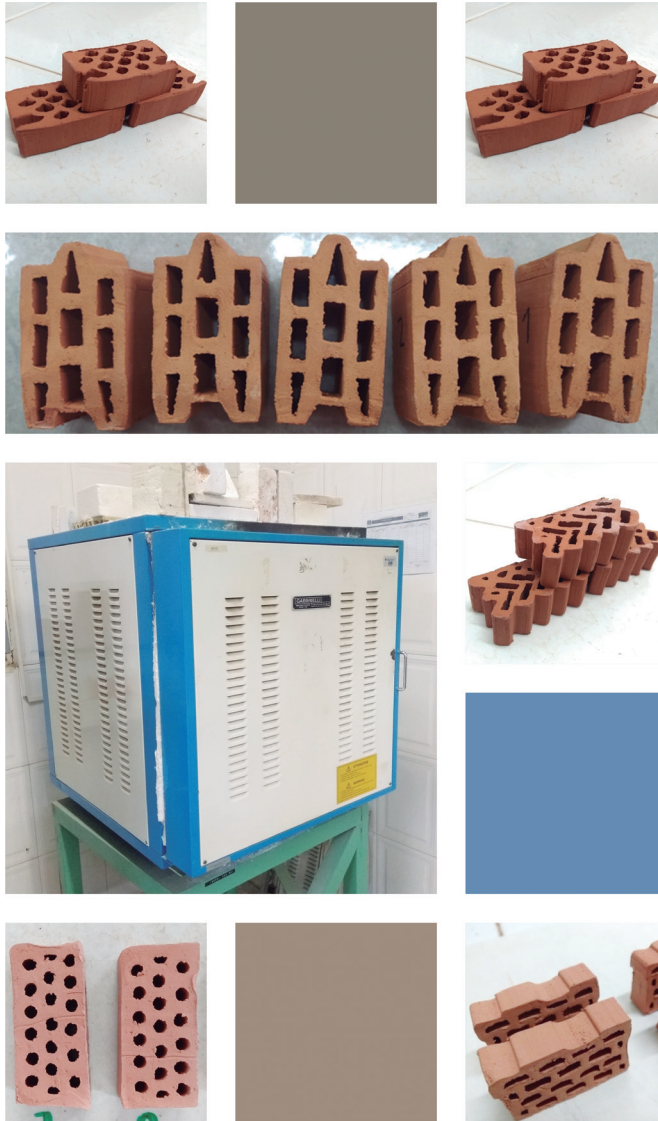


Fuente: elaboración propia.

## Cocción

El proceso de cocción o quemado es la etapa final de la fabricación; se realiza en un horno mufla de la marca Franco Gabrielli *Technology* a 1.000 °C.

Figura 75. Prototipos fabricados en arcilla cocida por extrusión a escala de laboratorio



Fuente: elaboración propia.

## Caracterización de producto terminado

La caracterización de producto consiste en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo fabricado. Los ensayos de laboratorio realizados son contracción lineal, resistencia mecánica a la compresión, eflorescencias, porosidad, densidad aparente, absorción de agua y dimensiones. Asimismo, la ejecución de

cada proceso partió de la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 y NTC 4205, UNE-EN 772-11, UNE-EN 772-21 y la Norma ASTM C-373. Los principales equipos para la realización de los ensayos son balanza, calibrador, recipientes y estufa.

## **Contracción lineal**

La determinación de contracción lineal es un proceso paralelo al proceso de fabricación porque requiere la toma de medidas en las diferentes condiciones de las muestras. Esta propiedad se determina con el fin de identificar las probabilidades de rotura y fisuras del producto.

## **Determinación de dimensiones para unidades de mampostería**

La determinación de dimensiones de unidades de mampostería registra los valores de longitud, ancho y profundidad de una pieza constructiva para mampostería. El ensayo requiere un calibrador de mordazas paralelas o pie de rey (NTC 4017), además, determina las dimensiones de las perforaciones y tabiques, según el diseño de cada producto.

## **Determinación de absorción de agua**

La propiedad de la absorción de agua determina la capacidad de almacenamiento de agua del ladrillo o bloque. El ensayo tiene dos modalidades: inmersión por agua fría y ebullición.

### **Por inmersión en agua fría**

La modalidad por inmersión en agua fría determina el peso seco de las probetas y, después, el sumergimiento en agua fría por determinado periodo de tiempo para obtener el peso saturado (NTC 4017).

### **Por ebullición**

La modalidad de absorción de agua por ebullición determina propiedades adicionales como volumen exterior, volumen de poros abiertos e impermeables, porosidad aparente, absorción de agua, peso específico aparente y densidad aparente.

Como su nombre lo indica, el procedimiento consiste en la ebullición de las muestras por un periodo de tiempo definido en la Norma ASTM C-373.

## Determinación de resistencia a la compresión para unidades de mampostería

La determinación de resistencia a la compresión de un ladrillo y/o bloque consiste en la aplicación de cargas específicas según la aplicación constructiva. El procedimiento requiere las muestras secas y la velocidad de carga. Los datos obtenidos del ensayo son carga máxima de rotura (N o kfg) y promedio de áreas brutas de la superficie superior e inferior ( $\text{cm}^2$ ), según la NTC 4017.

## Determinación cualitativa de eflorescencias para unidades de mampostería

La determinación cualitativa de eflorescencia registra la concentración de sales en la arcilla a través de la evaporación de agua del ladrillo. Este proceso acumula las sales en las superficies del producto en forma de manchas blancas, correspondientes a sales de sulfato o amarillas correspondientes a sales de vanadio.

El ensayo consiste en la disposición de una de las superficies de las muestras en agua destilada por un periodo de tiempo determinado en la NTC 4017. En paralelo, el procedimiento debe registrar en fotografías el antes y después de todas las superficies de cada muestra para calificar cualitativamente la intensidad y el tipo de manchas de las eflorescencias.

Figura 76. Muestras eflorecidas y absorción de agua

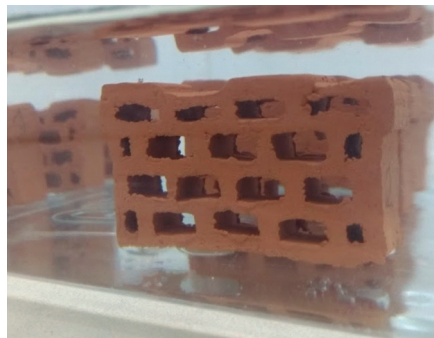
a

Muestras eflorecidas



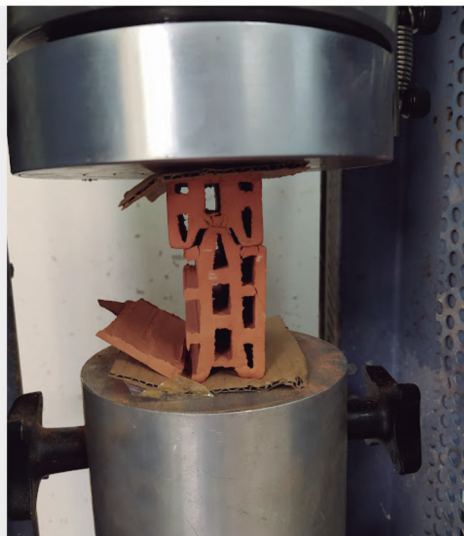
b

Absorción de agua



Fuente: elaboración propia.

Figura 77. Dimensiones



Fuente: elaboración propia.





La exploración de formas y geometrías contribuye a la **mitigación de la transferencia** de calor, además, es un avance para la **transformación** de industrias cerámicas.



## CAPÍTULO 6

### CASOS DE ESTUDIO: FASE DE DISEÑO

El capítulo 6 expone los casos de estudio desarrollados hasta la fase de diseño por parte del equipo de autores. La exploración de formas y geometrías ha contribuido a la demostración de la eficiencia de los criterios de diseño en productos para la construcción.

Aunque el ejercicio de proponer nuevos productos desde diseños de geometrías y superficies más complejas parece netamente estético. La contribución a la mitigación de la transferencia de calor es un avance para la transformación de industrias cerámicas y arcilleras tradicionales que se han conformado con una oferta limitada de soluciones constructivas.

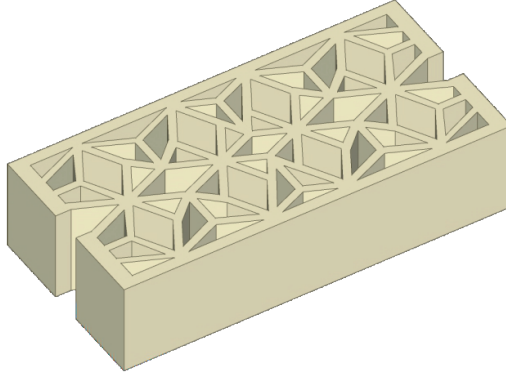
La metodología implementada en todos los casos es la apropiación de conceptos de los criterios de diseño expuestos en el capítulo 4 y la descrita en el capítulo 3 para los procesos de simulaciones de distribución de temperaturas y flujos de calor.

Los productos desarrollados en fase de diseño son:

- » Ladrillo caravista con Geometrías Disipadoras (GD-1, GD-2, GD-3)
- » Ladrillo ventilado (CAV-1, CAV-2, CAV-3)
- » Ecodiseño curvo con aditivos de nutrientes tecnológicos

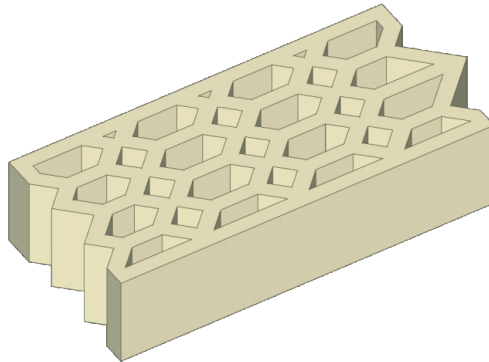
## Ladrillos caravista con Geometrias disipadoras

Figura 78. Ladrillo caravista GD-1



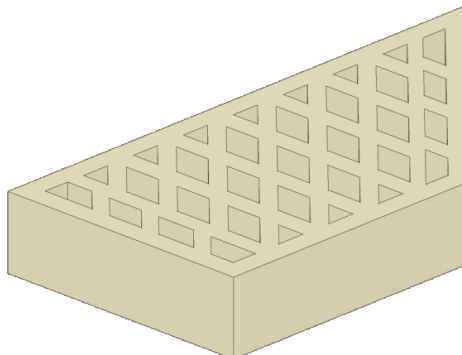
Fuente: Colmenares-Uribe *et al.* (2019).

Figura 79. Ladrillo caravista GD-2



Fuente: Colmenares-Uribe *et al.* (2019).

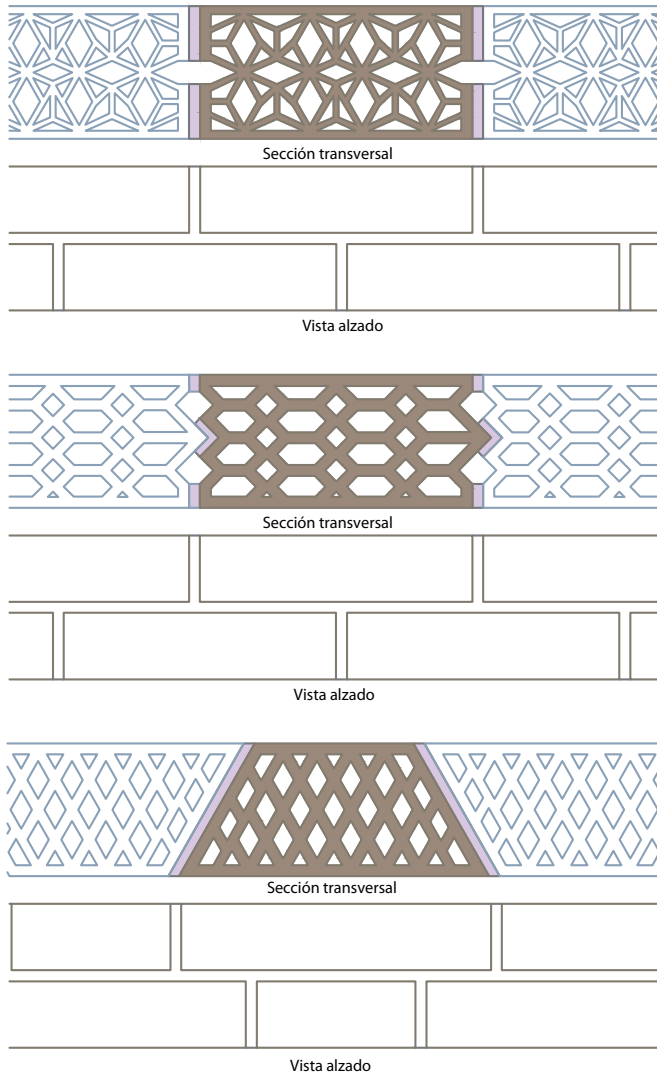
Figura 80. Ladrillo caravista GD-3



Fuente: Colmenares-Uribe *et al.* (2019).



Figura 81. Secciones y vistas de Ladrillos caravista GD



Fuente: elaboración propia.

## Geometrías disipadoras

### Tratamiento de juntas de mortero

La oferta de productos para fachadas arquitectónicas debería considerar soluciones constructivas que mitiguen el calentamiento de las edificaciones, ya que el comportamiento térmico de los materiales de la construcción es factor elemental en el consumo energético de las edificaciones.

La metodología de la investigación se divide en 2 etapas: el diseño de los ladrillos y la validación térmica por transferencia y flujos de calor en el *software Ansys R16*, utilizando el método de elementos finitos.

Para el proceso de diseño se implementó la modificación de las celdas internas y la eliminación del puente térmico. Las simulaciones fueron configuradas bajo los valores más altos de radiación solar registrados en la ciudad de San José de Cúcuta, Colombia y el material de arcilla (conductividad: 0,30 W/m °C).

Los resultados indican que el diseño varía el comportamiento energético del producto, ya que puede reducir la temperatura de la superficie interior hasta 1,23°C o la puede aumentar hasta 2,25°C. Los resultados demuestran que la modificación de la distribución de las celdas y la eliminación de puentes térmicos son estrategias pasivas para la reducción de transferencia de calor en el diseño de producto cerámico para mampostería.

### **Ladrillo caravista GD-1**

El ladrillo caravista GD-1 mantiene las proporciones del ladrillo multiperforado. Sin embargo, crea una cámara de aire para bloquear la continuidad del puente térmico generado por la junta de mortero. Su beneficio térmico es de 1,23°C en comparación con el ladrillo multiperforado.

### **Tratamiento de junta de mortero**

La geometría de las celdas del ladrillo caravista GD-1 se compone de rombos en diferentes sentidos como ejes principales. Alrededor se distribuyen triángulos pequeños, que a su vez dan espacio para polígonos irregulares que responden a la orgánica de la geometría. Las cámaras de aire interiores (2) se sitúan en el medio de cada lateral para bloquear la conducción directa de energía desde la superficie exterior a la interior.

### **Ladrillo caravista GD-2**

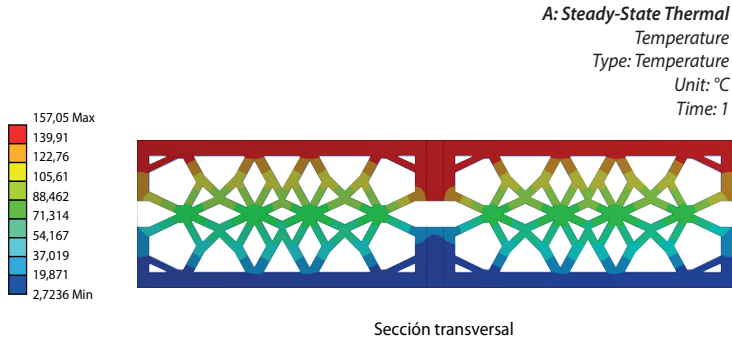
El ladrillo caravista GD-2 conserva las dimensiones del ladrillo multiperforado; sus modificaciones se evidencian en la morfología de las celdas y el puente térmico entre piezas y la geometría de las perforaciones está compuesta por hileras intercaladas de hexágonos, rombos y polígonos irregulares. La junta de mortero bloquea la conducción de energía directa por medio de cámaras de aire interiores, lo cual reduce 0,62°C la temperatura interior de la superficie interior del ladrillo tradicional.

### **Ladrillo caravista GD-3**

El ladrillo caravista GD-3 se caracteriza por su forma trapezoidal. El ancho del ladrillo es de 12 cm, igual que el ladrillo tradicional. La malla interna de rombos regulares se configura en 3 hileras.

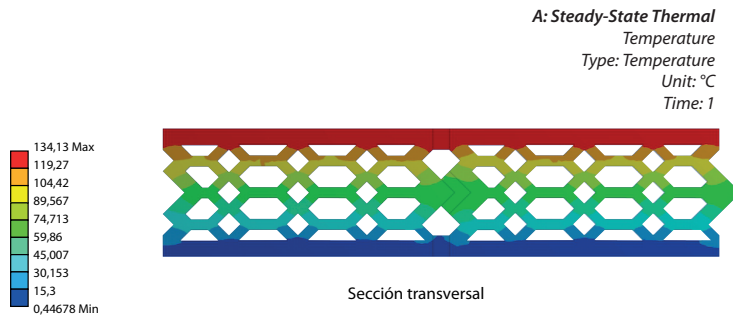
Los laterales inclinados de la pieza plantean un recorrido más largo de la junta de mortero, sin embargo, esta medida no representa un beneficio térmico, porque eleva la temperatura de la superficie interior 2,25°C más que el tradicional.

Figura 82. Distribución de temperaturas GD-1



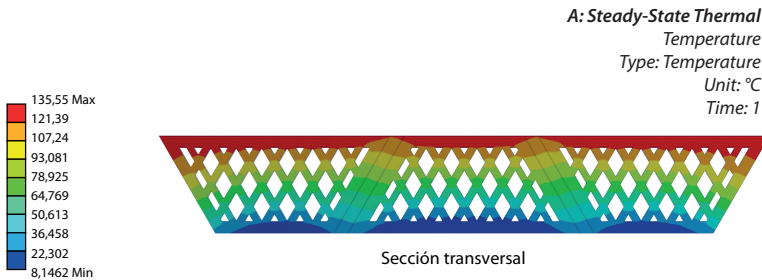
Fuente: elaboración propia.

Figura 83. Distribución de temperaturas GD-2



Fuente: elaboración propia.

Figura 84. Distribución de temperaturas GD-3



Fuente: Colmenares-Uribe *et al.* (2019).

Figura 85. Flujos de calor GD-1

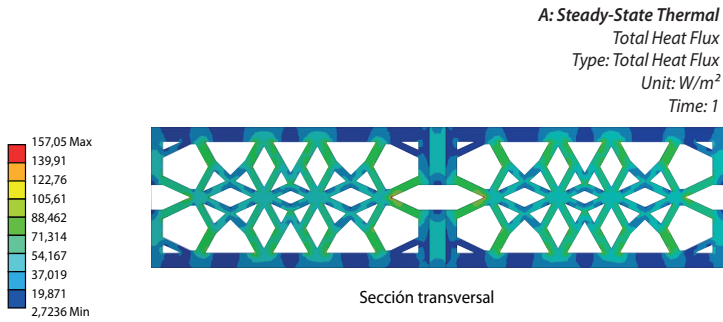
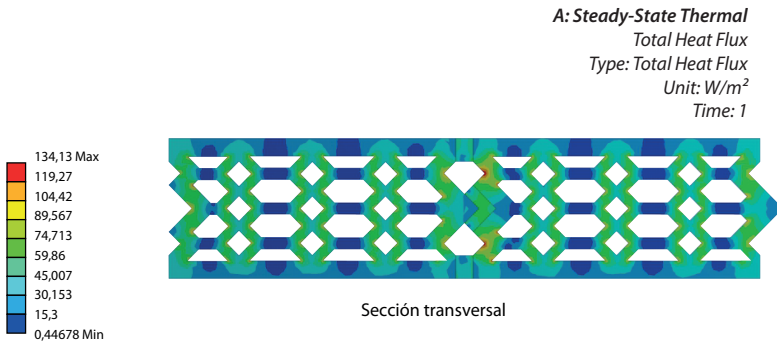
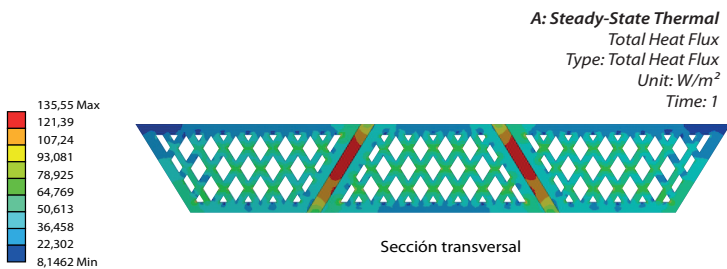


Figura 86. Flujos de calor GD-2



Fuente: elaboración propia.

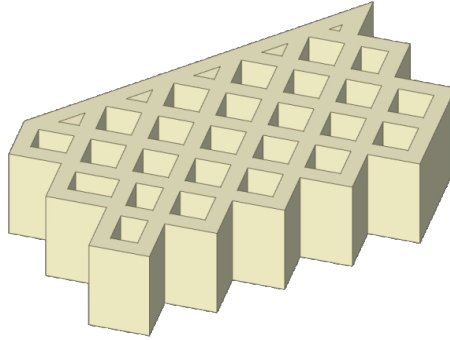
Figura 87. Flujos de calor GD-3



Fuente: elaboración propia.

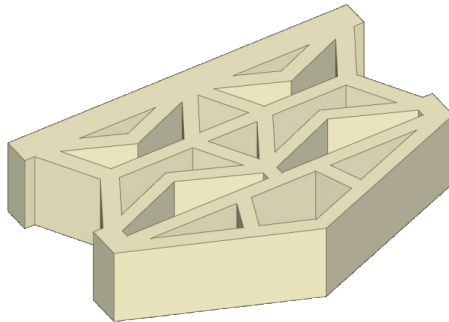
## Ladrillos ventilados

**Figura 88. Ladrillo ventilado CAV-1**



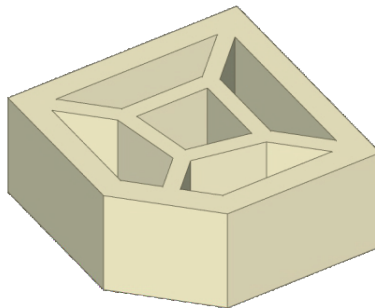
Fuente: Díaz-Fuentes *et al.* (2020).

**Figura 89. Ladrillo ventilado CAV-2**



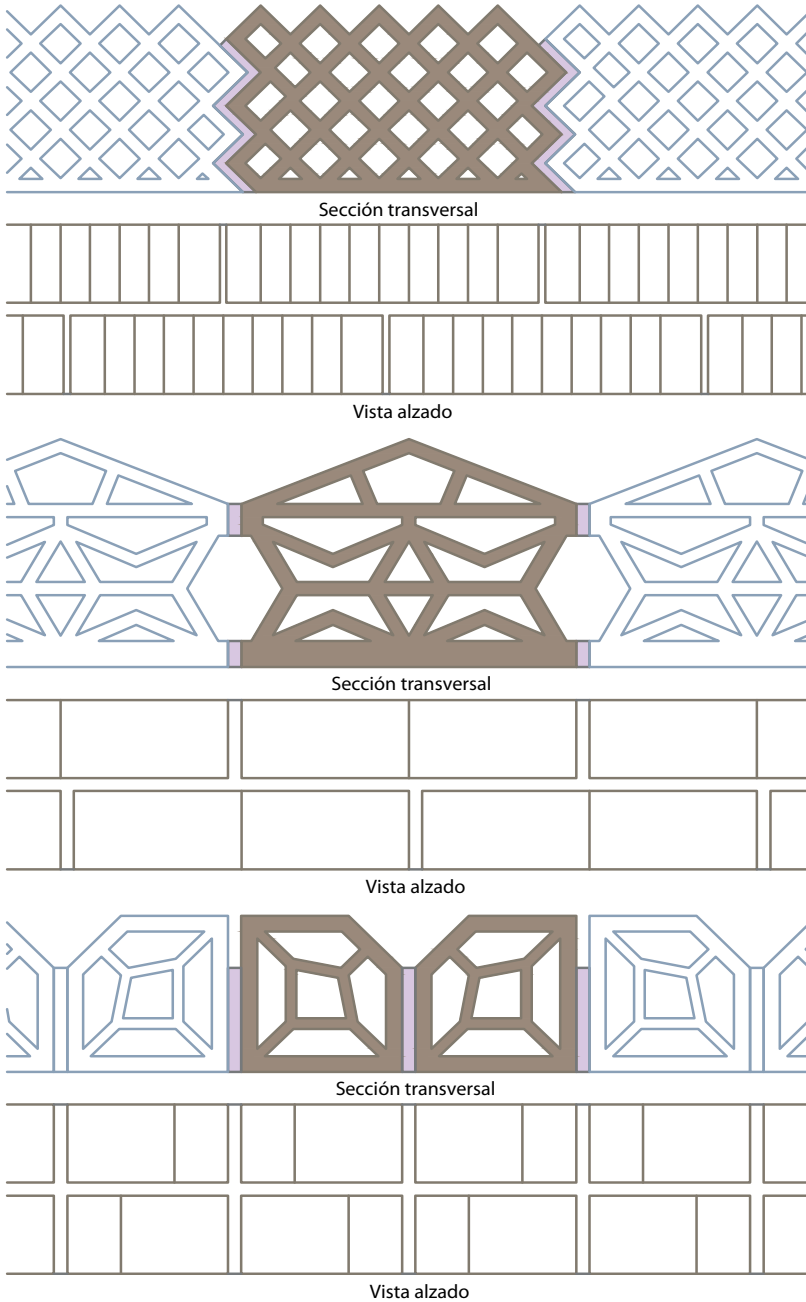
Fuente: Díaz-Fuentes *et al.* (2020).

**Figura 90. Ladrillo ventilado CAV-3**



Fuente: Díaz-Fuentes *et al.* (2020).

Figura 91. Secciones y vistas Ladrillos ventilados CAV



Fuente: elaboración propia.

Los productos y sistemas constructivos de fachadas regulan la transferencia de energía en las envolventes. Por tal motivo, se desarrolló una exploración de tipologías de cámaras ventiladas para mejorar la eficiencia térmica de ladrillos para muros de mampostería en arcilla cocida, teniendo en cuenta su uso en la construcción.

## Geometrías disipadoras

### Cámara de aire ventilada

### Cámara de aire ventilada

#### Sombreamiento

La metodología contempla el diseño, simulación y análisis de resultados. La etapa de diseño plantea 3 tipologías de ladrillo con cámara de aire ventilado. Las simulaciones registran el comportamiento de la transferencia y concentración de calor de los modelos (conductividad:  $0,30 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ ) en condiciones climáticas extremas de San José de Cúcuta, Colombia, en septiembre, en el *software Ansys R16* a través del método de elementos finitos.

Los resultados indican una reducción considerable en la concentración de energía, gracias a la mitigación en la transferencia de calor de las cámaras de aire ventiladas; las mejoras varían entre  $2,52^\circ\text{C}$  y  $3,64^\circ\text{C}$  en las superficies interiores de los ladrillos propuestos.

### Ladrillo ventilado CAV-1

El ladrillo ventilado CAV-1 hace parte de los productos con cámara de aire ventilada vertical. El diseño de la superficie exterior se compone de varios planos inclinados que forman 6 conductos de aire de 6 cm de altura. La geometría de las perforaciones es una malla de rombos regulares que remata en con una hilera de pentágonos hacia el costado de la superficie interior.

La junta de mortero ladrillo ventilado CAV-1 propone laterales con planos inclinados para crear un ensamble entre piezas tipo ajuste. Sin embargo, en la simulación se observa que, a pesar de generar un recorrido más largo en la junta, la conducción de energía se concentra en esos puntos. No obstante, la temperatura de la superficie interior reduce  $2,52^\circ\text{C}$  más que el ladrillo multiperforado, esto gracias a la implementación de la cámara de aire ventilada vertical.

## **Tratamiento de junta de mortero. Sombreamiento**

### ***Ladrillo ventilado CAV-2***

El ladrillo ventilado CAV-2 rompe los esquemas de un producto tradicional por sus dimensiones, forma y configuraciones de muro. Su principal atributo son los planos inclinados sobre la superficie exterior, los cuales generan una cámara de aire ventilada vertical y, a su vez, brindan la posibilidad de configurar diferentes tipos de superficies. La geometría de las perforaciones se compone de triángulos de diferentes dimensiones y polígonos irregulares.

El ladrillo ventilado CAV-2 elimina los puentes térmicos por la junta de mortero a través de una gran cámara de aire en cada lateral, lo cual significa una reducción de la temperatura de la superficie interior de 3,54°C. No obstante, debe realizarse un análisis sobre las propiedades mecánicas de la solución constructiva.

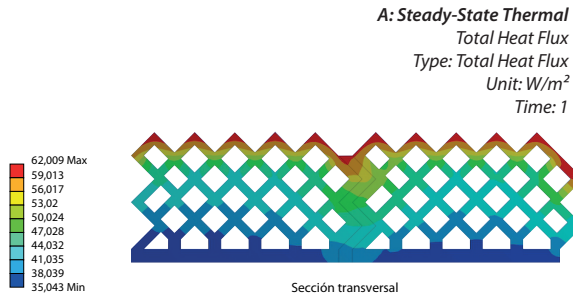
### ***Ladrillo ventilado CAV-3***

El ladrillo ventilado CAV-3 es una propuesta más pequeña, sus dimensiones se adaptan al ladrillo tradicional, de tal manera que las posibilidades de configuración de muro son muy amplias porque puede configurarse con dicho producto.

Es un formato cuadrado con una de sus esquinas suprimidas en un plano inclinado. La geometría interna se compone de un núcleo central trapezoidal y pentágonos irregulares alrededor. A pesar de ser una pieza pequeña, el diseño contempla una cámara de aire ventilada vertical que se reduce a 2,76°C.

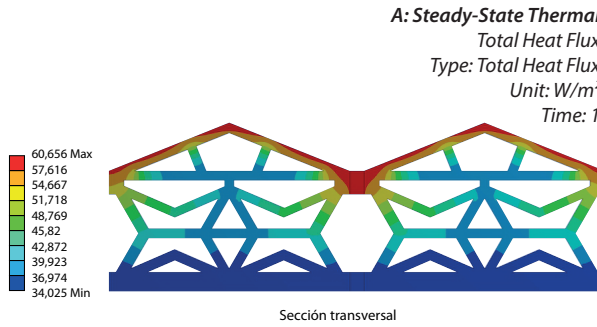


Figura 92. Distribución de temperaturas CAV-1



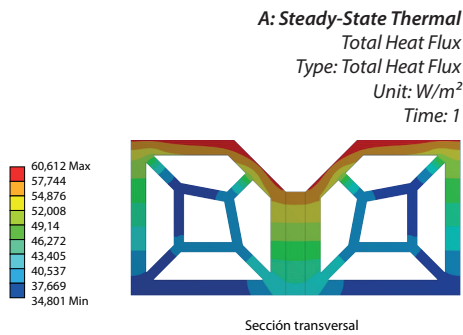
Fuente: Díaz-Fuentes *et al.* (2020).

Figura 93. Ladrillo ventilado CAV-2



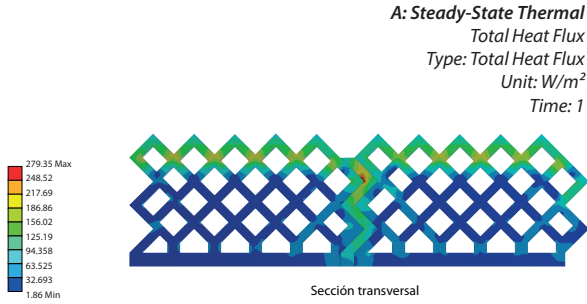
Fuente: Díaz-Fuentes *et al.* (2020).

Figura 94. Distribución de temperaturas CAV-3



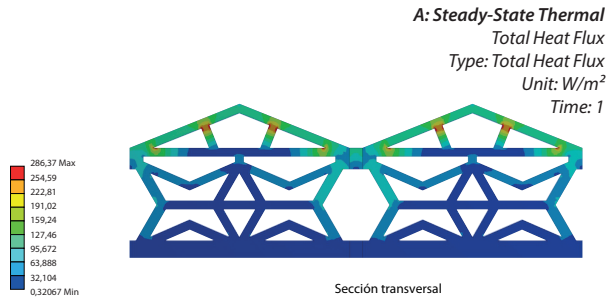
Fuente: Díaz-Fuentes *et al.* (2020).

**Figura 95. Flujos de calor CAV-1**



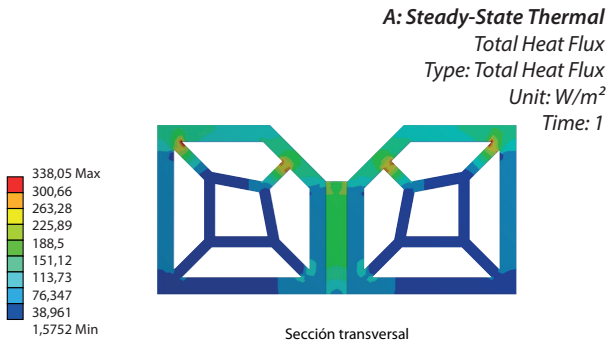
Fuente: Díaz-Fuentes *et al.* (2020).

**Figura 96. Flujos de calor CAV-2**



Fuente: Díaz-Fuentes *et al.* (2020).

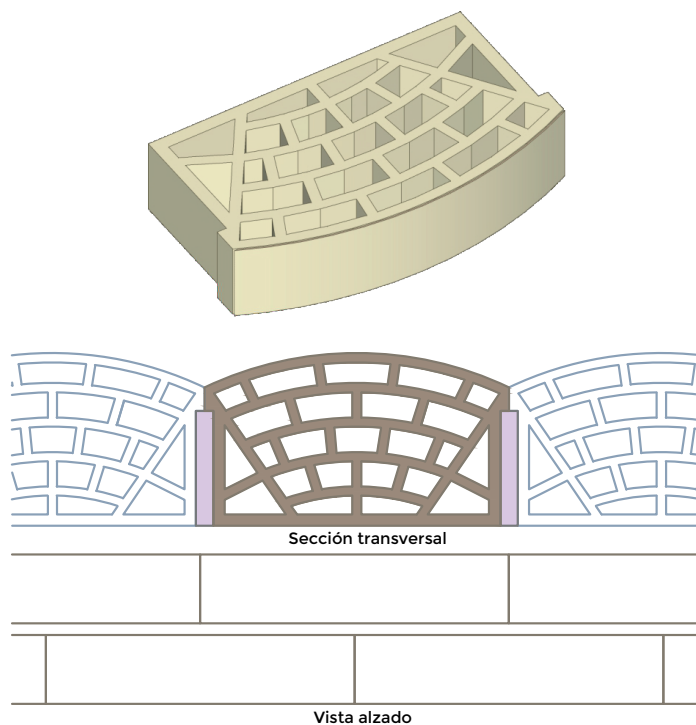
**Figura 97. Flujos de calor CAV-3**



Fuente: Sánchez-Molina *et al.* (2020). Geometrías disipadoras

## ECO Diseño Curvo

Figura 98. Ecodiseño curvo



Fuente: Sánchez-Molina et al. (2020).

## Geometrías disipadoras Tratamiento de junta de mortero

### Cámara de aire ventilada Aditivos de nutrientes tecnológicos

Ecodiseño es una propuesta cerámica de perforaciones verticales para muros de fachada. Su objetivo es mitigar la transferencia de calor desde el exterior hacia la superficie interior del ladrillo mediante una cámara de aire ventilada vertical, aislamiento del puente térmico y la modificación de las celdas.

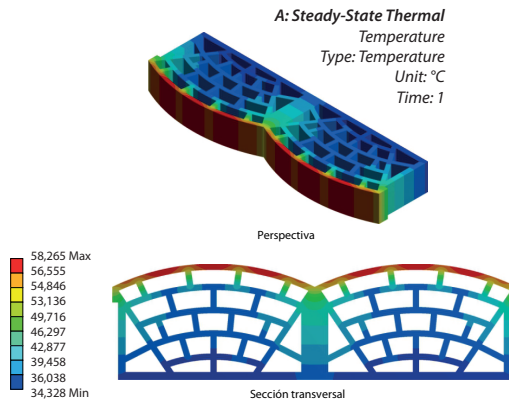
Eco D curvo propone fachadas orgánicas a través de su superficie exterior curva. La geometría de las perforaciones es irregular, ya que el arco exterior que delimita la cámara de aire se desfasa en celdas rectangulares hasta la superficie interior de la pieza. Las propuestas de Eco D plantean pestañas laterales para aislar completamente

los puentes térmicos generado por las juntas de mortero. Estas tipologías de producto están pensadas para combinarse con el ladrillo multiperforado y generar diferentes patrones de fachada.

En este caso, las simulaciones se realizaron en dos mezclas en M Ab y M-ACC 5 para evaluar la incidencia del aditivo de 5% de cisco de café. Sin embargo, los resultados demuestran que las variaciones son mínimas.

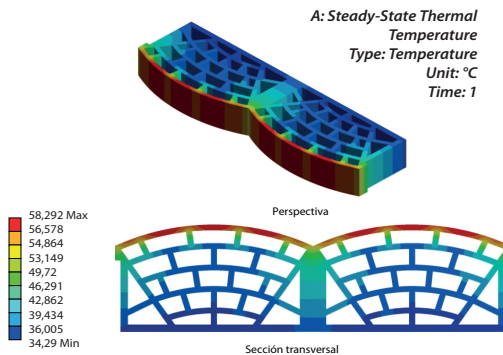
El primer beneficio térmico es la disminución de la temperatura de la superficie exterior de casi 4°C. De igual manera, la temperatura de la superficie interior disminuye 7,3°C en las mezclas con solo arcilla y con aditivos de cisco de café como nutriente tecnológico.

**Figura 99. Distribución de temperaturas de Eco D Curvo en arcilla**



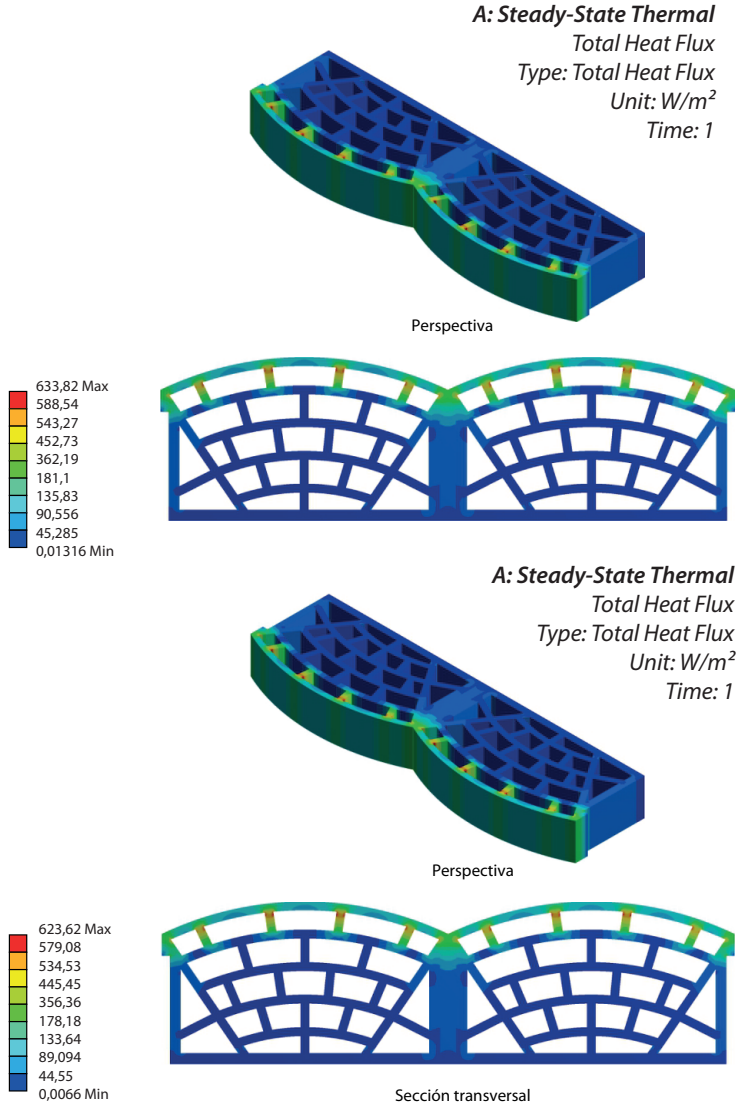
Fuente: Sánchez-Molina *et al.* (2020).

**Figura 100. Distribución de temperaturas de Eco D Curvo en arcilla y cisco de café**

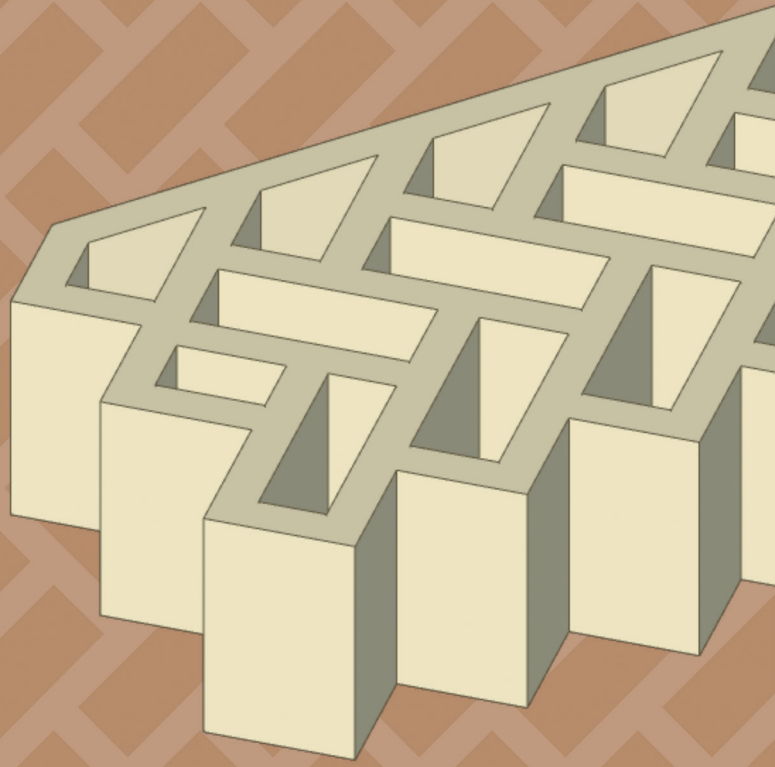


Fuente: Sánchez-Molina *et al.* (2020).

Figura 101. Flujos de calor de Eco D Curvo en arcilla y arcilla con cisco de café



Fuente: Sánchez-Molina *et al.* (2020).



...el desarrollo a escala de laboratorio es una estrategia para **conocer la viabilidad industrial** del producto...

## CAPÍTULO 7

### CASOS DE ESTUDIO: FASE DE DESARROLLO A ESCALA DE LABORATORIO

Este último capítulo recopila los procesos de desarrollo de producto a escala de laboratorio con el fin de demostrar la infinidad de posibilidades de soluciones constructivas para mampostería. La escala de laboratorio es una estrategia de innovación para corregir problemas comunes como fisuras, patologías, deformaciones, entre otras; además de conocer la viabilidad industrial del producto.

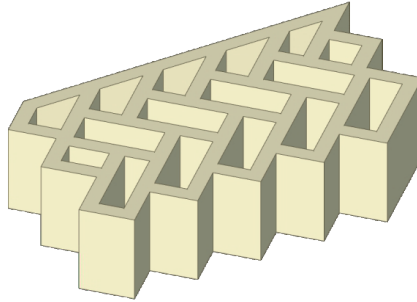
Los resultados demuestran que la incorporación de residuos agroindustriales compromete las propiedades mecánicas de los productos, por ende, es una premisa para profundizar el tema en futuras investigaciones relacionadas al aprovechamiento de residuos en mezclas para productos de la construcción.

Los productos desarrollados son:

- » Ladrillo ventilado CAV-4 en arcilla y cisco de café
- » Patente de invención “ladrillo para aislamiento térmico que comprende canales pasantes y un tabique frontal” en arcilla y cisco de café
- » Eco-D en arcilla y cisco de café
- » Bloque macho-hembra en arcilla y chamota

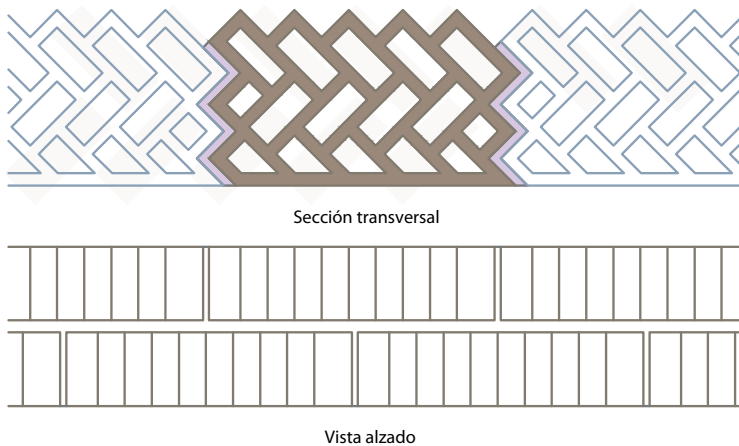
## Ladrillo ventilado CAV-4 en arcilla y cisco de café

Figura 102. Ladrillo ventilado CAV-4



Fuente: Colmenares-Urbe *et al.* (2022).

Figura 103. Sección transversal



Fuente: Colmenares-Urbe *et al.* (2022).

## Geometrías disipadoras Tratamiento de junta de mortero

### Cámara de aire ventilada

## Aditivos de nutrientes tecnológicos Superficie autosombreada

El ladrillo ventilado CAV-4 es uno de los productos desarrollados a escala de laboratorio en el proyecto de Joven Investigador llamado “*Diseño de prototipos de producto cerámico arquitectónico para mampostería con propiedades estéticas y de aislamiento térmico*”.



### El ladrillo ventilado CAV-4 es una variación de ladrillo ventilado CAV-1.

La característica principal de este formato son los planos inclinados en la superficie exterior y laterales para la generación de sombras y recorridos más largos de la junta de mortero.

La variación transforma la geometría de las perforaciones en rectángulos, como resultado de la fusión de 2 rombos del ladrillo ventilado CAV-1. Lo anterior resulta en perforaciones más grandes en la cámara ventilada, lo cual significa una mejora de 1,50°C respecto a ladrillo ventilado CAV-1.

La forma del producto varía la concentración de energía en las superficies con cámara de aire ventilada (88,5 %-96,73 %), juntas de mortero con tratamiento (28 % - 63,5 %) y diseño de perforaciones (67,51 % - 94,77 %). La distribución de temperaturas reduce entre 0,99°C y 1,08°C la temperatura de la superficie exterior y entre 2,52°C y 4,02°C la temperatura de la superficie interior, comparado con el ladrillo tradicional.

Las propiedades fisicomecánicas demuestran alteraciones en peso, resistencia y texturas, no solo por la forma del producto, sino por la incorporación de cisco de café en la mezcla de arcilla.

### Distribución de temperaturas

Figura 104. Distribución de temperaturas de CAV-4

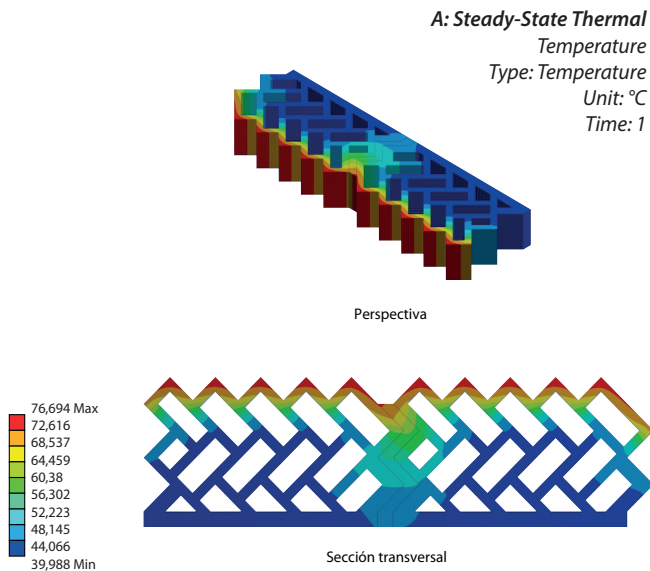
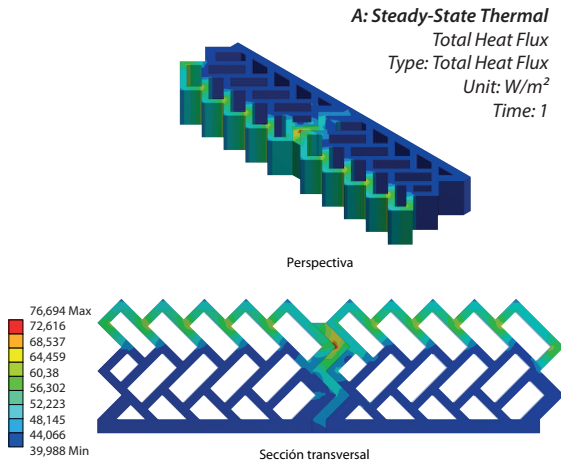
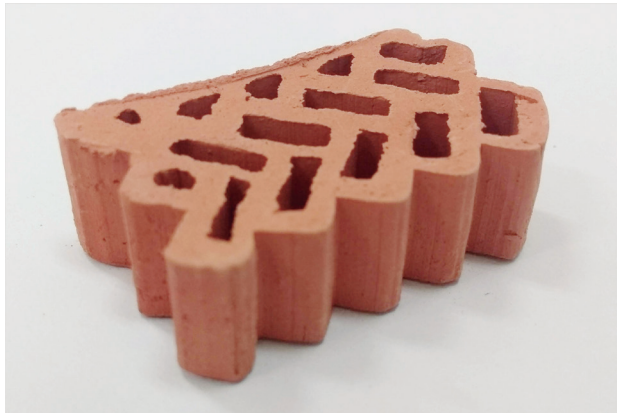


Figura 105. Flujos de calor de CAV-4



Fuente: Colmenares-Urbe *et al.* (2022).

Figura 106. Ladrillo ventilado CAV-4 en arcilla cocida



Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Caracterización técnica de CAV-4

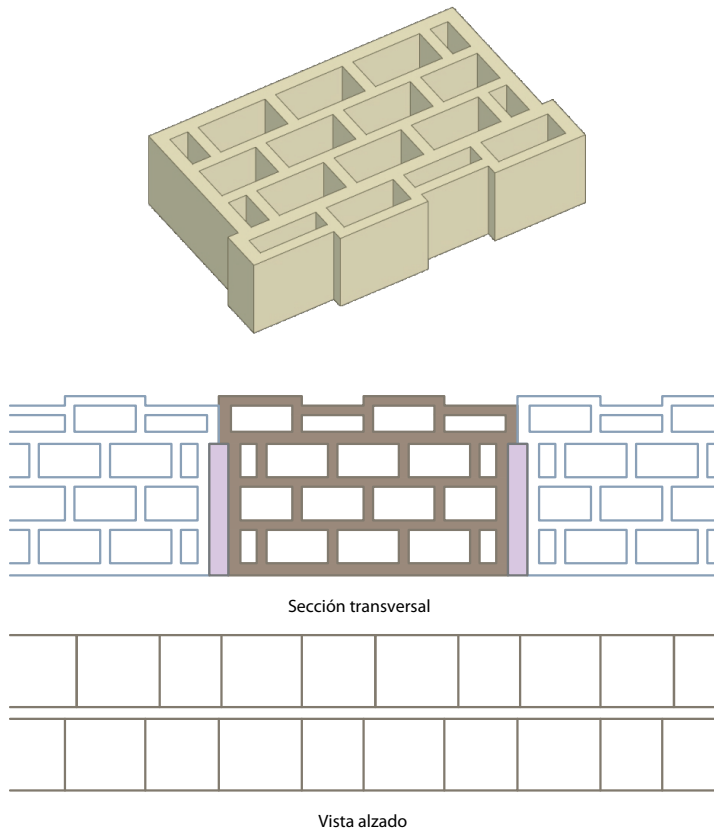
Clasificación	Tipo PV	Unidad de mampostería de perforación vertical
Aplicación constructiva	Muros de fachada	
Material	Arcilla	Arcilla y cisco de café
Resistencia a la compresión	2,1 kgf/cm <sup>2</sup>	2 kgf/cm <sup>2</sup>
Absorción de agua	9,93 %	14,15 %
Porosidad aparente	7,45 %	7,24 %

Clasificación	Tipo PV	Unidad de mampostería de perforación vertical
Eflorescencias	Muy eflorecido	Muy eflorecido
Densidad aparente	2,08 g/cm <sup>3</sup>	1,89 g/cm <sup>3</sup>
Normas aplicadas	NTC 4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.	
	NTC 4205. Ingeniería civil y Arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillo y bloques.	
	Norma ASTM-C373. Determinación de la absorción de agua, Porosidad aparente y densidad aparente.	

Fuente: elaboración propia.

## ECO Diseño en arcilla y cisco de café

Figura 107. Ecodiseño



Fuente: Sánchez-Molina *et al.* (2020).

## Geometrías disipadoras

### Tratamiento de junta de mortero

#### Cámara de aire ventilada

### Aditivos de nutrientes tecnológicos

#### Superficie autosombreada

Ecodiseño es una propuesta cerámica de perforaciones verticales para muros de fachada. Su objetivo es mitigar la transferencia de calor desde el exterior hacia la superficie interior del ladrillo mediante una cámara de aire ventilada vertical, aislamiento del puente térmico y la modificación de las celdas.

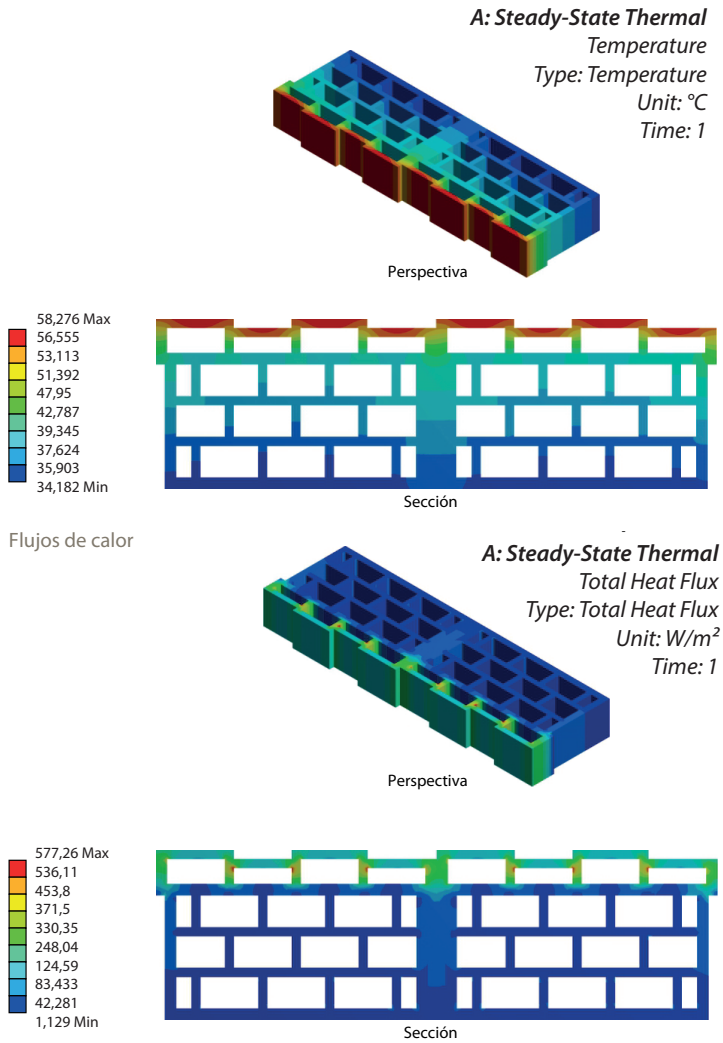
La geometría de las perforaciones son rectángulos paralelos que se traban entre sí para retardar la transferencia de calor por conducción. Asimismo, la cámara de aire se divide en 4 conductos verticales que alteran sus dimensiones (ancho) para alterar la forma de la superficie exterior del producto.

Las propuestas de Eco D plantean pestañas laterales para aislar completamente los puentes térmicos generado por las juntas de mortero. Además, estas tipologías de producto están pensadas para combinarse con el ladrillo multiperforado y generar diferentes patrones de fachada.

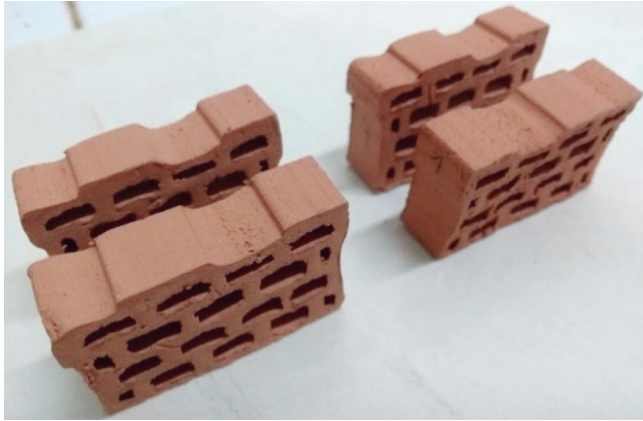
El desarrollo de este producto se realizó a nivel de diseño en mezclas M Ab, M-ACC-5, M ACC-15 y M ACC-30, y a nivel de laboratorio en mezclas M Aa, M-ACC-5.

Los resultados indican que la cámara de aire ventilada y el aislamiento de la junta de mortero mitigan el calentamiento de la superficie exterior. Por lo tanto, la temperatura de la superficie interior disminuye hasta 34 °C, lo cual significa un beneficio térmico interior de 7,5 °C en ECO-D1 (M-A y M ACC-5), comparado con el ladrillo.

Figura 108. Distribución de temperaturas y flujos de calor de ECO D



Fuente: Sánchez-Molina *et al.* (2020).

**Figura 109. Ecodiseño en arcilla cocida**

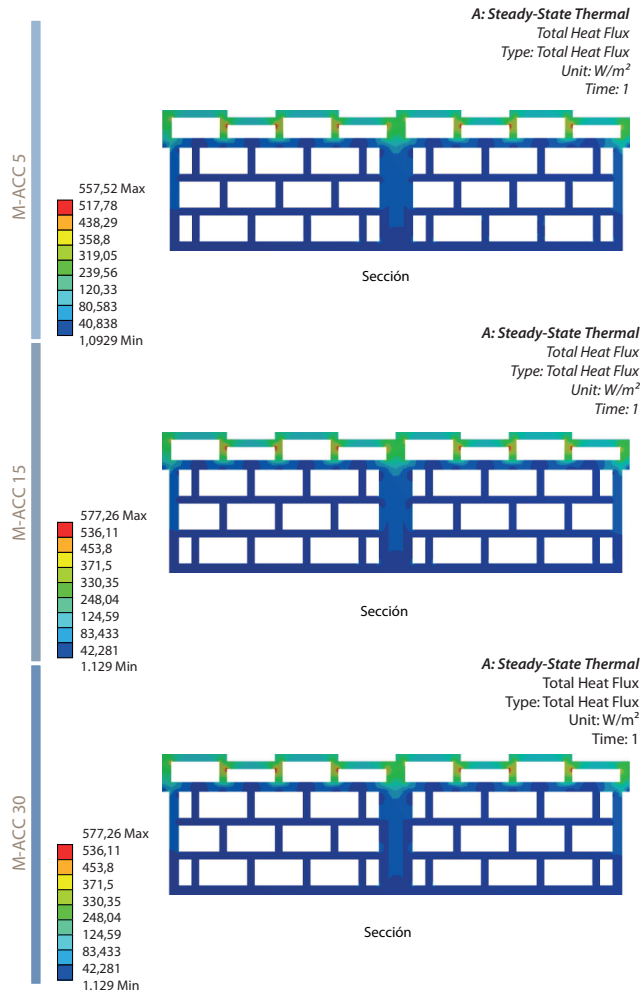
Fuente: elaboración propia.

**Tabla 8. Caracterización técnica de Ecodiseño**

Clasificación	Tipo PV	Unidad de mampostería de perforación vertical
Aplicación constructiva	Muros de fachada	
Material	Arcilla	Arcilla y cisco de café
Resistencia a la compresión	2,71 kgf/cm <sup>2</sup>	1,84 kgf/cm <sup>2</sup>
Absorción de agua	9,87 %	14,47 %
Porosidad aparente	20,35 %	27,51 %
Eflorescencias	Eflorecido-amarillo	Eflorecido-Amarillo
Densidad aparente	2,06 g/cm <sup>3</sup>	1,90 g/cm <sup>3</sup>
Normas	NTC 4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.	
Aplicadas	NTC 4205. Ingeniería civil y Arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillo y bloques.	
	Norma ASTM-C373. Determinación de la absorción de agua, porosidad aparente y densidad aparente.	

Fuente: elaboración propia.

Figura 110. Flujos de calor de ECO D en arcilla cocida y diferentes concentraciones de cisco de cafe



Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Temperaturas de superficies exteriores en diferentes mezclas con arcilla y aditivos de cisco de café

Mezcla	Temperatura exterior (°C)	Temperatura Interior (°C)
M A	58,27	34,18
M-ACC 5	58,30	34,14
M-ACC 15	58,37	34,05
M-ACC 30	58,64	33,91

Por otra parte, la variación de porcentajes de la mezcla no representa un beneficio térmico considerable en comparación con el beneficio térmico obtenido gracias a la innovación de la forma. La temperatura de la superficie interior disminuye entre 0,037 y 0,268 °C en M ACC-15 y M ACC-30.

Una demostración del impacto del diseño y la variación de la conductividad son las simulaciones de flujos de calor en las diferentes mezclas, las cuales exponen esquemas de concentración de calor similares a pesar de tener formulaciones diferentes.

El diseño de Eco D permite que sea un producto ligero por el ancho de sus tabiques y la amplitud de sus perforaciones, reduciendo su porcentaje de absorción de agua y porosidad aparente. Sin embargo, estas variables disminuyen la capacidad de la resistencia mecánica en comparación con el ladrillo multiperforado.

## **Patente de invención “Ladrillo para aislamiento térmico que comprende canales pasantes y un tabique frontal” en arcilla y cisco de café**

El ladrillo ventilado CAV-5 es una patente de invención titulada “*Ladrillo para aislamiento térmico que comprende canales pasantes y un tabique frontal*”, producto del proyecto de Joven Investigador “*Diseño de prototipos de producto cerámico arquitectónico para mampostería con propiedades estéticas y de aislamiento térmico*”.

La geometría de las celdas es una serie de polígonos conformados por semicírculos con arcos invertidos, cisoide. Su geometría interna se distribuye en celdas orgánicas con el fin de crear recorridos más largos para la conducción de energía desde la superficie exterior hacia la interior.

La invención se caracteriza porque su diseño genera cámaras de aire ventiladas al unirse con otras piezas y, de esta manera, las pestañas protegen las juntas de mortero de la radiación solar directa con sombra. La reducción de la temperatura de la superficie interior es 4,54°C comparado con el comportamiento térmico del ladrillo multiperforado.

El desarrollo a escala de laboratorio se realizó en M A (conductividad: 0,30 W/. °C) y en M ACC-5.



## Geometrías disipadoras

### Tratamiento de junta de mortero

## Cámara de aire ventilada

### Aditivo de nutrientes tecnológicos

Figura 111. Ladrillo ventilado CAV-5

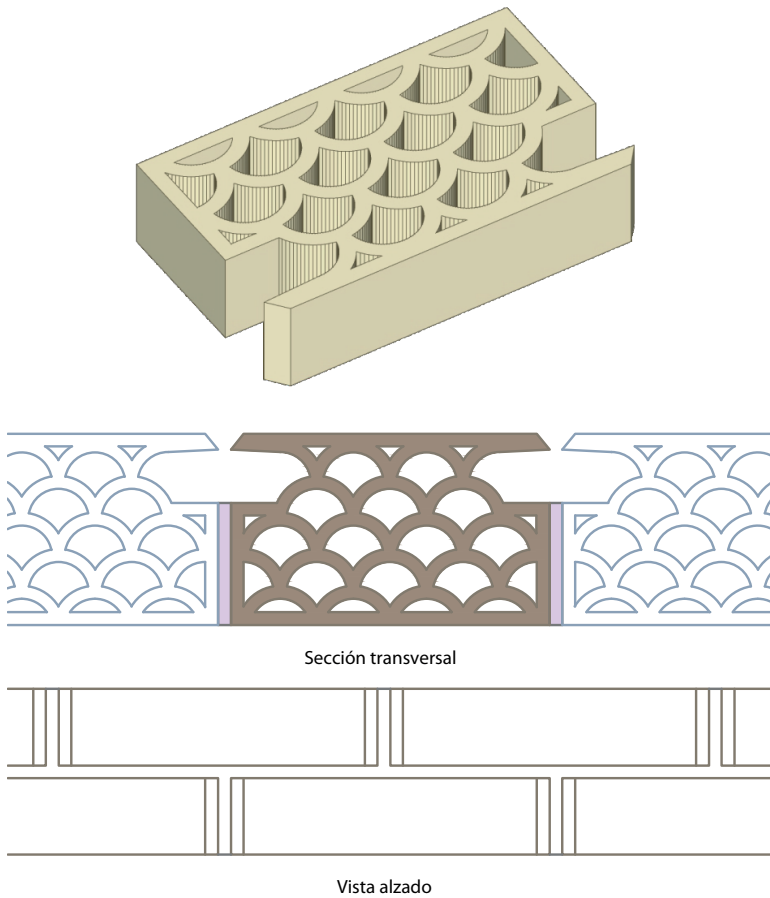
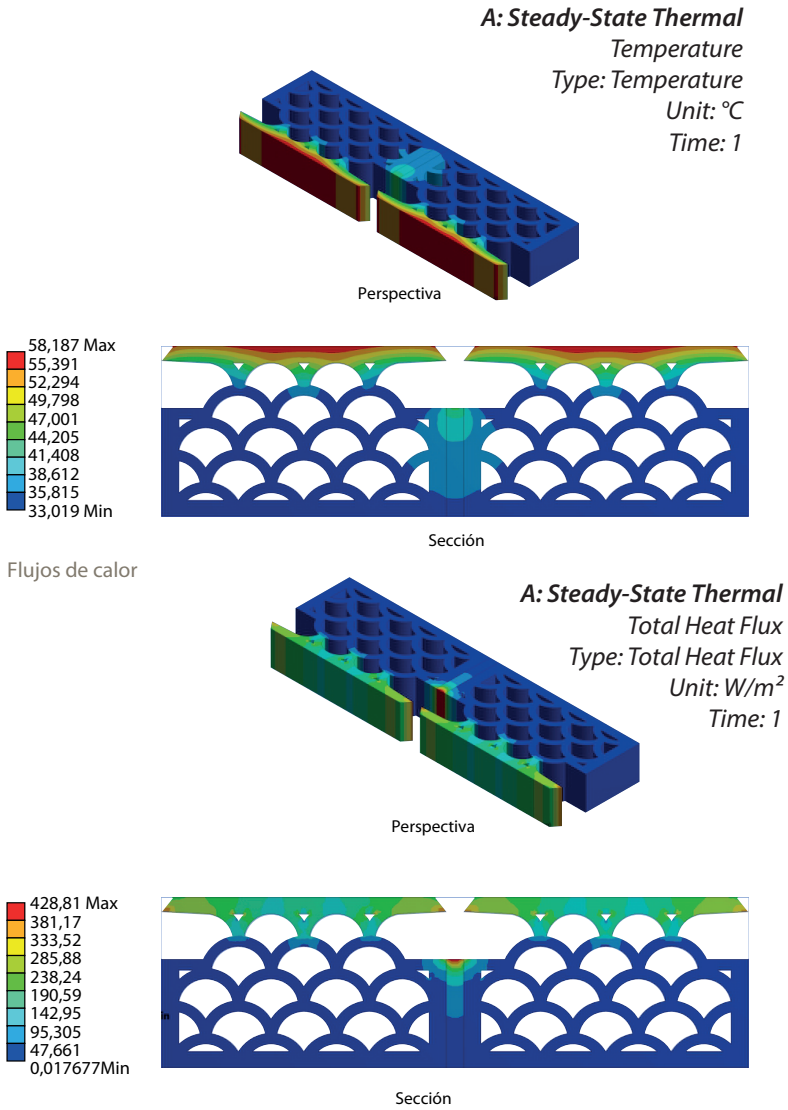
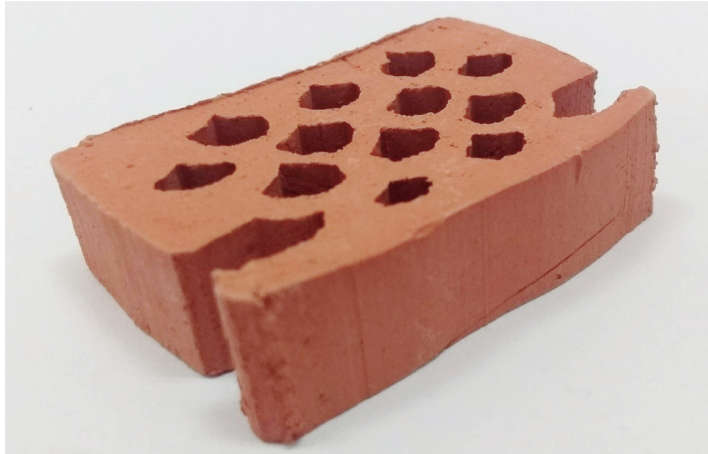


Figura 112. Distribución de temperaturas y flujos de calor de CAV-5



Fuente: Colmenares-Urbe *et al.* (2018).

**Figura 113. Patente de invención**  
**“Ladrillo para aislamiento térmico que comprende canales pasantes y un tabique frontal”**  
**en arcilla cocida**



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 10. Caracterización técnica de CAV-5**

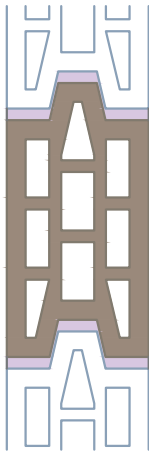
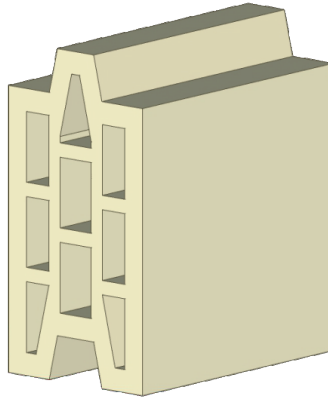
Clasificación	Tipo PV	Unidad de mampostería de perforación vertical
Aplicación constructiva	Muros de fachada	
Material	Arcilla	Arcilla y Cisco de café
Resistencia a la compresión	2,68 kgf/cm <sup>2</sup>	3 kgf/cm <sup>2</sup>
Absorción de agua	8,39 %	12,16 %
Porosidad aparente	10,08 %	9,98 %
Eflorescencias	Ligeramente eflorecido	Ligeramente eflorecido
Densidad aparente	2,13 g/cm <sup>3</sup>	1,88 g/cm <sup>3</sup>
Normas aplicadas	NTC 4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.	
	NTC 4205. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillo y bloques.	
	Norma ASTM-C373. Determinación de la absorción de agua, porosidad aparente y densidad aparente.	

Fuente: elaboración propia.

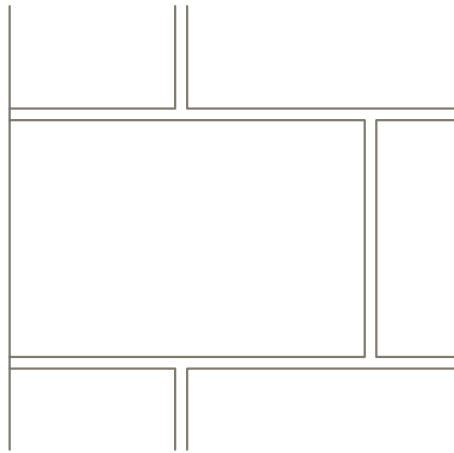
## Bloque Macho-hembra en arcilla y chamota

*Radicado ante la Superintendencia de Industria y comercio  
NC2021/0015175*

Figura 114. Bloque macho-hembra



Sección transversal



Vista alzado

## **Geometrías disipadoras -**

### **Tratamiento de junta de mortero**

## **Cámara de aire ventilada -**

### **Aditivo de nutrientes tecnológicos**

Es un elemento constructivo para mampostería. El formato es una variación del bloque H10 con la alteración de las superficies superiores e inferiores destinadas al apilamiento, las cuales generan un apéndice y una concavidad para generar el efecto macho-hembra.

La configuración de las celdas comprende una geometría de rectángulos traslapados que bloquean el paso directo de la entrada de calor. El diseño del producto está pensado como bloque (perforaciones horizontales) o ladrillo (perforaciones verticales), dependiendo del sentido de las perforaciones.

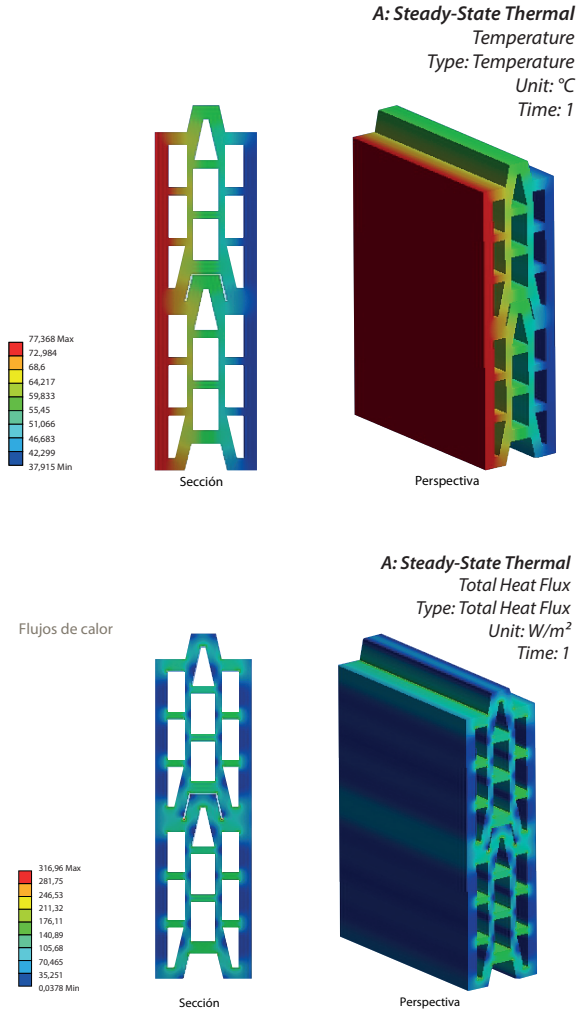
Teniendo en cuenta que la temperatura interior promedio del bloque H10 es 48,3. °C, y la temperatura del bloque macho-hembra es 42,1. °C, se concluye que el beneficio térmico es de 6,1. °C.

La composición de la unidad constructiva es de arcilla o material base (90 % - 95 %) y residuos industriales (5 % -10 %). El aditivo implementado en este proyecto fue la chamota u residuo de la industria cerámica.

Durante el proceso de fabricación por extrusión se presentaron imprevistos debido al diseño de las boquillas y la granulometría de las partículas de la materia prima. Por tal motivo, se realizaron diferentes pruebas hasta lograr los acabados deseados en la etapa de diseño. Finalmente, las mezclas utilizadas fueron M A y M ACH-2,5.

Esta invención está radicada ante la Superintendencia de Industria y Comercio (NC2021/0015175).

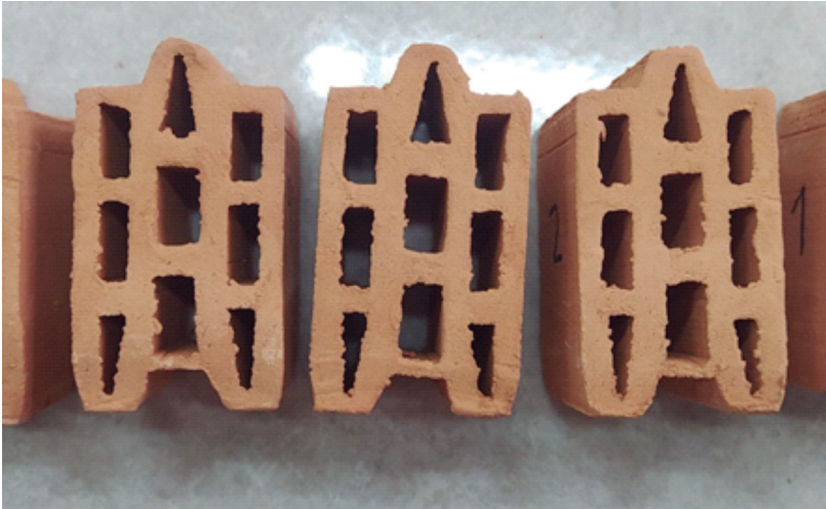
**Figura 115. Distribución de temperaturas y flujos de calor del Bloque Macho-Hembra**



Nota: Radicado ante la Superintendencia de Industria y comercio NC2021/0015175.

Fuente: elaboración propia.

Figura 116. Bloque Macho-hembra en arcilla cocida



Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Caracterización técnica de Bloque Macho-hembra

Clasificación	Tipo PH	Unidad de mampostería de perforación horizontal
Aplicación constructiva	Muros de fachada	
Material	Arcilla	Arcilla y chamota
Resistencia a la compresión	74,12 kgf/cm <sup>2</sup>	80,51 kgf/cm <sup>2</sup>
Absorción de agua	13,31 %	13,65 %
Porosidad aparente	26,30 %	26,73 %
Eflorescencias	Ligeramente eflorecido	Ligeramente eflorecido
Densidad aparente	1,98 g/cm <sup>3</sup>	1,96 g/cm <sup>3</sup>
Normas Aplicadas	NTC 4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.	
	NTC 4205. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillo y bloques.	
	Norma ASTM-C373. Determinación de la absorción de agua, porosidad aparente y densidad aparente.	

Fuente: elaboración propia.





## REFERENCIAS

- Alaman, A. (1972). Necesidad del aislamiento térmico en la edificación actual. *Informes de la construcción*, 25(243), 41-48.
- Alba, M., Marrero, M., Leiva, C., Montes, M. y Vilches, L. (2012). Empleo de paneles compuestos por sub productos de centrales térmicas en fachadas trasdosadas. *Informes de la Construcción*, 64(526), 179-190. doi:10.3989/ic.10.042
- Alberto, A., Ramos, N. y Almeida, R. (2017). Parametric study of double-skin facades performance in mild climate countries. *Journal of Building Engineering*, 12, 87-98. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.05.013>
- Ali, M., Jansen, R. y Chouw, N. (2012). *Capacity of innovative interlocking blocks under monotonic loading*.
- Aravena, A. (2014). My architectural philosophy? Bring the community into the process. *TED Talks*. [https://www.ted.com/talks/alejandro\\_aravena\\_my\\_architectural\\_philosophy\\_bring\\_the\\_community\\_into\\_the\\_process/up-next?language=es](https://www.ted.com/talks/alejandro_aravena_my_architectural_philosophy_bring_the_community_into_the_process/up-next?language=es)
- Área Metropolitana de Cúcuta AMC. (2022). *Quiénes somos*. <https://amc.gov.co/amc/quienes-somos-2/>
- Arias, G., Bengochea, M., Guaita, L., Segarra, C. y Corrales, J. (2016). Eficiencia energética de fachadas ventiladas con baldosas cerámicas reflectantes al infrarrojo cercano. *Informes de la construcción*, 68 (544). doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.163.m15>
- Arias, N. y Bobadilla, A. (2017). Evaluación experimental y análisis de la mejora con aislamiento para el caso del puente térmico en el frente de forjado. *Informes de la Construcción*, 69(546). doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.151>
- Aristizabal-Arias C., y Duque-Orrego, H. (2005). Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. *Cenicafé* 56(4) 299.

- Asociación de industriales de la arcilla de Norte de Santander Induarcilla. (2020). *Catálogo de productos en gres del Área Metropolitana de San José de Cúcuta, Colombia*.
- Baixas, J. I. (2012). Envolventes: la piel de los edificios. *ARQ* (82), 98-101. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962012000300016>
- Barbosa, S. y Ip, K. (2014). Perspectives of double skin façades for naturally ventilated buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 1019-1028. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.192>
- Bechthold, M. (2016). Ceramic Prototypes - design, computation, and digital fabrication. *Informes de la construcción*, 68(544). doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.170.m15>
- Bechthold, M., Kane, A. y King, N. (2015). *Ceramic material systems*. Birkhäuser.
- Ben Ayed, H., Limam, O., Aidi, M. y Jelidi, A. (2016). Experimental and numerical study of Interlocking Stabilized Earth Blocks mechanical behavior. *Journal of Building Engineering*, 7, 207-216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.06.012>
- Bravo, D. y Pérez, Y. (2016). Eficiencia energética en la climatización de edificaciones. *Revista Publicando*, 3(8), 218-238.
- Buratti, C., Belloni, E., Lascaro, E., Merli, F. y Ricciardi, P. (2018). Rice husk panels for building applications: Thermal, acoustic and environmental characterization and comparison with other innovative recycled waste materials. *Construction and Building Materials*, 171-338.
- Cámara de Comercio de Cúcuta. (2012). *Documento del clúster de la cerámica*.
- Centro de Investigación en Salud Integral y Bienes- tar Socioeconómico (Cisbe). (2007). *Thermal properties of building structures Guide A: Environmental design*. Centro de Investigación en Salud Integral y Bienestar Socioeconómico.
- Chandel, S. S. y Marwah, B. M. (2016). Review of energy efficient features in vernacular architecture for improving indoor thermal comfort conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65,459-477. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.038>
- Chenari, B., Dias, J. y Gameiro, M. (2016). Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1426-1447. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.074>
- Collins, R., Schaafsma, M. y Hudson, M. M. (2017). The value of green walls to urban biodiversity. *Land Use Policy*, 64,114-123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.025>
- Colmenares-Uribe, A. P., Sánchez-Molina, J. y Díaz-Fuentes, C. X. (2018). *Diseño de prototipos de productos cerámicos para mampostería con propiedades de aislamiento térmico y estético*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- Colmenares-Uribe, A. P., Sánchez-Molina, J. y Díaz-Fuentes, C. X. (2019). Comparative thermal analysis of extruded ceramic products between multi perforated brick and modified bricks in cells distribution. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1386, 1-7.
- Colmenares-Uribe, A. P., Sánchez-Molina, J., & Díaz-Fuentes, C. X. (2020). Rice husk incidence on the physical, thermal and mechanical properties of H10 block from San José de Cúcuta, Colombia. *In Journal of Physics: Conference Series*. 1672(1), 012012.
- Colmenares-Uribe, A., Sánchez-Molina, J. y Díaz, C. (2020). *Tratamiento de juntas de mortero en productos de arcilla cocida como estrategia de regulación de transferencia*

- energética en muros de la construcción*. IV Congreso Internacional de Tecnología, Ciencia y Educación para el Desarrollo Sostenible.
- Colmenares-Uribe, A., Sánchez-Molina, J. y Díaz, C. (2021). Incidencia de pestañas y aleros en la transferencia y concentración de energía en el ladrillo hueco multiperforado y bloque H10 en arcilla cocida. *Congreso Internacional de Principios y Practicas de Diseño*.
- Colmenares-Uribe, A., Sánchez-Molina, J. y Díaz-Fuentes, C. X. (2022). *Implementación de cámara de aire ventilada en el desarrollo de un ladrillo hueco en arcilla cocida y cisco de café: La relación entre la forma y el rendimiento térmico de un producto*. Congreso Internacional de Principios y Prácticas de Diseño.
- Coma, J., Pérez, G., De Gracia, A., Burés, S. y Urrestarazu, M. (2017). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. *Building and Environment*, 111, 228-237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.014>
- Consejo de la Construcción Verde de España. (2002). La construcción sostenible. *Física y Sociedad*, 30-33.
- Cruz, J. y Porras, C. (2017). Ventilated Facade with double chamber and flow control device. *Energy and Buildings*, 149, 471-482. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.063>
- Cuce, E. (2017). Thermal regula ton impact of green walls: An experimental and numerical investigation. *Applied Energy*, 194, 247-254. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.079>
- De la Paz, G. (2012). Brise-soleil: Recurso arquitectónico de control solar. Evolución y propuesta de diseño optimizado para Camagüey. *Arquitectura y Urbanismo*, 33(2), 79-94.
- Del Rio, C. (2016). Las nuevas fachadas autoportantes del ladrillo cara vista. *Informes de la construcción*, 68(544). doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.165.m15>
- Díaz-Fuentes, C. X., Colmenares-Uribe, A. P. y Peñaranda-Méndez, J. G. (2020). Exploration of types of ventilated air chambers to improve thermal efficiency of bricks in fired clay. *In Journal of Physics: Conference Series*. 1708(1), 012011.
- Djedjig, R., Belarbi, R. y Bozonnet, E. (2017). Green wall impacts inside and outside buildings: experimental study. *Energy Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.256,578-583>
- Elgizawy, E. (2016). The Effect of Green Facades in Landscape Ecology. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 119-130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.012>
- Fantucci, S., Marinosci, C., Serra, V. y Carbonaro, C. (2017). Thermal performance assesment of an opaque ventilated facade in the summer period: calibration of a simulation model through in-field measurements. *Energy Procedia*, 111, 619-628. doi: [10.1016/j.egypro.2017.03.224](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.224)
- Fay, L., Cooper, P. y Fay de Morais, H. (2014). Innovative interlocked soil–cement block for the construction of masonry to eliminate the settling mortar. *Construction and Building Materials*, 52, 391-395. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.030>
- Flores, S., Rengifo, L. y Filippín, C. (2015). Double skin glazed facades in sunny Mediterranean climates. *Energy and Buildings*, 102, 18-31. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.019>

- Fombella, R. (1997). NA: Nueva Arquitectura Con Arcilla Cocida. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/218450>
- Franco, J. (2013). Famoso edificio Gherkin de Londres se vuelve verde... literalmente. *Archdaily*. <https://www.archdaily.co/co/02-247834/famoso-edificio-gherkin-de-londres-se-vuelve-verde-dot-dot-dot-literalmente>
- Franco, J. T. (2013). Famoso edificio Gherkin de Londres se vuelve verde... literalmente. *Arch Daily Colombia*. <https://www.archdaily.co/co/02-247834/famoso-edificio-gherkin-de-londres-se-vuelve-verde-dot-dot-dot-literalmente>
- Franco, J. T. (2015). En detalle: bloque de ladrillo termodisipador, desarrollado en Colombia. *Archdaily*. <https://www.archdaily.co/co/769123/en-detalle-bloque-de-ladrillo-termodisipador-desarrollado-en-colombia>
- García, A. (1966). Consideraciones sobre aislamientos térmicos. *Informes de la construcción*, 19(181), 67-78.
- García, A. (1976). Aislamiento, bienestar y ahorro de energía. *Informes de la construcción*, 28(277), 35-54.
- Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., Tookey, J., Hin Wa Li, D. y Karaminia, S. (2016). Exploring the advantages and challenges of double-skin façades (DSFs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1052-1065. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.130>
- Görhan, G. y Şimşek, O. (2013). Porous clay bricks manufactured with rice husks. *Construction and Building Materials*, 40, 390-396.
- Greenberg, D., Pratt, K., Hincey, B., Jones, N., Schumann, L., Dobbs, J. y Walter, B. (2013). Sustain: An experimental test bed for building energy simulation. *Energy and Buildings*, 58, 44-57. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.026>
- Gucyete, B. (2018). Evaluating diverse patterns of occupant behavior regarding control-based activities in energy performance simulation. *Frontiers of Architectural Research*, 1-13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.03.002>
- Hensel, M. U. y Sorensen, S. S. (2016). *Arquitectura orientada por el desempeño y diseño generado por datos. The Digital Reveal, Arquitectura de la era Post-Digital*. Universidad Piloto de Colombia.
- Hong, T., Sun, H., Chen, Y., Taylor, S. y Yanb, D. (2016). An occupant behavior modeling tool forco-simulation. *Energy and Buildings*, 117, 272-281. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.033>
- Ibañez, M., Vidaurre, M., Sacristán, J. y Martín, C. (2017). Opaque Ventilated Façades: Thermal and energy performance review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 180-191. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.059>
- Indraganti, M., Ooka, R., Rijal, H. y Brager, G. (2014). Adaptative model of thermal comfort for offices in hot and humit climates of India. *Building and Environment*, 74, 39-53. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.01.002>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2018). *Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla, NTC 4017 4205*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. (2018). *Unidades de mampostería de arcilla cocida. ladrillos y bloques cerámicos, NTC 4205, Colombia.*
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2010). *Atlas Interactivo de Colombia.*
- Jaramillo - Fernández, J. D. Morales – Londoño, M. y Aristizábal Gil, V. M. (2020). *Sistema machihembrado de traba mecánica.* Universidad EAFIT.
- Jazizadeh, F., Ghahramani, A., Becerik, B. y Kichkaylo, T. (2014). User-led decentralized thermal comfort driven HVAC operations for improved efficiency in office buildings. *Energy and Buildings*, 70,398-410. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.066>
- Joe, J., Choi, W., Kwak, Y. y Huh, J.-H. (2014). Optimal design of a multi-story double skin facade. *Energy and Buildings*, 76,143-150. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.002>
- Kilaire, A. y Stacey, M. (2017). Design of a prefabricated passive and active double skin façade system for UK offices. *Journal of Building Engineering*, 12, 161-170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2017.06.001>
- Kumar, S., Kumar, M., Loftness, V., Mathur, J. y Mathur, S. (2016). Thermal comfort assessment and characteristics of occupant's behaviour in naturally ventilated buildings in composite climate of India. *Energy for Sustainable Development*, 33, 108-121. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2016.06.002>
- Li, Y., Darkwa, J. y Kokogiannakis, G. (2017). Heat transfer analysis of an integrated double skin façade and phase change material blind system. *Building and Environment*, 125, 111-121. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.034>
- Manso, M. y Castro, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41,865-870. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>
- Martín, A. (1995). Comportamiento térmico de cerramientos soleados, un modelo de simulación por diferencias finitas. *Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de las Palmas de Gran Canaria.*
- Martín, A. (2013). *Apuntes de transmisión de calor.* Universidad Politécnica de Madrid.
- Martín, A. (2018). *Apuntes de transmisión de calor.* Universidad Politécnica de Madrid.
- Marzban, S., Ding, L. y Fiorito, F. (2017). An evolutionary approach to single-sided ventilated facade design. *Procedia Engeneering*, 180,582-590. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.217
- Meagher, M. (2015). Designing for change: The poetic potencial of responsive architecture. *Frontiers of Architectural Research*, 4(2),159-162. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2015.03.002>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2014). *Norte de Santander, polo de desarrollo tecnológico e innovación en energía . Colombia: Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2024.*
- Mitterer, C., Künzle, H., Herkel, S. y Holm, A. (2012). Optimizing energy efficiency and occupant comfort with climate specific design of the building. *Frontiers of Architectural Research*, 1(3), 229-235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2012.06.002>

- Mohamed, F., Ahmad, S., Abs., A. B. y Felani, M. (2016). Green “Breathing Facades” for Occupants’ Improved Quality of Life. *Procedia Social and Behavioral Science*, 234, 173-184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.10.232>
- Mohammadi, M. y Pazhouhanfar, M. (2018). Effects of vernacular architecture structure on urban sustainability case study: Qeshm Island, Iran. *Frontiers of Architectural Research*, 7(1), 11-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2017.06.006>
- Mohtashami, N., Mahdaveinejad, M. y Bemanian, M. (2016). Contribution of city prosperity to decisions on healthy building design: a case study of Tehran. *Frontiers of Architectural Research*, 5(3), 319-331. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.06.001>
- Morel, S., Anzolchi, R. y Fonseca, R. (2016). El brise-soleil o la doble fachada de Le Corbusier. *Arquisur*, 6(10), 109-122. <http://hdl.handle.net/10183/151162>
- Narváez-Ortega, M. S., Sánchez Zúñiga, J. V. y Peñaranda Méndez, J. G. (2020). Cámaras de aire ventiladas en un producto cerámico tradicional para envolventes de mampostería con enfriamiento pasivo. *Mundo Fesc*, 10(19), 128-135.
- Nastro, V., Vuono, D., Guzzo, M., Niceforo, G., Bruno, I. y De Luca, P. (2006). Characterization of raw materials for production of ceramics. *Journal of thermal analysis and calorimetry. Journal of Thermal Analysis and Calorim*, 84 (181).
- Niño, M. (2015). En detalle: bloque de ladrillo termodisipador, desarrollado en Colombia. *Archdaily*. [https://www.archdaily.co/co/769123/en-detalle-bloque-de-ladrillo-termodisipador-desarrollado-en-colombia/558ad296e58ece410700010d-en-detalle-bloque-de-ladrillo-termodisipador-desarrollado-en-colombia-foto?next\\_project=no](https://www.archdaily.co/co/769123/en-detalle-bloque-de-ladrillo-termodisipador-desarrollado-en-colombia/558ad296e58ece410700010d-en-detalle-bloque-de-ladrillo-termodisipador-desarrollado-en-colombia-foto?next_project=no)
- Niño, M. y Navarro, J. (2014). *Diseño de una solución constructiva cerámica, que reduzca la radiación solar directa sobre fachadas: Caso Cúcuta*.
- Nnamdi, O. (2011). *Journal of Sustainable Development and Environmental Protection*.
- Nouvel, J. (2013). *Jean nouvel interview: architecture is listening*.
- Paoletti, I. (2016). *Personalización avanzada para el diseño arquitectónico y la construcción: panorama y experimentaciones. The Digital Reveal: la arquitectura de la era post-digital*. Universidad Piloto de Colombia.
- Perini, K. y Rosasco, P. (2013). Cost-benefit analysis for green facades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 110-121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.012>
- Peters, B. (2016). *Diseñando el futuro: arquitectura, simulación y computación. The digital reveal: arquitectura de la era post-digital*. Universidad Piloto de Colombia.
- Pich, F., Battle, T. y Casaldaliga, P. (2016). Concepción y realización de celosías cerámicas, una evolución constructiva. *Informes de la Construcción*, 68(544). doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.158.m15>
- Pogrebin, R. (2016). *El arquitecto Alejandro Aravena de Chile es el cuarto latinoamericano en ganar el premio Pritzker*. [Figura].
- Pomponi, F., Piroozfar, P., Suthall, R., Ashton, P. y Farr, E. (2016). Energy performance of Double-Skin Facades in temperate climates: A systematic review and meta-analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1525-1536. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.075>



- Preisinger, C., Vierlinger, R. y Heimrath, M. (2016). *Patrones de flujo de trabajo. The digital reveal: arquitectura de la era post-digital*. Universidad Piloto de Colombia.
- Quang, T., He, C., Knibs, L., De Dear, R. y Morawaska, L. (2014). Co-optimisation of indoor environmental quality and energy consumption within urban office buildings. *Energy Buildings*, 85, 225-234. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.021>
- Roslan, Q., Halipah, S., Affandi, R., Mohd, M. y Baharun, A. (2016). A literature review on the improvement strategies of passive design for the roofing system of the modern house in a hot and humid climate region. *Frontiers of Architectural Research*, 5(1), 126-133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2015.10.002>
- Rubiano, M. A. (2016). La fachada ventilada y el confort climático: un instrumento tecnológico para edificaciones de clima cálido en Colombia. *De-arq (18)*, 138-145. doi: <http://dx.doi.org/10.18389/dearq18.2016.08>
- Sadeghipour, M. (2016). *Diseño medioambiental para edificios, como proceso iterativo. The Digital Reveal, Arquitectura de la era Post-Digital*. Universidad Piloto de Colombia.
- Sánchez-Molina J., Corpas Iglesias F. A. y Álvarez Roza D. C. (2018). *Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Ecoe Ediciones.
- Sánchez-Molina, J. y Ramírez-Delgado, P. (2013). *El clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- Sánchez-Molina, J., Díaz-Fuentes, C., Peñaranda Canal, M. (2021). *Aplicación de la cerámica en la arquitectura*. Ecoe Ediciones.
- Sánchez-Molina, J., Díaz-Fuentes, C. X. y Colmenares-Uribe, A. P. (2021). Utilization of agroindustrial waste to improve thermal behavior of products made of fired clay for traditional masonry. *In Journal of Physics: Conference Series*. 1981(1), 012015.
- Sánchez-Molina, J., González Mendoza, J. A. y Avendaño Castro, W. R. (2019). *El clúster cerámico apuesta de desarrollo socioeconómico de Norte de Santander*.
- Sánchez-Molina, J., Sánchez-Zúñiga, J. y Díaz-Fuentes, C. X., (2020). Desarrollo de un producto cerámico para la construcción bajo principios de bioclimática y arquitectura sostenible. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 129-140.
- Sánchez-Zúñiga, J. V., Sánchez-Molina, J. y Díaz-Fuentes, C. X. (2020). Improvements in the thermal behavior in the manufacture of the H10 block using coffee husks as an alternative industrial additive. *In Journal of Physics: Conference Series*. 1645(1), 012013.
- Sanjuan, C., Suárez, M. J., González, M., Pistono, J. y Blanco, E. (2011). Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity facade. *Solar Energy*, 85(9), 1851-1863. doi: 10.1016/j.solener.2011.04.028
- Schulze, T. y Eicker, U. (2013). Controlled natural ventilation for energy efficient buildings. *Energy and Buildings*, 56, 221-232. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.044>
- Serra, R. (1999). *Arquitectura y climas*. Gustavo Gili, SA.
- Shao, J. (2013). Sustainable strategies applied on commercial architecture in Australia. *Frontiers of Architectural Research*, 2(3), 362-372. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2013.04.005>
- Silva, F., Catelli, F. y Dutra, C. M. (2021). Geometria solar na escola: uma prática com cartas solares. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43.

- Silvestre-Gutiérrez A, Buitrago-Castaño D, Vásquez-Giraldo A. (2014). *Comportamiento del Cisco de Café Como Aislante Acústico en Construcciones Livianas*. [Estudio Experimental]. Universidad Libre.
- Soltani, A. y Sharifi, E. (2017). Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide. *Frontiers of Architectural Research*, 6(4), 529-538. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.08.001>
- Standard test methods. (2018). *Standard Test Methods for Determination of Water Absorption and Associated Properties by Vacuum Method for Pressed Ceramic Tiles and Glass Tiles and Boil Method for Extruded Ceramic Tiles and Non-tile Fired Ceramic Whiteware Products*, astm C373, astm International.
- Stavridou, A. (2015). Breathing architecture: Conceptual architectural design based on the investigation into the natural ventilation of buildings. *Frontiers of Architectural Research*, 4(2), 127-145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2015.03.001>
- Suaréz, M. J., Sanjuan, C., Gutierrez, A., Pistono, J. y Blanco, E. (2012). Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade. *Applied Thermal Engineering*, 37, 302-313. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.11.034
- Szivos, M. (2016). Se ve bien en papel. *The digital reveal: arquitectura de la era post-digital*. Universidad Piloto de Colombia.
- Takashi, M., Shuichi, H., Daisuke, O., Masahiko, T. y Jun, S. (2013). Improvement of thermal environment and reduction of energy consumption for cooling and heating by retrofitting windows. *Frontiers of Architectural Research*, 2(1), 1-10. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2012.10.006>
- Taleb, H. (2014). Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in U.A.E. buildings. *Frontiers of Architectural Research*, 3(2), 154-165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2014.01.002>
- Terrados, F., Baco, L. y Moreno, D. (2015). Patio 2.12: Vivienda prefabricada, sostenible, autosuficiente y energéticamente eficiente. Participación en la competición Solar Decathlon Europe 2012. *Informes de la Construcción*, 67(538). doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.138>
- Torres, D. y Bastidas, M. (2018). Análisis ambiental debido a la transición energética de la cascarilla de café: caso de estudio municipio de Villanueva, La Guajira. *Revista Agunkuyâa*. 7(1).
- Townsend, M. y Basso, L. (2014). Solução formal e funcional para proteção solar em projetos arquitetônicos. *Disciplinarum Scientia*, 14(1), 79-88.
- UNE. (2011). Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería, une-en 772-11:2011. UNE. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0047874>
- UNE. (2011). Métodos de ensayo de piezas para fábricas de albañilería, une-en 772-21:2011. UNE. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0047877>
- Universidad Francisco de Paula Santander. (2021). *Elemento macho-hembra para mampostería. Radicado ante la Superintendencia de Industria y Comercio: NC2021/0015175*.
- Universidad Francisco de Paula Santander. (2022). *Ladrillo para aislamiento térmico que comprende canales pasantes y un tabique frontal. Patente de invención: No. NC2019/0011051, Resolución No. 59238 de 31 de agosto de 2022*.



- Urbano, R. y Wanner, A. (2016). Innovations in the production of ceramic luminous environments: where craftsman meets computer. *Informes de la construcción*, 68(544). doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.167.m15>
- Valesan, M., Fedrizzi, B. y Sattler, M. A. (2010). Vantagens e desvantagens da utilização de peles-verdes em edificações residenciais em Porto Alegre segundo seus moradores. *Ambiente construído*, 10(3), 55-67.
- Vásquez, C. (2012). El diseño del sistema de cerramiento. *ARQ* (82), 102-107. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962012000300017>
- Vasquez, C. y Prieto, A. (2013). La fachada ventilada. *ARQ* (84), 6-9. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962013000200016>
- Vatavalis, P. y Bikas, D. (2017). Thermal performance investigation in cooling season for a corner double skin facade with rotating glass louvres. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 86-93. doi: 10.1016/j.proenv.2017.03.083
- Vatavalis, P. y Bikas, D. (2017). Thermal performance investigation in cooling season for a corner double skin facade with rotating glass louvres. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 86-93. doi: 10.1016/j.proenv.2017.03.083
- Velasco, R. y Robles, D. (2011). Diseño de eco envolventes, Modelo para la exploración, el diseño y la evaluación de envolventes arquitectónicas para climas tropicales. *Revista de Arquitectura*, 13, 92-105. <http://www.redalyc.org/articulo.oa>
- Vidic, N. (2014). Centro de Innovación UC - Anacleto Angelini / Alejandro Aravena | ELEMENTAL. *Archdaily*. <https://www.archdaily.co/co/627511/centro-de-innovacion-uc-anacleto-angelini-alejandra-aravena-elemental>
- Villar, R., Jiménez, D., Larrumbide, E. y Tenorio, J. (2014). Impacto energético y emisiones de CO2 del edificio con soluciones alternativas de fachada. *Informes de la construcción*, 66(535). <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.085>
- Vissilia, A. (2009). Bioclimatic lessons from James C. Rose's architecture. *Building and Environment*, 44(8), 1758-1768. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.11.017>
- Yang, F., Yuan, F., Qian, F., Zhuang, Z. y Yao, J. (2018). Summertime thermal and energy performance of a double-skin green facade: A case study in Shanghai. *Sustainable Cities and Society*, 39, 43-51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.049>
- Yousef, A., Arif, M., Kafatygiotou, M., Mazroei, M., Mazroei, A., Kaushik, A. y Elsarrag, E. (2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.03.006>
- Yousef, A., Arif, M., Kafatygiotou, M., Mazroei, M., Mazroei, A., Kaushik, A. y Elsarrag, E. (2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.03.006>
- Zappulla, C. (2014). Tecno-patrones: Pieles, contexto y fabricación. *Palimpsesto*, 11.
- Çengel Y. A. y Cimbala J. M. (2006). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*, 1ª edición. McGraw-Hill.



## CARMEN XIOMARA DÍAZ FUENTES

Arquitecta de la Universidad de La Salle de Bogotá, Especialista en Ciudad, Medio Ambiente y Políticas Públicas de la Universidad Federal de Paraná , en Curitiba, Brasil, Magíster en Ciencia y Tecnología de Materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander de Cúcuta, Doctoranda en Gestión de la Innovación Tecnológica en la Universidad de Los Andes de Bogotá.

Es docente vinculada al Departamento de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la UFPS desde el año 2006. Dentro de sus aportes como docente e investigadora, se destaca la creación de la Cátedra de Diseño Cerámico Arquitectónico en el año 2011, de la cual han derivado proyectos de grado, formación de jóvenes investigadores y alianzas con empresas de la industria cerámica en Colombia y España, que sirvieron de plataforma para crear el Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos GRAMA de la Universidad Francisco de Paula Santander. A través de sus trabajos ha fortalecido la línea de investigación en "Soluciones Constructivas Arquitectónicas" logrando ser reconocida por Minciencias como investigadora en categoría Junior. Cuenta con numerosos aportes en la generación de nuevo conocimiento, habiendo presentado ponencias en congresos nacionales e internacionales, publicado artículos en revistas indexadas, libros y patentes de invención.



## JESSICA VIVIANA SÁNCHEZ ZÚÑIGA

Magíster en Ingeniería de los Materiales y construcción sostenible de la universidad de U. Jaén – España, Arquitecta de la Universidad Francisco de Paula Santander. Profesionalmente se ha desempeñado como Directora del Semillero de Investigación en Materiales de la Construcción y Economía Circular – SIMCEC, investigadora activa del Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica – GITEC y Docente catedrático de la Universidad Francisco de Paula Santander. Como Investigador Junior Categorizado por Minciencias en la Convocatoria Colciencias 894 de 2021, se destaca por ser joven investigadora en proyectos de cofinanciación con el ministerio de ciencia, tecnología e innovación, autor y coautor de más de 15 artículos científicos publicados en revistas indexadas, capítulos de libro resultados de investigación y libros resultados de investigación, ha presentado más de 6 ponencias en eventos científicos nacionales e internacionales e inventor de 3 productos tecnológicos publicados con gaceta y 3 productos radicados ante la Superintendencia de industria y Comercio para solicitud de patente de invención

# EL DISEÑO DE PRODUCTO CERÁMICO COMO ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN ENVOLVENTES ARQUITECTÓNICAS

El libro "El diseño de producto cerámico como estrategia de mitigación de transferencia de calor en envolventes arquitectónicas" surge de investigación y estado del arte de empresas dedicadas a la producción de unidades constructivas para mampostería en arcilla cocida del área metropolitana de Cúcuta, a través del clúster de la cerámica. Como resultado de este primer paso surge el estado del arte de los principales productos fabricados en arcilla cocida en el área metropolitana de Cúcuta.

Este libro se divide en 5 capítulos dedicados al estado del arte de los principales productos fabricados en arcilla cocida en el área metropolitana de Cúcuta, la compresión sobre el aislamiento térmico como valor agregado de unidades constructivas para mampostería, la definición de una metodología de diseño para análisis de transferencia de calor desde la distribución de temperaturas y los flujos de calor, el planteamiento de criterios de diseño para unidades constructivas de mampostería con beneficios térmicos, desarrollo de producto a escala de laboratorio para identificar la viabilidad industrial y finalmente, la exposición de casos de estudio en fase de diseño y prototipado.

## Incluye

- ▶ Metodología para el análisis de transferencia de calor
- ▶ Avances sobre la incidencia del diseño en el rendimiento térmico de los productos
- ▶ Análisis de transferencia de calor de productos tradicionales para la construcción
- ▶ Criterios de diseño para unidades constructivas de mampostería con valor agregado de eficiencia térmica.

Asimismo este libro va dirigido a estudiantes de arquitectura, diseño, ingeniería industrial y carreras afines, constructores y empresarios del sector de la industria cerámica de Norte de Santander y Colombia.



Universidad Francisco  
de Paula Santander

Vigilada Mineducación



Grupo de Investigación en  
Tecnología Cerámica



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS

ISBN 978-958-503-603-1



9 789585 036031

e-ISBN 978-958-503-604-8