

**CÉ**

**RÁ**

**MI**

**CA**

**CONSTRUCTIVA**

**ENVOLVENTES VERTICALES EN LA CIUDAD DE CÚCUTA**

**Jorge Sánchez Molina**

**Marlyn Stephanny Narváez Ortega**

**Jessica Viviana 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. Su trayectoria le ha permitido obtener la categoría de Investigador Senior por Minciencias, en la convocatoria 894 de 2021.







**CERÁMICA CONSTRUCTIVA**  
ENVOLVENTES VERTICALES EN  
LA CIUDAD DE CÚCUTA

JORGE SÁNCHEZ MOLINA  
STEPHANNY NARVÁEZ ORTEGA  
JESSICA SÁNCHEZ ZÚÑIGA

Sánchez Molina, Jorge, autor

Cerámica constructiva : envolventes verticales en la ciudad de Cúcuta / Jorge Sánchez Molina Marlyn Stephanny Narváez Ortega, Jessica Viviana Sánchez Zúñiga -- Primera edición -- San José de Cúcuta : Universidad Francisco de Paula Santander ; Bogotá : Ecoe Ediciones, 2023. 157 páginas. -- (Ingeniería y afines. Ingeniería de los materiales y construcción)

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

ISBN 978-958-503-575-1 -- 978-958-503-576-8 (e-book)

1. Materiales cerámicos - Análisis - Cúcuta 2. Cerámica - Análisis - Cúcuta 3. Arquitectura y clima - Cúcuta 4. Mampostería - Norte de Santander 5. Medios de termotransferencia 6. Análisis térmico I. Narváez Ortega, Marlyn Stephanny, autor II. Sánchez Zúñiga, Jessica Viviana, autor

CDD: 620.1402870986124 ed. 23

CO-BoBN- a1106421

---



**Área:** Ingeniería y afines

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



**Universidad Francisco  
de Paula Santander**  
Vigilada Mineducación

© Jorge Sánchez Molina  
© Stephanny Narváez Ortega  
© Jessica 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:** 978-958-503-575-1  
**e-ISBN:** 978-958-503-576-8

Directora editorial: Claudia Garay Castro  
Coordinadora editorial: Paula Bermúdez B.  
Corrección de estilo: Daniela Pérez  
Diagramación: Magda Rocío Barrero  
Carátula: Stephanny Narváez Ortega  
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 mi hija, Jessica Sánchez Zúñiga, por su apoyo constante en mi trabajo y por ser la motivación de mi existencia.*

Jorge Sánchez Molina

*A mis padres, Oscar Narváez Romero y Adriana Ortega Pabón, y a mi hermana Shelsy Narváez Ortega por su amor incondicional y apoyo constante a mis sueños.*

Stephanny Narváez Ortega

*A mi padre, Jorge Sánchez Molina, por su amor incondicional.*

Jessica Sánchez Zúñiga





# AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad Francisco de Paula Santander y especialmente al Centro de Investigación en Materiales Cerámicos por el acompañamiento permanente en la ejecución de todos los proyectos realizados a lo largo de estos años.

Al Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica (GITEC) por sus contribuciones a la industria cerámica de Norte de Santander.





# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	XIX
<b>ABSTRACT</b> .....	XXI
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	XXIII
<b>GLOSARIO</b> .....	XIX
<b>CAPÍTULO I. CERÁMICA COMO MATERIALIDAD CONSTRUCTIVA</b> .....	3
Cúcuta, cerámica y clima.....	3
1.1. La industria cerámica en la región .....	6
1.2. Proceso de producción de las cerámicas constructivas.....	9
1.3. Productos cerámicos constructivos .....	12
1.4. Envoltentes construidas con productos cerámicos .....	16
1.4.1. La tipología cerrada.....	16
1.4.2. La tipología mixta.....	18
1.5. Cerámica constructiva.....	18
<b>CAPÍTULO II. CONTEXTO CLIMÁTICO DE LA ENVOLVENTE CERÁMICA</b>	
<b>EN LA REGIÓN</b> .....	23
2.1. Determinantes climáticos .....	23
2.1.1. Datos .....	23
2.1.2. Clasificación climática .....	23
2.2. Caracterización climática .....	25

2.2.1. Temperatura .....	25
2.2.2. Humedad relativa .....	27
2.2.3. Viento .....	30
2.2.4. Radiación solar .....	31
2.3. Consideraciones bioclimáticas .....	33
2.3.1. Cálculo de la zona de confort térmico .....	33
2.3.2. Correlación de la envolvente y el clima .....	36

### **CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS PRODUCTOS**

<b>CERÁMICOS CONSTRUCTIVOS DE MAMPOSTERÍA TRADICIONAL.....</b>	<b>39</b>
3.1. Caracterización de productos cerámicos .....	39
3.2. Características físicas de los productos .....	41
3.3. Bloques cerámicos .....	44
3.3.1 Productos constructivos tipo bloque .....	44
3.3.4. Sistemas constructivos tipo bloque .....	52
3.3.4. Características comparativas en bloques.....	55
3.4. Ladrillos cerámicos .....	57
3.4.1. Productos constructivos tipo ladrillo .....	57
3.4.2. Sistemas constructivos tipo ladrillo .....	62
3.4.3. Características comparativas en ladrillos .....	65
3.5. Celosías cerámicas.....	67
3.5.1. Productos constructivos .....	67
3.5.2. Sistemas constructivos .....	70
3.5.3. Características comparativas en calados .....	73
3.6. Análisis comparativo de propiedades físicas de los productos cerámicos tradicionales para mampostería.....	74

### **CAPÍTULO IV. COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNIDADES**

#### **CONSTRUCTIVAS CERÁMICAS TRADICIONALES DE**

<b>NORTE DE SANTANDER .....</b>	<b>79</b>
4.1. Simulaciones térmicas de las características físicas de piezas cerámicas constructivas .....	79
4.1.1. Método.....	79
4.1.2. Datos básicos .....	80
4.1.3. Datos calculados .....	80
4.1.4. Procedimiento CAE .....	81
4.2. Resultados.....	82
4.2.1. Bloques.....	82
4.2.2. Ladrillos .....	95
4.2.3. Calados.....	102
4.3. Análisis comparativo del comportamiento térmico de productos cerámicos tradicionales .....	108

<b>CAPÍTULO V. REINTERPRETACIÓN DE LOS MODELOS CONSTRUCTIVOS</b>	
<b>CERÁMICOS TRADICIONALES .....</b>	<b>113</b>
Nuevas perspectivas en la cerámica constructiva para envolventes verticales.....	113
5.1. Estrategias de diseño.....	113
5.2. Reinterpretación térmica de los modelos cerámicos constructivos ..	118
5.2.1. Bloques cerámicos.....	118
5.2.2. Ladrillos cerámicos .....	122
5.2.3. Rediseño de productos tipo calado cerámico.....	125
5.3. Análisis comparativo de propiedades físicas de los productos cerámicos .....	128
 <b>CAPÍTULO VI. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO</b>	
<b>DE DISEÑOS CERÁMICOS CONSTRUCTIVOS .....</b>	<b>131</b>
Simulaciones térmicas de nuevos modelos de piezas cerámicas constructivas .....	131
6.1. Método.....	132
6.1.1. Datos básicos .....	132
6.1.2. Datos calculados .....	133
6.1.3. Procedimiento CAE.....	134
6.2. Bloques.....	135
6.2.1. Flujo de calor.....	135
6.2.2. Distribución de temperatura.....	135
6.3. Ladrillos.....	138
6.3.1. Flujo de calor.....	138
6.3.2. Distribución de temperatura.....	138
6.4. Calados .....	141
6.4.1. Flujo de calor.....	141
6.4.2. Distribución de temperatura.....	141
6.5. Análisis comparativo del comportamiento térmico de productos cerámicos tradicionales vs. los sistemas propuestos.....	144
 <b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>147</b>
 <b>REFERENCIAS .....</b>	<b>151</b>



# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación geográfica de Norte de Santander, Colombia .....	4
Figura 2.	Cantera, Ladrillera Casa Blanca en Cúcuta, Norte de Santander .....	5
Figura 3.	Localización de las empresas cerámicas del área metropolitana de Cúcuta.....	7
Figura 4.	Hornos, Ladrillera Sigma en Los Patios, Norte de Santander .....	8
Figura 5.	Proceso de fabricación de cerámicos constructivos por extrusión.....	10
Figura 6.	Cantera, Ladrillera Casa Blanca .....	11
Figura 7.	Tipología de productos fabricados por la industria cerámica de Norte de Santander .....	12
Figura 8.	Clasificación tipológica de productos para mampostería ofertados por el clúster Norte de Santander .....	13
Figura 9.	Identificación cualitativa de los productos para cerramientos verticales: a) bloque H7; b) bloque H10-A; c) bloque H15; d) bloque H10-B; e) bloque H10-C y f) bloque H10-D.....	13
Figura 10.	a) Ladrillos L1; b) ladrillos L2; c) ladrillos L3 y d) ladrillos L4.....	14
Figura 11.	a) Calado C1 y b) calado L2.....	14
Figura 12.	Construcción con productos cerámicos.....	15
Figura 13.	Mampostería de configuración cerrada .....	16
Figura 14.	Construcción con productos cerámicos.....	17
Figura 15.	Mampostería cerámica de configuración mixta .....	18
Figura 16.	Construcción con productos cerámicos.....	19

Figura 17. Clasificación climática de San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia .....	24
Figura 18. Rango de velocidades del viento de San José de Cúcuta.....	30
Figura 19. Muros de mampostería de San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia .....	32
Figura 20. Relación del rango de confort térmico sobre temperaturas mensuales promedio .....	34
Figura 21. Relación del rango de confort térmico sobre temperaturas horarias promedio día .....	34
Figura 22. Carta solar de San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.....	35
Figura 23. Composición física de paredes y tabiques en a) bloques cerámicos, b) ladrillos cerámicos y c) calados cerámicos	40
Figura 24. Texturas de producto cerámico: a) rústico, b) rayado y c) liso .....	42
Figura 25. Tonalidades del producto cerámico.....	43
Figura 26. Fotografía de bloques cerámicos.....	44
Figura 27. Partes que componen los bloques cerámicos .....	45
Figura 28. Bloque cerámico H7.....	46
Figura 29. Bloque cerámico H10-A.....	47
Figura 30. Bloque cerámico H15 .....	48
Figura 31. Bloque cerámico H10-B .....	49
Figura 32. Bloque cerámico H10-C.....	50
Figura 33. Bloque cerámico H10-D.....	51
Figura 34. Fotografía de sistemas constructivos con bloques cerámicos .....	52
Figura 35. Vista isométrica del sistema constructivo con bloques cerámicos .....	52
Figura 36. Vista vertical del sistema constructivo con bloques cerámicos implementando bloque H10-A .....	53
Figura 37. Puentes térmicos en productos tipo a) bloque H7; b) bloque H10-B y c) bloque H15.....	54
Figura 38. Fotografía de sistemas constructivos con ladrillos cerámicos.....	56
Figura 39. Tipologías de ladrillos cerámicos.....	57
Figura 40. Ladrillo cerámico L-1 .....	58
Figura 41. Ladrillo cerámico L-2 .....	59
Figura 42. Ladrillo cerámico L-3 .....	60
Figura 43. Ladrillo cerámico L-4 .....	61
Figura 44. Fotografía de sistemas constructivos con ladrillos cerámicos.....	62
Figura 45. Sistema constructivo de ladrillo cerámico .....	63
Figura 46. Vista horizontal del sistema constructivo con ladrillos cerámicos implementando ladrillo L-2.....	63
Figura 47. Puentes térmicos en productos tipo a) ladrillo L-3 y b) ladrillo L-4.....	64

Figura 48. Configuración tradicional de sistemas constructivos con ladrillo cerámico.....	65
Figura 49. Fotografía de sistemas constructivos con calados cerámicos.....	66
Figura 50. Tipologías de calados cerámicos .....	67
Figura 51. Ladrillo calado C-1 .....	68
Figura 52. Ladrillo calado C-2 .....	69
Figura 53. Fotografía de sistemas constructivos con calados cerámicos.....	70
Figura 54. Sistema constructivo tradicional con calado .....	71
Figura 55. Versatilidad de la pieza: a) calado C-1 y b) calado C-2.....	72
Figura 56. Puentes térmicos con calados cerámicos .....	72
Figura 57. Junta de mortero con calados cerámicos .....	73
Figura 58. Fotografía de sistemas constructivos cerámicos .....	75
Figura 59. Configuración.....	82
Figura 60. Resultados del flujo de calor de los productos a) H7, b) H10-A y c) H15.....	84
Figura 61. Resultados de flujo de calor de los productos a) H10-B, b) H10-C y c) H10-D.....	85
Figura 62. Resultados de distribución de temperatura de los productos a) H7, b) H10-A y c) H15 .....	87
Figura 63. Resultados de distribución de temperatura en puentes térmicos de las piezas a) H7, b) H10-A y c) H15 .....	88
Figura 64. Resultados de distribución de temperatura en productos a) H10-B, b) H10-C y c) H10-D .....	90
Figura 65. Resultados de distribución de temperatura en puentes térmicos de las piezas a) H10-B, b) H10-C y c) H10-D.....	91
Figura 66. Comportamiento térmico de la junta de mortero en formatos a) H7, b) H10-A y c) H15.....	93
Figura 67. Resultados de flujo de calor en puentes térmicos de las piezas a) H7, b) H10-A y c) H15.....	94
Figura 68. Resultados del flujo de calor de los productos a) L-1, b) L-2, c) L-3 y d) L-4 .....	97
Figura 69. Resultados de distribución de temperatura de los productos a) L-1, b) L-2, c) L-3 y d) L-4 .....	98
Figura 70. Resultados de distribución de temperatura en puentes térmicos de las piezas a) L-1, b) L-2, c) L-3 y d) L-4.....	100
Figura 71. Comportamiento térmico de la junta de mortero en formatos a) L-1, b) L-2, c) L-3 y d) L-4.....	101
Figura 72. Resultados del flujo de calor de los productos tipo calado a) C-1.....	104
Figura 73. Resultados de distribución de temperatura de los productos tipo calado a) C-1 .....	104
Figura 74. Resultados de flujo de calor de los productos tipo calado a) C-2.....	105

Figura 75. Resultados de distribución de temperatura de los productos tipo calado a) C-2 .....	105
Figura 76. Resultados de distribución de temperatura y flujo de calor en puentes térmicos de las piezas a) C-1 y b) C-2 .....	107
Figura 77. Puentes térmicos internos: a) bloque H10 y b) calado C2.....	114
Figura 78. Puentes térmicos externos: a) tradicional y b) imaginario.....	114
Figura 79. Paredes y cámaras de aire externas: a) bloque H10 tradicional y b) bloque H15 .....	115
Figura 80. Cámara de aire ventilada.....	116
Figura 81. Bloque cerámico H15 .....	118
Figura 82. Características físicas de bloques H15-M1 .....	120
Figura 83. Características físicas de bloques H15-M2 .....	121
Figura 84. Bloque cerámico H15 .....	122
Figura 85. Características físicas del ladrillo L4-M1 .....	123
Figura 86. Características físicas de ladrillos L4-M2 .....	124
Figura 87. Bloque cerámico H15 .....	125
Figura 88. Calado C1-M1 .....	126
Figura 89. Calado C1-M2 .....	127
Figura 90. Configuración.....	134
Figura 91. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos tipo H15-M1.....	136
Figura 92. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos tipo H15-M2.....	137
Figura 93. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos tipo L4-M1.....	139
Figura 94. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos L4-M2 .....	140
Figura 95. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos tipo C1-M1.....	142
Figura 96. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos tipo C1-M2.....	143
Figura 97. Evaluación comparativa de los modelos de diseño.....	144
Figura 98. Análisis comparativo de las muestras evaluadas.....	150



# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Parámetros climáticos de San José de Cúcuta .....	25
Tabla 2.	Datos de temperatura mensual de San José de Cúcuta .....	26
Tabla 3.	Datos de temperatura horaria de San José de Cúcuta .....	26
Tabla 4.	Datos de humedad relativa mensual de San José de Cúcuta .....	27
Tabla 5.	Datos de humedad relativa horaria de San José de Cúcuta .....	28
Tabla 6.	Temperatura horaria de San José de Cúcuta.....	29
Tabla 7.	Dirección de los vientos de San José de Cúcuta.....	30
Tabla 8.	Promedio horario de radiación solar de San José de Cúcuta .....	31
Tabla 9.	Características físicas de los bloques cerámicos H7 .....	46
Tabla 10.	Características físicas de los bloques cerámicos H10-A .....	47
Tabla 11.	Características físicas del bloque cerámico H15 .....	48
Tabla 12.	Características físicas del bloque cerámico H10-B.....	49
Tabla 13.	Características físicas del bloque cerámico H10-C.....	50
Tabla 14.	Características físicas del bloque cerámico H10-D .....	51
Tabla 15.	Características comparativas entre bloques cerámicos .....	55
Tabla 16.	Características físicas del ladrillo L-1 .....	58
Tabla 17.	Características físicas del ladrillo L-2.....	59
Tabla 18.	Características físicas de los ladrillos L-3.....	60
Tabla 19.	Características físicas del ladrillo L-4.....	61
Tabla 20.	Características comparativas de ladrillos cerámicos .....	65

Tabla 21.	Características físicas del calado C-1.....	68
Tabla 22.	Características físicas del calado C-2.....	69
Tabla 23.	Características comparativas de ladrillos cerámicos .....	73
Tabla 24.	Condiciones ambientales .....	80
Tabla 25.	Resultados de flujo de calor en las diferentes formas de tabiques de bloques cerámicos .....	86
Tabla 26.	Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2 .....	89
Tabla 27.	Resultados de distribución de temperatura en tabiques y paredes.....	89
Tabla 28.	Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2 .....	92
Tabla 29.	Resultados de distribución de temperatura en tabiques y paredes.....	92
Tabla 30.	Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2 de L-2, L-3 y L-4 .....	99
Tabla 31.	Resultados de distribución de temperatura en tabiques y paredes de L-2, L-3 y L-4.....	99
Tabla 32.	Comportamiento térmico comparativo de productos cerámicos tradicionales .....	109
Tabla 33.	Características físicas de bloques .....	119
Tabla 34.	Características del bloque H15-M1 .....	120
Tabla 35.	Características del bloque H15-M2 .....	121
Tabla 36.	Características físicas de ladrillos .....	122
Tabla 37.	Características del ladrillo L-4-M1 .....	123
Tabla 38.	Características del ladrillo L4-M2.....	124
Tabla 39.	Características físicas de ladrillos .....	125
Tabla 40.	Características del calado C1-M1 .....	126
Tabla 41.	Características del calado C1-M2 .....	127
Tabla 42.	Datos de las condiciones medioambientales de la ciudad de Cúcuta ..	132
Tabla 43.	Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2 de H15-M1, H15-M2 y H15.....	135
Tabla 44.	Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2 de L4-M1, L4-M2 y L4.....	138
Tabla 45.	Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2 de C1-M1, C1-M2 y C-1 .....	141
Tabla 46.	Temperaturas finales de los modelos de diseños versus los productos tradicionales .....	144
Tabla 47.	Resultados comparativos de temperatura final en los productos analizados .....	147



## RESUMEN



Con un clima cálido tropical tipificado como subhúmedo seco, la ciudad de Cúcuta en Colombia es un caso de estudio interesante para el desarrollo de soluciones constructivas térmicamente eficientes. Así, el presente libro se fundamenta en los parámetros del clima para evaluar el comportamiento térmico de las piezas constructivas fabricadas por la industria de la cerámica de Norte de Santander. Esto con el objetivo de definir estrategias y elaborar lineamientos de diseño en la concepción y adecuación de la envolvente arquitectónica en la región.

El modelo metodológico inicia con una introducción general del lugar: su ubicación, definición climática, su arquitectura y envolvente, todo ello con un enfoque específico en la cerámica como materialidad constructiva desde la definición de los procesos industriales, los productos destacados y su aplicación en la edificación de cerramientos verticales. Por otro lado, en una segunda etapa se describen los parámetros en los que se encuentra inmersa la envolvente en la ciudad de Cúcuta: temperatura, radiación, vientos y humedad, desarrollando con datos meteorológicos un análisis climático de preexistencias.

Entretanto, en el tercer capítulo se realiza una caracterización física de las piezas constructivas más utilizadas en mampostería cerámica a partir de la definición de sus dimensiones, formas y sistemas constructivos en tres tipologías generales: bloques, ladrillos y calados. Posteriormente, en el cuarto capítulo se describe el comportamiento térmico de las unidades constructivas analizadas en el capítulo anterior a partir de un análisis térmico de distribución de temperatura y flujo de

calor implementando método de elementos finitos. Lo anterior con el objetivo de generar una evaluación comparativa entre las muestras e identificar aquellos productos que presentan ventajas térmicas en envolventes verticales.

Finalmente, y a partir de un modelo proyectual, se generan estrategias para ejecutar mejoras en el diseño de producto a partir de la aplicación de técnicas en la forma y la función de las piezas que permitan optimizar su desempeño térmico en sistemas de cerramiento de un clima cálido evaluando la posibilidad de proveer eficiencia en la arquitectura cucuteña.



## ABSTRACT

With a warm tropical climate typified as dry sub-humid, the city of Cúcuta in Colombia is an interesting case study for the development of thermally efficient building solutions. Thus, this book is based on the climate parameters to evaluate the thermal behavior of the constructive pieces manufactured by the ceramic industry of Norte de Santander. The objective is to define strategies and elaborate design guidelines for the conception and adaptation of the architectural envelope in the region.

The methodological model begins with a general introduction of the place: its location, climatic definition, architecture, and envelope, all with a specific focus on ceramics as a constructive materiality, defining the industrial processes, the outstanding products, and their application in the construction of vertical enclosures. On the other hand, in a second stage, the parameters in which the envelope is immersed in the city of Cúcuta are described: temperature, radiation, winds and humidity, developing with meteorological data a climatic analysis of pre-existences.

Meanwhile, in the third chapter, a physical characterization of the most used construction pieces in ceramic masonry is carried out by defining their dimensions, shapes, and construction systems in three general typologies: blocks, bricks, and openwork. Subsequently, the fourth chapter describes the thermal behavior of the construction units analyzed in the previous chapter based on a thermal analysis of temperature distribution and heat flow by implementing the finite element method.

The purpose of this is to generate a comparative evaluation between the samples and identify those products that present thermal advantages in vertical envelopes.

Finally, and from a project model, strategies are generated to execute improvements in the product design from the application of techniques in the form and function of the pieces to optimize their thermal performance in enclosure systems in a warm climate, evaluating the possibility of providing efficiency in the architecture of Cucuta.

# INTRODUCCIÓN

La ciudad de San José de Cúcuta se encuentra al noreste de Colombia y posee las siguientes coordenadas geográficas: latitud 7,92 °N; longitud 72,51 °W y una altitud de 297 m sobre el nivel del mar. Está localizada en el departamento de Norte de Santander, en zona fronteriza con Venezuela y, además, presenta un clima cálido semiárido inmerso en un ecosistema de bosque seco con temperaturas que oscilan entre los 22 °C y los 33 °C en cielos de baja nubosidad con altos índices de radiación solar que pueden alcanzar los 6,995 W/m<sup>2</sup> por día (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2020).

Bajo estas condiciones, el calentamiento en la envolvente arquitectónica incide negativamente sobre los valores de las cargas térmicas totales de la edificación, lo cual se refleja finalmente en los consumos de energía para conseguir climatización interior. Por lo tanto, una reducción en las temperaturas superficiales de la piel constructiva evitando o perdiendo energía a partir de técnicas y tecnologías de enfriamiento pasivo puede contribuir al balance térmico y, de este modo, a un ahorro de energía por refrigeración mecánica. Esta perspectiva, a su vez, puede constituir un aporte positivo a las líneas de desarrollo relacionadas con las construcciones sostenibles.

Es de anotar que la transferencia de calor en la envolvente está relacionada tanto con el contexto climático en proporción a la exposición de su superficie externa a las condiciones climáticas, como con las características térmicas de sus componentes

materiales y las cualidades técnicas de su forma. De este modo, si primero se comprenden las características de los materiales y el comportamiento térmico de las piezas que conforman la piel arquitectónica en cuanto a su capacidad para acumular y transmitir energía térmica, en esa medida se podrán configurar técnicas para contener los flujos de energía indeseados.

Ahora bien, en el departamento de Norte de Santander y en el municipio de Cúcuta la envolvente se ha edificado a partir de la riqueza de su emplazamiento. La arcilla como materia prima vernácula de la región con excelentes propiedades para la producción de cerámica, inmersa en un contexto mineral rico en yacimientos arcillosos con propiedades fisicoquímicas de excelente calidad para la fabricación de una gran variedad de productos, articula un clúster industrial que moldea parte de la economía en la región, por lo que constituye uno de los sectores más representativos de la economía. En ese sentido, los derivados de este proceso industrial moldean la identidad material de las edificaciones y, por tanto, sus componentes definen en gran medida el comportamiento térmico de la envolvente arquitectónica local.

Por otro lado, el mercado regional, sujeto a la tradición en los procesos de diseño y fabricación, oferta unidades constructivas de baja efectividad térmica si se consideran, por ejemplo, los dos productos más demandados en la construcción de mampostería local: el bloque con el 15 % del total de la producción y el ladrillo multiperforado con el 13 % (Sánchez y Ramírez, 2013). Sus propiedades físico-mecánicas y térmicas incluyen una temperatura superficial que puede llegar a los 69 °C en la cara exterior y a 35 °C en la cara interior para bloques (Narváz-Ortega *et al.*, 2019) y 62 °C en exterior y 41 °C en interior para ladrillo (Colmenares-Uribe *et al.*, 2020). Los resultados involucran características en la forma, en la composición material y en las dimensiones de las piezas que muestran comportamientos térmicos poco efectivos respecto al clima, lo que representa una desventaja en el balance térmico interior.

Es por esto por lo que en los últimos años el clúster de la cerámica y su mercado se han interesado en la incorporación de estrategias de eficiencia térmica desde el eje de la sostenibilidad y la innovación a través del diseño de productos y materiales cerámicos con atributos termoaislantes. Por lo tanto, desde el campo de la investigación en tecnologías cerámicas se ha hallado que un nicho de exploración es el desarrollo de modelos sostenibles para el diseño de piezas constructivas que respondan eficientemente a los requerimientos térmicos del contexto medioambiental. En condiciones de clima cálido, las estrategias se estructuran a partir de sistemas de aislamiento que integran propiedades capaces de controlar la transferencia de energía desde una visión de bajo consumo que refleje una reducción en el uso de mecanismos artificiales de acondicionamiento térmico para la confortabilidad en la edificación.



En ese sentido, desde la literatura se consideran como estrategias pasivas para el desarrollo de productos termoaislantes el aumento del espesor en las piezas, la disminución de puentes térmicos a través de la complejidad morfológica de los tabiques alargando los recorridos para retardar o impedir la transferencia de calor (Colmenares-Uribe y Díaz-Fuentes, 2019; Narváez-Ortega *et al.*, 2021), además del aumento en el número de cavidades internas de cada unidad constructiva (Sánchez Molina *et al.*, 2020), la adición de sistemas de ventilación pasiva en la superficie de mayor incidencia solar para disipar energía (Narváez-Ortega *et al.*, 2020) y la exploración formal de la cara externa para controlar los porcentajes de captación de calor (Narváez-Ortega *et al.*, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación parte del análisis de las condicionantes climáticas de la región de Norte de Santander y sus estructuras materiales actuales para examinar los requerimientos en sistemas constructivos para envolventes de mampostería cerámica. Esto con el objetivo de generar un modelo de piezas constructivas innovadoras con características técnicas y tecnológicas térmicamente eficientes en un clima cálido semiárido como apoyo a la elaboración de soluciones sostenibles para la construcción y la arquitectura con principios bioclimáticos.









# GLOSARIO

## **1. Envoltente**

Es la piel del edificio y el elemento físico que interactúa entre el interior y el exterior protegiendo al interior de las condiciones adversas del entorno. Está compuesta por la cubierta, las fachadas, los pisos y los elementos en contacto con el terreno y debe ser diseñada como un agente dinámico que funcione como filtro térmico, acústico, lumínico, etc. capaz de modificar favorablemente la acción de los elementos naturales. Sus estrategias pueden ser admitiéndolos, rechazándolos o transformándolos según se requiera. De igual modo, su adecuado diseño permite mejorar el confort interior de los ocupantes y bien ejecutado puede, a su vez, optimizar el ahorro de energía en la edificación (Baixas, 2012).

## **2. Envoltente térmica**

Se refiere a las propiedades que la envoltente tiene respecto al flujo de calor que se transmite entre interior y exterior. Según las condiciones climáticas del contexto, las propiedades de la envoltente térmica pueden variar. Cada elemento de cubierta, fachada, ventanas o pisos puede tener propiedades térmicas distintas de acuerdo con el material y con la disposición constructiva con la que sea edificado.

## **3. Cerámica**

Arcilla cocida a una temperatura superior a los 900 °C cuyo resultado permite la fabricación de piezas de alfarería o materiales de construcción en forma de ladrillos, tejas, baldosas y demás productos para cerramientos.

#### **4. Clima**

Conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región, las cuales son obtenidas a partir de estadísticas a largo plazo. Los principales parámetros climáticos para considerar son temperatura, humedad, viento, radiación solar y precipitación pluvial.

#### **5. Humedad**

Indica la cantidad de vapor de agua contenida en el aire. Se puede expresar de forma específica como el peso del vapor de agua presente en una unidad de masa de aire seco denominada humedad absoluta o como grado de humedad denominado humedad relativa, el cual alude a la relación entre el vapor de agua contenido en el aire a una determinada temperatura y la cantidad máxima que podría contener dicha temperatura.

#### **6. Temperatura**

Magnitud física referida a la energía térmica de un cuerpo, un objeto o del ambiente medible mediante un termómetro. Un termómetro seco u ordinario calcula la temperatura del ambiente sin considerar la radiación calorífica y la humedad. Por lo demás, este método se denomina temperatura de bulbo seco. Si la toma de datos se realiza mediante termómetro húmedo ubicado en la sombra, con su bulbo envuelto en algodón y ubicado bajo una corriente de aire, el agua del algodón toma calor del aire y se evapora, disminuyendo la temperatura que capta el termómetro respecto a la temperatura del ambiente. La información resultante de este proceso se denomina temperatura de bulbo húmedo y considera tanto la humedad como la temperatura seca. Esto se da como resultado de medir la humedad del aire para calcular la sensación térmica.

#### **7. Viento**

Es el movimiento de aire en una dirección con una velocidad determinada. En la atmósfera, el viento es el movimiento en masa del aire de acuerdo con las diferencias de presión atmosférica. El viento está caracterizado por dos magnitudes: velocidad y dirección. La velocidad del viento mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinados, lo cual se mide mediante un anemómetro, mientras que la unidad de medida es habitualmente metros por segundo.

#### **8. Radiación solar**

Es la energía emitida por el Sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas en forma de radiación de onda corta. Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por

la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe.

### **9. Eficiencia**

Es la correcta utilización de los recursos disponibles para la obtención de resultados. Se refiere a las acciones o prácticas que se pueden realizar con el fin de disminuir los consumos de energía (lo que se conoce como eficiencia energética). También es una manera de adoptar una conducta responsable al disminuir gastos y promover la sostenibilidad ambiental.

### **10. Diseño sostenible**

Metodología de diseño de productos y sistemas con principios de eficiencia ecológica, socialmente responsables y económicamente viables que eviten el agotamiento de recursos valiosos para el desarrollo de soluciones positivas para el ambiente, con un alto sentido de equidad social, desarrollo económico en todo su proceso de producción, uso, desecho o reutilización y competencia en el mercado.

### **11. Bioclimática**

Consiste en el diseño de los componentes arquitectónicos, paisajísticos, constructivos y mecánicos con base en la interpretación del clima del lugar para dar respuesta a los requerimientos de habitabilidad del ser humano, regulando los intercambios energéticos entre el entorno exterior y el espacio habitable, transformando el microclima para configurar condiciones de bienestar térmico, sin desconocer el lumínico, acústico y visual para sus habitantes.

### **12. Balance térmico**

Es el estado en el cual se igualan las temperaturas de dos cuerpos, las cuales en sus condiciones iniciales presentaban diferentes valores. Una vez que las temperaturas se han equiparado, se suspende el flujo neto promedio de calor entre ambos cuerpos, alcanzándose con ello el mencionado equilibrio térmico del sistema termodinámico.

### **Mecanismos de transferencia de calor**

#### **13. Conducción**

Es un proceso de transmisión de calor de un cuerpo a otro basado en el contacto directo entre sus moléculas sin intercambio de materia que tienden a alcanzar un equilibrio termodinámico. El calor fluye desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura que está en contacto con el primero.

**14. Convección**

Es un proceso de transmisión de calor de un cuerpo a otro mediante el contacto con un fluido que sirve de mediador para alcanzar un equilibrio termodinámico transportando el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección en sí es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido, siendo los fluidos más comunes el aire y el agua.

**15. Radiación**

Es un proceso de transmisión de calor de un cuerpo a otro en el vacío sin necesidad de mediar contacto directo o indirecto entre ellos hasta alcanzar un equilibrio termodinámico.







## CAPÍTULO I

# CERÁMICA COMO MATERIALIDAD CONSTRUCTIVA

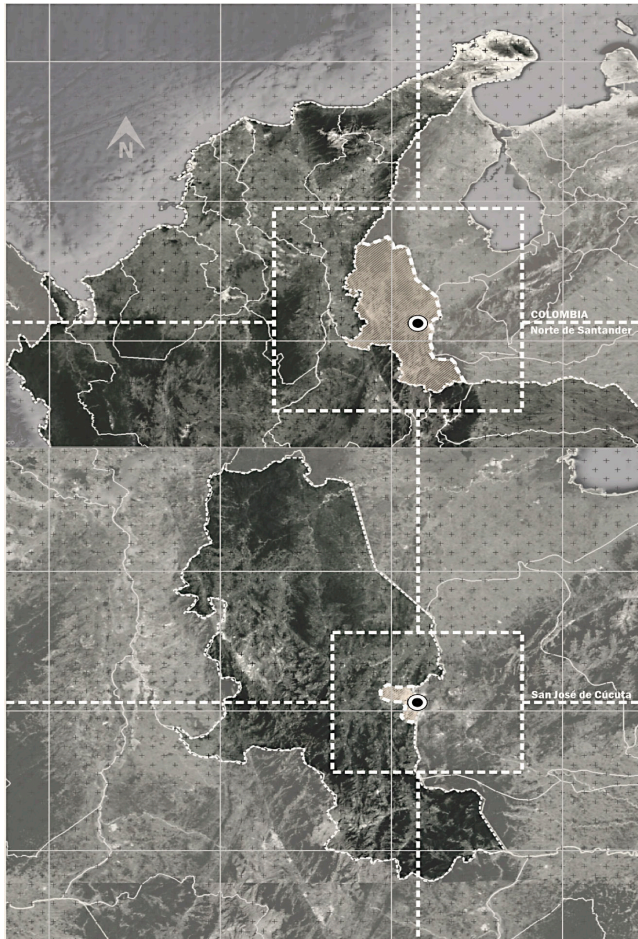
### **Cúcuta, cerámica y clima**

La ciudad de Cúcuta, al nororiente de Colombia en inmediaciones de la Cordillera Oriental de los Andes, posee coordenadas geográficas de latitud 7,92 °N, longitud 72,51 °W y una altitud de 297 m sobre el nivel del mar (Portal Único del Estado Colombiano, 2021). Es la capital de Norte de Santander y el núcleo político del área metropolitana de dicho departamento. La ciudad se caracteriza por un contexto socioeconómico profundamente marcado por su condición fronteriza con Venezuela y por los intercambios comerciales que genera con el centro del país. Este dinamismo la convierte en una metrópoli oscilante en la que convergen diversas culturas unificadas en un mismo emplazamiento y un suelo de gran riqueza material a partir de cual se edifica su identidad (Rodríguez *et al.*, 2018).

Su superficie de 1176 km<sup>2</sup> (Cámara de Comercio de Cúcuta, 2021) se encuentra inmersa en un clima cálido semiárido (IDEAM, 2011) formado por un ecosistema de bosque seco (Carrillo-Fajardo *et al.*, 2007) con temperaturas que oscilan entre los 22 °C y los 33 °C en cielos de baja nubosidad y altos índices de radiación solar que pueden alcanzar los 6,144 W/m<sup>2</sup> por día (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2022). Bajo estas condiciones climáticas, su arquitectura expone la materialidad constructiva predominante de la región, a saber, la arcilla, rica en el suelo nortesantandereano, la cual moldea la identidad material de las edificaciones locales desde la cerámica constructiva.

En la región, la mampostería cerámica es el sistema constructivo más utilizado en la edificación de envolventes verticales, una dinámica derivada de la condición vernácula de los materiales donde se produce una gran oferta de productos con un bajo costo en el mercado, asociado aquello a la facilidad en la obtención de materia prima y a la reducción de costos en transporte con cadenas productivas en las cuales la fabricación y la distribución se hacen de manera directa (Álvarez-Rozo *et al.*, 2018). Tales procesos hacen de la arcilla la lógica constructiva tradicional. Por lo tanto, es fundamental contextualizar la materialidad constructiva cerámica que moldea la región bajo condiciones climáticas específicas y, asimismo, correlacionar las características físico-mecánicas de sus componentes con su función. Esto resulta esencial por cuanto la envolvente define en gran medida el comportamiento térmico que presentan las edificaciones.

**Figura 1. Ubicación geográfica de Norte de Santander, Colombia**



Fuente: Narváez Ortega (2021) a partir de Google Earth.



**Figura 2. Cantera, Ladrillera Casa Blanca en Cúcuta, Norte de Santander**



Fuente: Narváez Ortega (2021).

## 1.1. La industria cerámica en la región

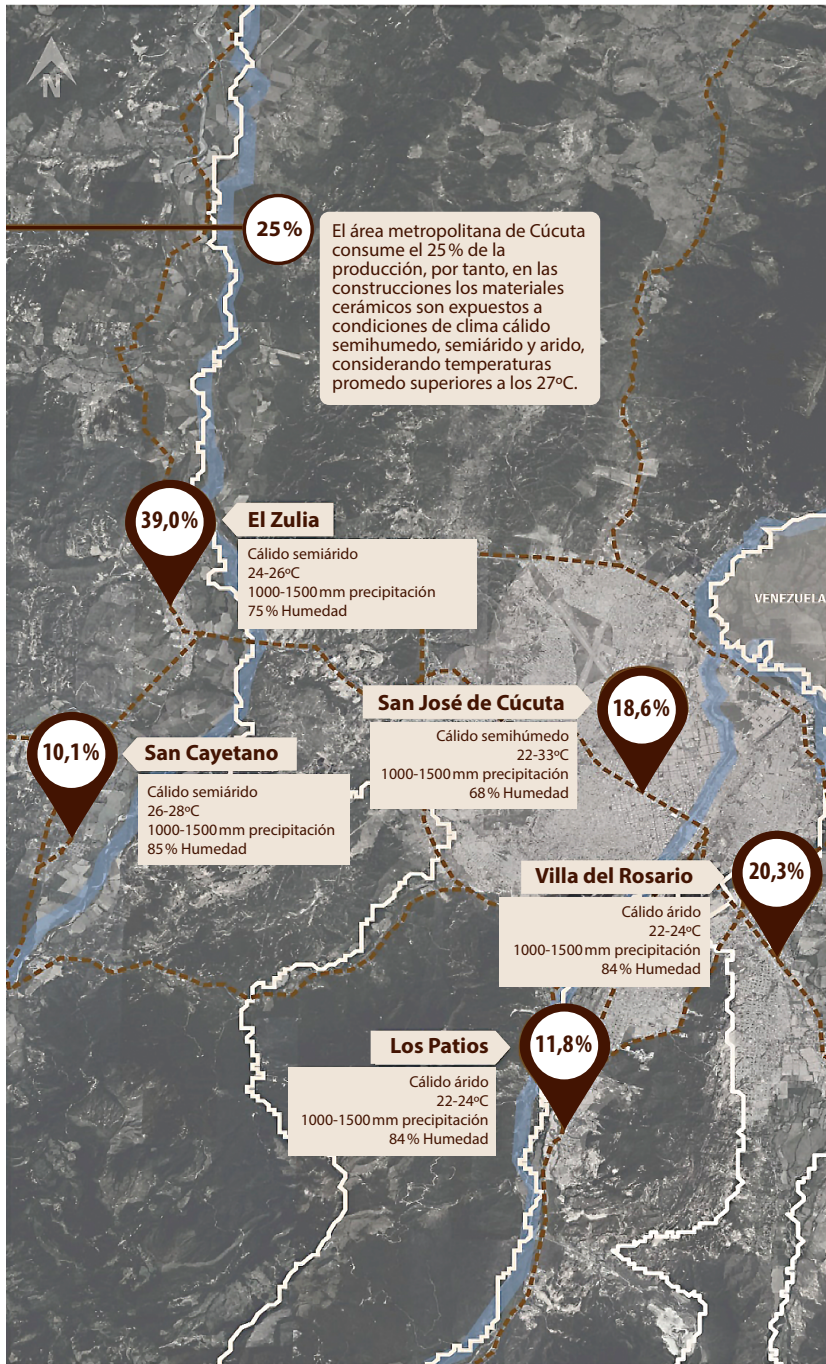
En Norte de Santander, la riqueza del emplazamiento define la materialidad constructiva con la que se edifica su arquitectura. Como riqueza material, la arcilla es un recurso vernáculo con excelentes características físicas y químicas para la fabricación de piezas cerámicas para la construcción (Flórez-Vargas *et al.*, 2018). En la ciudad de San José de Cúcuta y en los municipios del área metropolitana como El Zulia, Villa del Rosario, Los Patios y San Cayetano se encuentran los principales yacimientos arcillosos (Sánchez Molina *et al.*, 2019) con gran disponibilidad de materias primas de alta calidad para la fabricación de piezas constructivas (Gelves *et al.*, 2013) en donde la arcilla es el segundo mineral de mayor explotación y producción para el sector de la construcción, de manera que representa una de las actividades económicas de más alto crecimiento con gran impacto socioeconómico para la región nortesantandereana (Sarabia-Guarín *et al.*, 2017).

Por lo tanto, en esta zona nororiental de Colombia se constituye un clúster industrial basado en la arcilla encargado de su explotación y transformación en piezas cerámicas constructivas. Este clúster está conformado por 59 empresas distribuidas en los diferentes municipios de Norte de Santander. Así, en San José de Cúcuta se encuentra el 18,6%, en Villa del Rosario el 20,3%, en El Zulia el 39,2%, mientras que en Los Patios se encuentra el 11,8% de estas empresas y en el municipio de San Cayetano el 10,1% (Sánchez y Ramírez, 2013), todas contextualizadas en un clima cálido tropical.

Ahora bien, y desde el punto de vista comercial, se debe resaltar que los productos derivados de este proceso productivo los consume el mercado local en un 25% para ser utilizados en sistemas de cerramiento en climas subhúmedos y semiáridos, mientras que la demanda nacional representa el 50%, un dato relevante si se considera que el 80% de los climas en Colombia se clasifican como cálidos (IDEAM, 2020) y el 25% restante se exporta a mercados extranjeros (Sánchez-Molina *et al.*, 2019). Respecto a la comercialización de estas piezas en el área metropolitana de Cúcuta, la capital abarca un 69%, mientras que un 11,9% corresponde a El Zulia, un 9,5% a Villa del Rosario; un 7,1% a Los Patios y, finalmente, el municipio de San Cayetano abarca un 2,3% de esta comercialización (Sánchez y Ramírez, 2013).



Figura 3. Localización de las empresas cerámicas del área metropolitana de Cúcuta



Fuente: Narváez Ortega (2021) a partir de Google Earth.

**Figura 4. Hornos, Ladrillera Sigma en Los Patios, Norte de Santander**



Fuente: Narváez Ortega (2021).



## 1.2. Proceso de producción de las cerámicas constructivas

De la totalidad del territorio nortesantandereano, 2196 km<sup>2</sup> están compuestos de minerales arcillosos, lo que corresponde a un 10,1 % de la extensión total. La industria minera extrae de dicha zona la arcilla, una materia prima para la fabricación de los productos cerámicos (Cáceres *et al.*, 2021). Se trata de un material natural de origen pétreo compuesto principalmente de silicatos de aluminio previamente sometidos a procesos de granulación, lavado, decantación y desecación (Sánchez y Ramírez, 2013). Además, la arcilla posee plasticidad (al ser hidratada) y rigidez (al encontrarse seca), lo que la hace perfecta para ser sometida a procesos de moldeo y cocción que generen piezas constructivas.

El clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta transforma la arcilla en materiales para el sector de la construcción al implementar el conformado por extrusión como el proceso más utilizado en la región (Sánchez Molina *et al.*, 2019). De igual modo, la fabricación consta de diferentes fases (ver Figura 5): extracción de la materia prima; molienda y tamizado; humectación y moldeo; secado, cocción y, finalmente, clasificación, embalaje y almacenamiento. Tales procesos productivos generan unidades constructivas cerámicas de tonalidades rojizas con buena resistencia mecánica, durabilidad y agradable apariencia estética (Ramírez-Delgado, 2012).

Entretanto, el proceso productivo parte de las canteras de extracción de arcilla, las cuales son minas donde se encuentran grandes depósitos sedimentarios arcillosos con formaciones geológicas de León y Guayabo, cuya riqueza posee propiedades que permiten fabricar cerámicos constructivos (Blanco-Meneses *et al.*, 2020). Es desde estos yacimientos mineros ubicados en las inmediaciones que se transporta y almacena en reservas la materia prima (Flórez-Vargas *et al.*, 2018). Ahora bien, la preparación de la arcilla inicia con una etapa de molienda para su homogenización en la que se eliminan las impurezas y apelmazamientos del mineral. Lo anterior a través de un proceso de triturado por fricción y golpes en molino de martillos con el fin de obtener partículas de arcilla más pequeñas. El material resultante se almacena en silos donde se realiza el proceso de maduración hasta el inicio de la producción industrial (Sánchez Molina *et al.*, 2019).

La fabricación de productos cerámicos inicia con la mezcla de diferentes tipos de arcilla para producir las pastas con el color, la textura y los componentes mineralógicos específicos para las diversas clases de productos. Esto a través de procesos de humectación y amasado del material arcilloso para iniciar la extrusión, donde la arcilla atraviesa una cámara de vacío que empuja y extrae el material para compactar las partículas de aire a través de un troquel con una sección transversal fija que da forma al producto, el cual, a su vez, traspasa una banda rotativa que traslada la pieza para posteriormente proceder con corte y biselado.

**Figura 5. Proceso de fabricación de cerámicos constructivos por extrusión**

<p><b>Extracción</b></p> <p>Posterior a una etapa de estudios geológicos, las arcillas se extraen de canteras a cielo abierto a partir de medios mecánicos para, luego, llevar a cabo la maduración de las materias primas en zonas de almacenamiento.</p>			<p><b>Molienda y tamizado</b></p> <p>Se inicia un proceso de molienda de la arcilla bruta como método de homogenización a partir de un proceso de trituración a través de molinos de martillo para disminuir el tamaño de las partículas, así como un posterior tamizado para mejorar el acabado final.</p>
<p><b>Mezcla, humectación y moldeo</b></p> <p>En esta etapa se le da forma al producto colocando la pasta de arcilla en una mezcladora de doble eje y agregando un 20 % de agua a la mezcla para darle maleabilidad durante el proceso de extrusión por vacío. A través de una boquilla surge la arcilla compactada para posterior corte y biselado de la pieza final.</p>			<p><b>Secado</b></p> <p>La humedad del producto debe ser retirada para iniciar el proceso de cocción, por tanto, se requiere de un secado natural y/o artificial para retirar el agua agregada en el proceso de moldeo. Este paso es necesario para evitar roturas por pérdida de agua por las altas temperaturas durante la etapa de cocción.</p>
<p><b>Cocción</b></p> <p>Se realiza la cocción de las piezas a temperaturas superiores a 700 °C en hornos tipo llama invertida, horno túnel u horno de cámara, agregando propiedades mecánicas al producto final.</p>			<p><b>Embalaje y empaque</b></p> <p>Finalmente, se procede a la etapa de clasificación por tamaño, color y textura realizando un control de calidad del producto final para posterior empaquetado, almacenamiento y despacho.</p>

Fuente: Sánchez y Ramírez (2013).

Por otra parte, el proceso de secado se realiza de forma natural y tarda entre 24 y 48 horas, mientras que el proceso de cocción toma de dos a tres días en promedio. Posteriormente, las piezas finales se dejan 48 horas en reposo para completar un proceso de enfriamiento. A lo largo de este método de elaboración las piezas adquieren propiedades como dureza, estabilidad y resistencia mecánica, características necesarias para la construcción (Medina-Jiménez y Jaramillo, 2019).

Ahora bien, el tono del material depende de la temperatura a la que se cocc el producto, la cual oscila entre 900 °C para tonos rojos y arena dependiendo del material inicial y color tabaco a temperaturas de 1200 °C. A partir de los 700 °C la arcilla se convierte en cerámica y deja atrás su estado plástico y moldeable. Entre el proceso de secado y cocción la pieza puede experimentar una reducción de hasta el 20 % de su volumen inicial, mientras que durante la fase de cocción se alcanzan temperaturas que superan los 1000 °C en el interior del horno, donde las arcillas experimentan reacciones físicas y químicas que hacen del ladrillo un material resistente a compresión, insoluble y de porosidad limitada (Sánchez Molina y Díaz García, 2011).

**Figura 6. Cantera, Ladrillera Casa Blanca**



Fuente: Narváez Ortega (2021).

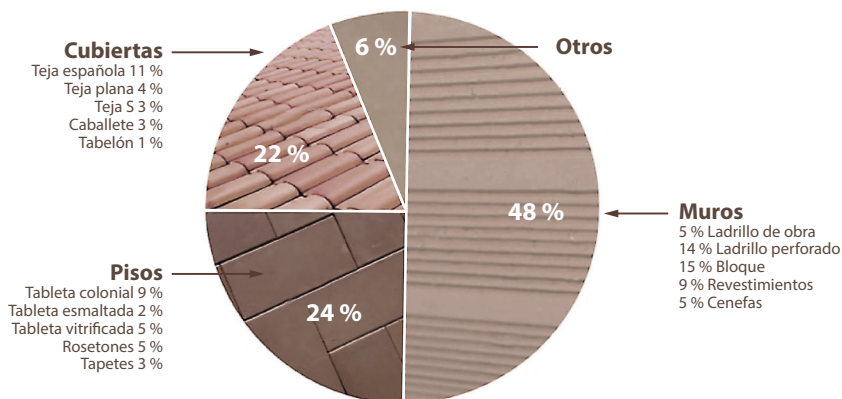
No obstante, los procesos de diseño y fabricación suelen ser tradicionales (Sánchez y Ramírez, 2013) y no incorporan procesos de innovación, pues los departamentos dedicados a la invención de nuevas piezas son casi inexistentes. De esta manera, las piezas de la industria poseen formas y funciones limitadas que no cuentan, por ejemplo, con una correcta respuesta térmica a las condiciones del clima en tanto las piezas existentes no cuentan con una caracterización térmica que permita identificar sus fortalezas y debilidades. Se debe resaltar que tales deficiencias reducen su competitividad frente a nuevos desafíos ambientales que, por lo demás, debe enfrentar el mercado actual.

### 1.3. Productos cerámicos constructivos

Las piezas cerámicas producidas en la región son productos fabricados como soluciones constructivas de carácter funcional que se pueden clasificar en dos tipologías según su aplicación: estructural o no estructural. Las primeras sirven de soporte para la tectónica del edificio, mientras que las segundas cumplen una función de revestimiento en la envolvente exterior de muros, cubiertas y pisos o de división espacial y revestimiento de interiores.

Ahora bien, dentro del sector de la cerámica, un 48 % de la producción corresponde a unidades constructivas fabricadas para cerramientos verticales, convirtiéndose en los productos líderes del mercado donde un 19 % son ladrillos macizos o ladrillos multiperforados, un 15 % son bloques y un 14 % lo conforman otras tipologías como las celosías cerámicas, piezas derivadas del proceso industrial de extrusionado (Sánchez-Molina, 2009). Por su parte, un 42 % corresponde a unidades constructivas para envoltentes horizontales, mientras que un 22 % son cubiertas en diferentes tipos de tejas y un 24 % está dado por piezas cerámicas para pisos, principalmente distintos formatos de tabletas (Sánchez y Ramírez, 2013).

**Figura 7. Tipología de productos fabricados por la industria cerámica de Norte de Santander**

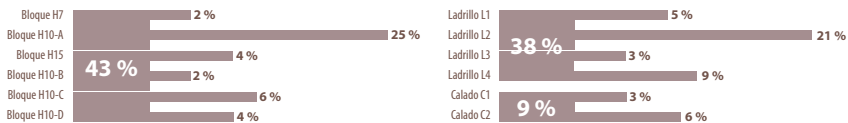


Fuente: Narváez Ortega (2021) a partir de Sánchez y Ramírez (2013).



Por lo tanto, y según los índices de producción, la industria se especializa en la fabricación de cerámicos constructivos para envolventes verticales. Asimismo, y a partir tanto de los indicadores como de una perspectiva cualitativa de la oferta comercial de productos para cerramientos verticales ofertados por 59 empresas constituyentes del clúster de la cerámica en la región descritas por Sánchez y Ramírez (2013), es posible identificar 12 diferentes tipos de piezas constructivas representativas de la industria (ver Figura 8), las cuales se pueden subclasificar en tres categorías: bloques, ladrillos y calados, donde la mayor proporción corresponde a bloques con un 63 %, seguido por ladrillos con un 28 % y calados con un 9 % de la producción (Narváez-Ortega, 2018).

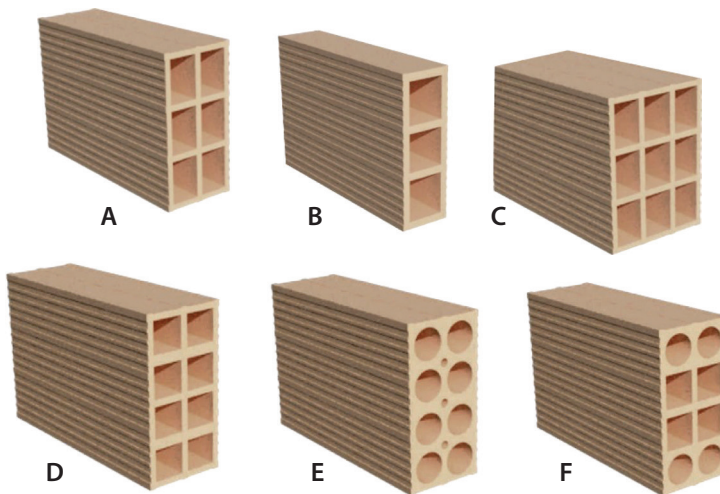
**Figura 8. Clasificación tipológica de productos para mampostería ofertados por el clúster Norte de Santander**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Entretanto, de las piezas tipo bloque se distinguen seis productos que conforman sistemas constructivos generalmente estructurales, por lo que presentan formas rectangulares, circulares o mixtas en sus perforaciones horizontales (ver Figura 9).

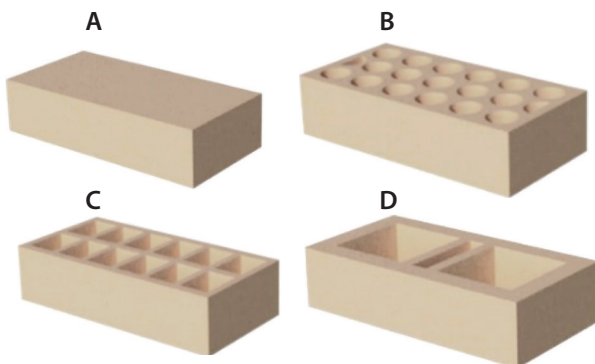
**Figura 9. Identificación cualitativa de los productos para cerramientos verticales:**  
**a) bloque H7; b) bloque H10-A; c) bloque H15; d) bloque H10-B;**  
**e) bloque H10-C y f) bloque H10-D**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Por otro lado, los productos tipo bloque presentan las mismas dimensiones exteriores de alto (200 mm) y largo (300 mm) con un espesor variable entre 70 mm y 150 mm. Dentro de las muestras se destaca el bloque H10-A como la pieza más representativa de la industria local en su categoría.

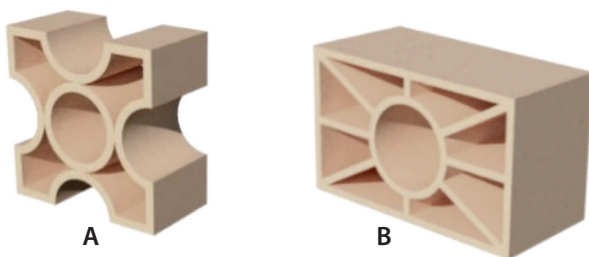
**Figura 10. a) Ladrillos L1; b) ladrillos L2; c) ladrillos L3 y d) ladrillos L4**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Los ladrillos cerámicos más distintivos son cuatro unidades constructivas de composición sólida o perforación vertical utilizadas en la construcción de muros de mampostería estructural y no estructural, generalmente con acabado a la vista y con dimensiones aproximadas de 250 mm de largo y 70 mm de alto, además de un espesor que va de 100 mm a 120 mm. En esta categoría sobresale el ladrillo L2, la segunda mayor participación en el sector cerámico.

**Figura 11. a) Calado C1 y b) calado L2**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Por su parte, los calados cerámicos son piezas no estructurales de perforación horizontal abiertas al flujo de aire y a la iluminación natural utilizadas en sistemas de mampostería mixta en conjunto con bloques y ladrillos. Son unidades estéticas de baja participación comercial que presentan oscilantes entre las muestras.

**Figura 12. Construcción con productos cerámicos**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

## 1.4. Envoltentes construidas con productos cerámicos

En la arquitectura de la región, las envoltentes verticales representan un sistema tradicional de mampostería, un método constructivo simple desarrollado con mano de obra empírica cuya construcción consiste en la fabricación de paramentos a partir de la superposición de bloques o ladrillos por colocación manual erguidos en hiladas conglomeradas entre sí con mortero de cemento. Esto conforma una estructura resistente de tipo estructural o no estructural. En los cerramientos para paramentos locales es posible identificar dos tipologías constructivas principales, a saber, los sistemas de mampostería herméticos y los sistemas mixtos, los cuales combinan una tipología cerrada con una hilada final tipo calado de función abierta.

### 1.4.1. La tipología cerrada

La tipología cerrada alude a la mampostería tradicional instalada por la cara sólida del elemento constructivo. Es utilizada como cerramiento o división de espacialidades y suele ser de tipo portante. Su morfología es muy simétrica y homogénea, sin embargo, por su acabado suele ir recubierta de pañete, pasta, pintura y revestimiento o cara vista dejando ver el tono natural del material. Por lo demás, se presenta en diferentes tipos de aparejo de acuerdo con la necesidad.

Figura 13. Mampostería de configuración cerrada



Fuente: Narváez-Ortega (2021).



**Figura 14. Construcción con productos cerámicos**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

### 1.4.2. La tipología mixta

La tipología mixta es utilizada para generar salidas de aire dentro de los sistemas de cerramiento de mampostería y es especialmente importante en climas cálidos para disipar el calor del interior de las edificaciones. De igual modo, es utilizado comúnmente para proveer de iluminación. Las aberturas suelen constituirse a partir del aparejo de los elementos como ladrillo o bloque o a través de la utilización de calados en diferentes posibilidades estéticas y diversas técnicas morfológicas. Entretanto, el área sólida del muro suele ir recubierta de pañete, pasta, pintura y revestimiento, mientras que en el área permeable suele usarse cara vista aprovechando el tono natural del material. Al igual que los demás sistemas, el acabado final depende de la experiencia en la instalación para otorgar resultados simétricos y homogéneos.

Figura 15. Mampostería cerámica de configuración mixta



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

### 1.5. Cerámica constructiva

Los sistemas constructivos y los productos utilizados en la región cumplen una función estructural, estética y térmica, de modo que se requiere una caracterización de las propiedades físicas y funcionales de la envolvente. Lo anterior si se considera que, en la región, la envolvente se encuentra inmersa en un clima cálido extremo, por lo tanto, la mampostería constructiva que constituye los cerramientos verticales funciona como una piel que sufre intercambios energéticos protegiendo los espacios interiores.

**Figura 16. Construcción con productos cerámicos**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).









## CAPÍTULO II

# CONTEXTO CLIMÁTICO DE LA ENVOLVENTE CERÁMICA EN LA REGIÓN

### **2.1. Determinantes climáticos**

#### **2.1.1. Datos**

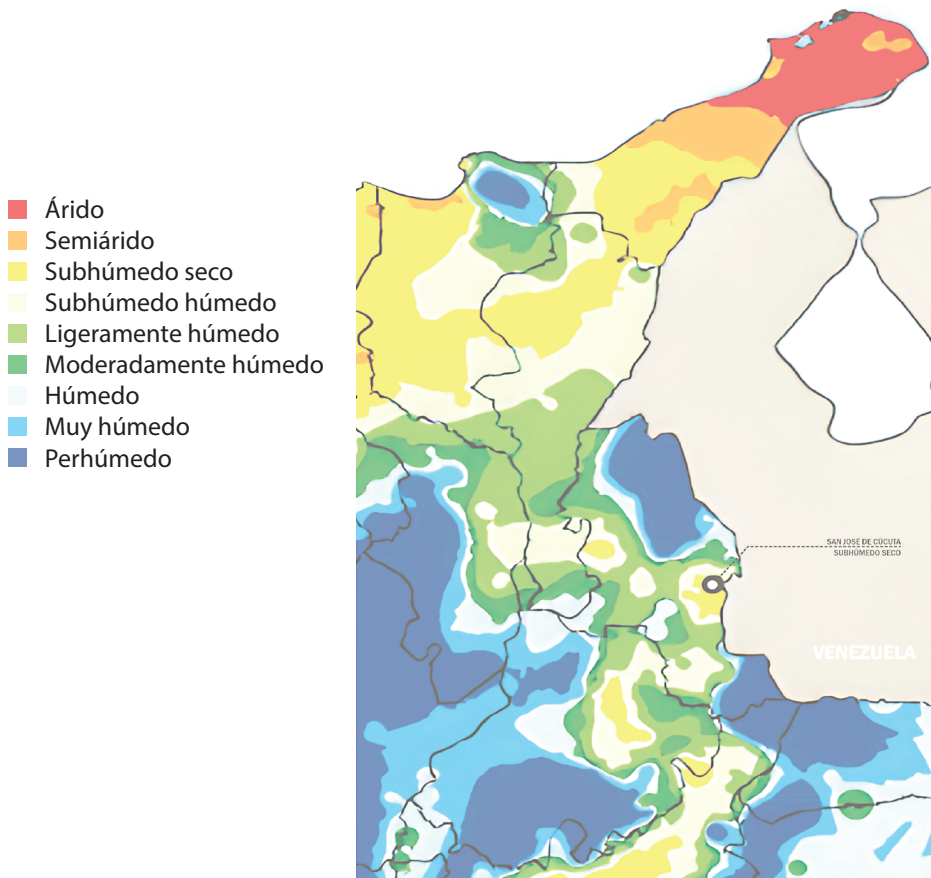
Los datos del clima tipo para realizar una caracterización de las condiciones atmosféricas en las que se encuentra inmersa la cerámica en la región se toman del municipio de San José de Cúcuta con base en información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2020) en el periodo comprendido entre los años 1981-2010. Tal información se tomó a partir de los datos arrojados por la estación meteorológica del aeropuerto Camilo Daza con código 16015010 y con coordenadas geográficas de longitud 72,51° W y latitud 7,93° N, a una altitud de 250 m sobre el nivel del mar ubicada al norte de la ciudad en el departamento de Norte de Santander, Colombia.

#### **2.1.2. Clasificación climática**

En Colombia, el 80 % de la diversidad climática está tipificada como cálida con temperaturas superiores a 24°C en toda la extensión del país. Ahora bien, en la región de Norte de Santander, a lo largo del límite nororiental en frontera con Venezuela, se encuentran los municipios que registran mayores temperaturas, los cuales superan los 28°C en promedio con climas cálidos húmedos y subhúmedos (IDEAM, 2020), entre los cuales se encuentra el municipio de San José de Cúcuta.

Esta ciudad se encuentra en un contexto climático tropical tipificado como cálido subhúmedo de carácter seco, por lo que es fundamental comprender las características específicas del clima para determinar su influencia sobre el comportamiento térmico de la cerámica constructiva. Esto debido a que la envolvente está sometida a condiciones de alta temperatura constante a lo largo del año y, por lo tanto, sus componentes constructivos son los responsables de controlar los flujos de energía que se intercambian entre el ambiente exterior y el espacio interior que protege las edificaciones. Lo anterior, a su vez, determina la confortabilidad espacial y establece los consumos de energía en proporción a los requerimientos de climatización. En ese sentido, se realiza una caracterización climática de las variables que generan altas cargas térmicas sobre los flujos de energía en la envolvente como temperatura, radiación solar, humedad relativa y vientos predominantes.

**Figura 17. Clasificación climática de San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia**



Fuente: IDEAM, atlas climático de Colombia, modificado por Narváez-Ortega (2021).



## 2.2. Caracterización climática

La ciudad de San José de Cúcuta presenta una temperatura media anual de 27,5 °C y una humedad relativa media anual de 68,3 % en un contexto tropical sin estaciones marcadas con algunas temporadas de lluvias escasas repartidas a lo largo del año, con un promedio de lluvia total anual de 732 mm. Por su topografía, el comportamiento del viento presenta un flujo cruzado con vientos predominantes provenientes tanto del norte como del sur con una velocidad promedio de 2,9 m/s. Por otra parte, el espacio urbano se encuentra inmerso en un bosque seco de 70 000 hectáreas (Carrillo, 2007), un ecosistema vulnerable, donde el desarrollo y la construcción acelerada ocasionan una disminución de la vegetación natural y, por lo tanto, una reducción del albedo, lo que trae consigo un aumento constante en la temperatura superficial con un incremento de la sequedad y la desertificación. Como consecuencia de lo anterior, existen unas condiciones climáticas cada vez más extremas en las que las temperaturas pueden sobrepasar los 32 °C.

**Tabla 1. Parámetros climáticos de San José de Cúcuta**

Datos climáticos	
Parámetros	Promedio anual
Temperatura mínima	22,7 °C
Temperatura media	27,1 °C
Temperatura máxima	32,0 °C
Oscilación térmica media	9,3 °C
Humedad relativa mínima	57,6%
Humedad relativa media	68,3%
Humedad relativa máxima	81,8%
Precipitación pluvial	732 mm
Vientos dominantes	Norte/sur
Velocidad de viento	2,9 m/s

Fuente: elaboración propia a partir de IDEAM (2020).

### 2.2.1. Temperatura

La temperatura media anual de la ciudad de Cúcuta es de 27,1 °C con una máxima promedio a lo largo del año de 32,0 °C y una mínima promedio de 22,7 °C. Las temperaturas máximas pueden alcanzar rangos de 40,01 °C en condiciones extremas atípicas y las mínimas extremas que no superan los 17,62 °C. Por lo tanto, la condición de temperatura predominante en el municipio de Cúcuta es alta y constante con una oscilación térmica baja y un diferencial de temperatura de 9,2 °C en promedio a lo largo del año. De igual forma, los meses que presentan mayores temperaturas comprenden un periodo que va de junio a septiembre, especialmente

el mes de septiembre con temperaturas de hasta 34°C en promedio donde las temperaturas mínimas no disminuyen más de 23,3°C y las máximas alcanzan los 42,5°C.

**Tabla 2. Datos de temperatura mensual de San José de Cúcuta**

Temperatura mensual						
Meses	Máxima promedio	Promedio	Mínima promedio	Máxima extrema	Mínima extrema	Oscilación
	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Enero	30,3	25,7	21,3	38,5	16,6	9
Febrero	30,8	26,2	21,8	38,5	16	9
Marzo	31,1	26,3	22,3	39	18	8,8
Abril	31,5	26,7	22,7	40,5	18	8,8
Mayo	32,8	27,7	23,4	41	18	9,4
Junio	32,9	28,0	23,9	40,5	17,4	9,0
Julio	33	27,9	23,6	41	18,4	9,4
Agosto	33,9	28,3	23,7	42,5	18	10,2
Septiembre	34	28,1	23,3	42,5	18,6	10,7
Octubre	32,7	27,2	22,7	39,6	18	10,0
Noviembre	31,1	26,7	22,4	38	17,6	8,8
Diciembre	30,1	25,8	21,7	38,5	16,8	8,4
Promedio	32,0	27,5	22,7	40,01	17,62	9,2

Fuente: elaboración propia a partir de IDEAM (2020).

Por otro lado, en la Tabla 3 es posible observar las temperaturas horarias a lo largo del año. En las horas de la mañana las temperaturas oscilan entre los 21,1°C y los 24,6°C entre las 6:00 a. m. y las 7:00 a. m. Sin embargo, las altas temperaturas inician sobre las 8:00 a. m. y se mantienen hasta las 5:00 p. m. extendiéndose incluso hasta después de las 10:00 p. m. con temperaturas que van desde los 26,2°C a los 34,4°C. Ahora bien, es sobre el mediodía cuando se alcanzan las temperaturas más altas, específicamente a la 1:00 p. m. cuando se presentan las temperaturas extremas registrando 32,3°C en promedio.

**Tabla 3. Datos de temperatura horaria de San José de Cúcuta**

Temperatura horaria													
H	°C												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PRO
1	23,1	23,5	23,4	23,8	24,5	25,0	24,7	24,9	24,6	24,0	24,1	23,3	24,1
2	22,7	23,2	23,1	23,5	24,3	24,7	24,5	24,6	24,3	23,7	23,7	23,0	23,8
3	22,4	22,9	22,9	23,3	24,0	24,5	24,2	24,4	24,1	23,4	23,5	22,7	23,5
4	22,1	22,6	22,8	23,2	23,9	24,4	24,1	24,2	23,9	23,3	23,2	22,5	23,4
5	21,9	22,4	22,7	23,1	23,8	24,3	24,0	24,1	23,7	23,1	23,0	22,3	23,2
6	21,8	22,3	22,6	23,0	23,7	24,2	23,9	24,0	23,6	23,0	22,9	22,2	23,1

Temperatura horaria														
H	°C													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PRO	
7	21,8	22,3	22,6	23,3	24,1	24,6	24,3	24,4	23,6	23,0	22,9	22,1	23,3	
8	22,4	23,1	24,4	25,0	26,0	26,5	26,2	26,4	25,9	24,8	23,5	22,7	24,7	
9	24,3	24,9	26,7	27,3	28,5	28,8	28,7	29,1	28,6	27,4	25,3	24,4	27,0	
10	26,4	27,1	28,8	29,4	30,7	30,9	30,9	31,5	31,2	29,9	27,4	26,4	29,2	
11	28,4	29,0	30,4	30,9	32,3	32,4	32,5	33,2	33,1	31,7	29,3	28,3	31,0	
12	29,8	30,4	31,3	31,7	33,0	33,1	33,3	34,1	34,2	32,8	30,7	29,6	32,0	
13	30,6	31,1	31,5	31,8	33,2	33,2	33,4	34,3	34,4	33,1	31,5	30,4	32,4	
14	30,8	31,3	31,1	31,5	32,7	32,8	32,9	33,9	34,0	32,8	31,7	30,6	32,2	
15	30,6	31,0	30,5	30,8	32,0	32,1	32,2	33,1	33,2	32,1	31,5	30,4	31,6	
16	30,0	30,4	29,6	29,9	31,0	31,2	31,2	32,0	32,1	31,1	30,9	29,8	30,8	
17	29,1	29,6	28,6	28,9	30,0	30,2	30,2	30,9	31,0	30,0	30,1	29,0	29,8	
18	28,2	28,6	27,6	27,9	28,9	29,2	29,1	29,8	29,8	28,9	29,1	28,2	28,8	
19	27,2	27,7	26,7	27,0	28,0	28,3	28,2	28,7	28,7	27,8	28,2	27,3	27,8	
20	26,3	26,7	25,9	26,2	27,1	27,5	27,3	27,8	27,7	26,9	27,3	26,4	26,9	
21	25,5	25,9	25,2	25,5	26,4	26,8	26,6	27,0	26,8	26,1	26,5	25,6	26,2	
22	24,7	25,2	24,6	25,0	25,8	26,2	26,0	26,3	26,1	25,4	25,7	24,9	25,5	
23	24,1	24,5	24,1	24,5	25,3	25,7	25,5	25,8	25,5	24,8	25,1	24,3	24,9	
24	23,5	24,0	23,7	24,1	24,9	25,3	25,0	25,3	25,0	24,4	24,6	23,8	24,5	
PRO	25,7	26,2	26,3	26,7	27,7	28,0	27,9	28,3	28,1	27,2	26,7	25,8	27,1	
OSC	9,1	9,1	8,9	8,9	9,5	9,1	9,5	10,3	10,8	10,1	8,9	8,5	9,4	

Fuente: elaboración propia a partir de IDEAM (2020).

## 2.2.2. Humedad relativa

La humedad relativa promedio en Cúcuta es de 68,3 % con una oscilación entre 57,6 % como mínima promedio y 81,8 % en los registros máximos promedio, con lo cual muestra una descendencia en los meses centrales de junio, julio, agosto y septiembre y una ascendencia en los meses de noviembre y especialmente en diciembre con el porcentaje más alto del 91 % relativo a la temperatura más baja del año de 30,1 °C (IDEAM, 2020). Por su parte, los porcentajes más bajos se presentan en el mes de agosto con un 60 % dentro de registros de temperaturas de 34,0 °C para la misma temporada del año.

**Tabla 4. Datos de humedad relativa mensual de San José de Cúcuta**

Humedad relativa mensual			
Meses	Máxima promedio	Promedio	Mínima promedio
	%	%	%
Enero	82	70	62
Febrero	85	72	60

Humedad relativa mensual			
Meses	Máxima promedio	Promedio	Mínima promedio
	%	%	%
Marzo	86	71	58
Abril	87	73	62
Mayo	89	69	58
Junio	74	63	54
Julio	73	61	54
Agosto	70	60	53
Septiembre	76	62	52
Octubre	81	69	58
Noviembre	87	74	61
Diciembre	91	75	59
PRO	81,8	68,3	57,6

Fuente: elaboración propia a partir de IDEAM (2020).

**Tabla 5. Datos de humedad relativa horaria de San José de Cúcuta**

Humedad relativa horaria												
H	%											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	78,1	80,2	82,5	84,0	85,3	71,6	70,7	67,9	73,0	78,1	81,9	84,7
2	78,9	81,2	83,3	84,7	86,2	72,2	71,3	68,4	73,7	78,7	83,0	86,1
3	79,6	82,1	84,0	85,2	86,9	72,6	71,7	68,8	74,3	79,3	83,9	87,2
4	80,2	82,7	84,5	85,7	87,4	73,0	72,0	69,1	74,7	79,7	84,6	88,0
5	80,6	83,3	84,8	86,0	87,8	73,2	72,3	69,3	75,0	80,0	85,2	88,7
6	80,9	83,7	85,1	86,2	88,0	73,4	72,4	69,5	75,3	80,3	85,6	89,2
7	81,0	83,7	85,1	85,4	86,7	72,5	71,6	68,9	75,3	80,3	85,7	89,3
8	79,5	81,5	79,3	80,4	80,3	68,3	67,7	65,5	70,2	76,1	83,7	87,1
9	75,4	76,3	72,1	73,9	72,2	63,1	62,7	61,1	64,1	70,2	78,4	80,6
10	70,6	70,3	65,3	67,9	65,0	58,4	58,3	57,0	58,2	64,5	72,2	73,0
11	66,3	65,0	60,3	63,7	59,8	55,1	55,1	54,1	53,9	60,2	66,6	66,0
12	63,1	61,2	57,5	61,4	57,2	53,5	53,5	52,6	51,6	57,7	62,5	60,9
13	61,3	59,1	56,9	61,0	56,8	53,2	53,3	52,3	51,0	57,0	60,1	58,0
14	60,8	58,6	57,9	62,1	58,2	54,2	54,1	53,0	51,9	57,8	59,5	57,1
15	61,4	59,4	60,0	64,1	60,7	55,8	55,7	54,4	53,7	59,5	60,2	58,0
16	62,8	61,1	62,9	66,6	63,9	57,9	57,6	56,1	56,2	61,7	62,0	60,2
17	64,6	63,5	65,9	69,4	67,4	60,1	59,7	58,0	58,8	64,3	64,4	63,1
18	66,7	66,1	69,0	72,1	70,7	62,3	61,8	59,9	61,4	66,8	67,1	66,4
19	68,8	68,7	71,9	74,7	73,9	64,3	63,7	61,6	63,9	69,2	69,9	69,8
20	70,9	71,3	74,5	76,9	76,7	66,1	65,5	63,2	66,1	71,3	72,5	73,1
21	72,7	73,6	76,7	78,9	79,1	67,7	66,9	64,5	68,1	73,2	75,0	76,1
22	74,4	75,7	78,6	80,6	81,2	69,0	68,2	65,6	69,7	74,8	77,1	78,8
23	75,9	77,4	80,2	82,0	82,8	70,1	69,2	66,6	71,0	76,1	79,0	81,1

24	77,1	79,0	81,5	83,1	84,2	70,9	70,1	67,3	72,1	77,2	80,6	83,1
PRO	72,1	72,7	73,3	75,7	74,9	64,9	64,4	62,3	65,1	70,6	74,2	75,2
OSC	20,1	25,1	28,3	25,2	31,2	20,1	19,1	17,1	24,2	23,2	26,2	32,2

Fuente: elaboración propia a partir de IDEAM (2020).

En la Tabla 5 se condensan los datos de humedad relativa horaria para la ciudad de Cúcuta. En las horas tempranas de la mañana la humedad registra un porcentaje de entre el 67,7 % y el 89,3 %, mientras que en las horas medias del día (a partir de las 11:00 a. m. hasta las 6:00 p. m.) se muestra una descendencia en la humedad del aire con relación a las altas temperaturas con variables que van desde 51,0 % a 72,1 % (ver Tabla 6).

**Tabla 6. Temperatura horaria de San José de Cúcuta**

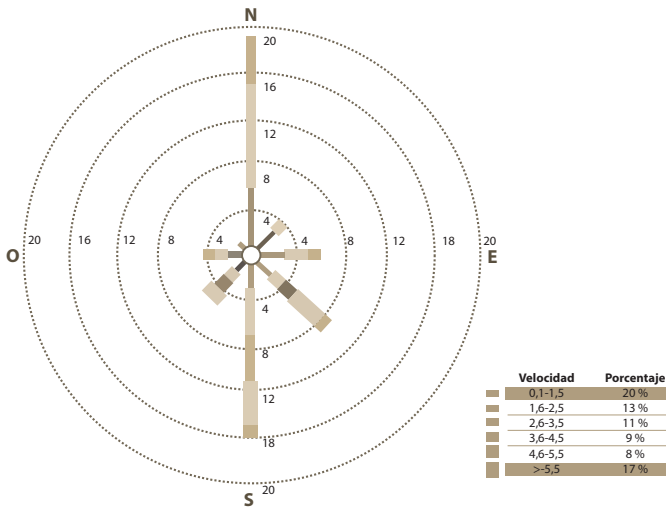
H	°C												PRO
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1	23,1	23,5	23,4	23,8	24,5	25,0	24,7	24,9	24,6	24,0	24,1	23,3	24,1
2	22,7	23,2	23,1	23,5	24,3	24,7	24,5	24,6	24,3	23,7	23,7	23,0	23,8
3	22,4	22,9	22,9	23,3	24,0	24,5	24,2	24,4	24,1	23,4	23,5	22,7	23,5
4	22,1	22,6	22,8	23,2	23,9	24,4	24,1	24,2	23,9	23,3	23,2	22,5	23,4
5	21,9	22,4	22,7	23,1	23,8	24,3	24,0	24,1	23,7	23,1	23,0	22,3	23,2
6	21,8	22,3	22,6	23,0	23,7	24,2	23,9	24,0	23,6	23,0	22,9	22,2	23,1
7	21,8	22,3	22,6	23,3	24,1	24,6	24,3	24,4	23,6	23,0	22,9	22,1	23,3
8	22,4	23,1	24,4	25,0	26,0	26,5	26,2	26,4	25,9	24,8	23,5	22,7	24,7
9	24,3	24,9	26,7	27,3	28,5	28,8	28,7	29,1	28,6	27,4	25,3	24,4	27,0
10	26,4	27,1	28,8	29,4	30,7	30,9	30,9	31,5	31,2	29,9	27,4	26,4	29,2
11	28,4	29,0	30,4	30,9	32,3	32,4	32,5	33,2	33,1	31,7	29,3	28,3	31,0
12	29,8	30,4	31,3	31,7	33,0	33,1	33,3	34,1	34,2	32,8	30,7	29,6	32,0
13	30,6	31,1	31,5	31,8	33,2	33,2	33,4	34,3	34,4	33,1	31,5	30,4	32,4
14	30,8	31,3	31,1	31,5	32,7	32,8	32,9	33,9	34,0	32,8	31,7	30,6	32,2
15	30,6	31,0	30,5	30,8	32,0	32,1	32,2	33,1	33,2	32,1	31,5	30,4	31,6
16	30,0	30,4	29,6	29,9	31,0	31,2	31,2	32,0	32,1	31,1	30,9	29,8	30,8
17	29,1	29,6	28,6	28,9	30,0	30,2	30,2	30,9	31,0	30,0	30,1	29,0	29,8
18	28,2	28,6	27,6	27,9	28,9	29,2	29,1	29,8	29,8	28,9	29,1	28,2	28,8
19	27,2	27,7	26,7	27,0	28,0	28,3	28,2	28,7	28,7	27,8	28,2	27,3	27,8
20	26,3	26,7	25,9	26,2	27,1	27,5	27,3	27,8	27,7	26,9	27,3	26,4	26,9
21	25,5	25,9	25,2	25,5	26,4	26,8	26,6	27,0	26,8	26,1	26,5	25,6	26,2
22	24,7	25,2	24,6	25,0	25,8	26,2	26,0	26,3	26,1	25,4	25,7	24,9	25,5
23	24,1	24,5	24,1	24,5	25,3	25,7	25,5	25,8	25,5	24,8	25,1	24,3	24,9
24	23,5	24,0	23,7	24,1	24,9	25,3	25,0	25,3	25,0	24,4	24,6	23,8	24,5
PRO	25,7	26,2	26,3	26,7	27,7	28,0	27,9	28,3	28,1	27,2	26,7	25,8	27,1
OSC	9,1	9,1	8,9	8,9	9,5	9,1	9,5	10,3	10,8	10,1	8,9	8,5	9,4

Fuente: elaboración propia a partir de IDEAM (2020).

Entretanto, en las horas de la noche la temperatura empieza a descender y la humedad relativa asciende desde el 65,5 % hasta el 83,1 % entre las 7:00 p. m. y las 00:00.

### 2.2.3. Viento

Figura 18. Rango de velocidades del viento de San José de Cúcuta



Fuente: elaboración propia a partir de IDEAM (2020).

En la Figura 18 se puede observar que la rosa de los vientos de la ciudad de Cúcuta muestra una dirección predominantemente norte con un porcentaje del 19,5 %, seguida de la dirección sur con 21,4 %. Este comportamiento demuestra una relación de vientos cruzados con algunas variaciones al sureste (9,1 %) que presenta un porcentaje de calmas de 21,1 % (ver Tabla 7).

Tabla 7. Dirección de los vientos de San José de Cúcuta

Dirección	Porcentaje
Norte	19,5 %
Noreste	5 %
Este	5,2 %
Sureste	9,1 %
Sur	21,4 %
Suroeste	5 %
Oeste	3,9 %

Noroeste	2,8%
Calmas	21,1%

Fuente: elaboración propia a partir de IDEAM (2020).

La Tabla 7 permite observar que el 20 % de los vientos presentan un rango de velocidad que va de 0,1 a 1,5 m/s y el 17 % un rango mayor o igual a 5,5 m/s característico de los vientos dominantes norte y sur que presentan un rango de velocidades que oscila entre 4,5 y 5,5 m/s. Asimismo, los vientos horarios presentan intensidades superiores a 5 m/s entre las 12:00 m. y las 5:00 p. m. a lo largo del año con un incremento en los meses de junio a septiembre en los que la intensidad inicia a las 8:00 a. m. con vientos de hasta 7m/s cruzados en dirección predominantemente norte-sur (IDEAM, 2021).

## 2.2.4. Radiación solar

La radiación solar anual de la ciudad de Cúcuta es de 63 755 W/m<sup>2</sup>. La mayor radiación solar se presenta en los meses de agosto a octubre con índices de energía mayor a 5500 W/m<sup>2</sup> por día (IDEAM, 2022), siendo septiembre con 6144 W/m<sup>2</sup> por día el mes que presenta mayor carga térmica incidente y una mayor cantidad de horas solar pico (Contreras y Sepúlveda, 2018).

De otro lado, la radiación horaria en la ciudad de Cúcuta se muestra alta y constante a lo largo del año con promedios de irradiancia solar que van entre los 622,2 - 796,8 W/m<sup>2</sup> en las horas medias del día entre las 11:00 a. m. y la 1:00 p. m., siendo septiembre el mes del año que registra mayores índices de carga térmica. Por último, a las 9:00 a. m. inicia la ascendencia de la radiación solar incidente más importante con perfiles desde los 323,3 W/m<sup>2</sup> que desciende hasta las 3:00 p. m. cuando baja a rangos de 211,8 W/m<sup>2</sup> (ver Tabla 8).

**Tabla 8. Promedio horario de radiación solar de San José de Cúcuta**

H	Promedio horario de radiación											
	W/m <sup>2</sup>											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
5-6	0,1	0,0	0,2	2,3	5,5	5,0	3,0	2,5	3,4	3,9	2,7	0,3
6-7	31,5	29,7	39,2	67,2	89,6	89,7	79,9	75,0	91,6	91,4	84,0	46,9
7-8	163,5	151,2	148,0	221,1	263,9	271,2	261,4	283,6	320,1	286,8	268,6	186,0
8-9	364,1	345,7	323,3	414,0	467,5	455,2	438,8	499,0	555,8	520,2	493,7	388,5
9-10	574,6	559,8	494,8	635,4	646,2	636,0	631,8	700,6	758,5	719,7	691,6	574,4
10-11	711,4	715,1	608,2	633,0	691,5	645,6	655,9	703,8	785,6	733,8	771,6	693,3
11-12	750,9	709,3	622,2	639,4	707,0	697,1	673,5	689,9	789,8	782,4	785,9	738,9
12-13	754,2	726,9	669,4	664,2	708,3	668,9	695,4	741,6	796,8	775,5	728,6	707,0
13-14	696,1	723,4	652,6	629,7	690,6	663,5	682,0	719,9	773,2	730,3	644,0	655,2

H	Promedio horario de radiación											
	W/m <sup>2</sup>											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
14-15	533,0	603,4	538,2	551,3	579,7	603,8	620,5	651,2	652,1	539,8	477,2	490,4
15-16	302,9	368,6	363,8	353,5	380,0	421,6	445,4	449,4	418,8	273,5	211,8	232,9
16-17	125,9	164,0	170,4	166,6	180,2	209,3	230,4	230,8	173,9	109,9	81,9	96,2
17-18	22,7	34,2	30,5	32,3	33,9	49,8	58,3	49,7	24,3	9,3	5,5	9,6
18-19	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
T	5031	5131	4660	5010	5444	5416	5476	5797	6144	5576	5247	4819

Fuente: elaboración propia a partir de IDEAM (2020).

**Figura 19. Muros de mampostería de San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).



## 2.3. Consideraciones bioclimáticas

### 2.3.1. Cálculo de la zona de confort térmico

Para establecer la zona de confort térmico de la ciudad de Cúcuta, se implementa la fórmula de temperatura neutra de Auliciems y Szokolay (1997):

$$T_n = 17,6 + 0,31 T_{med} \quad (1)$$

Donde:

$T_n$ : temperatura neutra °C.

$T_{med}$ : temperatura media del periodo en estudio °C.

La cual establece una amplitud térmica de zona de confort mínima a través de la fórmula:

$$ZC_{mín} = T_n - 2,5 \quad (2)$$

Donde:

$T_n$ : temperatura neutra °C.

$ZC_{mín}$ : límite de confort térmico mínimo °C.

Se tiene una amplitud térmica de zona de confort máxima a través de la Ecuación 3:

$$ZC_{máx} = T_n + 2,5 \quad (3)$$

Donde:

$T_n$ : temperatura neutra °C.

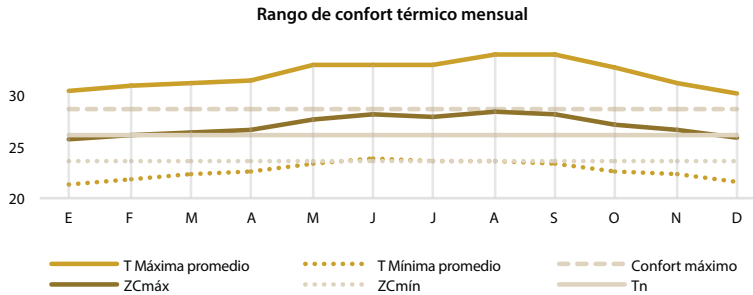
$ZC_{máx}$ : límite de confort térmico máximo °C.

La ecuación lineal de Auliciems y Szokolay (1997) considera la temperatura media exterior del periodo de estudio mensual o anual. Por lo tanto, para establecer los rangos de confort térmico de la ciudad de Cúcuta se asume una temperatura promedio anual de 27,1 °C (ver Figura 20). Reemplazando los valores de las fórmulas, se presenta una temperatura neutral de 26,0 °C con una amplitud térmica de zona de confort máxima de 28,5 °C ( $ZC_{máx}$ ) y una temperatura mínima dentro del rango higrotérmico de 23,5 °C ( $ZC_{mín}$ ).

En la Figura 20 también es posible observar que la temperatura promedio en la ciudad de Cúcuta se encuentra dentro de la zona de confort térmico a lo largo del año. Sin embargo, las temperaturas anuales registran máximas constantes mensuales que superan los 30,1 C en todos los meses del año, siendo agosto y septiembre la temporada que más se aleja de los límites de confort, mientras que en los meses de diciembre a marzo las temperaturas pueden llegar incluso a los 21,3 °C en las

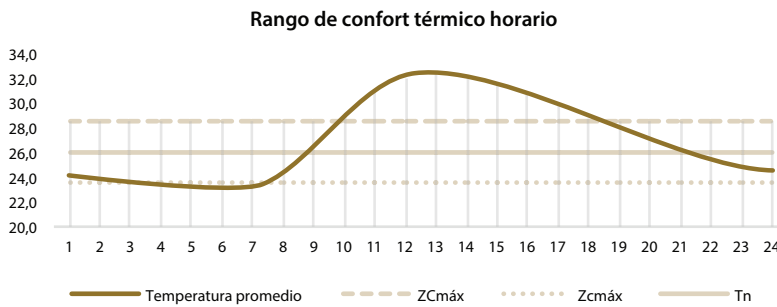
mínimas. Esto quiere decir que la ciudad de Cúcuta se encuentra más de 2 °C fuera de las condiciones higrotérmicas aceptables durante todo el año.

**Figura 20. Relación del rango de confort térmico sobre temperaturas mensuales promedio**



Fuente: Narváez-Ortega (2021) a partir de IDEAM (2020).

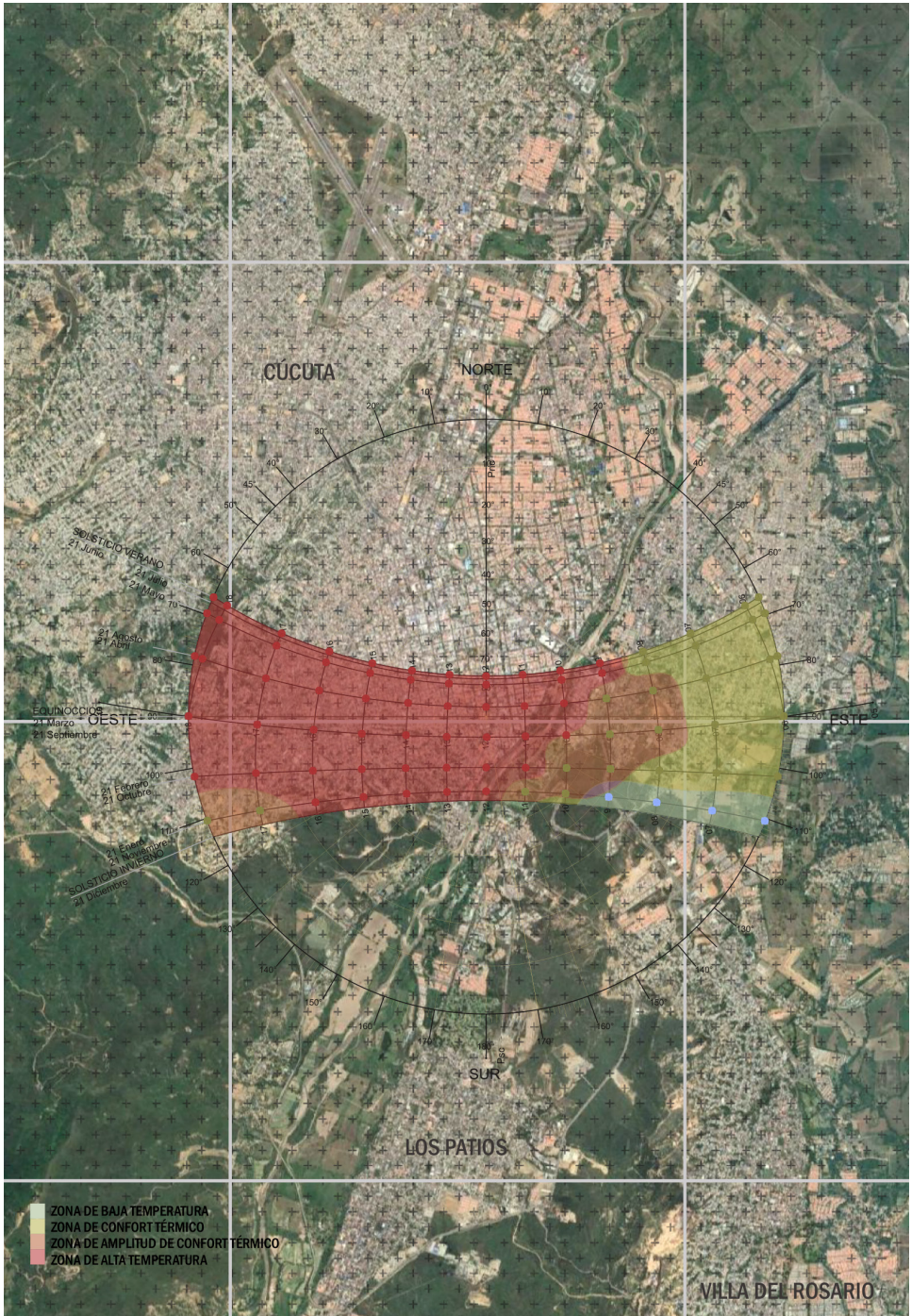
**Figura 21. Relación del rango de confort térmico sobre temperaturas horarias promedio día**



Fuente: Narváez-Ortega (2021) a partir de IDEAM (2020).

Por otro lado, en la Figura 21 se relacionan los rangos térmicos y las temperaturas horarias promedio. En estos las temperaturas entre las 9:30 a. m. y las 6:30 p. m. se encuentran fuera de los límites de confort térmico, es decir, nueve horas en las que las condiciones de calor están 5,5 °C fuera de las condiciones higrotérmicas aceptables durante todo el año.

Figura 22. Carta solar de San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia



Fuente: Narváez-Ortega (2021) a partir de Google Earth.

### **2.3.2. Correlación de la envolvente y el clima**

En una localización geográfica intertropical, la incidencia de radiación solar en Colombia influye en mayor medida sobre el volumen de la cubierta en un 46 %, puesto que los rayos solares inciden de forma perpendicular la mayor parte del año. Así mismo, la incidencia sobre el plano vertical se refleja en un 17 % sobre la orientación sur, en un 14,3 % en orientaciones oriente-occidente respectivamente y un 3,4 % en orientación norte (Moreno, 1991). En la Figura 22 se muestra la carta solar estereográfica para la ciudad de Cúcuta y se exponen los perfiles de calor en las diferentes horas del día correlacionados con los rangos de confort térmico donde la superficie horizontal y las superficies verticales sur, oriente y occidente son el área de mayor relevancia con una imperiosa necesidad de evitar el impacto de la radiación solar directa, especialmente en la orientación occidente donde inciden las cargas térmicas más elevadas a lo largo del día.

En esa misma vía, cabe destacar que la arcilla cocida que compone las unidades constructivas cerámicas debe afrontar estas cargas térmicas y evitar la transferencia de energía por conducción de calor, protegiendo a través del sistema de envolvente los espacios interiores para mantener la temperatura de las edificaciones dentro de los rangos de confort térmico. Sin embargo, por su alta densidad, la cerámica es un material que presenta una conductividad de  $0,407 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  (Sánchez-Molina *et al.*, 2019), presentando una baja reflectividad a la radiación solar cercana al 30 %, una alta emisividad hasta del 94 % (Olgyay, 1968) y una baja capacidad de amortiguamiento térmico.

Por otra parte, para la proyección de los sistemas constructivos de envolventes es importante establecer el comportamiento térmico de las unidades constructivas que edifican el cerramiento, pues este determinará los requerimientos de climatización interior en las edificaciones que se construyen, siendo especialmente importante analizar los desafíos térmicos que presentan las horas con temperaturas más elevadas, a saber, entre las 10:00 a. m. y las 4:00 p. m. Esto con el objetivo de definir las estrategias para amortiguar las incidencias desfavorables de energía a partir de la determinación de las técnicas y las tecnologías que debe asumir el sistema de cerramiento para contribuir al confort térmico de las edificaciones.







## CAPÍTULO III

# CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS PRODUCTOS CERÁMICOS CONSTRUCTIVOS DE MAMPOSTERÍA TRADICIONAL

### **3.1. Caracterización de productos cerámicos**

Las partes que conforman las piezas cerámicas utilizadas en envolventes verticales de mampostería definen tanto las propiedades físicas y mecánicas del producto como su comportamiento térmico en un sistema constructivo. Por lo tanto, es importante caracterizar los componentes formales y funcionales de aquellos productos líderes en la industria de la cerámica para así determinar la influencia que ejercen sobre su capacidad de transferencia de calor en envolventes de clima cálido tropical.

Así, en el presente capítulo se caracterizan los productos de mampostería que tienen una mayor presencia comercial en la industria cerámica de Norte de Santander y, en consecuencia, son las piezas más usadas en sistemas constructivos para envolventes en la región.

Se debe resaltar que en la industria local las unidades constructivas para mampostería cerámica se distinguen por su función constructiva, dimensiones, número y disposición de las perforaciones, además de por su volumen de masa cerámica respecto a aire.

En ese sentido, los productos se pueden clasificar a partir de sus cavidades internas, distinguiendo las piezas de perforación vertical que presentan celdas perpendiculares a la cara o superficie en que se asientan en el sistema de mampostería como los

productos tipo ladrillo y, de otro lado, las piezas de perforación horizontal con cavidades paralelas a la cara o superficie que se asientan en el muro como bloques y calados. De igual forma, los productos varían sus características físicas en diferentes formatos según su aplicación constructiva, modificando sus geometrías interiores de paredes y tabiques y el área de la superficie exterior de la pieza (ver Figura 23) donde se define:

L= largo (mm).

A = ancho (mm).

H = alto (mm).

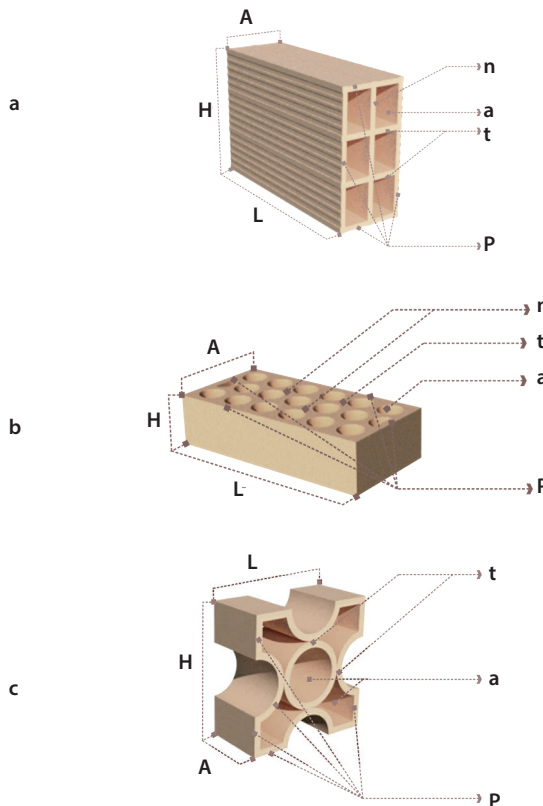
P = espesor de las paredes.

t = espesor de los tabiques.

n = espesor del nervio.

a = cámara de aire.

**Figura 23. Composición física de paredes y tabiques en a) bloques cerámicos, b) ladrillos cerámicos y c) calados cerámicos**





En productos como bloques (a) y ladrillos (b), las dimensiones de largo (L) y alto (H) determinan el área expuesta al exterior, la cual recibe el impacto de la radiación solar directa. Asimismo, la superficie inicial y el espesor de las paredes (P) exteriores e interiores definen en gran medida la transmitancia de calor a través de la pieza. Las formas geométricas que componen los tabiques (t) y nervios (n) internos, por otro lado, influyen en la eficacia con la que se transmite el calor, puesto que funcionan como puentes térmicos en los que una continuidad en su forma permite una transmisión de calor más directa.

Entretanto, las cavidades (a) determinan el volumen de la pieza con relación a los porcentajes de masa y aire de cada producto, siendo este un aspecto importante si se considera una transición del calor interrumpida, por ejemplo, entre capas de pared cerámica, cámara de aire y pared cerámica en recorridos que permitan aumentar la resistencia térmica del sistema aprovechando la baja conductividad del aire (Narváez-Ortega *et al.*, 2020).

En los productos tipo calados completamente permeables al flujo de aire a través de las cavidades (a), cuya función es permitir una disipación continua del calor, las paredes (P) y tabiques (t) constituyen la superficie expuesta a radiación solar directa, cuyo espesor (A) determinará en gran medida su comportamiento térmico.

En general, los productos desarrollados por la industria cerámica de la región que componen los sistemas de cerramiento en fachadas se pueden clasificar en bloques, ladrillos y calados, cuyo conformado por extrusión produce perforaciones horizontales y transversales con geometrías lineales y circulares interiores en las piezas, las cuales, a su vez, responden a unas cargas uniaxiales dentro de la mampostería. Sin embargo, estas formas podrían no presentar una respuesta térmica a condiciones de alta temperatura y radiación solar dentro de un sistema de envolvente.

Por lo tanto, es necesario el estudio de las características físico-térmicas de las piezas para determinar qué productos presentan mejor respuesta térmica a las condiciones ambientales o si, por el contrario, la industria actual debe considerar dentro de sus diseños procesos de innovación y desarrollo tecnológico con una solución térmica en los productos como estrategia para mejorar la competitividad de las piezas en mercados emergentes como el de la sostenibilidad.

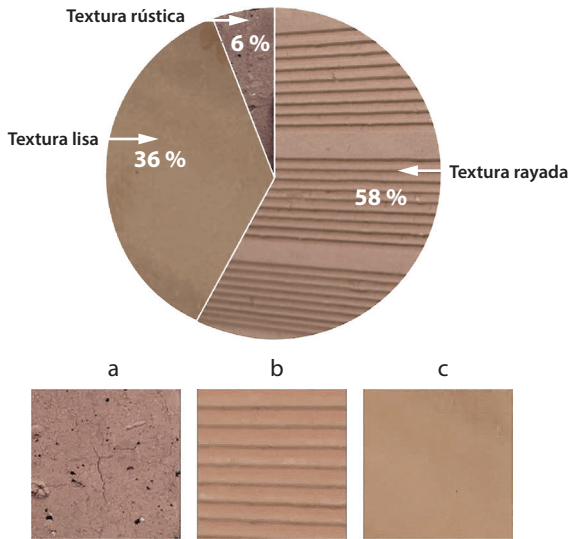
### **3.2. Características físicas de los productos**

Físicamente, los productos se ofertan en distintas escalas cromáticas y texturas. En la industria cerámica nortesantandereana se producen tres tipos de texturas para elementos constructivos, a saber, lisa, rayada y rústica, siendo la más común la tipología rayada con el 58 % del total de la producción, presente principalmente en productos tipo bloques cuyo acabado está comúnmente recubierto con pañete y

pintura. En ese sentido, un acabado rayado permite la adherencia del revestimiento a la superficie del muro.

Por otro lado, un 36 % de la producción presenta un acabado liso, presente regularmente en ladrillos y calados cerámicos, así como en algunos bloques con una terminación a la vista sin ningún tipo de recubrimiento. Finalmente, la textura rústica representa solo el 6 % del total de los productos, compuestos principalmente por ladrillos de obra macizos.

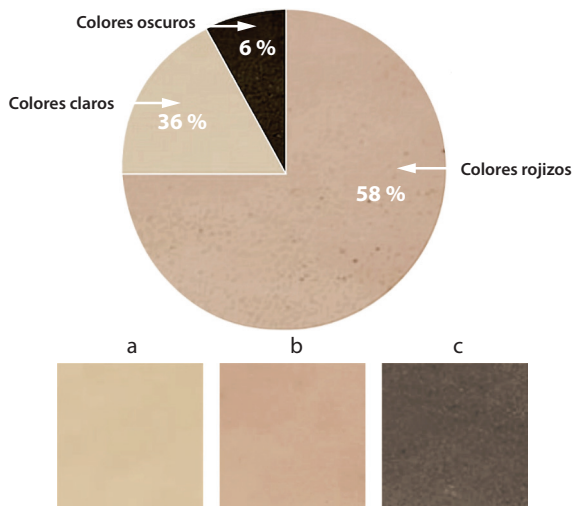
**Figura 24. Texturas de producto cerámico: a) rústico, b) rayado y c) liso**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Las tonalidades de los productos cerámicos más comunes comprenden una gama de colores cálidos rojizos, determinados estos por los componentes minerales de la arcilla, así como por la temperatura y los tiempos de cocción, utilizando temperaturas de 900 °C para tonos rojos y arena y de 1200 °C para colores tabaco.

En esa misma vía, la tonalidad rojiza es la más producida en la industria local con un 74 % de la producción, de la cual un 12 % presenta un acabado vitrificado con una marcada característica esmaltada brillante. De igual forma, las tonalidades claras se presentan en un 19 % y, por último, los colores tabaco y moca son las tonalidades más oscuras y representan el 8 % del total de la oferta.

**Figura 25. Tonalidades del producto cerámico**

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

En general, el acabado de los productos para mampostería cerámica suele ser colonial de colores rojizos con tendencia a los tonos claros en texturas rayadas para bloques y lisa tanto en bloques como ladrillos y calados. Desde una perspectiva térmica, es importante que los productos sean de tonos claros y lisos para que permitan una mayor reflectancia a la radiación solar.

**Figura 26. Fotografía de bloques cerámicos**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

### **3.3. Bloques cerámicos**

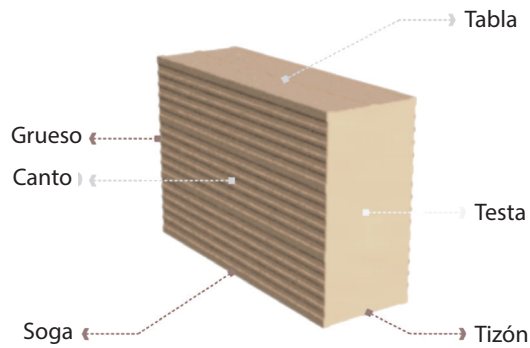
#### **3.3.1 Productos constructivos tipo bloque**

Los bloques de arcilla cocida son productos estructurales que funcionan soportando cargas uniaxiales en sistemas de mampostería para cerramientos y divisiones espaciales. Existen seis tipologías principales de bloques cerámicos, las cuales se

caracterizan por su gran dimensión y por contener perforaciones horizontales en su estructura interna.

Los bloques cerámicos se pueden clasificar considerando el espesor de las piezas en variables que van desde los 70 mm a los 150 mm, así como por la forma y el número de sus cavidades horizontales. Asimismo, las dimensiones de alto y largo se mantienen constantes en todas las versiones del producto con 200 mm de alto y 300 mm de largo, por lo que su rendimiento es bastante eficiente con un promedio de 16 unidades por metro cuadrado. Por otra parte, el canto o superficie inicial de la pieza tiene un área de  $0,06 \text{ m}^2$  y representa la cara expuesta al exterior e interior del cerramiento. Su temperatura interior está determinada por las características físicas en forma y dimensión de sus partes (ver Figura 27).

**Figura 27. Partes que componen los bloques cerámicos**

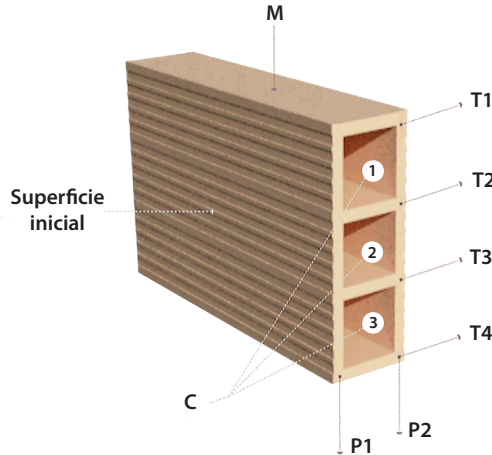


Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Ahora bien, dentro de la oferta de bloques cerámicos se destaca principalmente el bloque H10-A con la tasa de producción más alta, líder del mercado de mampuestos, así como sus diferentes presentaciones como el bloque H7 y el Bloque H15 con una diferencia de 30 mm a 50 mm de espesor respectivamente. Así mismo, el bloque H10 presenta diferentes configuraciones en su forma interna con productos como bloque H10-B, bloque H10-C y bloque H10-D, los cuales muestran el mismo espesor de 100 mm, pero diferente número y geometría en las celdas internas que componen las cámaras de aire. Esto modifica su peso, su capacidad estructural y su comportamiento térmico. Por lo demás, las características de cada producto incrementan o disminuyen los procesos de transferencia de calor, de manera que es importante determinar las condiciones físicas de los diferentes tipos de bloque y la influencia que ejercen en su comportamiento térmico. Para este fin se realiza, en un primer grupo, la caracterización física según el espesor.

3.3.1.1. Bloque H7

Figura 28. Bloque cerámico H7



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 9. Características físicas de los bloques cerámicos H7

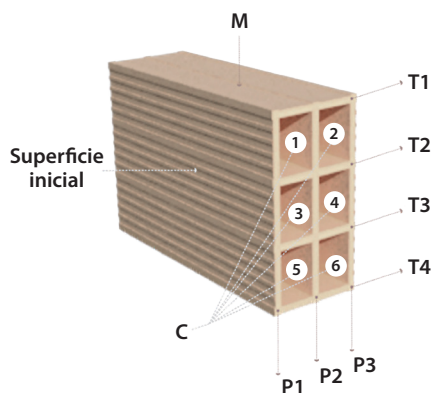
<b>Producto</b>	Bloque H7		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento		
<b>Características</b>	Dimensiones	300*200*70 mm	
	Peso	3,5 kg unidad	
	Rendimiento	16 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Rayada	
	Tonalidades	Arena, rojo, moro	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El bloque H7 de la Figura 28 es la pieza más delgada entre su categoría con 70 mm de espesor. Contiene tres cámaras de aire rectangulares formadas entre dos paredes y cuatro tabiques donde su composición es 50 % cerámica y 50 % volumen de aire. Sus características de nervios ortogonales y poco espesor lo convierten en un elemento susceptible a una alta transferencia de calor.

### 3.3.1.2. Bloque H10-A

Figura 29. Bloque cerámico H10-A



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 10. Características físicas de los bloques cerámicos H10-A

<b>Producto</b>	Bloque H10-A		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento		
<b>Características</b>	Dimensiones	300*200*100 mm	
	Peso	4,5 kg unidad	
	Rendimiento	16 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Rayada	
	Tonalidades	Arena, rojo, moro	

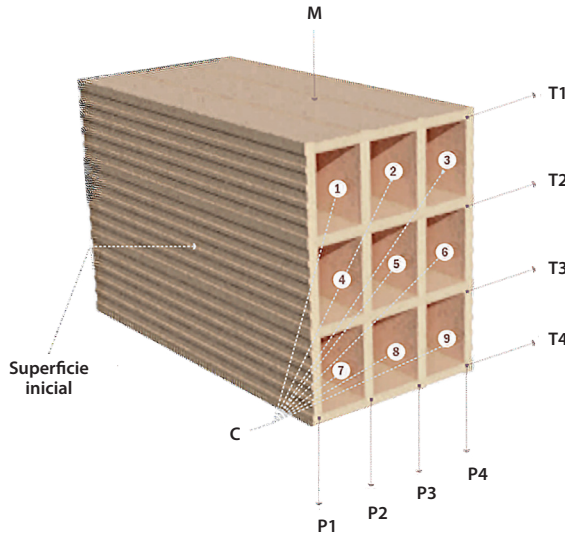
Fuente: Narváez-Ortega (2021).

La pieza conocida comercialmente como bloque número 5 o bloque H10-A, con seis perforaciones rectangulares horizontales y 100 mm de espesor, es el producto de mampostería de mayor comercialización de la industria cerámica por su bajo costo, rendimiento y peso estructural. Tiene unas dimensiones de 300 mm de largo y 200 mm de alto y está compuesto por tres paredes verticales y cuatro tabiques horizontales que funcionan como puentes térmicos directos con formas ortogonales y continuas desde P1 a P3. Su estructura forma seis cámaras de aire, las cuales constituyen un 63 % de la pieza donde un 37 % es arcilla cocida.



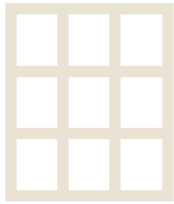
3.3.1.3. Bloque H15

Figura 30. Bloque cerámico H15



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 11. Características físicas del bloque cerámico H15

<b>Producto</b>	Bloque H15		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento		
<b>Características</b>	Dimensiones	300*200*150 mm	
	Peso	5,7 kg unidad	
	Rendimiento	16 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Rayada	
	Tonalidades	Arena, rojo, moro	

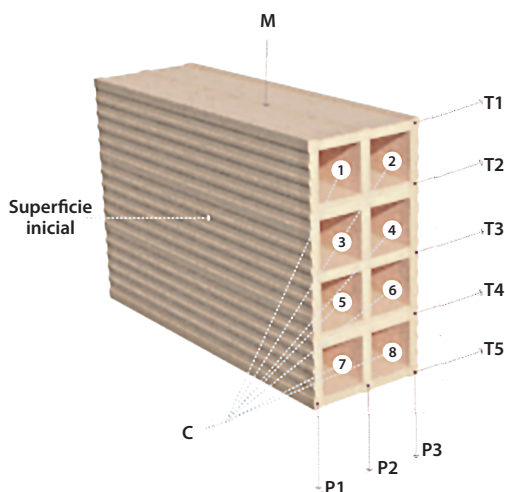
Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El bloque H15 de la Figura 30 es la pieza constructiva más gruesa y pesada de esta tipología de cerámicos con un espesor de 150 mm y nueve cavidades rectangulares horizontales construidas a partir de cuatro paredes verticales desde la superficie inicial a la superficie final de la pieza y cuatro tabiques horizontales. La proporción de volumen de aire respecto a masa cerámica es de 55,6 % aire y 44,4 % arcilla cocida. Su espesor, número de cavidades y paredes internas pueden constituir una ventaja en su comportamiento térmico respecto a otras muestras.

Así mismo, se evalúan tres tipos de bloques cerámicos con características morfológicas diferentes en un espesor de 100 mm que contienen ocho cavidades horizontales. Para este fin, se realiza, en un segundo grupo, la caracterización física según la forma de las piezas.


### 3.3.1.4. Bloque H10-B

Figura 31. Bloque cerámico H10-B



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 12. Características físicas del bloque cerámico H10-B

<b>Producto</b>	Bloque H10-B		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento		
<b>Características</b>	Dimensiones	300*200*100 mm	
	Peso	5,5 kg unidad	
	Rendimiento	16 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Rayada	
	Tonalidades	Arena, rojo, moro	

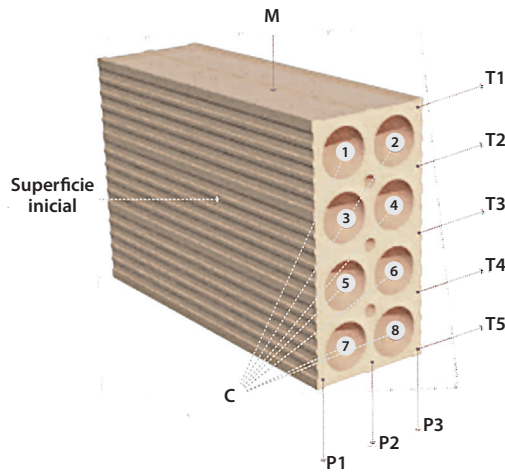
Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El bloque cerámico H10-B (ver Figura 31) es un producto con las mismas formas ortogonales del bloque H10-A diferenciado por el número de cavidades internas, las cuales están divididas en ocho cámaras de aire rectangulares. Esta característica,

al proveer mayor volumen de aire, podría constituir una oportunidad en la disminución del calor transferido donde 56 % es aire y 44 % es masa de arcilla cocida en la pieza. Sin embargo, la pieza también presenta un tabique y un puente térmico directo.

### 3.3.1.5. Bloque H10-C

Figura 32. Bloque cerámico H10-C



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 13. Características físicas del bloque cerámico H10-C

<b>Producto</b>	Bloque H10-C		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento		
<b>Características</b>	Dimensiones	300*200*100 mm	
	Peso	5,8 kg unidad	
	Rendimiento	16 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Rayada	
	Tonalidades	Arena, rojo, moro	

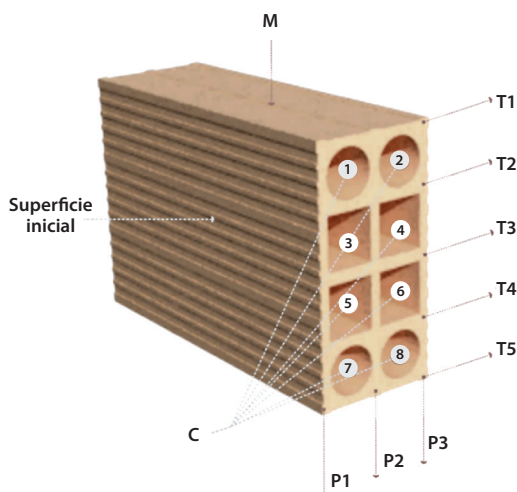
Fuente: Narváez-Ortega (2021).

La pieza denominada bloque H10-C (ver Figura 32) es un producto pesado de 5,8 kg con ocho cavidades internas de geometría cilíndrica principales y tres auxiliares ubicadas de forma intermitente a lo largo de la pared P2. El producto está formado

por cinco tabiques de gran espesor, característica que hace que el volumen de arcilla sea 53,5 % mayor al volumen de aire (46,5 %).


### 3.3.1.6. Bloque H10-D

Figura 33. Bloque cerámico H10-D



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 14. Características físicas del bloque cerámico H10-D

<b>Producto</b>	Bloque H10-D		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento		
<b>Características</b>	Dimensiones	300*200*100 mm	
	Peso	5,6 kg unidad	
	Rendimiento	16 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Rayada	
	Tonalidades	Arena, rojo, moro	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

La pieza tipo bloque H10-D es la única muestra que presenta formas mixtas. Incluye geometrías rectangulares y circulares en su composición física, lo que genera una diferencia en los espesores de los puentes térmicos y, por lo tanto, una diferencia en la transmitancia térmica con un 46 % de volumen de arcilla y 54 % de vacío en cámara de aire.

**Figura 34. Fotografía de sistemas constructivos con bloques cerámicos**

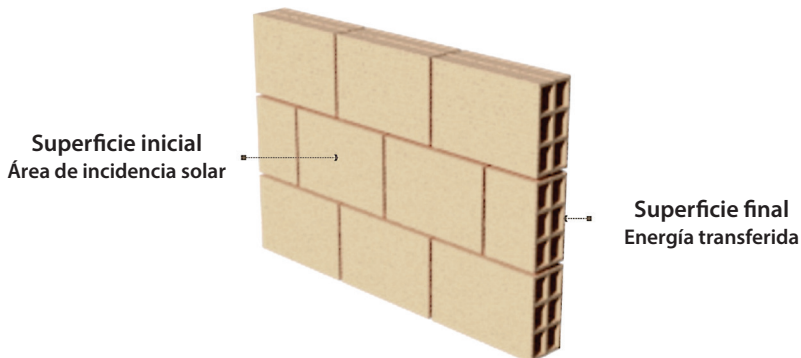


Fuente: Narváez-Ortega (2021).

### **3.3.4. Sistemas constructivos tipo bloque**

Los diferentes bloques de arcilla fabricados en la región se utilizan en sistemas de cerramiento planos en la superficie inicial en una composición por apilamiento tradicional donde la totalidad de la superficie externa está expuesta a radiación solar directa por largos periodos. El calor es acumulado en las piezas constructivas y en las juntas de mortero del material y, a su vez, transferido de forma directa a la superficie final del cerramiento.

**Figura 35. Vista isométrica del sistema constructivo con bloques cerámicos**

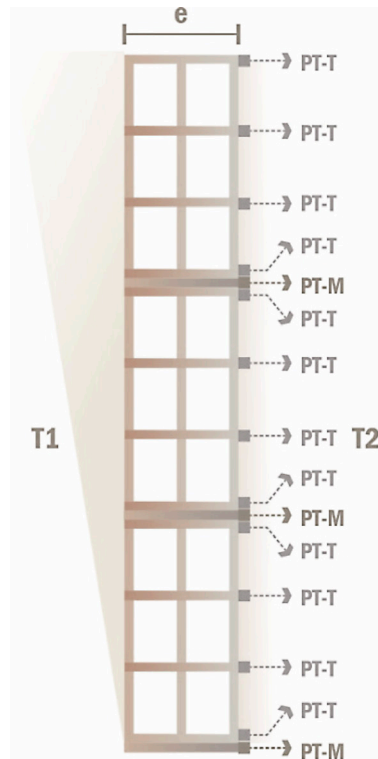


Fuente: Narváez-Ortega (2021).

En sistemas de cerramiento, el calor se traslada por conducción desde la cara exterior de las piezas cerámicas donde se acumula la mayor temperatura hacia el interior en forma unidireccional a través del espesor del muro. Esta transmitancia de flujo térmico se facilita gracias a que las superficies horizontales que conforman los bloques (tabiques y nervios) funcionan como puentes térmicos directos transfiriendo de forma continua la temperatura a través de la pieza constructiva.

Por otro lado, dentro del sistema constructivo la junta de mortero se ubica sobre la superficie de la tabla en horizontal y de la testa en vertical, lo que genera, a su vez, otro puente térmico continuo que permite el flujo directo de calor en tanto su volumen está completamente expuesto a las condiciones térmicas exteriores. Se trata de un componente especialmente relevante, pues el mortero presenta una conductividad térmica de  $0,88 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , el doble de la capacidad de transferencia de calor que la misma cerámica de  $0,407 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  (Sánchez-Molina *et al.*, 2019).

**Figura 36. Vista vertical del sistema constructivo con bloques cerámicos implementando bloque H10-A**



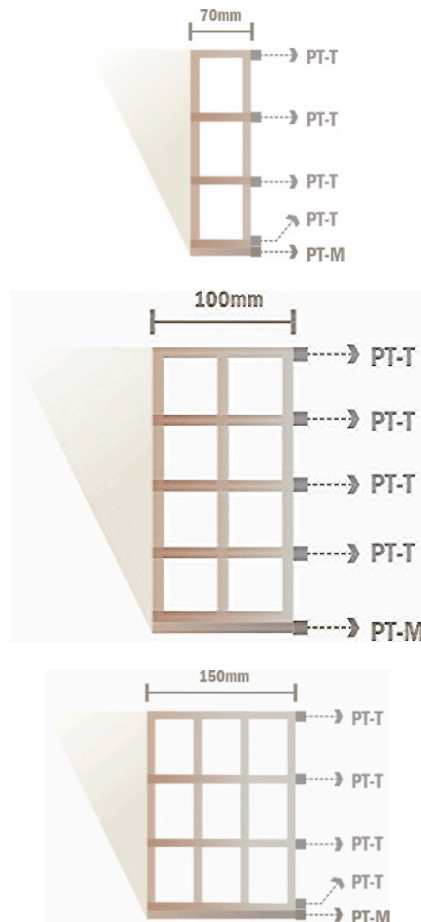
Fuente: Narváez-Ortega (2021).

En la Figura 36, T1 define la temperatura inicial de la superficie de incidencia solar, mientras que PT-T representa los puentes térmicos formados por los tabiques de

las piezas, PT-M muestra los puentes térmicos formados por las juntas de mortero dentro del sistema constructivo y la dimensión (e) representa el espesor de la pieza.

Dichas partes del sistema constructivo son fundamentales en el comportamiento térmico del cerramiento, ya que el flujo de calor que condiciona la conductividad del material es directamente proporcional al área expuesta y a la diferencia de temperaturas entre T1 y T2, pero es inversamente proporcional al espesor del material. Por lo tanto, es fundamental considerar estos aspectos entre las diferentes variaciones de productos tipo bloque.

**Figura 37. Puentes térmicos en productos tipo a) bloque H7; b) bloque H10-B y c) bloque H15**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Por otro lado, el área de mortero representa un puente térmico directo (PT-M) dentro del sistema de mampostería, puesto que no presenta interrupciones desde T1 hasta T2. La separación que genera el mortero de pega es de 10 mm de distancia



entre las piezas, donde la junta de mortero horizontal tiene un área inicial de  $0,003 \text{ m}^2$  y una superficie de contacto con la pieza cerámica de entre  $0,021 \text{ m}^2$  a  $0,045 \text{ m}^2$  según el espesor del producto entre 70 mm (bloque H7) a 150 mm (bloque H15). Asimismo, en las uniones de mortero verticales todas las variables representan un área inicial de  $0,002 \text{ m}^2$  y un área de contacto entre  $0,014 \text{ m}^2$  y  $0,03 \text{ m}^2$  respecto a las diferentes tipologías de bloques. Aunque estas dimensiones pueden resultar poco significativas, visto por metro cuadrado el mortero representa el 8 % de superficie inicial en un  $1 \text{ m}^2$ .

### 3.3.4. Características comparativas en bloques

Tabla 15. Características comparativas entre bloques cerámicos

Pieza	Espesor	Número de paredes	Número de tabiques	Número de cámaras de aire	Porcentaje aire	Porcentaje cerámica
H7	70 mm	2	4	3	50,0%	50,0%
H10-A	100 mm	3	4	6	63,0%	37,0%
H15	150 mm	4	4	9	55,6%	44,4%
H10-B	100 mm	3	5	8	56,0%	44,0%
H10-C	100 mm	3	5	8	46,5%	53,5%
H10-D	100 mm	3	5	8	54,0%	46,0%

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

En general, los diferentes tipos de bloques presentan un buen porcentaje de aire dentro de su composición formal mayor al 50 % del volumen total de las piezas. El bloque H10-A es la pieza que mayor volumen de aire presenta con 63 %, una característica relevante para disminuir la transmitancia térmica en tanto el aire presenta menor conductividad térmica que la cerámica. Esta ventaja, sumada al número de paredes y a un menor número de tabiques, pueden convertir al bloque H10-A en un producto con excelente comportamiento térmico en un clima cálido. Así mismo, es de interés la pieza denominada bloque H15, producto que presenta mayor número de paredes y cámaras de aire, así como un mayor espesor y un mismo número de tabiques que H10-A, las cuales son excelentes características para disminuir la transmitancia térmica.

A este respecto, identificar las particularidades de la estructura interna de las piezas como paredes y tabiques es relevante si se considera que un mayor número de tabiques constituye un mayor número de puentes térmicos, por tanto, en sistemas constructivos que implementen las variaciones de bloque H10-B, H10-C y H10-D se generará mayor transferencia térmica al presentar un mayor número de puntos de flujos de calor.

Por lo demás, es de anotar que el diseño de las diferentes piezas tipo bloque cerámico no permiten un control solar por sombreado en su superficie inicial que pueda reducir la temperatura inicial del cerramiento. De igual manera, no forman una solución para una dosificación adecuada del mortero en la instalación, lo que genera desperdicio de material, mal acabado y mayor transferencia de calor. Su acabado rayado en todas las versiones del producto conlleva a desarrollar fases adicionales de pañete, pasta, pintura o revestimiento antes de obtener un acabado liso y estético, procesos que incrementan los costos de fabricación.

**Figura 38. Fotografía de sistemas constructivos con ladrillos cerámicos**

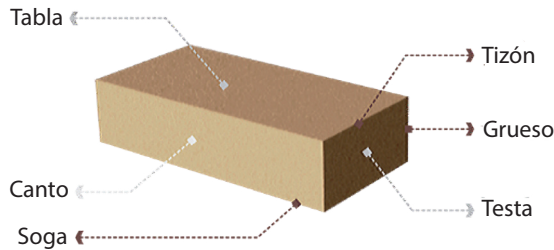


### 3.4. Ladrillos cerámicos

#### 3.4.1. Productos constructivos tipo ladrillo

Los ladrillos cerámicos son productos para mampostería constructiva estructural y no estructural. Estos soportan cargas uniaxiales dentro de sistemas de cerramiento de bajo costo, generalmente de acabado a la vista al ser producto de terminado liso y estético. Las piezas constructivas fabricadas en la región corresponden a cuatro tipologías de ladrillo de arcilla cocida de diferentes dimensiones, composición interna, peso y textura, las cuales se distinguen por contener perforaciones verticales en su estructura formal, siendo el más común el ladrillo multiperforado.

**Figura 39. Tipologías de ladrillos cerámicos**

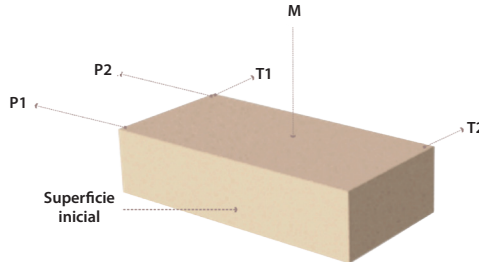


Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Los sistemas de mampostería construidos con productos cerámicos tipo ladrillo tienen un espesor que oscila entre los 100 mm y los 120 mm como el ancho máximo que presenta una pieza de esta tipología sin revestimiento en su acabado exterior. Asimismo, la altura de las piezas ofertadas en el mercado varía entre los 60 mm y los 70 mm y presentan un largo de 250 mm en promedio, de manera que se requieren en promedio 60 unidades constructivas por metro cuadrado. El canto o superficie inicial de la pieza tiene un área de  $0,015 \text{ m}^2$  representando la cara externa expuesta a radiación solar. De igual modo, los ladrillos se pueden clasificar según su composición interna en piezas macizas y piezas perforadas. La pieza L-1 es el único producto tipo ladrillo macizo que se encuentra en el mercado, mientras que las unidades constructivas L-2, L-3 y L-4 son piezas cerámicas de tipo multiperforado. Sus características físicas determinan la eficacia con la que evitan la transmitancia térmica dentro del sistema de cerramiento.

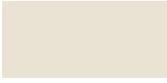
### 3.4.1.1. Ladrillo L-1

Figura 40. Ladrillo cerámico L-1



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 16. Características físicas del ladrillo L-1

<b>Producto</b>	Ladrillo de obra		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento		
<b>Características</b>	Dimensiones	250*110*60 mm	
	Peso	3 kg unidad	
	Rendimiento	48 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa, rústica	
	Tonalidades	Colonial, tabaco	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

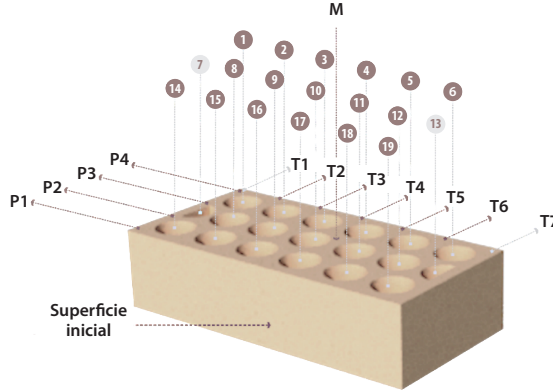
El ladrillo macizo o ladrillo de obra es un producto cerámico compuesto de arcilla cocida al 100 % sin ninguna perforación interna. Cuenta con dos paredes desde la superficie inicial a la superficie final y dos tabiques laterales. Por lo demás, es utilizado en sistemas de mampostería de bajo costo, sin embargo, por sus propiedades físicas es una pieza de alta transmitancia térmica en tanto funciona como un puente térmico continuo en toda su composición.

### 3.4.1.2. Ladrillo L-2

El ladrillo multiperforado es uno de los productos más exitosos del mercado regional con el 14 % del total de la producción de cerámicos constructivos en la región de Norte de Santander. Es utilizado como unidad constructiva cara vista por excelencia al presentar un acabado liso en su cara externa en diferentes tonos terracota. Por lo demás, es un producto costoso en el segmento de unidades


constructivas para mampostería, pues no presenta un buen rendimiento por metro cuadrado en comparación con productos tipo bloque.

**Figura 41. Ladrillo cerámico L-2**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Tabla 17. Características físicas del ladrillo L-2**

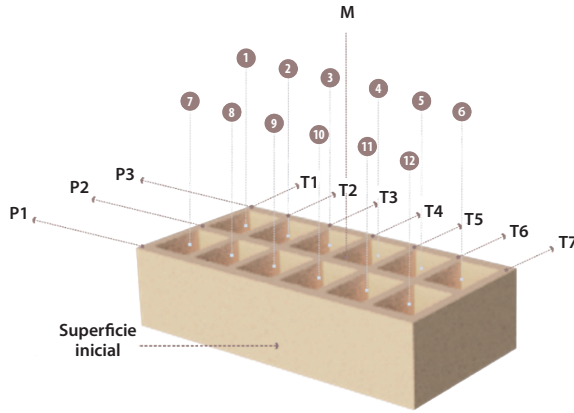
<b>Producto</b>	Ladrillo multiperforado		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento		
<b>Características</b>	Dimensiones	250*120*60 mm	
	Peso	2,6 kg unidad	
	Rendimiento	48 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Colonial, tabaco	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Físicamente, es una pieza con un área de 0,015 m<sup>2</sup> en su cara externa. Presenta cuatro paredes internas a través de 120 mm de espesor y siete tabiques discontinuos formados a partir de 19 cámaras de aire de geometría circular. Esta tipología de ladrillo tiene cámaras de aire internas de perforación vertical que representan el 42,4% del volumen total de la pieza y un 57,6% de volumen de arcilla roja cocida. Es un producto de mampostería no estructural usualmente utilizado en cerramientos exteriores y divisiones interiores de la edificación con acabado a la vista.

### 3.4.1.3. Ladrillo L-3

Figura 42. Ladrillo cerámico L-3



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 18. Características físicas de los ladrillos L-3

<b>Producto</b>	Ladrillo cara vista		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento		
<b>Características</b>	Dimensiones	250*100*70 mm	
	Peso	2,3 kg unidad	
	Rendimiento	48 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Colonial, tabaco	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

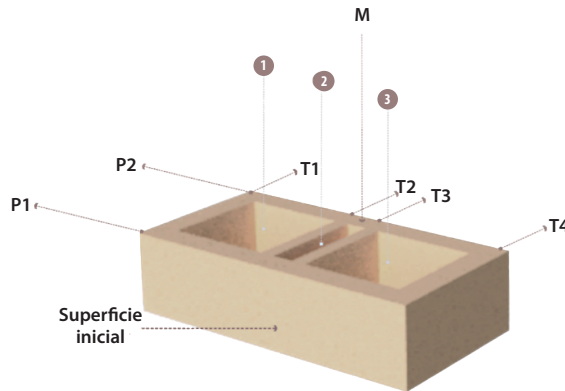
El ladrillo a la vista es una variable del ladrillo multiperforado compuesto por cavidades verticales ortogonales que forman geometrías en paredes y tabiques rectangulares con tres paredes consecutivas a través de 100 mm de espesor y siete tabiques continuos de 250 mm de largo que componen 12 cámaras de aire internas, las cuales, a su vez, componen el 59,2 % de la pieza donde el 40,8 % lo constituye la estructura de cerámica.

### 3.4.1.4. Ladrillo L-4

El ladrillo estructural es un producto liviano de 2 kg de peso, siendo el más liviano del mercado en cuanto a ladrillos multiperforados. Se trata de piezas compuestas por tres cámaras de aire internas disímiles en dimensión donde T2 y T3 componen

la estructura interna que sostiene y divide las cámaras de aire internas de la pieza. La unidad constructiva contiene dos paredes en 120 mm de espesor y, en general, tiene un volumen compuesto por 50,3 % cerámica y 49,7 % de vacío de aire. Entretanto, la superficie inicial tiene un área de 0,017 m<sup>2</sup>, de la cual se desprenden cuatro puentes térmicos directos formados por tabiques rectos entre P1 y P2.

**Figura 43. Ladrillo cerámico L-4**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Tabla 19. Características físicas del ladrillo L-4**

<b>Producto</b>	Ladrillo estructural		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento, ventilación e iluminación		
<b>Características</b>	Dimensiones	250*120*70 mm	
	Peso	2 kg unidad	
	Rendimiento	48 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Colonial, tabaco	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El producto L-4 se utiliza comúnmente en mampostería estructural, sin embargo, por sus cavidades internas esta pieza se puede utilizar en un sistema no estructural formando paredes permeables a la ventilación e iluminación al disponer la tabla como superficie inicial tipo calado.



**Figura 44. Fotografía de sistemas constructivos con ladrillos cerámicos**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

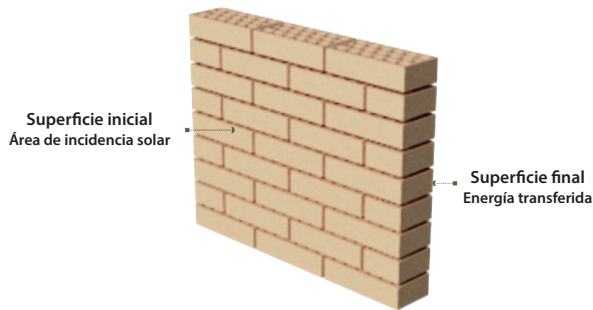
### **3.4.2. Sistemas constructivos tipo ladrillo**

El aspecto exterior de la fabricación de ladrillo depende de varios factores, por ejemplo, el tipo de ladrillo, el color, la textura, el formato, el tipo de junta y el tipo de aparejo utilizado. En cuanto a las juntas, su acabado exterior afecta tanto el aspecto como el comportamiento térmico de estas. En general, suelen tener un espesor de

10 mm y su instalación debe ser cuidadosa en tanto la cara externa del muro se usa comúnmente sin ningún tipo de revestimiento, por lo que la textura y el color de las piezas cerámicas se exponen a la vista con un acabado colonial de tonos rojizos.

En el sistema constructivo, el acabado lo define el tipo de aparejo y la configuración más común expone el canto como superficie inicial cuyo apilamiento en hiladas es traslapado para asegurar mayor estabilidad respecto a las juntas de mortero (ver Figura 45).

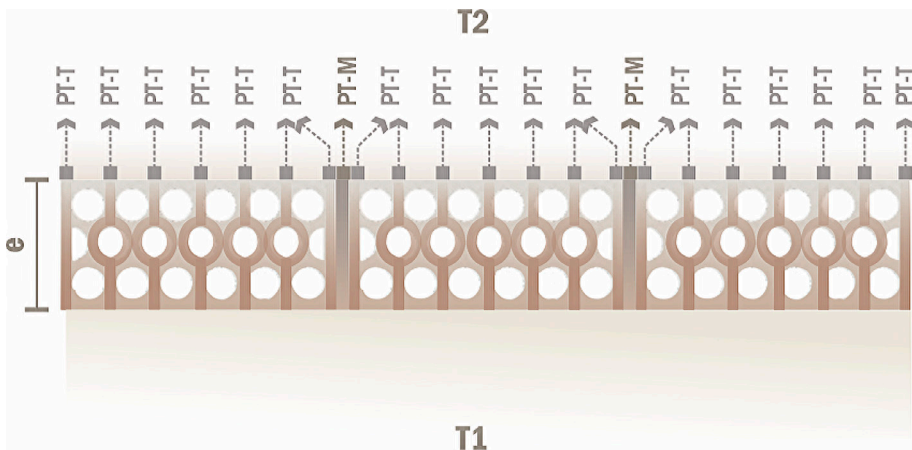
**Figura 45. Sistema constructivo de ladrillo cerámico**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Por otro lado, la transferencia de calor de la mampostería de ladrillo multiperforado funciona de manera similar al bloque de arcilla tradicional. La forma rectangular de la pantalla que forma la mampostería está expuesta a la radiación solar y es absorbida por el material, acumulándose y transfiriéndose al interior a través de las superficies compuestas por paredes y tabiques como puntos de flujo de calor directo.

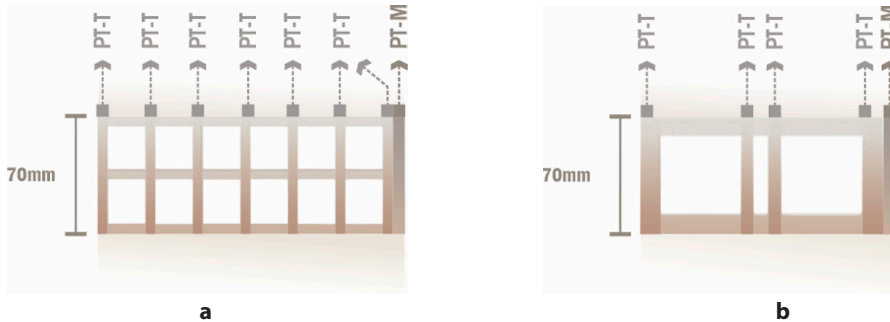
**Figura 46. Vista horizontal del sistema constructivo con ladrillos cerámicos implementando ladrillo L-2**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Entretanto, en la Figura 47 T1 define la temperatura inicial de la superficie de incidencia solar, mientras que PT-T representa los puentes térmicos formados por los tabiques de las piezas y PT-M muestra los puentes térmicos formados por las juntas de mortero dentro del sistema. Por último, la dimensión (e) representa el espesor de la pieza.

**Figura 47. Puentes térmicos en productos tipo a) ladrillo L-3 y b) ladrillo L-4**

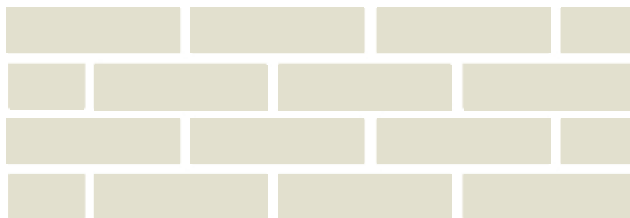


Fuente: Narváez-Ortega (2021).

En la composición formal de las piezas, la diferencia más relevante respecto a los bloques cerámicos se presenta en el tipo de perforación. Así, los ladrillos presentan perforaciones verticales con un mayor número de puentes térmicos como los productos L-2 y L-3 o un menor número como L-4, lo que en este último constituye una ventaja dentro de un sistema de alta transmitancia térmica.

Entretanto, para facilitar la ejecución de la mampostería se requiere una determinada relación entre la tabla, la testa y el canto para lograr una correcta coordinación en la disposición de las piezas, en las tablas y en las testas de los ladrillos. En los bloques se esparce la junta de mortero con una dosificación no controlada, lo que evidencia un desperdicio de material que usualmente requiere limpieza para un acabado final homogéneo.

Por otro lado, la junta de mortero horizontal tiene un área inicial de  $0,0025 \text{ m}^2$  en promedio y una superficie de contacto con la pieza de entre  $0,020 \text{ m}^2$  y  $0,024 \text{ m}^2$  de acuerdo con el espesor del producto entre 100 mm (ladrillos L-1 y L-3) a 120 mm (ladrillos L-2 y L-4). En las uniones de mortero verticales se presentan dos variables: 60 mm y 70 mm con un área inicial promedio de  $0,016 \text{ m}^2$ , por lo tanto, en un metro cuadrado el mortero representa el 16% de superficie inicial. Ahora bien, el aparejo, que es la geometría de traba que rige la colocación de los ladrillos, suele tener diferentes morfologías y da lugar a múltiples composiciones. Este se consigue mediante la combinación de las distintas aristas del ladrillo (la tabla, la testa y el canto). El aparejo debe adaptarse al espesor que tenga el cerramiento, así como a los encuentros en las esquinas y cruces entre muros.

**Figura 48. Configuración tradicional de sistemas constructivos con ladrillo cerámico**

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

En este sistema de mampostería de ladrillo también suelen utilizarse diferentes variables en la posición de la tabla, la testa y el canto para generar diversas configuraciones constructivas con valor agregado en estética y función.

### 3.4.3. Características comparativas en ladrillos

En la Tabla 20 se presentan las características físicas más relevantes desde una perspectiva térmica de las diferentes piezas tipo ladrillo producidas por el clúster de la cerámica regional.

**Tabla 20. Características comparativas de ladrillos cerámicos**

Pieza	Espesor	Número de paredes	Número de tabiques	Número de cámaras de aire	Porcentaje aire	Porcentaje cerámica
L-1	110 mm	2	0	0	0%	100%
L-2	120 mm	4	7	19	42,4%	57,6%
L-3	100 mm	3	7	12	59,2%	40,8%
L-4	120 mm	2	4	3	49,7%	50,3%

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Al realizar una comparativa de las características físicas de los ladrillos cerámicos, es más común encontrar mayor volumen cerámico respecto a volumen de aire en las piezas, superando el 50 % en la mayoría de las muestras. El producto L-1 es una pieza maciza con masa al 100 % que presenta el menor espesor entre las muestras, de manera que es un producto con características físicas de alta transmitancia térmica.

Entretanto, el ladrillo L-3 presenta un mayor número de aire en 12 cavidades verticales que representan el 59,2 % del volumen total de la pieza, por lo tanto, es un producto con cualidades físicas que podrían representar una ventaja para la resistencia térmica. Sin embargo, debe resaltarse que es una pieza que presenta alto número de puentes térmicos formados por siete tabiques que unen la cara inicial con la superficie final de la pieza, lo que podría acelerar su eficacia para transmitir calor a través de su estructura.

En esa misma vía, el producto L-4, cuyo volumen de aire es del 49,7 %, es una pieza especialmente destacada al presentar una mayor área en cámara de aire y el menor número de tabiques dentro de las muestras con dos tabiques laterales y dos centrales, ventajas que, por lo demás, pueden permitir una disminución en la energía transferida.

Por su parte, el producto L-2 es una pieza compuesta por geometrías internas circulares que componen 19 cámaras de aire distribuidas en siete tabiques y presenta un mayor volumen de masa cerámica respecto a aire en un 57,6 %, características que la hacen muy susceptible en los procesos de transmitancia térmica.

**Figura 49. Fotografía de sistemas constructivos con calados cerámicos**



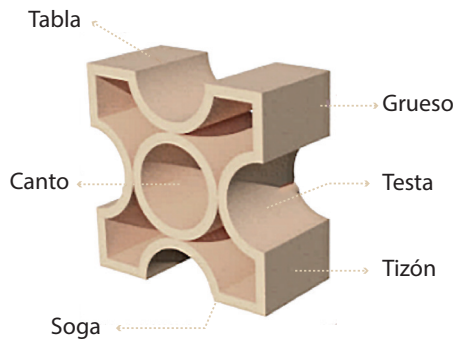
Fuente: Narváez-Ortega (2021).

### 3.5. Celosías cerámicas

#### 3.5.1. Productos constructivos

Los productos tipo calado son unidades constructivas cerámicas para cerramientos permeables que tienen una función divisoria o limitante entre el exterior y el interior en la envolvente sin ser hermética. Es un sistema constructivo de iluminación y ventilación con un carácter estético que se presenta en diferentes formatos de mayor o menor complejidad geométrica.

**Figura 50. Tipologías de calados cerámicos**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

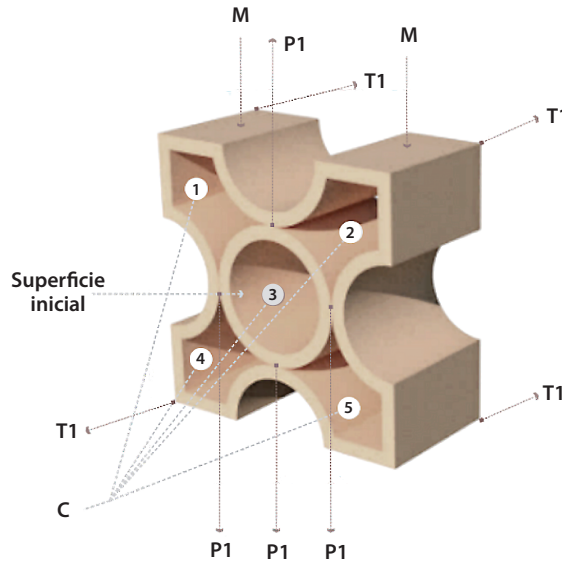
Estructuralmente, son piezas con marco ortogonal y un formato simple adaptable al método de fabricación por extrusionado que, a su vez, permite que la pieza sea autoportante, apilable y configurable con un sistema de mampostería estándar. Por otro lado, la versatilidad del diseño está inmersa sobre la cara exterior de la pieza (canto), por lo que exhibe gran variedad de formas respecto a los productos ofertados por el mercado.

La variable más significativa en la utilización de este producto respecto a bloques y ladrillos constructivos es, de hecho, su función, pues está diseñado para ventilar e iluminar los espacios que reviste al permitir el flujo continuo de aire a través de sus celdas y perforaciones, una función que posibilita disipar energía acumulada dentro del cerramiento.

Por otro lado, los calados constructivos se encuentran en diversos formatos dimensionales y estructuras internas con  $0,037 \text{ m}^2$  y  $0,04 \text{ m}^2$  de área exterior en sus presentaciones más comunes C-1 y C-2 en espesores entre los 82 mm y los 120 mm respectivamente. Las piezas ofertadas se pueden dividir en dos formatos cuadrados, a saber, C-1 con 200 mm de largo y 200 mm de alto en formas internas curvas, y rectangulares como C-2 con 250 mm de largo y 150 mm de alto con formas internas rectas.

### 3.5.1.1. Calado C-1

Figura 51. Ladrillo calado C-1



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 21. Características físicas del calado C-1

<b>Producto</b>	Calado estrella		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Ventilación e iluminación		
<b>Características</b>	Dimensiones	200*200*85 mm	
	Peso	2,3 kg unidad	
	Rendimiento	23 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Colonial, tabaco	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

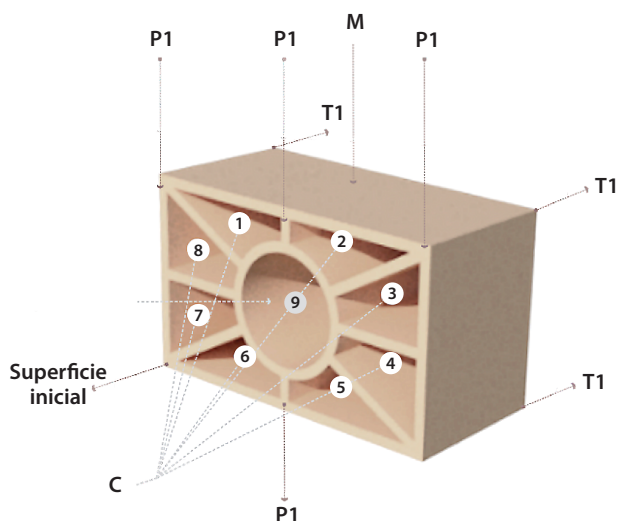
El calado estrella es un producto de forma cuadrada irregular con cinco cavidades abiertas al flujo continuo de ventilación e iluminación natural con un área de vacío de 0,0178 m<sup>2</sup>. Del 59,5 % del volumen total de la pieza, el 40,5 % de volumen cerámico está conformado por tabiques rectangulares y circulares cóncavos en las paredes externas y convexos en el interior de la pieza. Todas las paredes y los



tabiques de la muestra funcionan como puentes de conducción directa de calor, puesto que comunican la superficie inicial con la superficie final directamente.

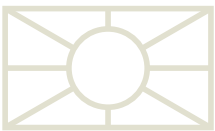
### 3.5.1.2. Calado C-2

Figura 52. Ladrillo calado C-2



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 22. Características físicas del calado C-2

<b>Producto</b>	Calado N15		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Ventilación e Iluminación		
<b>Características</b>	Dimensiones	250*150*120 mm	
	Peso	3,8 kg unidad	
	Rendimiento	25 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Colonial, tabaco	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El calado N15 es un producto rectangular con nueve cavidades de formas rectas en los extremos y circulares en su perforación central cuyo volumen de aire representa el 66,9 % de la pieza con un área de 0,0251 m<sup>2</sup> de la superficie inicial. Su volumen cerámico es solo el 33,1 % en una pieza grande, al igual que el calado estrella. El

calado N15 tiene sus tabiques completamente expuestos a radiación solar directa en la superficie inicial externa de la pieza y estos, a su vez, conectan de forma recta y continua con la superficie final interna. Además, transfieren la temperatura de forma continua dentro de la pieza.

**Figura 53. Fotografía de sistemas constructivos con calados cerámicos**

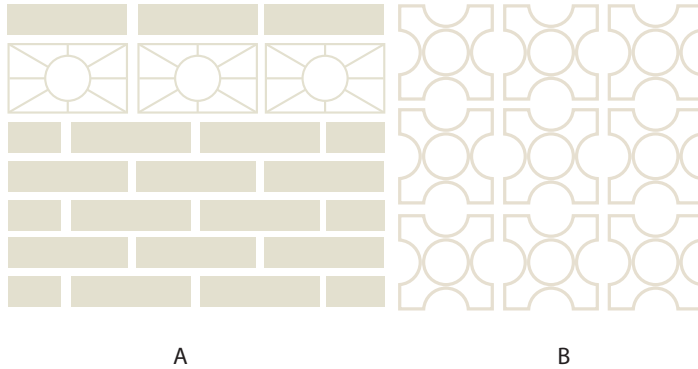


Fuente: Narváez-Ortega (2021).

### **3.5.2. Sistemas constructivos**

El calado utiliza la misma técnica constructiva del bloque y el ladrillo cerámico sin variables significativas en su instalación por apilamiento, es decir, con juntas de conglomerado de mortero sin dosificación controlada en vertical y horizontal. La diferencia más importante en esta tipología de piezas para mampostería es su utilidad al funcionar como un elemento permeable cuya instalación se ejecuta de forma tradicional únicamente por la cara perforada.

Por otra parte, en el sistema constructivo las piezas son utilizadas comúnmente tanto en la tipología abierta de pantalla permeable compuesta únicamente de calados (a) o en tipología mixta combinando bloques y ladrillos cerrados (b) (ver Figura 54).

**Figura 54. Sistema constructivo tradicional con calado**

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

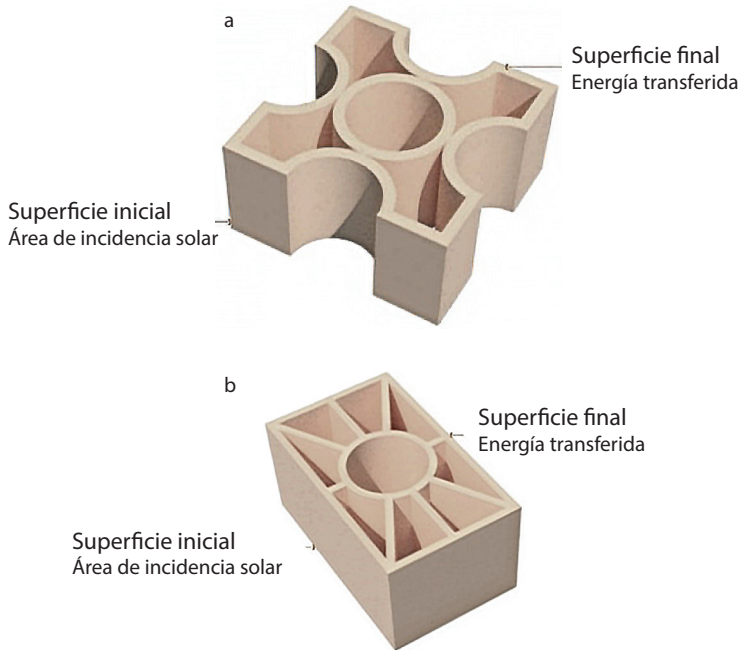
De igual forma, los cerramientos construidos con calados pueden presentar diferentes configuraciones en relación con los requerimientos de permeabilidad donde las piezas son ubicadas en distintas áreas del muro, siendo los más comunes en la parte superior del apilamiento para funcionar como aberturas al flujo de aire natural o en el muro completo abiertas a la ventilación y a la iluminación natural.

Dentro del sistema de mampostería, los calados suelen exponerse con acabado natural cara vista o revestidos con la misma tonalidad del muro que acompaña. Además, por la versatilidad de las piezas suele utilizarse también como un elemento netamente estético en muros exteriores e interiores sin función estructural.

Ahora bien, y desde otra perspectiva que busca un mejor comportamiento térmico de las piezas cerámicas, se considera replantear la disposición constructiva de los productos tipo calados para evaluar su función y ventajas geométricas en un sistema de cerramiento al modificar su disposición tradicional, es decir, pasar de un sistema de muro abierto y permeable a uno cerrado que utilice las ventajas de la forma de las piezas como propiedades de resistencia térmica.

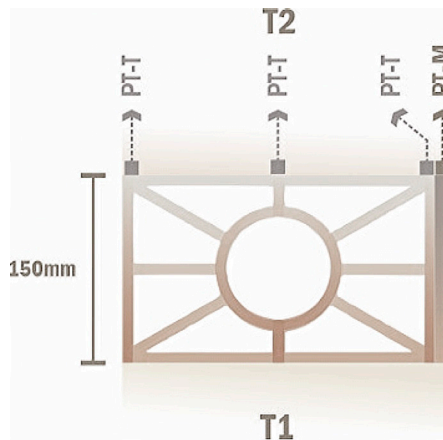
En este sentido, las ventajas que presentan los productos tipo calados se relacionan con tabiques discontinuos en su configuración interna que combinan geometrías rectas y curvas en paredes y tabiques, características que evitan puentes térmicos directos donde desde la cara externa (superficie inicial) sometida a incidencia solar y la cara interna (superficie final) el calor se transfiere a través de un sistema de puentes discontinuos y cámaras de aire. En dicha disposición el calor debe atravesar tres paredes y entre cinco a nueve cámaras de aire en C-1 y C-2 respectivamente.

**Figura 55. Versatilidad de la pieza: a) calado C-1 y b) calado C-2**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Figura 56. Puentes térmicos con calados cerámicos**

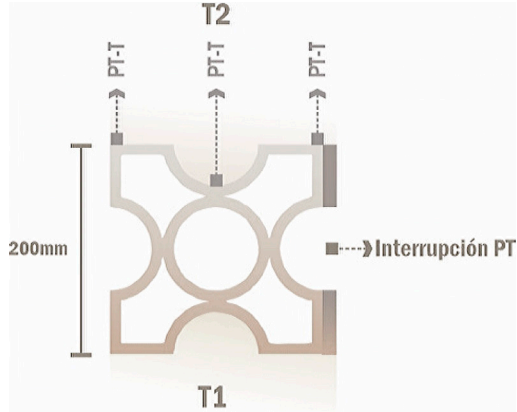


Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Al utilizar los productos en esta configuración, la junta de mortero horizontal tiene un área inicial de  $0,0025 \text{ m}^2$  en promedio y una superficie de contacto con la pieza de entre  $0,029 \text{ m}^2$  en C-1 a  $0,037 \text{ m}^2$  en C-2 con relación al espesor del producto entre 200 mm (C-1) a 150 mm (C-2). En las uniones de mortero verticales se

presentan dos variables en C-1: el puente térmico se interrumpe por la geometría de la pared P1, con un área de contacto de  $0,051 \text{ m}^2$ .

**Figura 57. Junta de mortero con calados cerámicos**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

### 3.5.3. Características comparativas en calados

Los productos tipo calado son piezas que no cumplen una función de transmitancia térmica directa en su disposición tradicional, pues sus paredes están sometidas a flujo continuo de aire. Por lo tanto, el calor acumulado puede ser disipado rápidamente a través de sus cinco perforaciones en C-1 y hasta nueve cavidades en C-2 donde más del 60 % de las piezas están compuestas por aire.

**Tabla 23. Características comparativas de ladrillos cerámicos**

Pieza	Espesor	Número de paredes	Número de tabiques	Número de cámaras de aire	Porcentaje aire	Porcentaje cerámica
C-1	85 mm	2	4	5	59,5%	40,5%
C-2	120 mm	2	9	9	66,9%	33,1%

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

En una segunda configuración, considerando un uso de los calados en muros de cerramiento completamente hermético como mampuesto de perforación vertical, se observan ventajas en la forma de las piezas con relación a su capacidad de volumen de aire y a la forma de sus tabiques internos con estructura discontinua, por lo que se evitan los puentes térmicos y se genera un sistema de paredes y cámaras que podrían disminuir la transmitancia térmica.

### **3.6. Análisis comparativo de propiedades físicas de los productos cerámicos tradicionales para mampostería**

Las características físicas de las tipologías de piezas cerámicas constructivas producidas tradicionalmente por la industria de Norte de Santander no presentan estrategias de diseño que permitan dar respuesta a los impactos de un clima cálido tropical sobre la envolvente. Se trata de piezas diseñadas con caras externas planas completamente expuestas al impacto de la radiación solar directa sin ningún mecanismo de control solar o disipación de energía. Sus morfologías internas con tabiques continuos permiten el flujo de calor directo y el aumento de puentes térmicos.

Comparativamente, algunos de los productos presentan ventajas físicas respecto a otras piezas de su tipología, por lo que son de interés para esta investigación. Por ejemplo, piezas como el bloque H10-A, el bloque H-15 y el ladrillo L-4, los cuales contienen menor cantidad de tabiques y, por tanto, menos puentes térmicos, así como una mayor proporción de volumen de aire respecto a masa cerámica, ventajas que convierten estos productos en unidades constructivas de resistencia térmica efectiva. Del mismo modo, se valoran las ventajas que podrían presentar los calados C-1 y C-2 dispuestos de formas no convencionales al presentar altos volúmenes de aire y tabiques discontinuos que interrumpen los puentes térmicos tanto en la pieza como en las juntas de mortero.

**Figura 58. Fotografía de sistemas constructivos cerámicos**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).









## CAPÍTULO IV

# COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNIDADES CONSTRUCTIVAS CERÁMICAS TRADICIONALES DE NORTE DE SANTANDER

### **4.1. Simulaciones térmicas de las características físicas de piezas cerámicas constructivas**

Se evaluó el comportamiento térmico de las piezas cerámicas más demandadas para mampostería en la región de Norte de Santander en las tipologías de bloques en formato H7, H10-A, H10-B, H10-C, H10-D y H15, ladrillos en formas tipo L-1, L-2, L-3 y L-4, así como calados cerámicos en las versiones C-1 y C-2 en función de cerramiento de mampostería. Esto con el fin de establecer la influencia de las características de las piezas sobre el flujo de calor en la envolvente de un clima cálido tropical. Todo ello determinando, a partir de un análisis comparativo, las mejores ventajas en cuanto a la función, la estructura interna y la superficie externa de los productos para reducir la transferencia de calor en un sistema de mampostería.

#### **4.1.1. Método**

Se realizó la validación de las muestras a través de la implementación del método de elementos finitos para desarrollar simulaciones térmicas en el *software* ANSYS R16. Se utilizaron parámetros propios del clima de la ciudad de Cúcuta para establecer el comportamiento térmico por transferencia de calor de las piezas en condiciones de 32 °C como temperatura máxima promedio para establecer la distribución de temperatura y los flujos de calor relacionados con la forma y la dimensión de las piezas.

### 4.1.2. Datos básicos

Para obtener los datos de conductividad térmica para bloque de arcilla estándar se aplicó la misma conductividad térmica obtenida a través de método de flujo lineal transitorio de  $0,407 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  para arcilla cocida a  $1000^\circ\text{C}$  en todas las muestras (Sánchez-Molina *et al.*, 2019) y mortero de cemento:

Donde

<sup>k</sup> Bloque =  $0,407 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ .

<sup>k</sup> Mortero =  $0,88 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ .

Los datos de las condiciones medioambientales locales se tomaron del IDEAM para una localización geográfica de latitud  $7,8^\circ \text{ N}$ , longitud de  $72,4^\circ \text{ O}$  y altitud de  $320 \text{ m}$  sobre el nivel del mar en Cúcuta (IDEAM, 2020). Asimismo, se tomó como punto de referencia para la temporalidad el mes de septiembre como el periodo que registra las temperaturas más altas a lo largo del año y, de igual modo, se evaluaron las muestras sobre las horas medias del día (de  $12:00 \text{ m.}$  a  $1:00 \text{ p. m.}$ ) de un día tipo. Con esto, se registró una irradiancia solar máxima promedio de  $796,8 \text{ W/m}^2$  en cielos despejados (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2022) y una velocidad del viento de  $5,5 \text{ m/s}$ .

**Tabla 24. Condiciones ambientales**

Datos	
Temperatura máxima promedio	$32^\circ\text{C}$
Radiación solar máxima promedio	$796,80 \text{ Wh/m}^2$
Q solar	$796,80 \text{ Wh/m}^2$
Velocidad promedio del viento	$5,5 \text{ m/s}$
$\Delta t$ : 1 hora	$12:00 \text{ m. a } 1:00 \text{ p.m.}$

Fuente: IDEAM (2020).

### 4.1.3. Datos calculados

En relación con los datos calculados, el coeficiente de transferencia de calor por convección es el valor que depende de la velocidad del viento y las condiciones de temperatura y presión en las que se encuentra.

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

Donde

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

$Nu$ : número de Nusselt.

$k$ : conductividad térmica del aire.

$L_c$ : longitud característica asumida.

El número de Nusselt es un valor adimensional que describe el aumento en la transferencia de calor sobre una superficie. Para la sección transversal rectangular y flujo cruzado es el siguiente:

$$Nu = 0,102Re^{0,675} * Pr^{1/3} \quad (2)$$

Donde

*Re*: número de Reynolds.

*Pr*: número de Prandtl.

El número de Reynolds es un valor adimensional que describe el comportamiento del flujo de aire sobre la superficie del bloque.

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

Donde

$\rho$ : densidad del aire.

*V*: velocidad del viento.

$\mu$ : viscosidad dinámica del aire.

Propiedades del aire a temperatura de 32 °C (Cengel, 2007):

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

$$k = 0,026102 \text{ W/m} \cdot \text{°C}.$$

$$\mu = 0,000018858 \text{ kg/ms}.$$

$$Pr = 0,72736.$$

Reemplazando los valores de las ecuaciones 3, 2 y 1 en orden, se obtiene como resultado un coeficiente de transferencia de calor por convección de  $h = 17,5154 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{°C}$  que se aplicará a la sección exterior de la geometría donde tiene efecto la velocidad del viento. Además, se asume una transferencia de calor por una convección natural de  $5 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{°C}$  y un flujo de calor de  $796,8 \text{ W/m}^2$ .

#### **4.1.4. Procedimiento CAE**

Cada simulación se resolvió en seis pasos, los cuales se describen a continuación:

1. Sistema de análisis: se realizó el esquema del proyecto conformado por Analysis System del tipo Steady State Thermal donde se trabajó de manera independiente con las geometrías asignando el material correspondiente de bloque y mortero.
2. Datos de ingeniería: se introdujeron las propiedades suministradas en la base de datos de ANSYS R16 utilizando el Engineering Data Source y se relacionaron con todos los Analysis System.

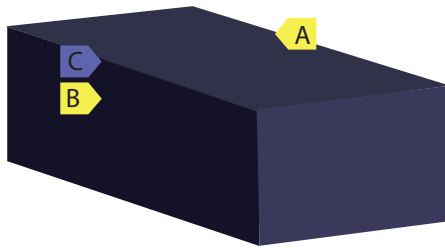
3. Geometría: se realizó la importación de las piezas en el Design Modeler y se optimizó la geometría de la superficie con corrección de caras y bordes.
4. Modelo: a partir de este paso, se trabajó en la interfaz Mechanical de ANSYS R16 realizando la asignación de material, bloque o mortero de cemento y configurando la malla para que utilice el tipo de preferencia física CFD y el solucionador Fluent.
5. Configuración: respecto a las condiciones a las que están sometidas todas las piezas en la cara frontal, se aplicaron las condiciones exteriores de viento y radiación solar directa, así como convección natural en la cara trasera del muro. Los valores empleados en las muestras se relacionan a continuación:

A: convección ( $5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

B: flujo de calor ( $695,4 \text{ W/m}^2$ ).

C: convección ( $17,5154 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

**Figura 59. Configuración**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

6. Solución: para el análisis de las configuraciones, se aplicaron las dos soluciones más relevantes: distribución de temperatura y flujo total de calor.

## 4.2. Resultados

Se reportaron los resultados de perfiles de distribución de temperatura y flujo total de calor evaluando 12 muestras de las diferentes tipologías de bloques, ladrillos y calados más representativos del mercado local de la cerámica en condiciones ambientales típicas de San José de Cúcuta con relación a la forma y a las dimensiones de las unidades constructivas en sistemas de mampostería estándar.

### 4.2.1. Bloques

Se compararon en total seis tipologías de piezas tipo bloque cerámico evaluando en una primera etapa los productos bloque H7, bloque H10-A y bloque H15 con relación a la influencia de los espesores de las muestras 70 mm, 100 mm y 150 mm respectivamente. Así mismo, se consideró la diferencia entre el número de



cavidades de aire, tres cámaras internas en H7, seis cavidades en H10-A y nueve perforaciones horizontales en H15 en la transferencia de calor de los productos.

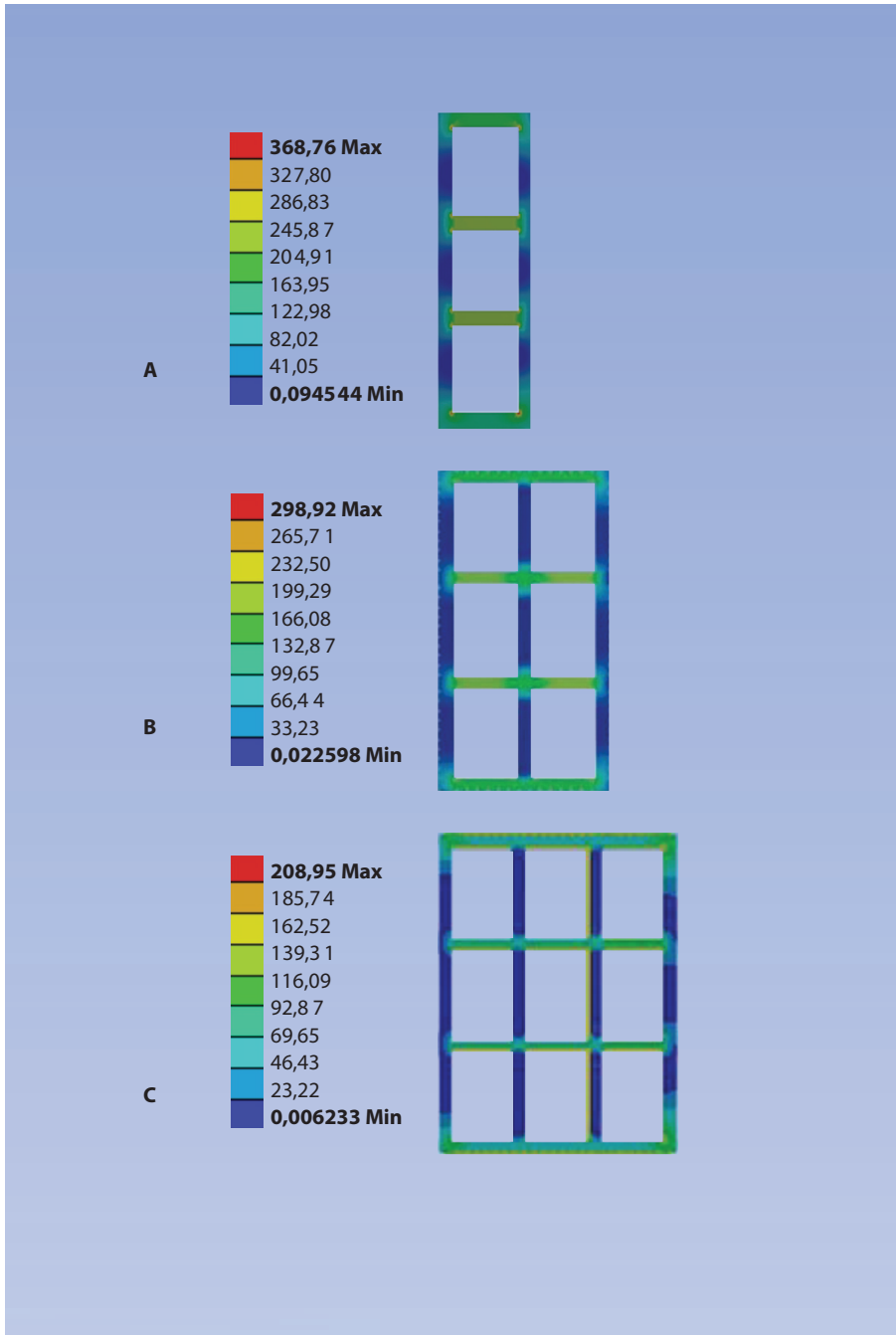
Ahora bien, en una segunda muestra se evaluaron las tres variaciones de producto que presenta el bloque cerámico H10-A con diferentes formas en tabiques y número de cavidades conservando como espesor 100 mm en todas las muestras. El proceso se realizó para determinar el comportamiento térmico de las diferentes formas de las cavidades internas de las piezas que hacen parte del mercado cerámico: el bloque de ocho cavidades rectangulares H10-B, el bloque de ocho cavidades circulares H10-C y el bloque mixto de cuatro cavidades rectangulares y dos cavidades circulares H10-D; y, asimismo, para establecer la influencia que ejercen las características de la estructura interna sobre la temperatura final de las piezas.

Los resultados de las simulaciones térmicas permiten un análisis comparativo de los flujos de calor en las diferentes formas geométricas de la estructura interna de las piezas, determinando los vértices que muestran mayores concentraciones de energía en paredes y tabiques de cada producto. Así mismo, permiten establecer un perfil de distribución de temperatura en la superficie final de las muestras, datos que contribuyen al establecimiento de modelos térmicamente viables para envolventes en climas cálidos.

#### **4.2.1.1. Flujo de calor**

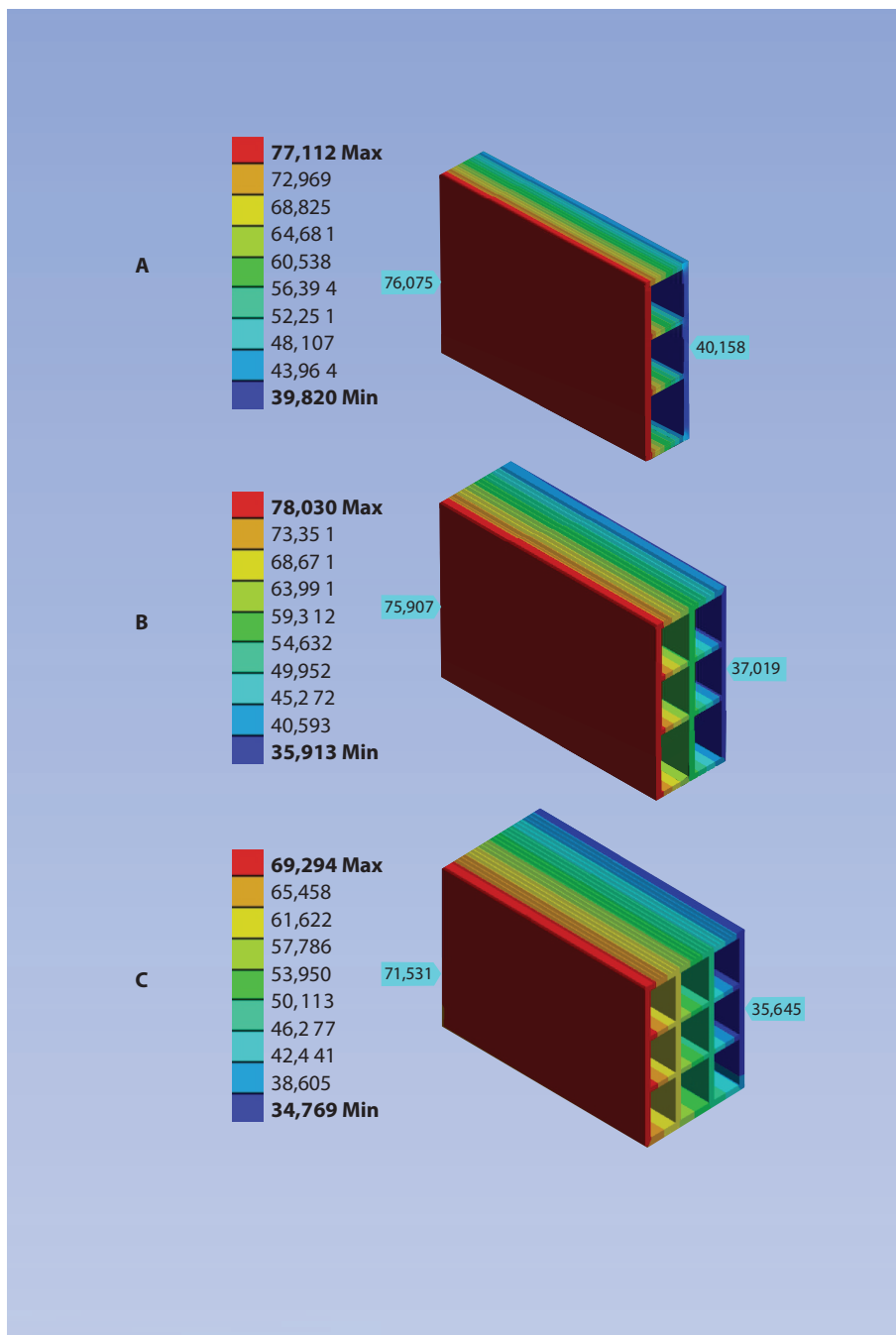
En la Figura 60 y en la Figura 61 se exponen los resultados iniciales del flujo de energía en las diferentes muestras. Allí se evidencia la función de los tabiques horizontales como puentes térmicos conductores de calor directo entre las superficies S1 y S2, además de la influencia de la forma, el número de puentes térmicos y cavidades con cámaras de aire de los productos sobre la energía acumulada en la estructura interna y los valores de temperatura en S2.

Figura 60. Resultados del flujo de calor de los productos a) H7, b) H10-A y c) H15



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Figura 61. Resultados de flujo de calor de los productos a) H10-B, b) H10-C y c) H10-D**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Al comparar los diferentes espesores de bloques cerámicos, se establecen energías finales sobre la superficie S2 de 41,05 W/m<sup>2</sup> en la muestra H7, un flujo de calor de 33,23 W/m<sup>2</sup> en un producto H10-A y 23,22 W/m<sup>2</sup> en la pieza H15, perfiles concentrados sobre la conexión con tabiques como fuentes de calor. Las reducciones en los resultados son proporcionales a una relación donde a mayor distancia recorrida se considera una mayor pérdida de energía entre S1 y S2. En cuanto a las variaciones de H10-A, las muestras presentan un calor acumulado en S2 de 28,35 W/m<sup>2</sup> en H10-B, 36,51 W/m<sup>2</sup> en H10-C y 36,84 W/m<sup>2</sup> en H10-D donde las dos últimas piezas evidencian perfiles de calor más altos asociados al uso de formas circulares dentro de su estructura interna.

**Tabla 25. Resultados de flujo de calor en las diferentes formas de tabiques de bloques cerámicos**

Producto	Forma	H10-B	H10-C	H10-D
Flujo de calor promedio en tabiques (W/m <sup>2</sup> )	Rectangular	140,7	141,6	
	Circular		176,5	171,8

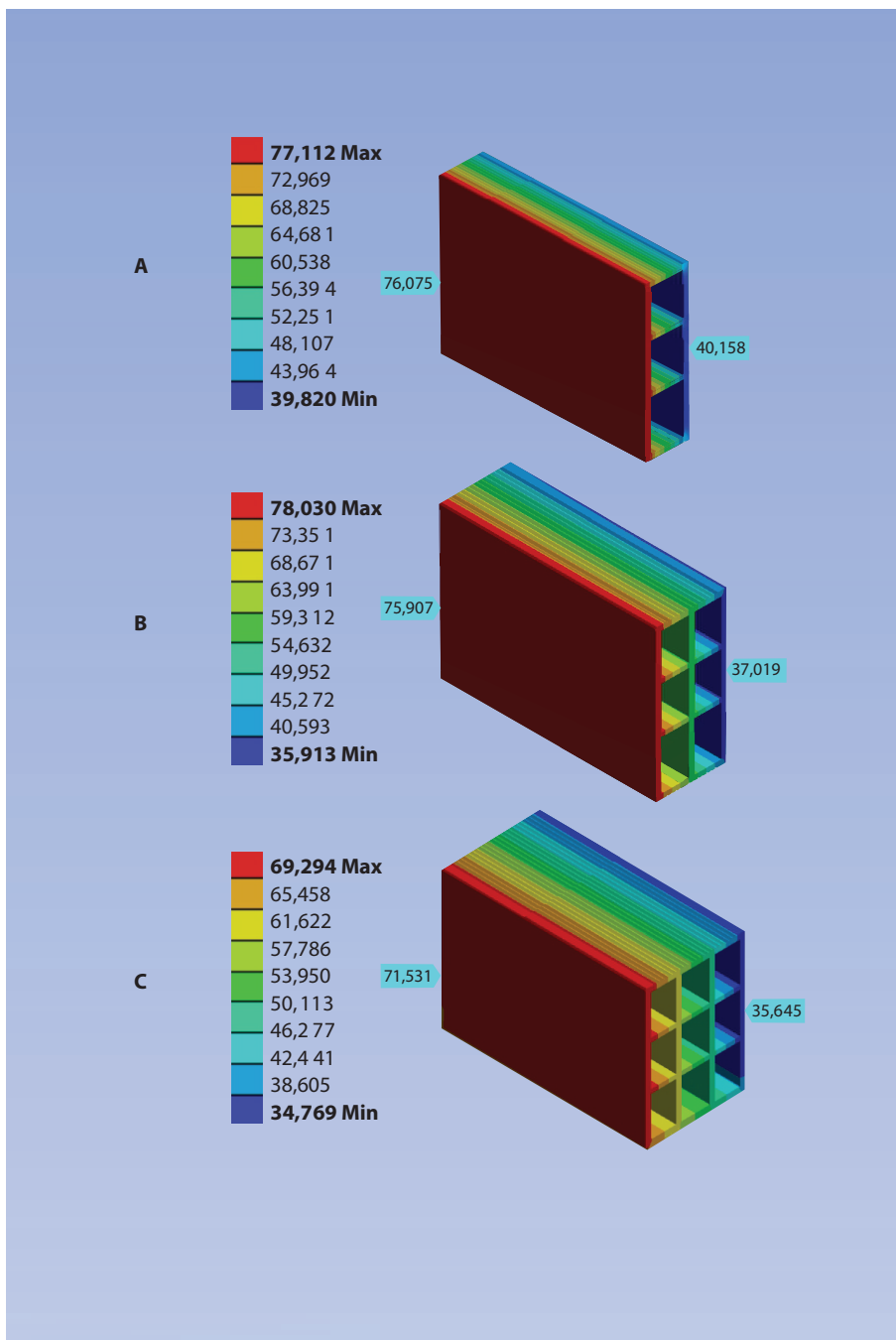
Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Al comparar la forma de los tabiques, en las geometrías rectangulares se encuentra un flujo de calor de 149,0 W/m<sup>2</sup> en promedio, mientras que en las formas circulares se presentan en promedio 174,1 W/m<sup>2</sup>, diferencias poco significativas por lo demás. Las piezas H7, H10-A y H15 contienen cuatro puentes térmicos (tabiques) y H10-B, H10-C y H10-D cinco recorridos directos de calor, lo que establece una fuente adicional de energía. En promedio, la carga térmica sobre la S2 de aquellas piezas que contienen cuatro tabiques es de 32,50W/m<sup>2</sup> en promedio y de 81,04 W/m<sup>2</sup> en promedio con muestras con cinco tabiques, observando porcentajes más altos en H10-C y H10-D al presentar menor contacto con cámara de aire. Esto podría disminuir la transferencia térmica y aumentar el calor final transferido en las piezas con valores promedio de 100 W/m<sup>2</sup>. En cuanto a geometrías como H10-A y H10-B, es de anotar que pese a tener diferencias en el número de puentes térmicos, estas presentan una mayor área expuesta a cámara de aire y, por lo tanto, evidencian flujos de calor en la superficie final más próximos a 30 W/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.1.2. Distribución de temperatura

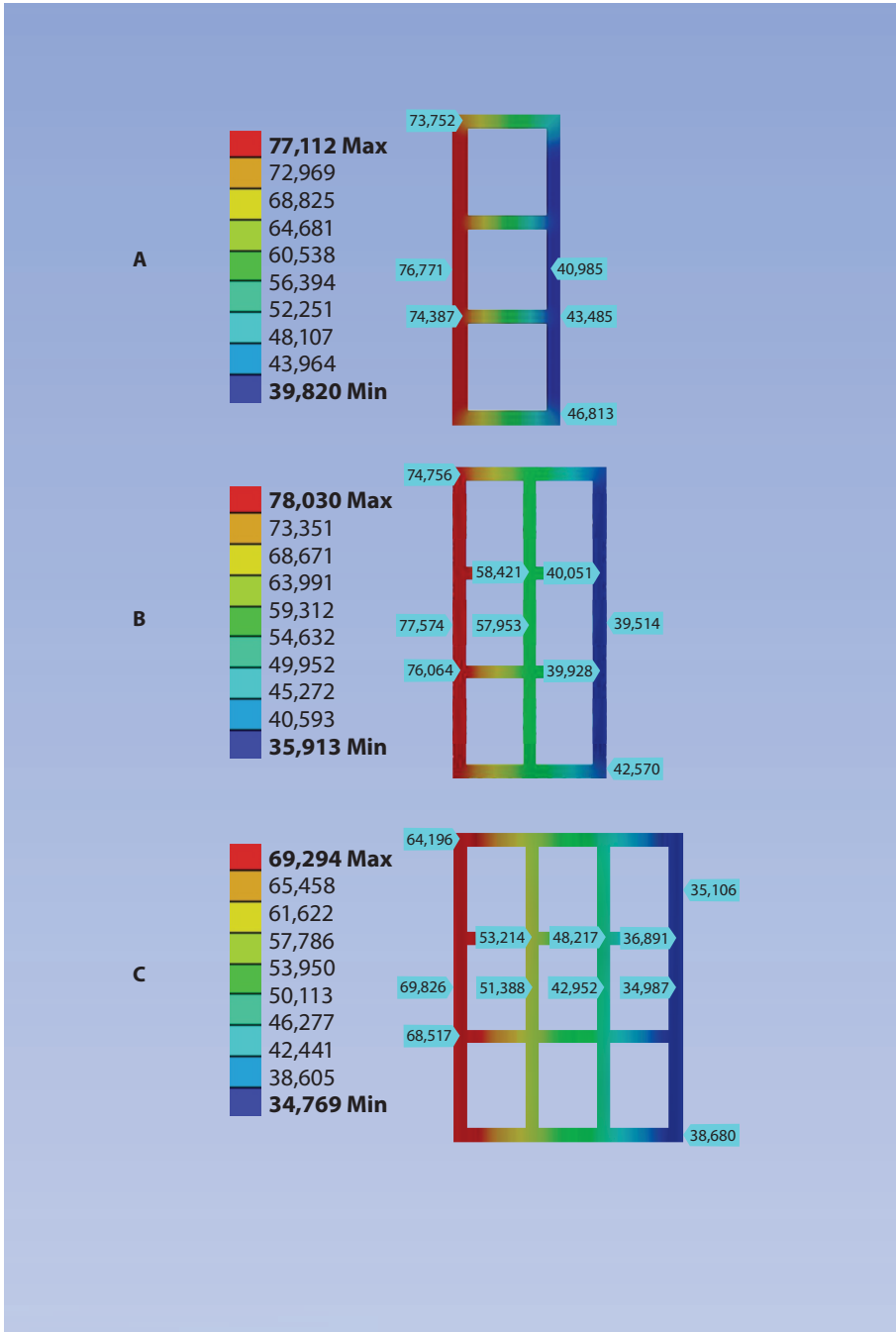
Los resultados de perfiles de temperatura de las muestras se relacionan a continuación (ver Figura 62 y Figura 63).

**Figura 62. Resultados de distribución de temperatura de los productos a) H7, b) H10-A y c) H15**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Figura 63. Resultados de distribución de temperatura en puentes térmicos de las piezas a) H7, b) H10-A y c) H15**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Al evaluar de forma comparativa las piezas constructivas H7, H10-A y H15, se encuentra un mejor comportamiento térmico en el producto H15 con una temperatura final transferida de 36,24 °C en promedio al registrar temperaturas en puentes térmicos formados por tabiques de 36,89 °C y 34,98 °C en paredes presididas por cámaras de aire. Por otro lado, los bloques H10-A, con una temperatura en superficie final de 35,91 °C, muestran una energía distribuida en tabiques horizontales de 39,92 °C y en paredes que atraviesan cámaras de aire de 38,51 °C. Finalmente, el bloque H7, cuyas características permiten una mayor transmitancia térmica, presenta 39,82 °C de calor en la S2 de la pieza asociada a un menor espesor y número de paredes entre S1-S2, así como una disminución en el porcentaje de aire en la muestra con temperaturas promedio en tabiques de 43,48 °C.

**Tabla 26. Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2**

Temperatura en °C	H7	H10-A	H15
Máxima en S1	77,11 °C	78,03 °C	69,29 °C
Mínima en S2	39,82 °C	35,91 °C	34,76 °C
Promedio en S1	77,07 °C	75,90 °C	71,53 °C
Promedio en S2	40,82 °C	37,91 °C	36,24 °C

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Los perfiles de distribución de temperatura muestran valores promedio más altos en aquellas piezas que contienen formas internas circulares. Así, productos como H10-D, que contiene formas mixtas, presenta temperaturas de 39,56 °C en promedio, mientras que H10-C, cuyas cavidades internas son completamente curvas, muestra registros de hasta 42,33 °C en promedio.

**Tabla 27. Resultados de distribución de temperatura en tabiques y paredes**

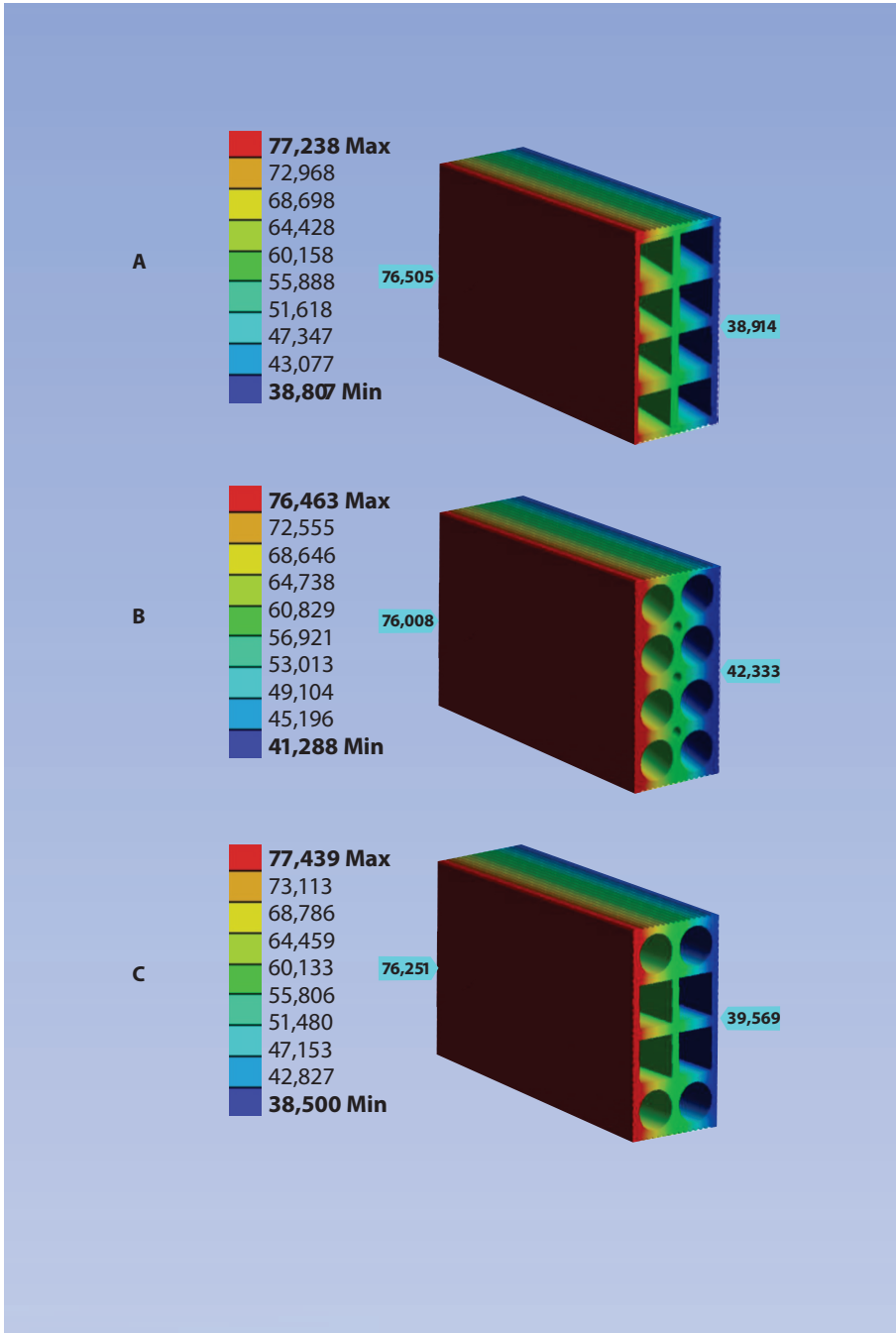
Temperatura en °C		H7	H10-A	H15
PT-Tabiques	Máxima	74,38 °C	76,06 °C	68,51 °C
	Mínima	43,48 °C	39,92 °C	36,89 °C
PT-Paredes	Máxima	76,77 °C	77,57 °C	69,82 °C
	Mínima	40,98 °C	39,51 °C	34,98 °C

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El producto H10-B, con paredes y tabiques ortogonales, presenta el mejor comportamiento térmico entre las segundas muestras con unas temperaturas finales de 38,91 °C. Al comparar los resultados de H10-A, H10-B, con un puente térmico adicional, muestra un aumento de la temperatura final de 1 °C aproximadamente, 1,65 °C respecto a H10-D y hasta 4,42 °C respecto a H10-C.

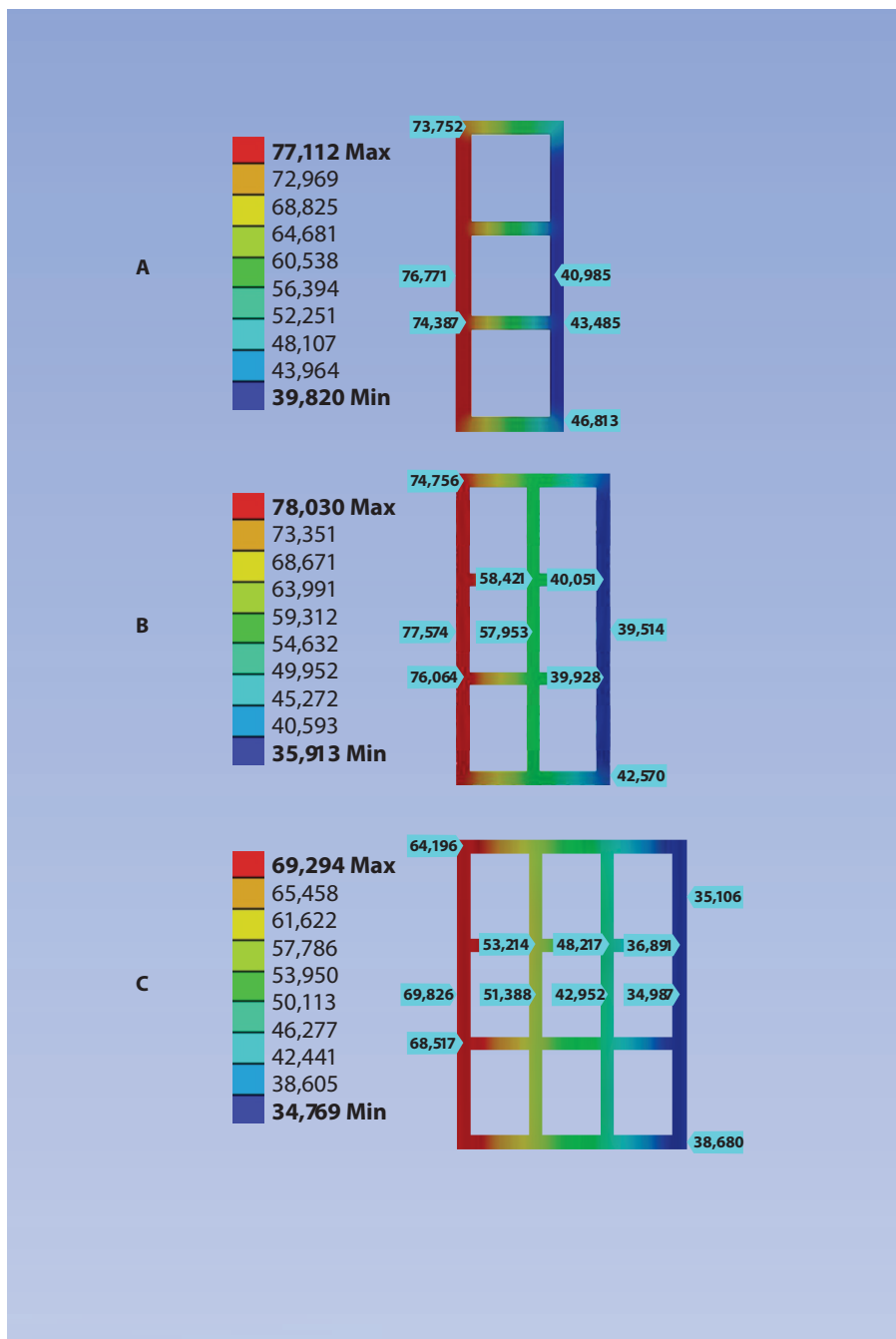


**Figura 64. Resultados de distribución de temperatura en productos a) H10-B, b) H10-C y c) H10-D**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Figura 65. Resultados de distribución de temperatura en puentes térmicos de las piezas a) H10-B, b) H10-C y c) H10-D**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Tabla 28. Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2**

Temperatura en °C	H10-B	H10-C	H10-D
Máxima en S1	77,23 °C	76,46 °C	77,43 °C
Mínima en S2	38,80 °C	41,28 °C	38,50 °C
Promedio en S1	76,50 °C	76,00 °C	76,25 °C
Promedio en S2	38,91 °C	42,33 °C	39,56 °C

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Se puede observar que las piezas H10-C y H10-D, que contienen cavidades cilíndricas, pueden presentar temperaturas entre 1 °C y 2 °C por encima de una pieza H10-B en las condiciones térmicas finales del recorrido de los tabiques. Si se analizan los recorridos atravesando la pared inicial, la cámara de aire, la pared intermedia y la temperatura final de la pared interna, los resultados pueden ser mayores a 2,5 °C en todos los modelos diferentes a las muestras H10-A y H10-B.

**Tabla 29. Resultados de distribución de temperatura en tabiques y paredes**

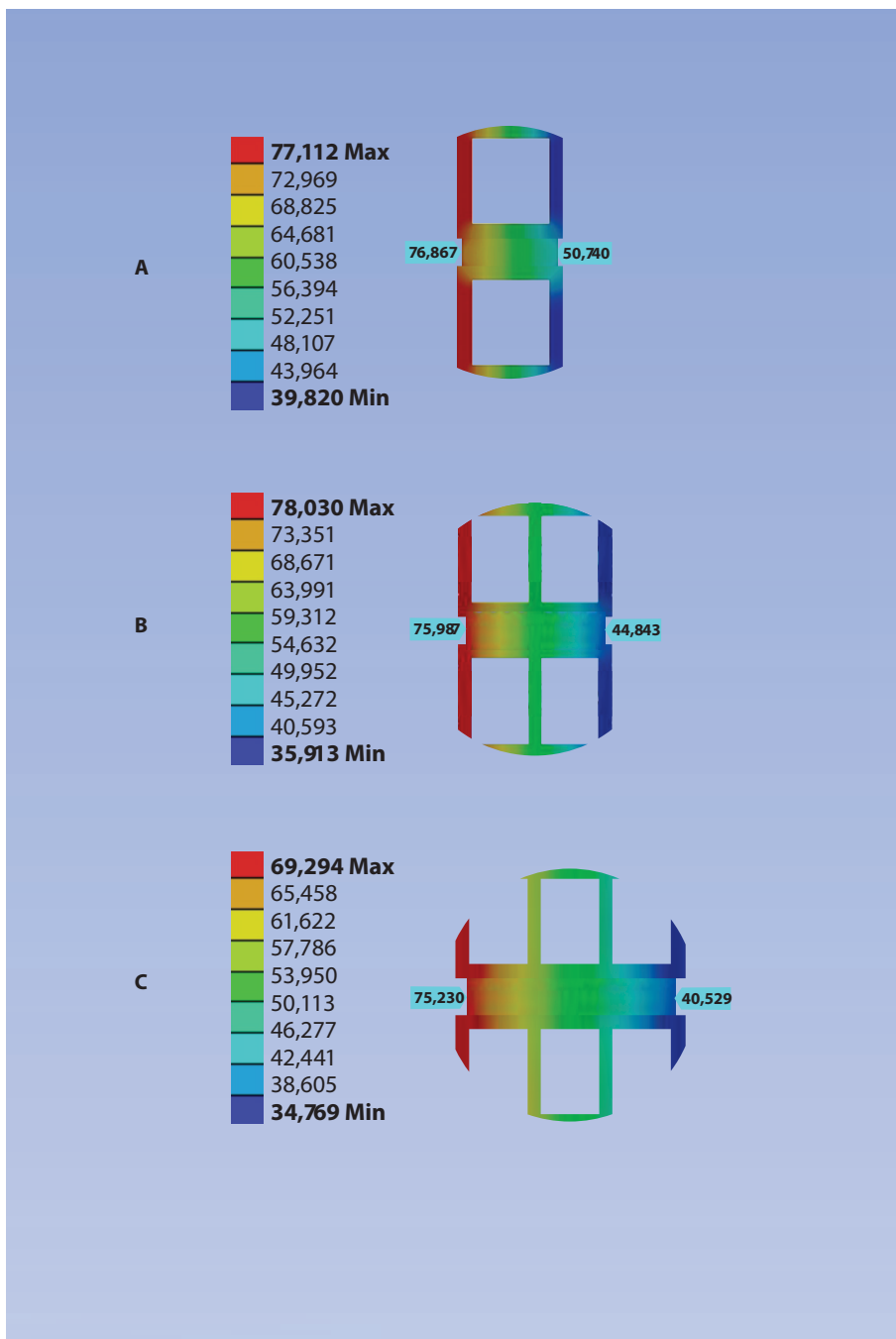
Temperatura en °C		H10-B	H10-C	H10-D	
		Rectangular	Circular	Rectangular	Circular
PT-Tabiques	Máxima	75,00 °C	74,96 °C	75,00 °C	75,07
	Mínima	41,04 °C	43,25 °C	41,32 °C	42,10
PT-Paredes	Máxima	77,06 °C	76,24 °C	77,34 °C	76,18
	Mínima	39,16 °C	41,73 °C	38,74 °C	41,23

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

#### 4.2.1.3. Análisis térmico del sistema constructivo con bloque cerámico

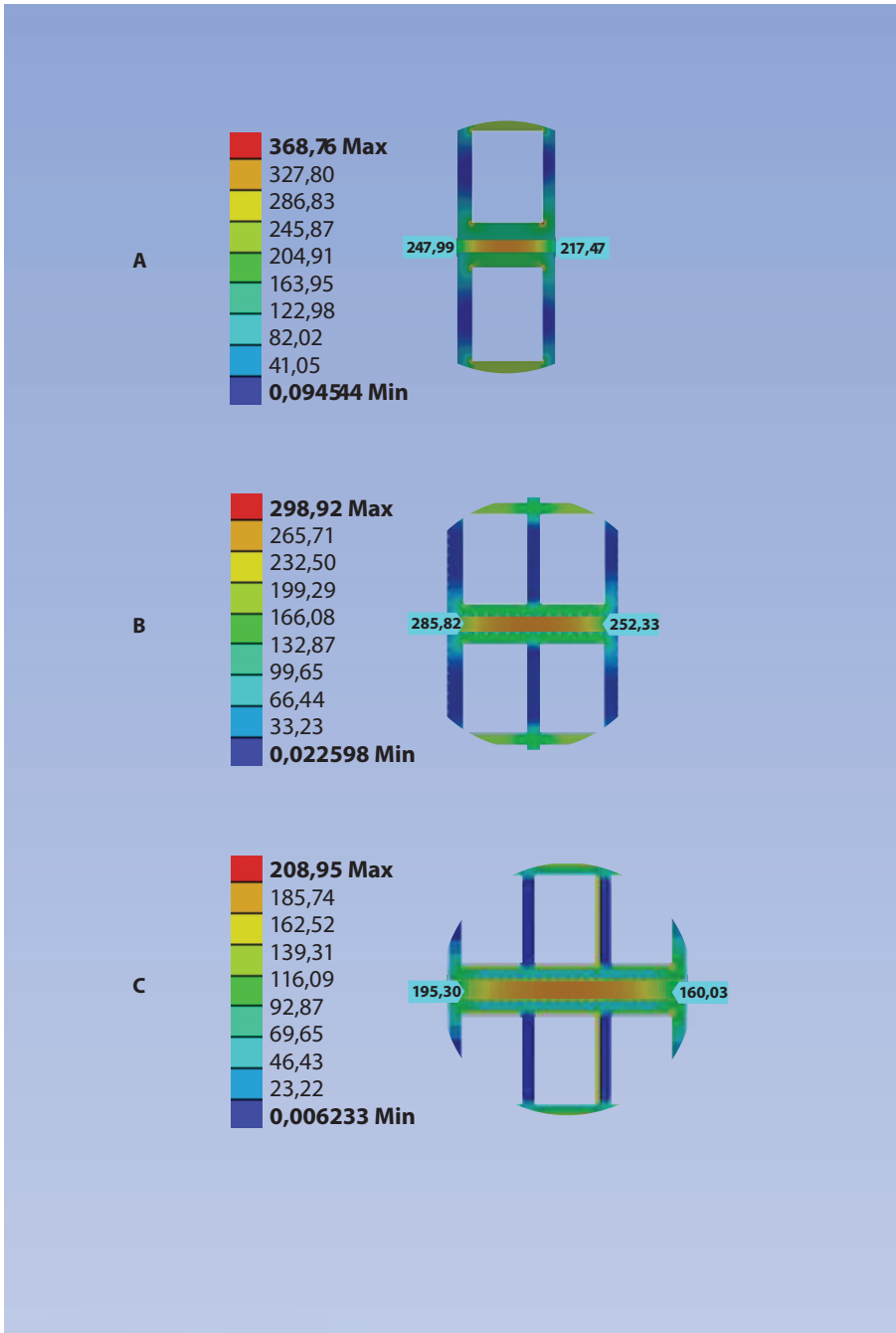
El comportamiento térmico que presenta el puente térmico formado por la junta de mortero muestra un valor incremental inversamente proporcional a la distancia recorrida entre S1 y S2, donde un producto de 70 mm de espesor presenta temperaturas finales de 50,74 °C, un producto de 100 mm de espesor transfiere temperaturas de 44,84 °C en promedio en todas sus presentaciones y una pieza de características H15 consigue una transmitancia térmica de 40,52 °C. Ninguna de las muestras tipo bloque cerámico presenta una solución en el sistema constructivo que evite la formación de puentes térmicos, de modo que el planteamiento de nuevos modelos de diseño debe contemplar la implementación de formas geométricas que eviten una transición directa de la energía, un mayor espesor y un incremento en el número de paredes internas entre la S1 y la S2.

Figura 66. Comportamiento térmico de la junta de mortero en formatos a) H7, b) H10-A y c) H15



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Figura 67. Resultados de flujo de calor en puentes térmicos de las piezas a) H7, b) H10-A y c) H15



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

#### 4.2.1.4. Evaluación del desempeño térmico en bloques cerámicos

Un aspecto que puede resultar de interés en la selección de materiales para la construcción de mampostería en la zona de influencia de las empresas cerámicas de la región de Norte de Santander es el comportamiento térmico de las piezas que edifican estos cerramientos. Esta investigación ha determinado la influencia de las formas interiores de las unidades constructivas cerámicas sobre el calor transferido a las superficies finales de la envolvente para bloques cerámicos de mampostería y, en esa vía, se encontraron resultados que establecen un mejor comportamiento térmico en la pieza H15 como aquella que, por sus características físicas de cavidades rectangulares, menor cantidad de puentes térmicos, espesor y buen porcentaje de aire respecto a masa cerámica consigue mejores resultados de desempeño térmico para un clima cálido tropical.

Por otro lado, las evaluaciones térmicas por método de elementos finitos permitieron encontrar que, al utilizar productos de entre 70 y 100 mm de espesor que contengan tres y cuatro tabiques, la temperatura final no disminuirá por debajo de 40,82 °C en promedio, características con el peor comportamiento térmico. Así mismo, productos con 100 mm son piezas viables si contienen menos de tres tabiques y están conformadas por formas ortogonales. Sin embargo, se requiere rediseñar su forma interna de manera que sea posible evitar la conformación de puentes térmicos directos. Ahora bien, cabe resaltar que en su forma tradicional las muestras consiguen temperaturas alrededor de 38,4 °C, por tanto, el bloque H15, que es una pieza de nueve cavidades de aire, tres puentes térmicos, cuatro paredes internas y 150 mm de espesor, resulta ser el producto tipo bloque cerámico que genera una menor carga térmica sobre la superficie final con 36,24 °C, pues sus dimensiones y formas permiten una resistencia térmica efectiva. No obstante, es necesario solucionar la forma de sus tabiques y las uniones con mortero con el fin de evitar la transmisión de energía directa.

En ese sentido, la muestra bloque H15 es el producto con el mejor comportamiento térmico en su estado tradicional, por lo que resulta ser la pieza más viable respecto a las opciones disponibles para las construcciones locales por cuanto muestra temperaturas 4 °C por debajo de los demás productos de su tipología, seguida por la pieza bloque H10-A, una unidad constructiva de bajo costo y dimensiones funcionales con un comportamiento térmico favorable al presentar temperaturas 2,8 °C por debajo de las muestras que presentan 100 mm de espesor.

#### 4.2.2. Ladrillos

Como objeto de estudio se tomaron las cuatro tipologías de ladrillo cerámico más comunes para realizar análisis del comportamiento térmico de las piezas. Se evaluó la influencia que ejerce el porcentaje de masa, la forma del puente térmico y el

porcentaje de aire en las cavidades internas, además del espesor en la transferencia de calor desde la superficie S1 hasta la superficie S2 en las muestras estudiadas.

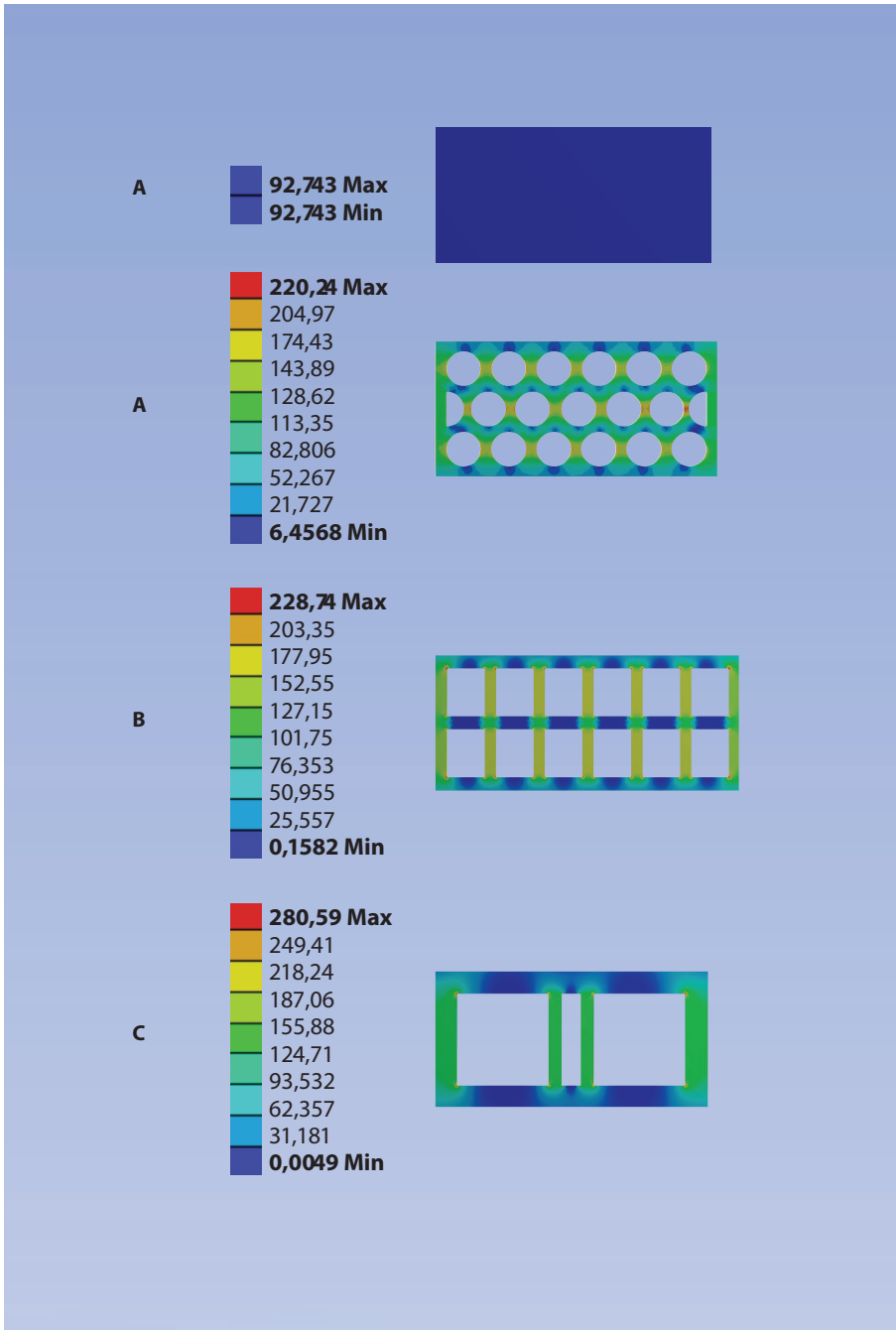
Se estudió la estructura interna de los modelos L-1, L-2, L-3 y L-4 comparando dentro de la oferta de mercado la pieza L-1 como un tipo de ladrillo macizo que no presenta ninguna perforación interna y que posee 110 mm de espesor, el ladrillo multiperforado L-2 de 120 mm de espesor y 19 cavidades circulares verticales, siendo el producto más demandado dentro de su tipología, mientras que la pieza L-3 es un tipo de ladrillo perforado que presenta 12 cavidades rectangulares y 100 mm de espesor y el bloque estructural L-4 como una pieza tipo ladrillo de 120 mm de espesor y con tres cavidades verticales: una rectangular central y dos cuadradas laterales con gran capacidad de aire.

#### **4.2.2.1. Flujo de calor**

En la Figura 68 se exponen los resultados iniciales del flujo de energía en las muestras. Se puede observar que la muestra L-1, una pieza formada por 100 % arcilla, presenta un flujo de calor constante de  $92,74 \text{ W/m}^2$ , mientras que la pieza L-2 no muestra perfiles de calor acumulado por debajo de  $6,45 \text{ W/m}^2$ , siendo que los puentes térmicos circulares que conectan S1 con S2 presentan en su interior una constante de  $159,16 \text{ W/m}^2$  en promedio, y condiciones de calor en S2 no menores a  $52,26 \text{ W/m}^2$ . En el caso de L-3, con formas internas rectas desde S1 a S2, sus tabiques muestran un flujo de calor de  $152 \text{ W/m}^2$  y de  $50,95 \text{ W/m}^2$  en la superficie S2.

Respecto a la pieza L-4, con características de resistencia térmica derivadas de tres puentes térmicos y un buen porcentaje de aire frente a masa, su superficie S2 presenta el flujo de calor más bajo con  $46,76 \text{ W/m}^2$  y  $124,70 \text{ W/m}^2$  en puentes térmicos, por lo que es una estructura que presenta ventajas formales en comparación con las demás tipologías de ladrillo cerámico tradicional.

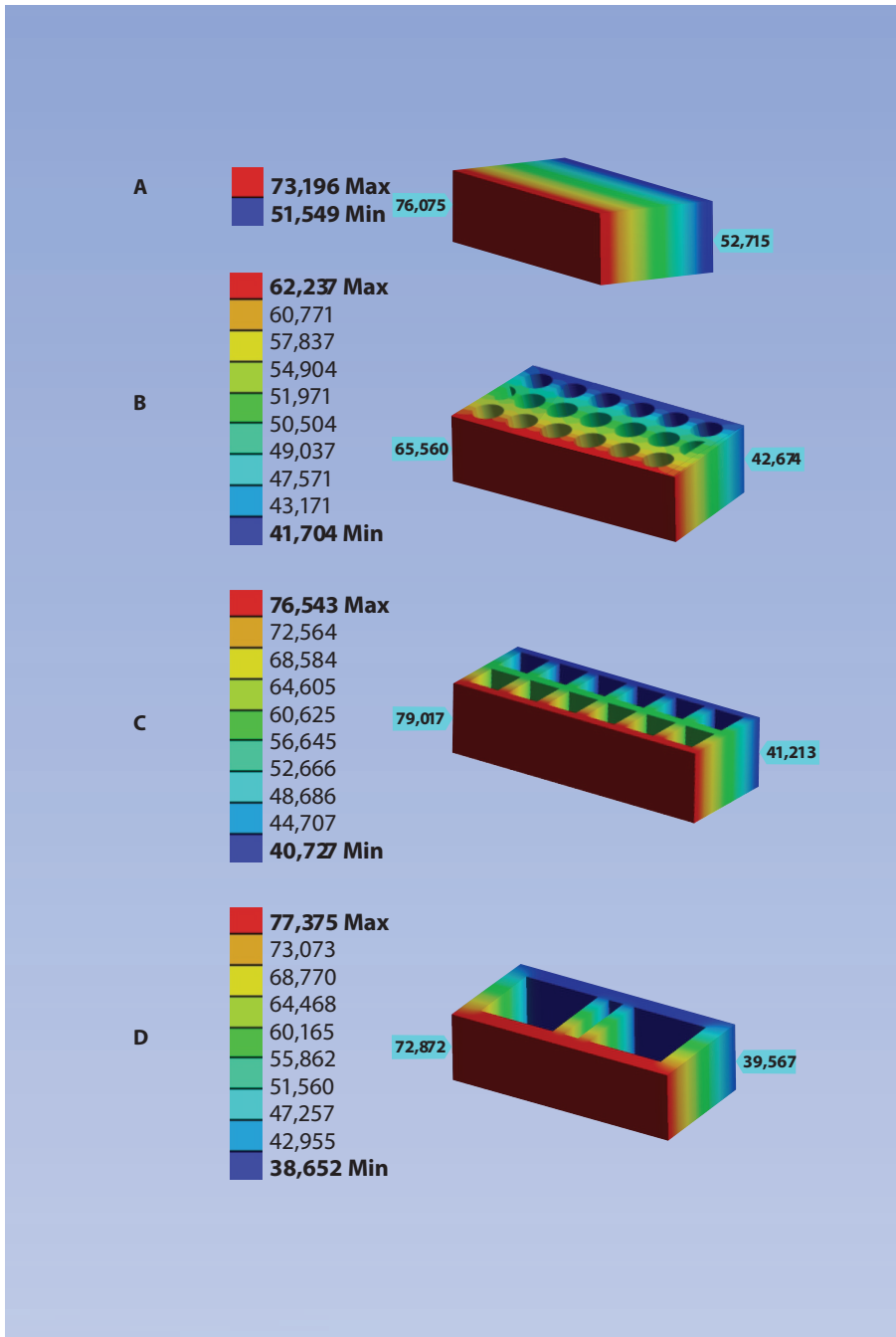
**Figura 68. Resultados del flujo de calor de los productos a) L-1, b) L-2, c) L-3 y d) L-4**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).



**Figura 69. Resultados de distribución de temperatura de los productos a) L-1, b) L-2, c) L-3 y d) L-4**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

#### 4.2.2.2. Distribución de temperatura

El producto L-1, de 100 % masa cerámica, uniforme en superficie y volumen y sin cámaras de aire internas es la pieza que, por tanto, presenta los perfiles de calor más altos dadas sus características físicas que alcanzan 51,5°C en la superficie interna de la pieza bajo condiciones de temperatura exterior de 32°C.

**Tabla 30. Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2 de L-2, L-3 y L-4**

Temperatura en °C	L-2	L-3	L-4
Máxima en S1	62,23 °C	76,54 °C	77,37 °C
Mínima en S2	41,70 °C	40,72 °C	38,65 °C
Promedio en S1	65,56 °C	79,01 °C	72,87 °C
Promedio en S2	42,67 °C	41,21 °C	39,58 °C

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

La Tabla 30 presenta los resultados de distribución de temperatura en las superficies S1 y S2 de las diferentes tipologías de ladrillo, donde L-4 demuestra un mejor comportamiento térmico con un perfil de temperatura sobre la superficie final de 39,58°C, es decir, una reducción de entre 3,09°C y 1,63°C frente a los ladrillos L-2 y L-3 respectivamente. Por otra parte, los modelos presentan una resistencia térmica asociada a las diferencias entre el número y el área de cavidades de aire internas en donde se evidencia que a mayor capacidad de aire y menor número de paredes internas se presenta una menor temperatura transferida, siendo L-4 con dos cavidades internas y un único puente térmico el producto con mejor comportamiento.

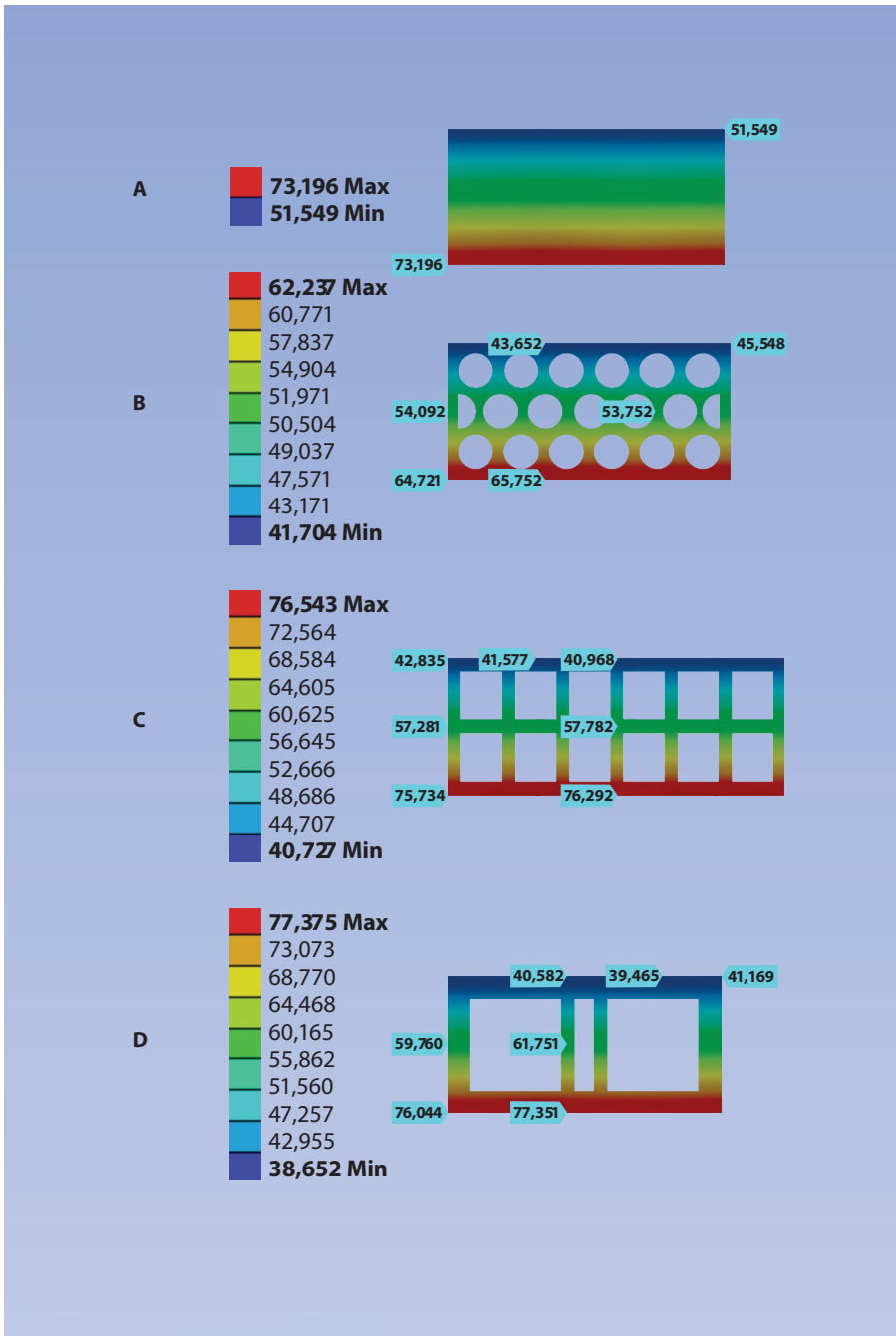
**Tabla 31. Resultados de distribución de temperatura en tabiques y paredes de L-2, L-3 y L-4**

Temperatura en °C		L-2	L-3	L-4
PT-Tabiques	Máxima	64,72 °C	75,73 °C	76,00 °C
	Mínima	45,54 °C	42,83 °C	41,16 °C
PT-Paredes	Máxima	65,75 °C	76,29 °C	77,35 °C
	Mínima	43,65 °C	40,96 °C	39,46 °C

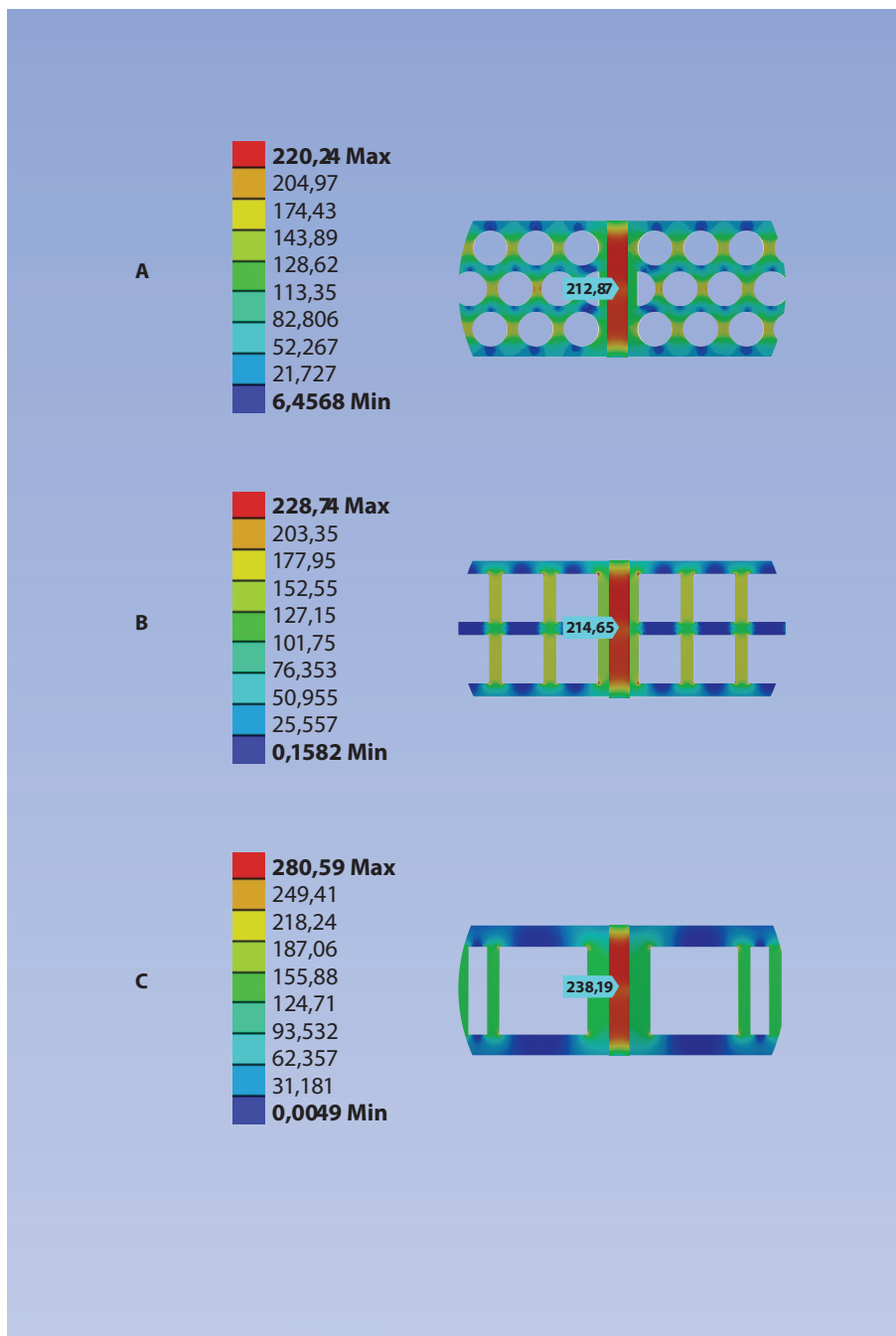
Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Respecto a la temperatura sobre las superficies formadas por tabiques y paredes, L-4 refleja la menor carga térmica con 41,16°C en promedio sobre tabiques y 39,46°C en paredes conectadas a cámaras de aire, una diferencia de hasta 4,20°C en promedio respecto a L-2 que contiene 19 cavidades de forma cilíndrica, y de 1,5°C en comparación con paredes y tabiques de L-3. Los resultados permiten establecer una oportunidad de desarrollo en la pieza L-4 con una temperatura final competitiva entre las muestras.

**Figura 70. Resultados de distribución de temperatura en puentes térmicos de las piezas a) L-1, b) L-2, c) L-3 y d) L-4**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Figura 71. Comportamiento térmico de la junta de mortero en formatos a) L-1, b) L-2, c) L-3 y d) L-4**

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

#### **4.2.2.3. Análisis térmico del sistema constructivo con ladrillo cerámico**

El espesor de las piezas no varía entre los 100-120 mm, por tanto, la diferencia en el perfil de distribución de temperatura del puente térmico formado por la junta constructiva es mínima entre las muestras (de 57,26°C en promedio). Por otro lado, ninguna de estas formas plantea una solución para evitar que el calor se transfiera por la alta conductividad térmica del mortero dentro del sistema constructivo.

#### **4.2.2.4. Evaluación del desempeño térmico en ladrillos cerámicos**

Los resultados muestran que los productos tradicionales tipo ladrillo no funcionan térmicamente para el clima local en tanto registran temperaturas finales mínimas de hasta 51,54°C como la pieza L-1, por lo que aporta altas cargas térmicas por transferencia de calor en los cerramientos. Entretanto, los productos L-2 y L-3 presentan comportamientos térmicos similares con temperaturas finales promedio de 41,2°C considerando características similares en número de paredes y tabiques, sin embargo, L-2 registra temperaturas más altas al contener formas circulares que permiten una mejor transferencia de calor.

En cuanto a la pieza L-4, con mejores características formales, presenta el mejor comportamiento térmico entre todas las muestras con una temperatura final transferida de 38,65°C cuyas dimensiones en cavidades de aire le otorgan mayores ventajas respecto a otros modelos de pieza, lo que permite una mayor resistencia térmica al flujo de calor.

Por último, es de anotar que los datos analizados pueden servir de base para la correcta selección de materiales, así como para la definición de lineamientos en el desarrollo de nuevos productos que puedan contribuir efectivamente a la mitigación de condiciones climáticas de alta temperatura al considerar principalmente una mayor proporción de aire en el área de las cavidades internas, un aumento de espesor y una estrategia que utilice formas disipadoras en puentes térmicos.

### **4.2.3. Calados**

Al reinterpretar la disposición constructiva de los productos tipo calados, se evaluó su función y sus ventajas geométricas para generar resistencia térmica dentro de un sistema cerrado de mampostería construido con productos C-1 con cinco cámaras de aire internas, tabiques discontinuos entre la cara externa y la cara interna de la pieza, así como un espesor de 200 mm, además de C-2 con nueve cavidades de aire verticales compuestas por geometrías rectas y curvas sin conexión entre S1 y S2.

#### **4.2.3.1. Flujo de calor y distribución de temperatura**

En la pieza C-1, los puentes térmicos formados por tabiques laterales que inician con forma lineal continua desde la cara exterior se ven interrumpidos por una

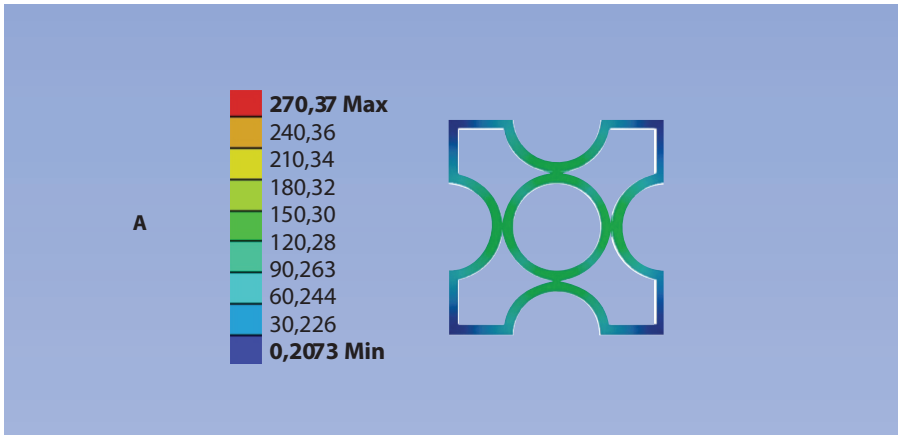
forma cóncava semicircular que obstruye el paso directo de calor, lo que aumenta la distancia que debe recorrer el calor que, a su vez, genera una pérdida de energía transferida. Así mismo, esta forma circular crea una cámara de aire que interrumpe el puente térmico formado por la junta de mortero, es decir, al segmentar la aplicación del mortero en dos tramos, esta ruptura evita la transmitancia térmica directa a través de la pieza y el sistema constructivo de mampostería.

De igual modo, en los perfiles de distribución de energía se puede observar un valor de temperatura transferida promedio a la cara interna de la pieza de  $34,7^{\circ}\text{C}$  y  $35,8^{\circ}\text{C}$  en el perfil de distribución de temperatura del mortero de cemento.

Así mismo, en la superficie inicial se pueden encontrar dos perfiles de temperatura distintos: en la cara recta inicial, sometida a radiación directa, la temperatura registra  $78,1^{\circ}\text{C}$  en promedio y en la cara central, de forma cóncava, una temperatura de  $74,8^{\circ}\text{C}$ . Por tanto, una forma irregular que disminuya el área de la superficie sometida a exposición de calor directa puede mejorar el comportamiento térmico de la pieza.

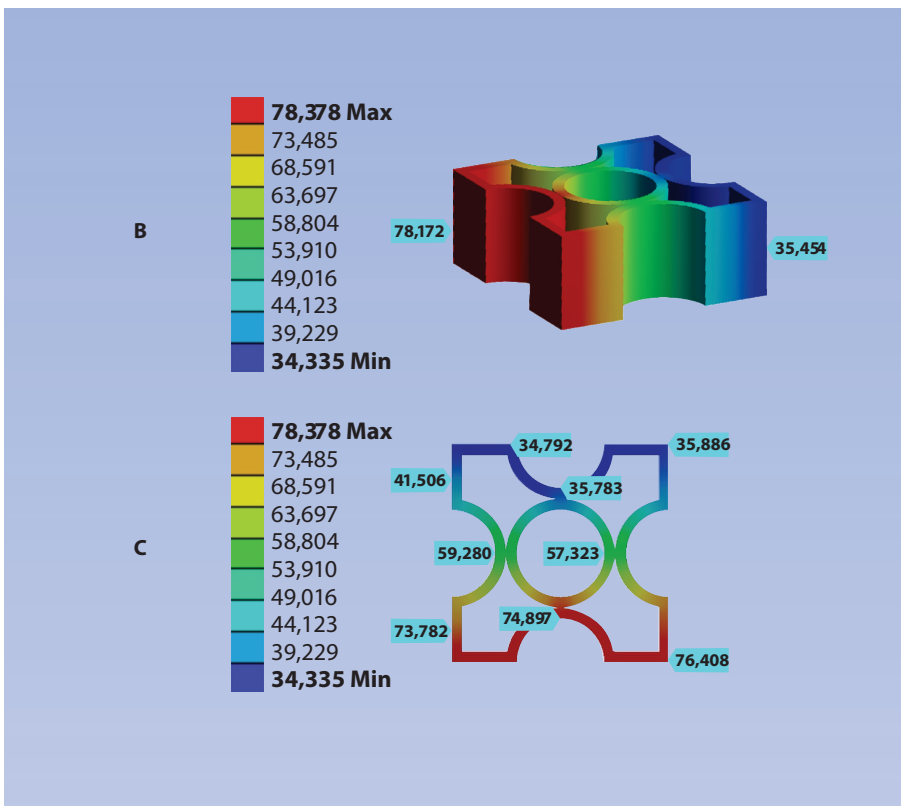
Además, el flujo de calor en C-1 es de  $75,04\text{ W/m}^2$  en promedio con mayores concentraciones sobre la pared lateral en contacto con el mortero con  $150,45\text{ W/m}^2$  en promedio y  $195,87\text{ W/m}^2$  en puentes térmicos.

**Figura 72. Resultados del flujo de calor de los productos tipo calado a) C-1**



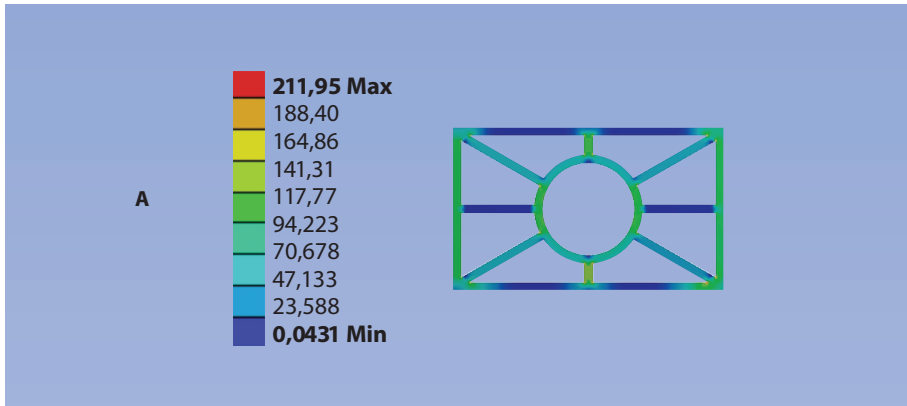
Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Figura 73. Resultados de distribución de temperatura de los productos tipo calado a) C-1**



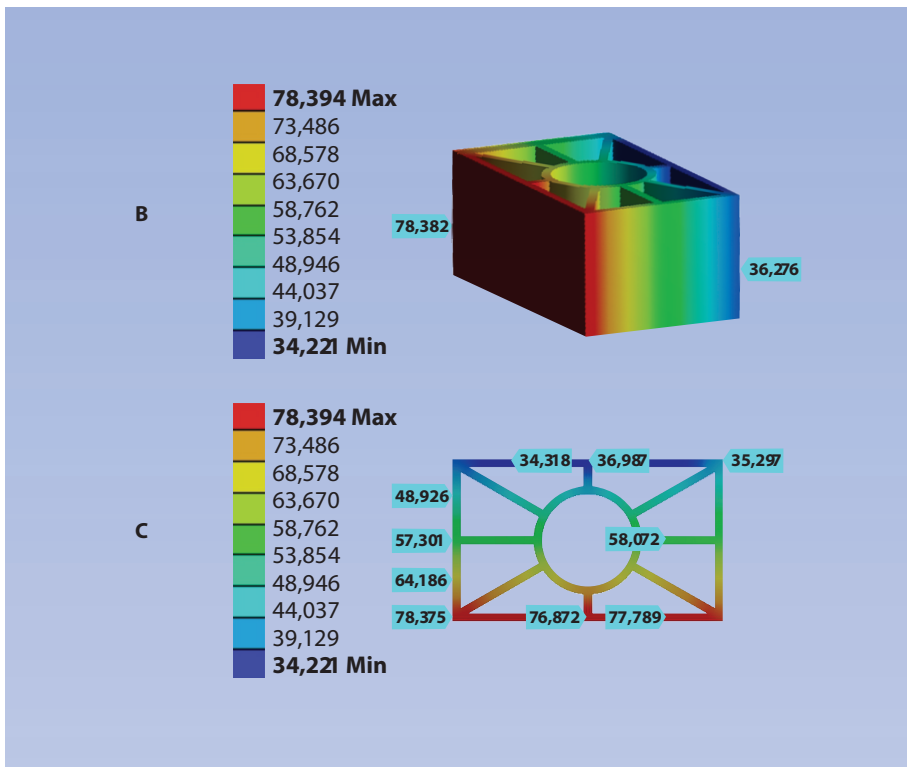
Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Figura 74. Resultados de flujo de calor de los productos tipo calado a) C-2**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Figura 75. Resultados de distribución de temperatura de los productos tipo calado a) C-2**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El producto cerámico C-2, cuya ventaja se centra en las formas discontinuas de su estructura interna, posee una superficie inicial plana completamente expuesta a la



incidencia solar y un puente térmico lateral formado por un tabique continuo en la pieza, además de un puente térmico directo formado por la junta de mortero. Esta pieza registra en su superficie inicial una temperatura promedio de  $78,38^{\circ}\text{C}$  y transfiere una temperatura de  $36,27^{\circ}\text{C}$  sobre la superficie interna de la pieza.

Además, los perfiles de distribución de temperatura de la pieza C-2 muestran una alta transmitancia térmica en las paredes laterales del producto al registrar temperaturas de  $62,19$  en promedio a lo largo de su superficie entre superficie 1 y superficie 2 formando un puente térmico continuo.

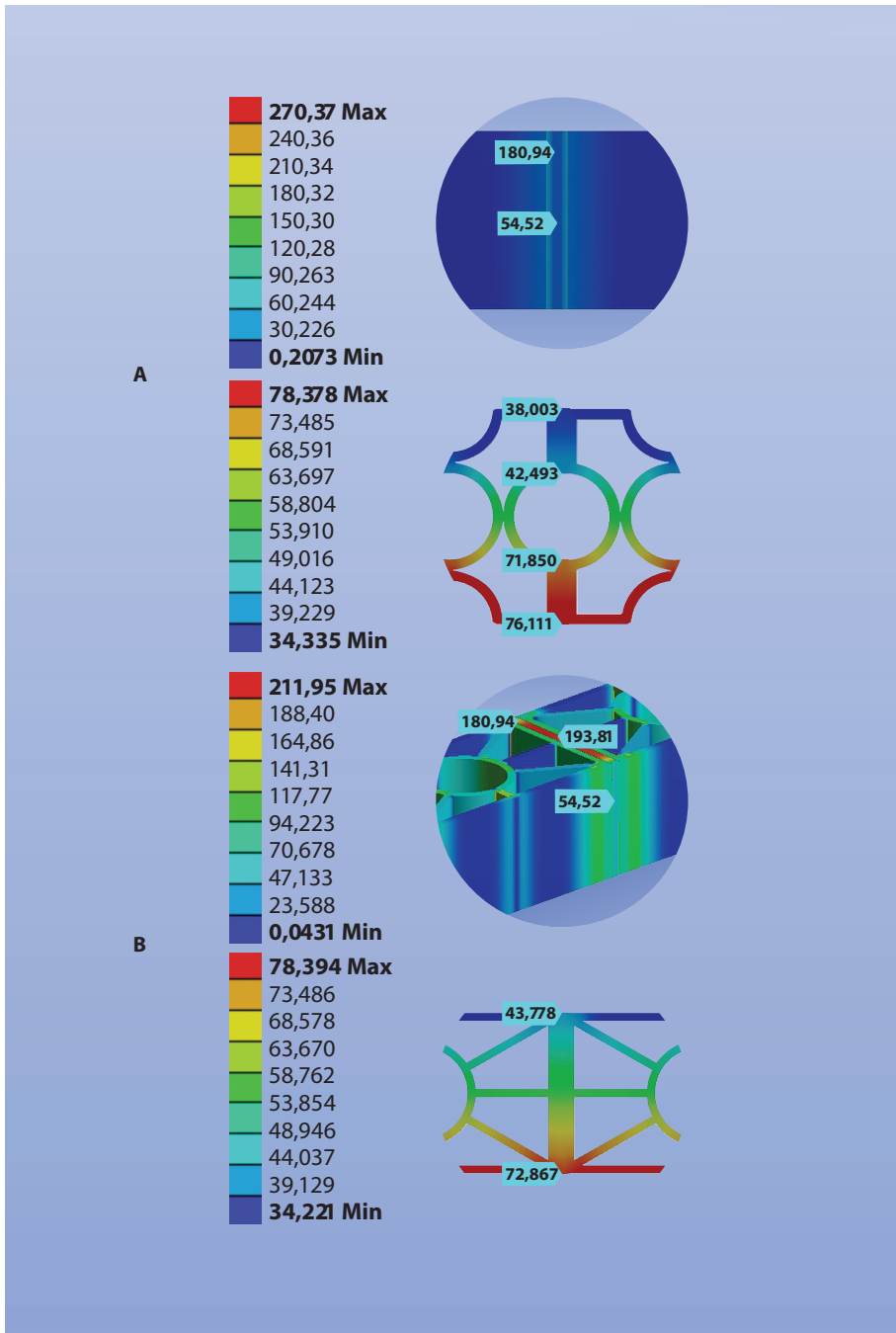
Por el contrario, las formas internas discontinuas de la pieza, formadas por rectas oblicuas que conectan con un círculo central, facilitan una pérdida de energía de  $42,56^{\circ}\text{C}$  entre la superficie S1 y S2 atravesando tabiques interrumpidos por cavidades dispuestas como cámaras de aire.

Ahora bien, los flujos de energía sobre la pieza C-2 muestran concentraciones de calor sobre las intercepciones de las formas geométricas que conforman su estructura interna, registrando  $105,99\text{ W/m}^2$  y  $47,12\text{ W/m}^2$  en los tabiques que conectan su estructura interna. Por otra parte, sobre la estructura circular central se concentra una energía de  $70,67\text{ W/m}^2$ , mientras que para una concentración de calor en la superficie 2 registra flujos de energía inferiores a  $23,58\text{ W/m}^2$  a través de la estructura interna.

#### **4.2.3.2. Análisis térmico del sistema constructivo con calado cerámico**

En un sistema de mampostería estándar, el producto calado C-1 transfiere a través de la junta de mortero  $38,00^{\circ}\text{C}$  de temperatura en promedio. Por su parte, la pieza calado C-2 registra  $43,77^{\circ}\text{C}$  de temperatura en promedio sobre la unión constructiva de concreto, una diferencia de  $5,77^{\circ}\text{C}$  entre las muestras si se considera que la pieza C-2 interrumpe el paso directo de calor implementando un cambio en la forma de la pared con un círculo cóncavo que, a su vez, atraviesa una cámara de aire. De esa manera, se trata de una forma que favorece los perfiles de calor en la S2 al interrumpir el flujo de calor directo.

**Figura 76. Resultados de distribución de temperatura y flujo de calor en puentes térmicos de las piezas a) C-1 y b) C-2**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Los perfiles de distribución de temperatura sobre la junta de mortero muestran valores de 58,08 W/m<sup>2</sup> en la superficie inicial de C-1 y 71,68 W/m<sup>2</sup> en su superficie final, valores muy por debajo de los registrados en C-2 donde se observan 180,94 W/m<sup>2</sup> en la S1 de la pieza y 54,52 W/m<sup>2</sup> en la superficie final S2.

De esta manera, los datos encontrados demuestran que una interrupción del puente formado por el mortero evita la transmitancia térmica de altas concentraciones de energía, lo que convierte a la muestra C-1 en una solución efectiva para aumentar la transmitancia en sistemas constructivos de mampostería cerámica.

#### **4.2.3.3. Evaluación del desempeño térmico en calados cerámicos**

Si se considera una disposición constructiva de cerramiento, los productos tipo calado presentan un registro de temperatura final transferida de 34,2°C en promedio en C-1 y C-2. Estos resultados demuestran un comportamiento térmico eficiente si se comparan con otros productos de la industria cerámica constructiva de cerramientos como los ladrillos cerámicos tradicionales con una temperatura final transferida de 41,70°C o los bloques cerámicos con una temperatura final transferida de 37,91°C en promedio entre las muestras.

En consecuencia, al utilizar calados como piezas de mampostería cerrada en una nueva disposición constructiva se mejora la transmitancia térmica entre 3,7°C y 7,5°C respecto a productos tradicionales.

Asimismo, es posible encontrar un mejor comportamiento térmico en piezas tradicionales sin alterar su estructura base a través de la reinterpretación de sus sistemas constructivos. Esto si se tiene en cuenta una disminución de la transmitancia térmica de 5,6°C en promedio al utilizar los calados cerámicos tradicionales como piezas de mampostería en sistemas de cerramiento.

Por lo demás, tales resultados permiten visibilizar aquellas estrategias que pueden ser incluidas en el diseño de nuevos productos para la industria de la cerámica constructiva como, por ejemplo, las formas de tabiques y paredes internas discontinuas y la generación de nuevas morfologías en las uniones de mortero que eviten una transmitancia térmica directa.

### **4.3. Análisis comparativo del comportamiento térmico de productos cerámicos tradicionales**

Los diferentes tipos de piezas cerámicas constructivas poseen un bajo costo de producción, presentan dimensiones adaptables y formatos que son funcionales en disímiles tipologías arquitectónicas de cerramientos exteriores y divisiones interiores, cuyas características trabajan perfectamente en sistemas de mampostería para obras civiles. Sin embargo, los productos ofertados actualmente por el mercado local son diseñados y elaborados desde hace más de 40 años, por lo que presentan

una baja respuesta térmica a condiciones climáticas cálidas, es decir, son piezas que permiten una alta transmitancia de calor en los sistemas de envolventes con temperaturas en la superficie final promedio de 39,15 °C.

**Tabla 32. Comportamiento térmico comparativo de productos cerámicos tradicionales**

Producto	Comportamiento térmico
H7	39,82 °C
H10-A	35,91 °C
H15	34,76 °C
H10-B	38,80 °C
H10-C	41,28 °C
H10-D	38,50 °C
L-1	51,54 °C
L-2	41,70 °C
L-3	40,72 °C
L-4	38,65 °C
C-1	34,33 °C
C-2	34,22 °C

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Dentro de las muestras destacan piezas como H15 con un buen comportamiento térmico relacionado con su espesor y número de cámaras de aire con 34,76 °C de temperatura final transferida. Así mismo, los calados C-1 y C-2, en función de cerramiento de mampostería, podrían cumplir con los requerimientos de resistencia térmica básica al resolver una temperatura en la S2 de 34,27 °C en promedio. No obstante, su estructura no está diseñada para soportar cargas verticales en esta nueva disposición constructiva.

Finalmente, es de anotar que estas alternativas son viables para construcciones actuales, pero es necesario que la industria cerámica adopte estos principios para generar nuevos modelos con todas las estrategias en sistemas constructivos eficientes en climas tropicales cálidos.







## CAPÍTULO V

# REINTERPRETACIÓN DE LOS MODELOS CONSTRUCTIVOS CERÁMICOS TRADICIONALES

### **Nuevas perspectivas en la cerámica constructiva para envolventes verticales**

En cuanto al desarrollo de tecnologías cerámicas para climas de alta temperatura, las soluciones deben enfocarse en inhibir el calor transferido a través de los componentes del cerramiento, por tanto, los diseños de unidades constructivas de arcilla cocida en su estructura interna y forma externa deben contemplar estrategias que agreguen características de resistencia térmica a los sistemas de mampostería.

Desde esta óptica, en el proceso de reinterpretación de los modelos actuales se debe implementar una sinergia de estrategias en la forma y la función de las piezas constructivas que incrementen el diferencial de temperatura transferida entre la cara externa y la interna para así mejorar el comportamiento térmico respecto a los productos convencionales. Un objetivo que, por lo demás, puede lograrse mediante el rediseño de la geometría de la pieza que incluya un aumento en el espesor, geometrías disipadoras en tabiques, reducción de puentes térmicos, aumento de paredes internas, incremento de cámaras de aire, así como la disposición de canales de renovación de aire en la capa externa de las piezas.

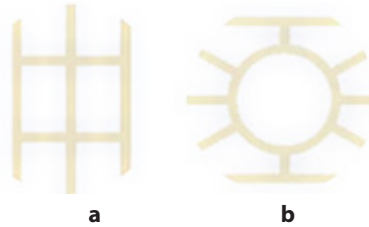
#### **5.1. Estrategias de diseño**

Al considerar que formalmente las piezas deben provocar la interrupción de los puentes térmicos directos, el diseño de nuevos productos debe contener una



estructura interna con geometrías disipadoras al proyectar un sistema complejo de cavidades internas en las piezas que traslapan los tabiques como una alternativa a las perforaciones tradicionales.

**Figura 77. Puentes térmicos internos: a) bloque H10 y b) calado C2**

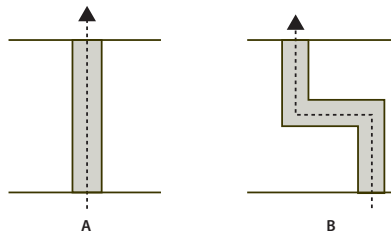


Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Este criterio se basa en los resultados obtenidos con la pieza C-2, un calado tradicional dispuesto como cerramiento de mampostería que logra mejorar los resultados de temperatura final al mostrar una reducción de hasta  $4,32^{\circ}\text{C}$  respecto a piezas como ladrillos cerámicos. Además, tal criterio está soportado en investigaciones propias realizadas previamente (Narváez-Ortega *et al.*, 2020), así como en la patente n° 30561 y otros teóricos (Lourenço *et al.*, 2010; Kočí *et al.*, 2015; Kanellopoulos *et al.*, 2017), quienes estudian la influencia de los puentes térmicos internos en el comportamiento del flujo de calor de piezas constructivas, cuyos resultados confirman que formas sinuosas logran una menor transmitancia térmica respecto a un producto tradicional. Así, en este estudio se evaluarán puentes térmicos que combinan formas rectas y oblicuas que buscan optimizar los resultados de los productos tradicionales antes analizados.

Así mismo, a través del diseño es necesario generar en las piezas que conforman el sistema constructivo una discontinuidad sobre la junta de mortero que impida la transmitancia térmica directa, puesto que el mortero presenta una conductividad térmica de  $0,88 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  (Peña-Rodríguez *et al.*, 2014), lo que lo convierte en un puente térmico directo dentro del sistema de mampostería.

**Figura 78. Puentes térmicos externos: a) tradicional y b) imaginario**

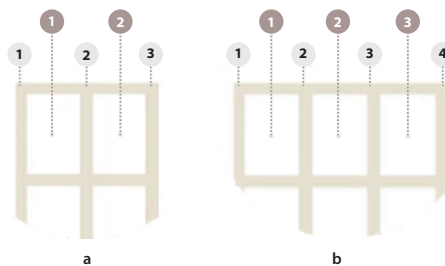


Fuente: Narváez-Ortega (2021).

La estrategia consistirá, siempre que sea posible, en interrumpir geoméricamente el puente térmico externo que se genera actualmente en los sistemas constructivos estándar, como sucede con la pieza C-1. Algunos autores como Colmenares-Urbe y Díaz-Fuentes (2019) han explorado las ventajas de generar otros anclajes en piezas cerámicas que impidan el paso directo de calor, por lo que se busca generar en el diseño una discontinuidad en el puente térmico del mortero con piezas que sean igualmente fáciles de fabricar, que no presenten deformaciones en los procesos de extrusionado, que sean fáciles de anclar para autosoportarse y que no pierdan la función estructural del mortero en el sistema constructivo.

Así, en la composición interna de las piezas se debe buscar un incremento en el número de paredes que debe atravesar el calor, además de un aumento en el área de cavidades que funcionen como cámaras de aire y, por tanto, un aumento en el espesor de las piezas (ver Figura 79) para promover una transición del calor interrumpida, por ejemplo, entre capas de pared cerámica, cámara de aire y pared cerámica en recorridos que permitan aumentar la resistencia térmica del sistema aprovechando la baja conductividad del aire (Narváez-Ortega *et al.*, 2020).

**Figura 79. Paredes y cámaras de aire externas:**  
a) bloque H10 tradicional y b) bloque H15



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

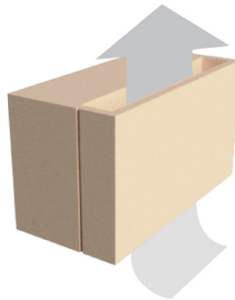
Respecto a las dimensiones óptimas de un producto para envoltorios cerámicos, será fundamental definir el espesor del cerramiento en tanto esto constituye una técnica efectiva para reducir los porcentajes de calor transferido.

En la región de Norte de Santander los sistemas tradicionales trabajan espesores entre los 70 mm y los 150 mm, sin embargo, en esta propuesta de desarrollo se considerará como espesor óptimo 150 mm en la distancia entre la cara externa de la pieza y la superficie final interna, ya que aquellos productos caracterizados con 150 mm de espesor han presentado mejor comportamiento térmico que otras muestras, como la comparación entre el bloque H10-A y el bloque H15, el cual presenta 1,15°C de diferencia de temperatura agregando 50 mm en el espesor de dicha pieza y, al mismo tiempo, conservando unas dimensiones funcionales y adaptables a las construcciones locales (Narváez Ortega *et al.*, 2019).

Ahora bien, con el objetivo de optimizar al máximo las características del sistema constructivo, en este proceso de desarrollo se estudia la posibilidad de implementar en la superficie exterior de las piezas cámaras de aire de flujo continuo para potencializar la disipación de energía (ver Figura 80). De esta forma, el sistema cumple la función de una fachada ventilada que permite un enfriamiento pasivo por efecto convectivo de flujo de aire en la superficie externa sometida a la incidencia solar directa con aberturas en la parte inferior y superior del sistema que faciliten la renovación continua de aire.

Al respecto, se debe resaltar que investigaciones previas han evaluado la efectividad de este modelo en piezas tipo ladrillo cerámico (Díaz-Fuentes *et al.*, 2020) y bloques cerámicos (Narváez-Ortega *et al.*, 2020). Esta investigación evalúa diferentes formas superficiales y dimensiones de las cámaras de aire con el fin de hallar el modelo que mejor responda a las condiciones exteriores del clima como estrategia para aumentar la resistencia térmica de las piezas diseñadas. A su vez, el proceso de diseño permitirá una exploración formal de la cara externa para controlar los porcentajes de captación de calor, aportando además un componente estético al acabado superficial.

**Figura 80. Cámara de aire ventilada**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Así mismo, en los procesos de diseño se evaluará la funcionalidad de la pieza para ser producida industrialmente, cumpliendo con todos los estándares de calidad que exige la norma técnica colombiana NTC 4205 (ICONTEC, 2009) para unidades de mampostería de arcilla cocida con relación a los espesores de los tabiques y su resistencia mecánica en los sistemas constructivos, así como su durabilidad. Del mismo modo, se contemplará que los productos sean livianos, fáciles de manipular, de transportar y de edificar, con un buen rendimiento por m<sup>2</sup> con modelos que puedan ser competitivos en el mercado.

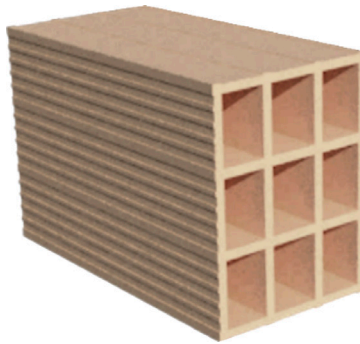


## 5.2. Reinterpretación térmica de los modelos cerámicos constructivos

Se seleccionaron los modelos bloque H15, ladrillo L-4 y calado C-1 como las piezas que demostraron tener mejor comportamiento térmico dentro de sus categorías para realizar un proceso de rediseño de sus componentes como piezas funcionales en sistemas constructivos para mampostería con propiedades termorresistentes que puedan optimizar su respuesta térmica dentro del clima local.

### 5.2.1. Bloques cerámicos

Figura 81. Bloque cerámico H15



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Los bloques H15 son las piezas constructivas que presentan mejor comportamiento térmico dentro del grupo de los bloques cerámicos con un espesor de 150 mm y nueve cavidades rectangulares horizontales, cuatro paredes verticales desde la superficie inicial a la superficie final del producto y cuatro tabiques horizontales. Además, presenta una temperatura final de  $34,76^{\circ}\text{C}$ , es decir, una disminución de temperatura en la superficie interna de la pieza que va desde  $1,15^{\circ}\text{C}$  hasta  $6,52^{\circ}\text{C}$  respecto a otras muestras tipo bloque como los productos H10-A y H10-C. Por tanto, el bloque H15 es una muestra con excelentes características para el desarrollo de nuevos modelos termorresistentes.

En consecuencia, la reinterpretación del diseño de bloques cerámicos H15 se enfoca en aprovechar y potencializar las ventajas de espesor, número de paredes y cámaras de aire que poseen las piezas para integrar estrategias como las geometrías disipadoras en tabiques, la interrupción de puentes térmicos en juntas de mortero y la configuración de cámaras de aire en la superficie inicial que funcionen como enfriadores convectivos. La Tabla 33 describe las características mínimas que deben tener las técnicas de diseño.

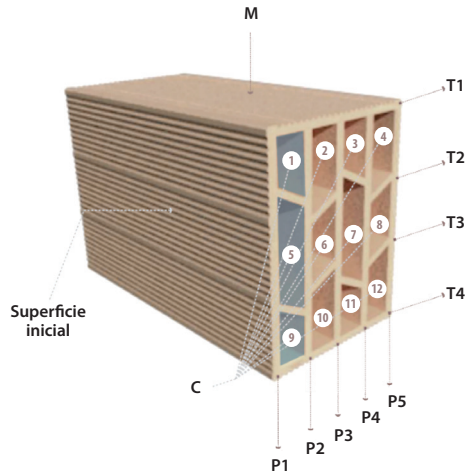
**Tabla 33. Características físicas de bloques**

<b>Estrategias de diseño</b>	
Espesor	>150 mm
Dimensiones	Alto: 200 mm - ancho: 300 mm
Paredes	>4
Tabiques	<4 aplicando geometrías discontinuas
Cámaras de aire	>9 cavidades
Porcentaje aire	>55 %
Unión constructiva	Evitar puente térmico directo
Cámara de aire ventilada	Abierta al flujo continuo de aire

Fuente: Narváez-Ortega (2021).


### 5.2.1.2. Modelo bloque H15-M1

Figura 82. Características físicas de bloques H15-M1



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 34. Características del bloque H15-M1

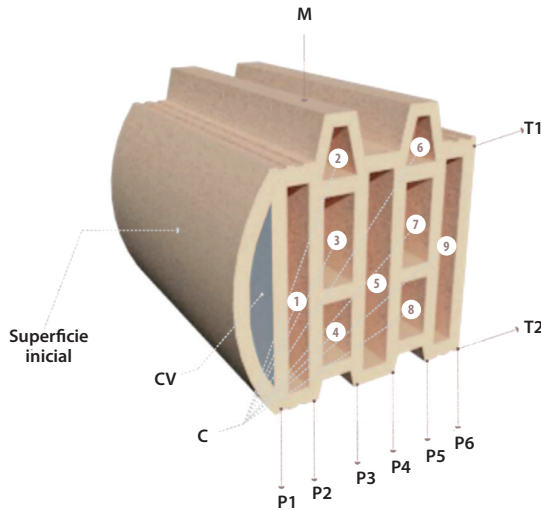
<b>Producto</b>	Bloque H15-M1		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento		
<b>Características</b>	Dimensiones	300*200*150 mm	
	Peso	6 kg unidad	
	Rendimiento	16 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Clara	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El modelo H15-M1 es una pieza de 150 mm de espesor que conserva las dimensiones tradicionales del bloque H15 y que modifica únicamente la estructura interna de los tabiques horizontales para implementar geometrías discontinuas para evitar el paso de calor directo desde la superficie 1 a la superficie 2. La propuesta contiene 12 cámaras de aire internas, de las cuales tres funcionan como canales de renovación de aire exterior expuestas al flujo continuo de viento con el fin de permitir una disipación de energía inicial. Por lo demás, es una propuesta que no modifica el rendimiento por m<sup>2</sup> del modelo tradicional ni altera la forma exterior inicial de la muestra.

### 5.2.1.3. Modelo bloque H15-M2

Figura 83. Características físicas de bloques H15-M2



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 35. Características del bloque H15-M2

<b>Producto</b>	Bloque H15-M2		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento		
<b>Características</b>	Dimensiones	300*200*150 mm	
	Peso	6,2 kg unidad	
	Rendimiento	16 unidades por m2	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Clara	

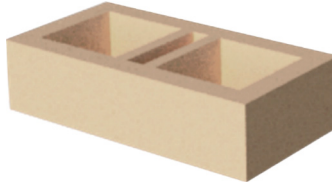
Fuente: Narváez-Ortega, 2021.

Con el modelo H15-M2 se permite una reinterpretación formal de la pieza constructiva H15 al presentar un diseño que altera tanto la superficie inicial a través de un canal oblicuo de renovación de aire, así como una geometría discontinua en la geometría interna y la superficie M que conecta las hiladas a través del mortero utilizando un sistema de ensamble que evita la creación de un puente térmico directo. La pieza propuesta presenta una cavidad inicial que funciona como canal de renovación de aire y nueve cámaras de aire internas que añaden volumen de aire al recorrido de cerámica entre la superficie 1 y la superficie 2.



### 5.2.2. Ladrillos cerámicos

Figura 84. Bloque cerámico H15



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El producto tipo L-4 se destaca entre las piezas constructivas de ladrillos cerámicos por lograr una temperatura final transferida de  $38,50^{\circ}\text{C}$  en la superficie interna de la muestra, un resultado entre  $2,78^{\circ}\text{C}$  y  $13,54^{\circ}\text{C}$  por debajo de otro tipo de piezas como L-3 y L-1. Se trata de resultados positivos dentro de su categoría, pero que son menos eficientes que otros productos como la pieza bloque H15 e incluso el bloque H10, pues estas piezas presentan temperaturas finales de  $34,76^{\circ}\text{C}$  y  $35,91^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

Ahora bien, en relación con otras perspectivas de la proyección de ladrillos cerámicos, y al considerar las fortalezas y las oportunidades que presentan los productos tradicionales, el diseño de nuevos modelos se basa en promover la renovación de aire por enfriamiento convectivo a través de cámaras ventiladas verticales.

Así mismo, se consideran nuevamente las ventajas en el aumento de espesor de las muestras con un incremento potencial de paredes y cámaras de aire que integre formas discontinuas en la estructura interna de las muestras. Las técnicas de diseño presentan como mínimo las siguientes características (ver Tabla 36).

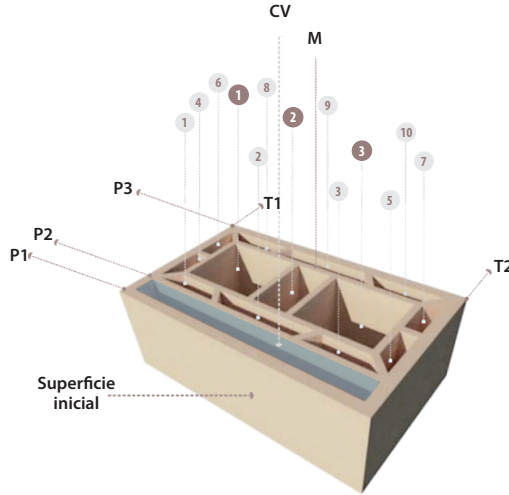
Tabla 36. Características físicas de ladrillos

Estrategias de diseño	
Espesor	>150 mm
Dimensiones	Alto: 200 mm - ancho: 300 mm
Paredes	>4
Tabiques	<4 aplicando geometrías discontinuas
Cámaras de aire	>9 cavidades
Porcentaje aire	>55 %
Unión constructiva	Evitar puente térmico directo
Cámara de aire ventilada	Abierta al flujo continuo de aire

Fuente: Narváez-Ortega (2021).


5.2.2.1. Modelo ladrillo L4-M1

Figura 85. Características físicas del ladrillo L4-M1



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 37. Características del ladrillo L4-M1

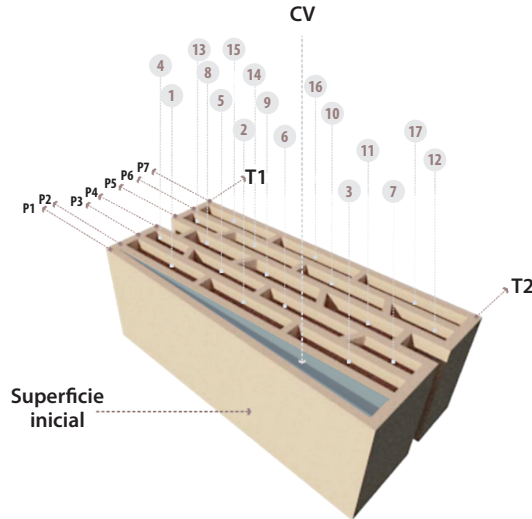
<b>Producto</b>	Ladrillo L4-M1		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento, ventilación e iluminación		
<b>Características</b>	Dimensiones	250*150*70 mm	
	Peso	2,5 kg unidad	
	Rendimiento	48 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Clara	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El modelo de ladrillo L4-M1 modificado es un producto de 150 mm de espesor que contiene 13 cavidades verticales como cámaras de aire donde tres de estas se encuentran en el eje central a partir de las cuales se distribuyen 10 perforaciones que demarcan la localización de la junta de mortero. En la superficie inicial se desarrolla una cámara de aire que contribuye con 50 mm del espesor inicial de la muestra en donde se genera un flujo continuo de ventilación por convección natural en el sistema constructivo.

### 5.2.2.2 Modelo ladrillo L4-M2

Figura 86. Características físicas de ladrillos L4-M2



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 38. Características del ladrillo L4-M2

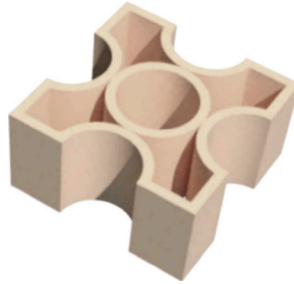
<b>Producto</b>	Ladrillo L4-M2		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Cerramiento, ventilación e iluminación		
<b>Características</b>	Dimensiones	250*130-150*100 mm	
	Peso	3,5 kg unidad	
	Rendimiento	40 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Clara	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

La pieza L4-M2 es un producto propuesto mucho más compacto que L4-M1, que presenta 17 cavidades internas dispuestas como cámaras de aire tejidas a través de tabiques discontinuos y con una superficie inicial que expone una única cámara de disposición abierta para ventilación natural convectiva que presenta forma irregular.

### 5.2.3. Rediseño de productos tipo calado cerámico

Figura 87. Bloque cerámico H15



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El calado cerámico, usualmente utilizado como un producto permeable al flujo de aire y la luz natural, se reinterpreta por sus características físicas, por lo que se busca caracterizar como una pieza para uso en mampostería cerámica de cerramiento. Desde esta óptica, las piezas constructivas C-1 y C-2 presentan un excelente comportamiento térmico respecto a otros tipos de productos como los bloques y ladrillos cerámicos. Esto por cuanto productos como C-1 pueden registrar temperaturas internas de 34,3 °C y C-2 de 34,2 °C, es decir, entre 0,54 °C y 4,4 °C con relación a bloques H15 y ladrillos L-4 respectivamente.

Se seleccionó la pieza C-1 como un modelo que presenta ventajas formales como la interrupción de puentes térmicos laterales, la reducción de la superficie inicial expuesta a radiación solar directa, las geometrías irregulares internas que evitan tabiques y paredes continuas y su espesor de 250 mm. Por otro lado, las ventajas de C-2 permiten tomar este modelo como base para desarrollar nuevas perspectivas en la construcción de piezas térmicamente viables para mampostería constructiva. Las técnicas de diseño presentan como mínimo las siguientes características (ver Tabla 39).

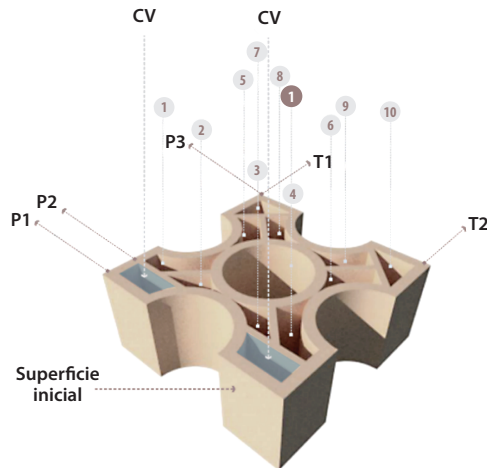
Tabla 39. Características físicas de ladrillos

Estrategias de diseño	
Espesor	>200 mm
Dimensiones	Alto: 80 mm - ancho: 200-250 mm
Paredes	>2
Tabiques	<2 aplicando geometrías discontinuas
Cámaras de aire	>5 cavidades
Porcentaje aire	>55%
Unión constructiva	Evitar puente térmico directo
Cámara de aire ventilada	Abierta al flujo continuo de aire

Fuente: Narváez-Ortega (2021).


### 5.2.3.1 Modelo ladrillo C1-M1

Figura 88. Calado C1-M1



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 40. Características del calado C1-M1

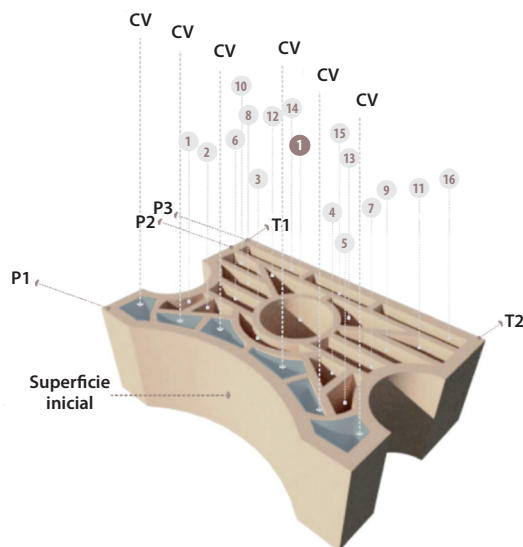
<b>Producto</b>	Calado C1-M1		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Ventilación e Iluminación		
<b>Características</b>	Dimensiones	200*200*85 mm	
	Peso	2,8 kg unidad	
	Rendimiento	23 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Clara	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

El modelo de calado C1-M1 es una variación de la pieza C-1 que dispone de dos cámaras de renovación de aire continuo por convección sobre la superficie externa de la pieza. Además, modifica su estructura interna a través de 11 cavidades internas de perforación vertical que permiten la fácil adhesión de la junta de mortero en el sistema constructivo. Exteriormente, el modelo conserva las dimensiones iniciales y las oportunidades que presenta la combinación entre superficies planas y superficies oblicuas en las paredes exteriores de la pieza.


### 5.2.3.2. Modelo ladrillo C1-M2

Figura 89. Calado C1-M2



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tabla 41. Características del calado C1-M2

<b>Producto</b>	Calado C1-M2		
<b>Material</b>	Arcilla		
<b>Producción</b>	Extrusión		
<b>Tipología</b>	Mampostería		
<b>Función</b>	Ventilación e iluminación		
<b>Características</b>	Dimensiones	250*200*85 mm	
	Peso	2,6 kg unidad	
	Rendimiento	23 unidades por m <sup>2</sup>	
	Textura	Lisa	
	Tonalidades	Clara	

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

La pieza C1-M2 es una variación de la muestra C1-M1 donde se modifica la dimensión de ancho a 250 mm, pero se conserva el espesor de 200 mm con geometrías que combinan de forma mixta líneas rectas, oblicuas y circulares con una superficie inicial que presenta un perfil cóncavo y una superficie final completamente recta. El modelo genera cavidades de termoventilación en conexión directa con su superficie inicial que permite la disipación de energía.

### **5.3. Análisis comparativo de propiedades físicas de los productos cerámicos**

Cada uno de los modelos presenta estrategias de diseño térmico que buscan reducir la temperatura trasferida entre la cara externa y la cara interna de las piezas incrementando el diferencial de temperaturas con modelos que muestran nuevas perspectivas diferentes a los productos convencionales del mercado actual.

En ese sentido, los productos tipo bloque se enfocan en optimizar las ventajas que presenta el modelo H15 con dos propuestas de diseño que integran adicionalmente cámaras ventiladas y geometrías disipadoras en su estructura interna. Los modelos tipo ladrillo modifican el producto L-4 con el objetivo de mejorar el comportamiento térmico incluso sobre otras categorías como los bloques cerámicos.

Finalmente, se exponen las nuevas perspectivas asociadas a la utilización de calados cerámicos como sistemas de cerramiento generando modelos que permitan que las piezas sean útiles en muros de mampostería constructiva e integrando, a su vez, estrategias en la forma y la función de las piezas que puedan aportar principios de resistencia térmica.

Dentro de las diferentes categorías, dichos modelos exponen las posibilidades que pueden tener los productos tradicionales al ser trabajados desde un diseño térmico, de manera que pueden ser de fácil aplicación para la industria y, asimismo, pueden resultar en modelos eficientes tanto para el mercado como para el usuario final con piezas que podrían reducir los consumos de energía en la edificación al mostrar ventajas comparativas sobre las cargas térmicas que reciben a través de la envolvente.







## CAPÍTULO VI

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE DISEÑOS CERÁMICOS CONSTRUCTIVOS

### **Simulaciones térmicas de nuevos modelos de piezas cerámicas constructivas**

Se evaluó el comportamiento térmico de los diseños cerámicos con una reinterpretación formal y funcional de los productos tradicionales tipo bloque, ladrillo y calado. Los productos estudiados tipo bloque son una modificación de la pieza H15 en dos formatos: H15-M1 y H15-M2. Por otro lado, las unidades constructivas tipo ladrillo parten del producto L-4 rediseñado en dos formatos denominados L4-M1 y L4-M2. Así mismo, se estudió la eficiencia térmica de la adición de nuevas estrategias en productos tipo calado, una reinterpretación funcional a modo cerramiento de mampostería donde las piezas diseñadas son una variación del producto C-1 en formatos C1-M1 y C1-M2.

Las simulaciones se realizaron para establecer la influencia de las estrategias aplicadas sobre el comportamiento térmico de unidades constructivas para un clima cálido tropical, para lo cual se correlacionaron los resultados con las cargas térmicas que presentan los productos tradicionales. De esta manera, los resultados comparativos contribuyen a determinar las mejores ventajas en cuanto a la función, la estructura interna y la superficie externa de los productos con el fin de reducir la transferencia de calor en un sistema de mampostería con relación al flujo de calor en la envolvente.

## 6.1. Método

Se realizó la validación de las muestras a partir de la implementación del método de elementos finitos para desarrollar simulaciones térmicas en el *software* ANSYS R16. De igual modo, se utilizaron parámetros propios del clima de la ciudad de Cúcuta para establecer el comportamiento térmico por transferencia de calor de las piezas en condiciones de 32 °C como temperatura máxima promedio, determinando la distribución de temperatura y los flujos de calor relacionados con la forma y dimensión de las piezas.

### 6.1.1. Datos básicos

Para obtener los datos utilizados de conductividad térmica para bloque de arcilla estándar, se aplica la misma conductividad térmica obtenida a través de método de flujo lineal transitorio de 0,407 W/m. °C para arcilla cocida a 1000 °C en todas las muestras (Sánchez-Molina *et al.*, 2019) y mortero de cemento donde:

<sup>k</sup> Bloque = 0,407 W/m. °C.

<sup>K</sup> Mortero = 0,88 W/m. °C.

Entretanto, los datos de las condiciones medioambientales locales se tomaron del IDEAM (2020) para una localización geográfica de latitud 7,9 °N, longitud 72,5 °W y altitud de 298 m sobre el nivel del mar en Cúcuta tomando como punto de referencia para la temporalidad el mes de septiembre como el periodo que registra las temperaturas más altas a lo largo del año, por lo que se evaluaron las muestras sobre las horas medias del día (entre las 12:00 m. y la 1:00 p. m.) de un día tipo, donde se registra una irradiancia solar máxima promedio de 796,8 W/m<sup>2</sup> en cielos despejados (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2022) y una velocidad del viento de 5,5 m/s.

**Tabla 42. Datos de las condiciones medioambientales de la ciudad de Cúcuta**

Datos	
Temperatura máxima promedio	32° C
Radiación solar máxima promedio	796,80 Wh/m <sup>2</sup>
Q solar	796, /m2
Velocidad promedio del viento	5,5 m/s
Δt: 1 hora	12:00 m. a 1:00 p. m.

Fuente: Narváz-Ortega (2021) a partir de IDEAM (2020).

### 6.1.2. Datos calculados

En relación con los datos calculados, el coeficiente de transferencia de calor por convección se define como el valor que depende de la velocidad del viento y las condiciones de temperatura y presión en las que se encuentra.

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

Donde

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

$Nu$ : número de Nusselt.

$k$ : conductividad térmica del aire.

$Lc$ : longitud característica asumida.

El número de Nusselt es un valor adimensional que describe el aumento en la transferencia de calor sobre una superficie. Para sección transversal rectangular y flujo cruzado la ecuación es la siguiente:

$$Nu = 0,102Re^{0,675} * Pr^{1/3} \quad (2)$$

Donde

$Re$ : número de Reynolds.

$Pr$ : número de Prandtl.

El número de Reynolds es un valor adimensional que describe el comportamiento del flujo de aire sobre la superficie del bloque.

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

Donde

$\rho$ : densidad del aire.

$V$ : velocidad del viento.

$\mu$ : viscosidad dinámica del aire.

Por otro lado, las propiedades del aire a temperatura de 33 °C son las siguientes (Cegel, 2007):

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

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

$$\mu = 0,000018858 \text{ kg/ms}.$$

$$Pr = 0,72736.$$

Reemplazando en orden los valores de las ecuaciones 3, 2 y 1, se obtiene como resultado un coeficiente de transferencia de calor por convección de  $h = 17,5154 \text{ W/ m}^2\text{}^\circ\text{C}$  que se aplicará a la sección exterior de la geometría donde tiene efecto

la velocidad del viento. Además, se asume una transferencia de calor por una convección natural de  $5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  y un flujo de calor de  $796.8 \text{ W/m}^2$ .

Por último, para las superficies que no están encerradas como cámaras de aire internas, se asume un coeficiente de transferencia de calor por convección natural de  $h = 5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

### 6.1.3. Procedimiento CAE

Cada simulación se resolvió en siete pasos descritos seguidamente:

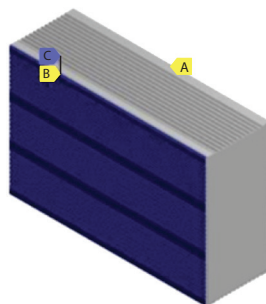
1. Sistema de análisis: se realizó el esquema del proyecto conformado por Analysis System del tipo Steady State Thermal donde se trabajó de manera independiente con las geometrías asignando el mismo material de bloque y mortero.
2. Datos de ingeniería: se introdujeron las propiedades suministradas en la base de datos de ANSYS R16 utilizando el Engineering Data Source y se relacionaron con todos los Analysis System.
3. Geometría: se realizó la importación de las piezas en el Design Modeler y se optimizó la geometría de la superficie con corrección de caras y bordes.
4. Modelo: a partir de este paso se trabajó en la interfaz Mechanical de ANSYS R16. Se realizó la asignación de material, bloque o mortero de cemento y se configuró la malla para que utilice el tipo de preferencia física CFD y el solucionador Fluent.
5. Configuración: respecto a las condiciones a las que están sometidas todas las piezas en la cara frontal, se aplicaron las condiciones exteriores de viento y radiación solar directa, así como convección natural en la cara trasera del muro. Los valores empleados se relacionan a continuación:

A: convección ( $5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

B: flujo de calor ( $695,4 \text{ W/m}^2$ ).

C: convección ( $17,5154 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).

Figura 90. Configuración



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

6. Solución: para el análisis de las configuraciones se aplicaron las dos soluciones más relevantes: distribución de temperatura y flujo total de calor.
7. Resultados: perfiles de distribución de temperatura y flujo total de calor.

## 6.2. Bloques

Se analizaron dos tipologías de producto cerámico tipo bloque: BH15-M1 y BH15-M2 con 150 mm de espesor, en los cuales se aplican estrategias de resistencia térmica en su forma geométrica y su función termodisipadora. Los resultados permiten establecer la influencia de las estrategias sobre los flujos de energía en nuevos modelos cerámicos para mampostería reconociendo las oportunidades que existen en el diseño de producto.

### 6.2.1. Flujo de calor

En la Figura 91 se reportan los resultados finales del flujo de energía en las muestras. Se establecieron energías finales sobre la superficie S2 de 38, 86 W/m<sup>2</sup> en la muestra BH15-M1, lo que varía respecto al bloque tradicional H15 en la forma interna de los tabiques a partir de geometrías oblicuas y añadiendo una cámara de aire ventilada sobre la superficie externa de la pieza. Entretanto, el producto BH15-M2 genera un perfil de calor en S2 de 38,66 W/m<sup>2</sup>, por lo que se puede afirmar que es posible implementar una sinergia entre las estrategias de resistencia térmica más efectivas.

### 6.2.2. Distribución de temperatura

Los perfiles de distribución de temperatura evidencian una temperatura final promedio de entre 33,9 °C y 34,2 °C en las muestras BH15-M1 y BH15-M2 respectivamente. Es decir, se genera una disminución de temperatura de 2 °C respecto al bloque H15 tradicional sin ninguna estrategia de diseño térmico con una temperatura final promedio en S2 de 36,2 °C.

**Tabla 43. Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2 de H15-M1, H15-M2 y H15**

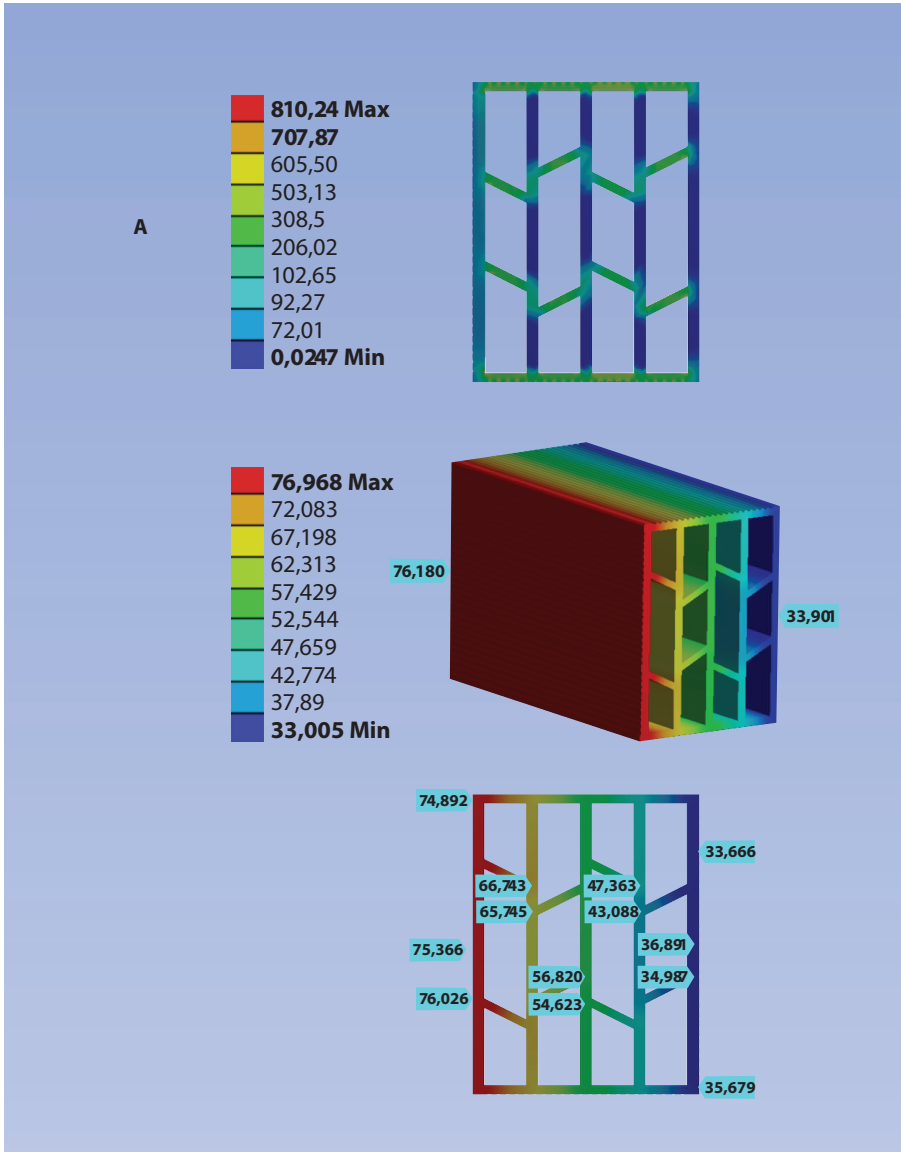
Temperatura en °C	H15-M1	H15-M2	H15
Máxima en S1	76,96 °C	69,57 °C	69,29 °C
Mínima en S2	33,00 °C	34,29 °C	34,76 °C
Promedio en S1	76,18 °C	66,33 °C	71,53 °C
Promedio en S2	33,90 °C	34,29 °C	36,24 °C

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Por otro lado, las geometrías discontinuas en tabiques permiten un diferencial de temperatura entre la S1-S2 de 41,04 °C sobre puentes térmicos formados por tabiques en BH15-M1 y de 33,7 °C de pérdida de energía entre la S1-S2 en

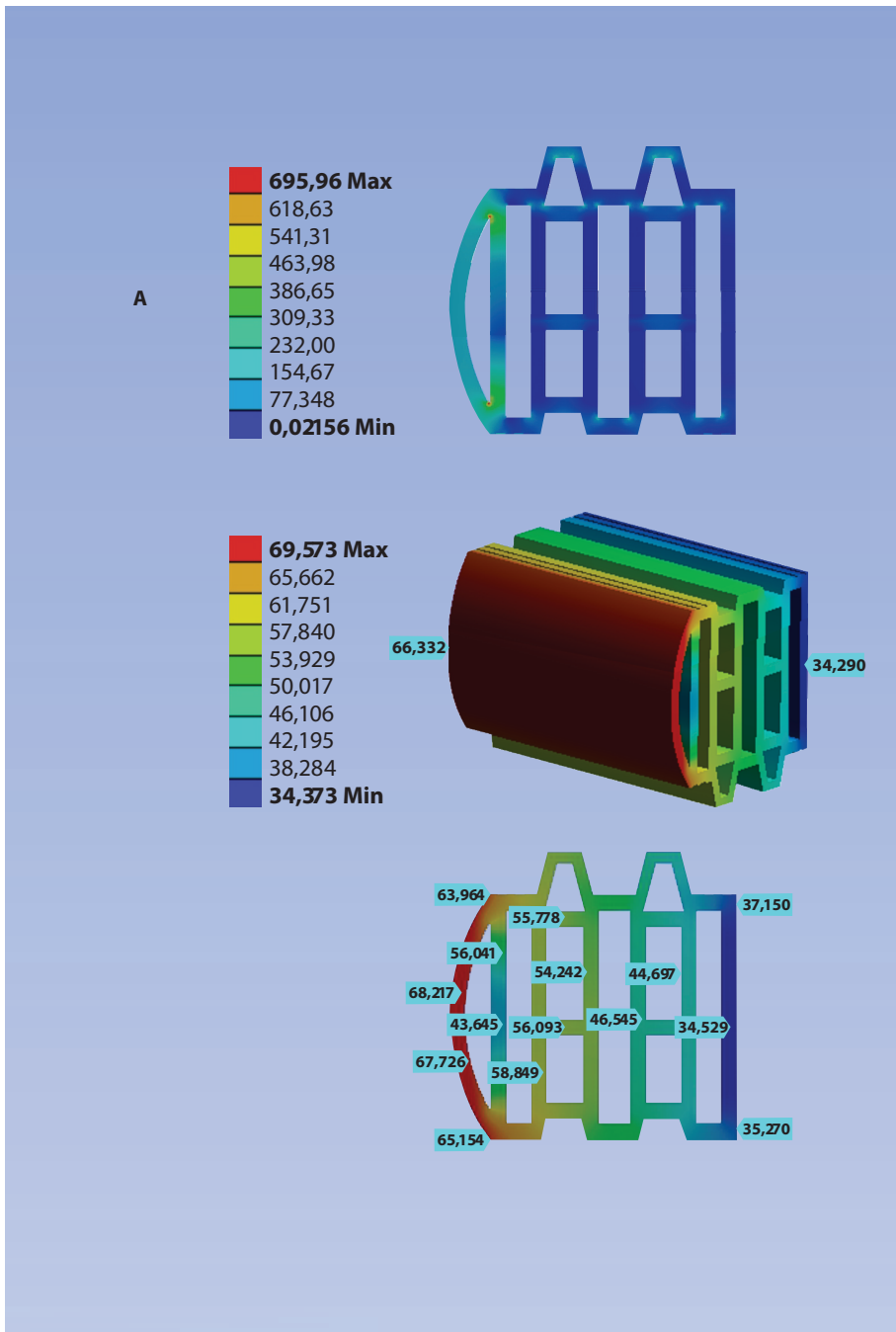
BH15-M2. Así, un producto H15 logra un diferencial de 31,62 °C, de manera que las muestras permiten observar una mejora en el diferencial de 2,1 °C a 9,42 °C (ver Figura 92).

**Figura 91. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos tipo H15-M1**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).".

**Figura 92. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos tipo H15-M2**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).



### 6.3. Ladrillos

Se evaluaron dos prototipos de pieza constructiva de la categoría ladrillos cerámicos denominados L4-M1 y L4-M2 con 150 mm de espesor que integra técnicas de disipación de energía en cavidades termoventiladas y geometrías disipadoras en su estructura interna. Los modelos presentaron diferentes proporciones de aire respecto a masa con distintos volúmenes de cámaras de aire internas en las que L4-M1 modifica la pieza L4 al conservar las formas internas e integrar un canal que genere un enfriamiento convectivo constante en la superficie S1 como una función termo-disipadora. Por otra parte, L4-M2 es una unidad constructiva mucho más compacta que busca aportar resistencia térmica en la pieza. Un producto que, además, posee un puente térmico lateral formado por la junta del mortero al segmentar en dos cuerpos su estructura interna.

#### 6.3.1. Flujo de calor

En la Figura 93 es posible observar los resultados de flujo de energía en las piezas L4-M1 y L4-M2. Este último reporta un menor calor acumulado en su estructura interna con  $41,2 \text{ W/m}^2$  por la influencia que ejerce una cámara de aire y una estructura compleja que incrementa la resistencia térmica del sistema de cerramiento.

#### 6.3.2. Distribución de temperatura

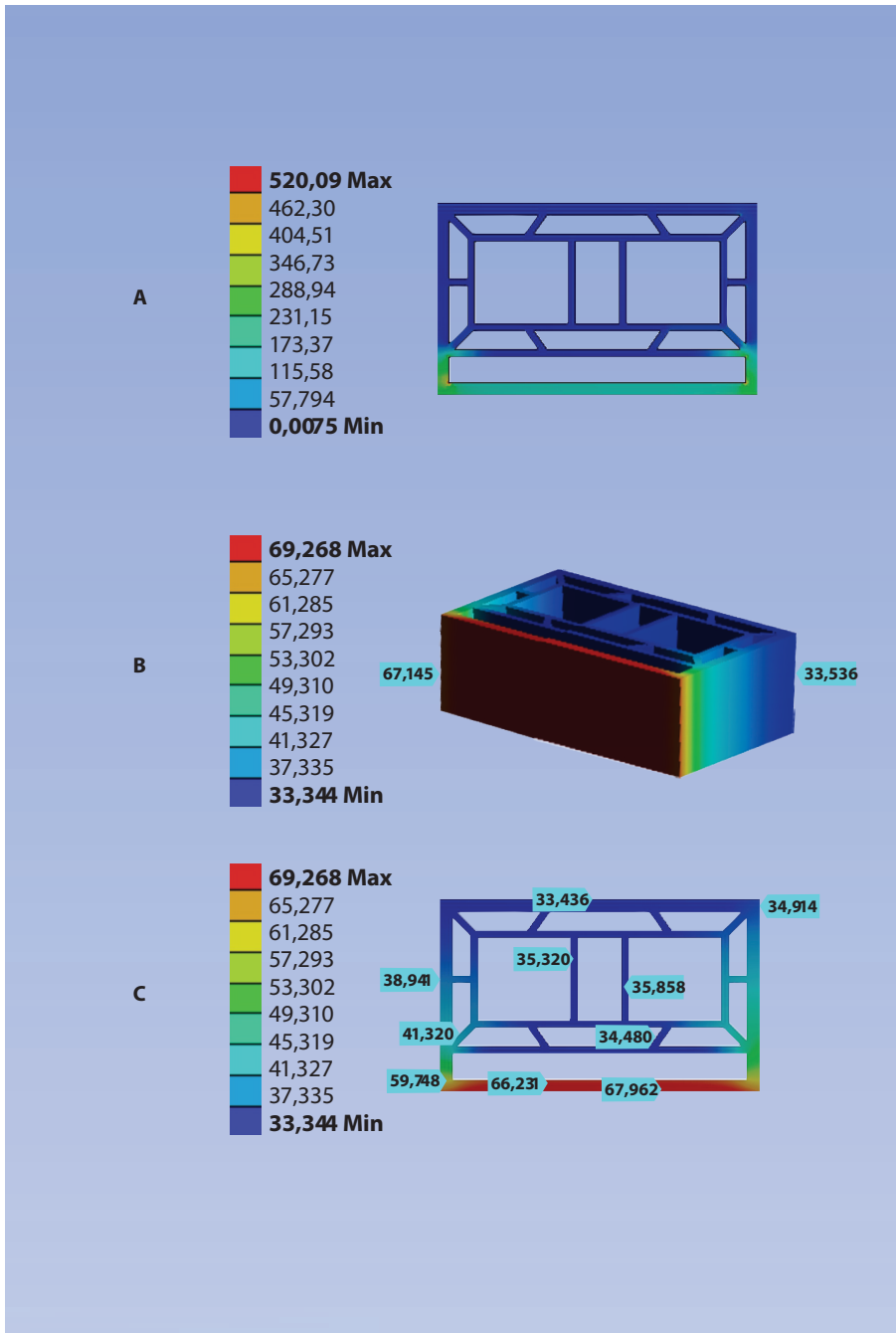
Los perfiles de distribución de temperatura evidencian una temperatura final promedio de entre  $33,5^\circ\text{C}$  y  $33,2^\circ\text{C}$  en las muestras L4-M1 y L4-M2 respectivamente, lo que genera una disminución de temperatura de  $6^\circ\text{C}$  respecto al ladrillo L4 tradicional sin ninguna estrategia de diseño térmico con una temperatura final promedio en S2 de  $39,5^\circ\text{C}$ . Los modelos propuestos no presentan mayores ventajas entre sí, pues muestran un comportamiento similar, sin embargo, sí se observa una mejoría significativa en los resultados obtenidos con la pieza L4 sin estrategias térmicas.

**Tabla 44. Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2 de L4-M1, L4-M2 y L4**

Temperatura en $^\circ\text{C}$	L4-M1	L4-M2	H15
Máxima en S1	$69,26^\circ\text{C}$	$69,11^\circ\text{C}$	$77,37^\circ\text{C}$
Mínima en S2	$33,34^\circ\text{C}$	$33,17^\circ\text{C}$	$38,65^\circ\text{C}$
Promedio en S1	$67,14^\circ\text{C}$	$76,18^\circ\text{C}$	$72,87^\circ\text{C}$
Promedio en S2	$33,53^\circ\text{C}$	$33,29^\circ\text{C}$	$39,56^\circ\text{C}$

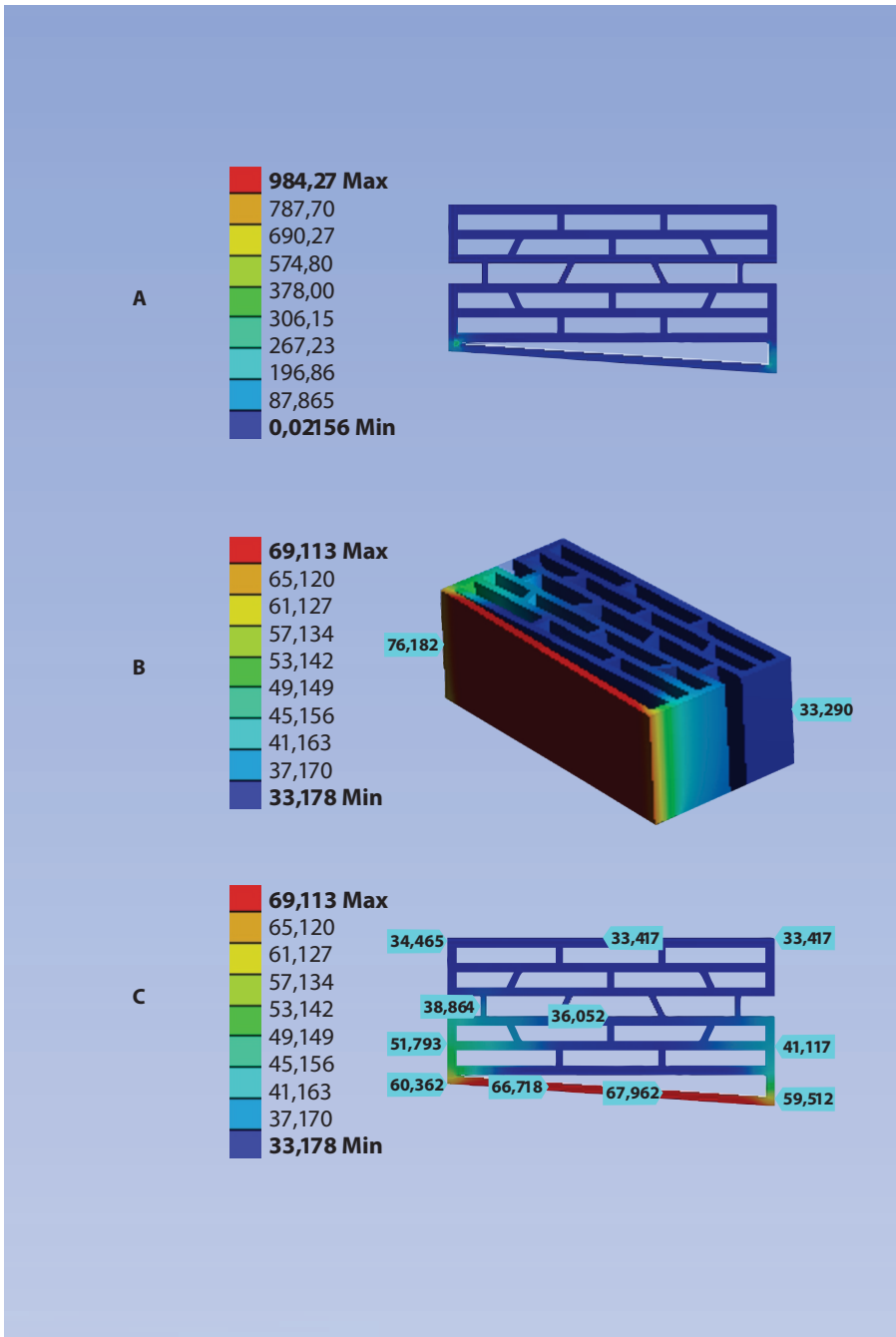
Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Figura 93. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos tipo L4-M1**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Figura 94. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos L4-M2**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

## 6.4. Calados

La implementación del calado cerámico tradicional como una unidad constructiva para cerramiento de mampostería ha mostrado excelentes resultados en piezas como C-1 y C-2 con formas geométricas discontinuas en paredes y tabiques. Sin embargo, al ser unidades constructivas sin una función portante, presentan perforaciones con grandes volúmenes de aire que dificultarían el apilamiento y la fabricación de mampostería con mortero de cemento. Por tanto, se proponen dos modelos que reúnen las mejores propiedades formales de ambas piezas y se evalúa su potencial como elementos termorresistentes.

### 6.4.1. Flujo de calor

En la Figura 95 se reportan los resultados finales de flujo de energía en las muestras, estableciendo energías finales sobre la superficie S2 de 44,53 W/m<sup>2</sup> y 43,89 W/m<sup>2</sup> en la muestra C1-M1 y C1-M2 respectivamente. Se conservaron las propiedades de la pieza C-1 y se añadieron características funcionales en la forma de los productos para así obtener una viabilidad técnica y térmica dentro del sistema constructivo.

### 6.4.2. Distribución de temperatura

Los perfiles de distribución de temperatura evidencian una temperatura final promedio de entre 34,3 °C y 33,3 °C en las muestras C1-M1 y C2-M2 respectivamente, lo que genera una disminución de temperatura de 1 °C a 2 °C respecto a la muestra C-1 tradicional, un producto que muestra resultados favorables con una temperatura final promedio en S2 de 35,4 °C.

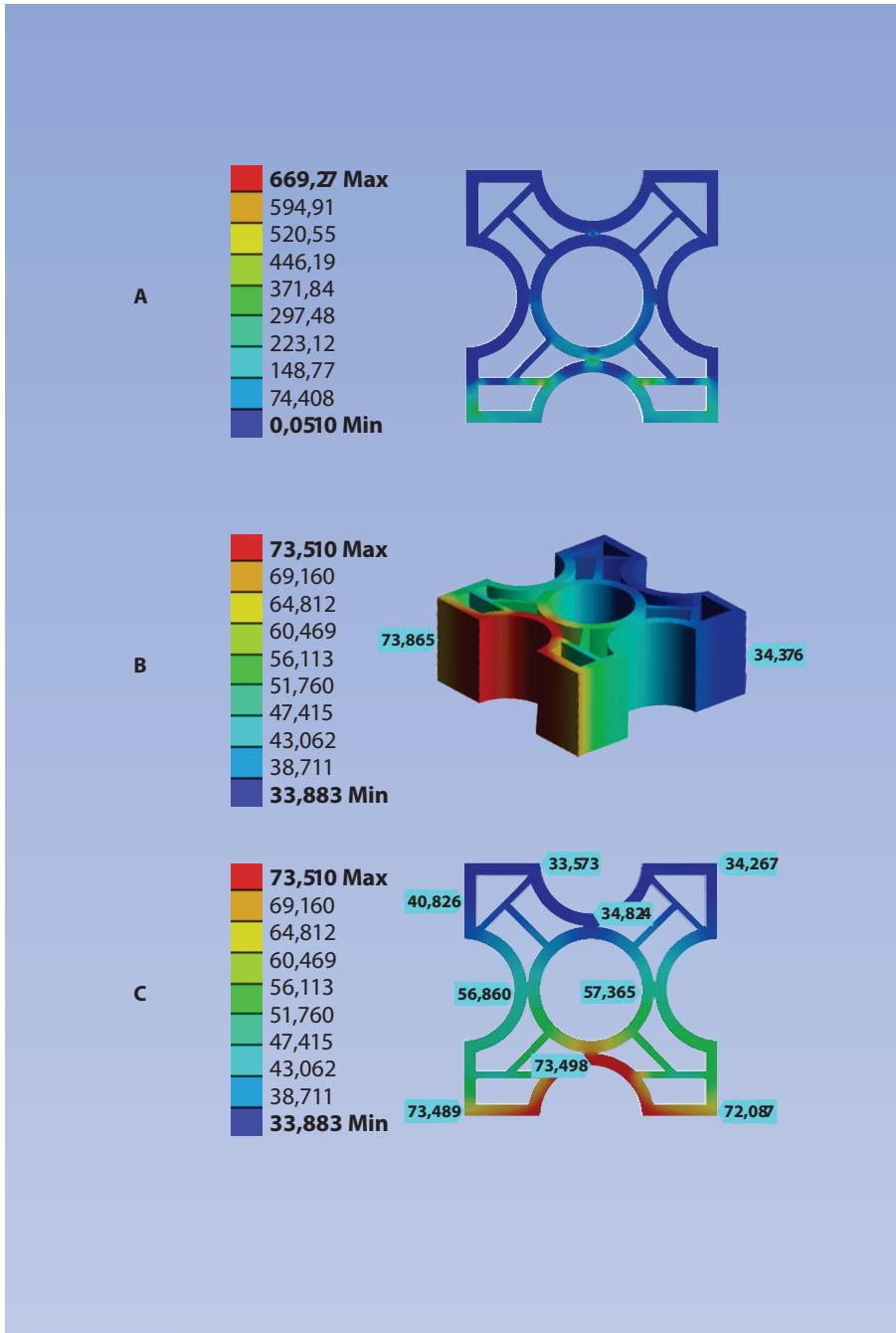
**Tabla 45. Resultados de distribución de temperatura en la S1 y S2 de C1-M1, C1-M2 y C-1**

Temperatura en °C	C1-M1	C2-M2	C1
Máxima en S1	73,51 °C	68,79 °C	78,37 °C
Mínima en S2	33,88 °C	33,31 °C	34,33 °C
Promedio en S1	73,86 °C	64,24 °C	78,17 °C
Promedio en S2	34,37 °C	33,38 °C	35,45 °C

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

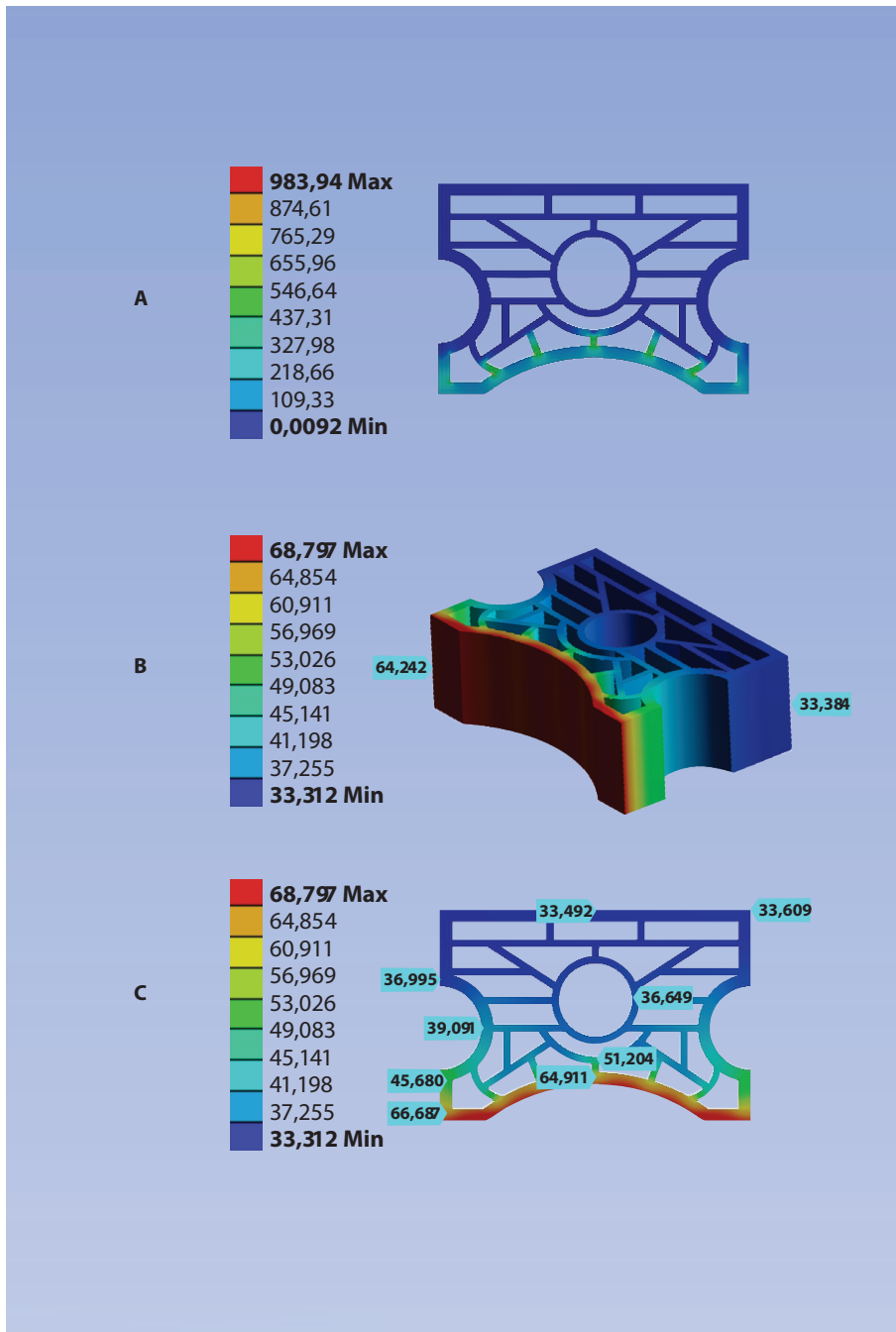
Las geometrías discontinuas en tabiques y la forma de las superficies favorecen una pérdida de energía térmica entre la S1-S2 de 39,2 °C en promedio en todas las variaciones de C-1, una ventaja que permite constituir un sistema más resistente al paso de calor en sistemas de mampostería cerámica.

Figura 95. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos tipo C1-M1



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Figura 96. Resultados de flujo de calor y distribución de temperatura de los productos tipo C1-M2

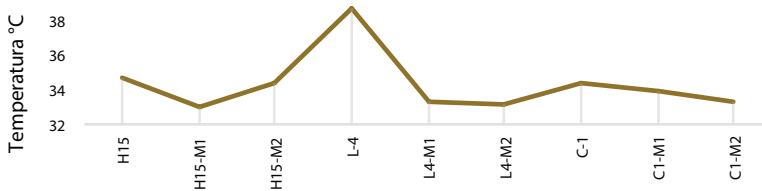


Fuente: Narváez-Ortega (2021).

## 6.5. Análisis comparativo del comportamiento térmico de productos cerámicos tradicionales vs. los sistemas propuestos

Los productos H15 y L-4 son las piezas tradicionales que mejor comportamiento térmico han presentado respecto a otras de su categoría, así como el producto C-1, usado como cerramiento constructivo. Esta investigación ha generado dos modelos variables de cada una de las muestras implementando estrategias de diseño termorresistentes y, de igual modo, ha evaluado su comportamiento térmico para definir la eficacia tanto de la forma como de la función de los diseños.

**Figura 97. Evaluación comparativa de los modelos de diseño**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

**Tabla 46. Temperaturas finales de los modelos de diseños versus los productos tradicionales**

Producto	TFT	DT
H15	34,76 °C	Bloques
H15-M1	33,00 °C	1,76 °C
H15-M2	34,37 °C	0,39 °C
L-4	38,65 °C	Ladrillos
L4-M1	33,34 °C	5,31 °C
L4-M2	33,17 °C	5,48 °C
C-1	34,33 °C	Calados
C1-M1	33,88 °C	0,45 °C
C1-M2	33,31 °C	1,02 °C

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

La Figura 97 compara los resultados de distribución de temperatura sobre la superficie final S2 entre las diferentes muestras. Así, se destacan nuevos modelos tales como el producto H15-M1 con un diferencial de temperatura de 1,76 °C respecto a H15 tradicional. Respecto a las variables presentadas para ladrillo cerámico, los nuevos modelos L4-M1 y L4-M2 presentan una disminución de temperatura de 5 °C en promedio respecto a la muestra L-4, una mejora significativa

si se considera que los productos tipo ladrillo son los elementos constructivos que muestran las temperaturas finales más altas en envolventes cerámicas. Finalmente, el producto C1-M2 es la pieza tipo calado que demuestra mejor comportamiento térmico de su categoría con una reducción de 1 °C en relación con C-1.





## CONCLUSIONES

La presente investigación permitió reconocer aquellos productos que por su importancia comercial determinan las características básicas que deben poseer las piezas cerámicas de mampostería para ser funcionales, así mismo, permitió generar lineamientos de diseño desde una perspectiva térmica para articular nuevos modelos constructivos con soluciones termo-eficientes en climas de alta temperatura. Desde la industria local, los bloques, ladrillos y calados de arcilla roja cocida son modelos tradicionales funcionales que no contienen una respuesta térmica contundente para la fabricación de una envolvente vertical en un clima cálido semiárido, pero que, sin embargo, están muy bien posicionados en el mercado por su comportamiento estructural, bajo costo, peso liviano, facilidad constructiva y dimensiones funcionales, fortalezas que muestran un punto de partida para el desarrollo de nuevos modelos industrializables y comerciales, siempre que se actualicen o generen propiedades en los diseños que puedan solucionar los requerimientos climáticos de la envolvente arquitectónica.

**Tabla 47. Resultados comparativos de temperatura final en los productos analizados**

N	Producto	Comportamiento térmico
1	H7	39,82°C
2	H10-A	35,91°C
3	H15	34,76°C
4	H10-B	38,80°C
5	H10-C	41,28°C
6	H10-D	38,50°C
7	L-1	51,54°C

N	Producto	Comportamiento térmico
8	L-2	41,70 °C
9	L-3	40,72 °C
10	L-4	38,65 °C
11	C-1	34,33 °C
12	C-2	34,22 °C
13	H15-M1	33,00 °C
14	H15-M2	34,37 °C
15	L4-M1	33,34 °C
16	L4-M2	33,17 °C
17	C1-M1	33,88 °C
18	C1-M2	33,31 °C

Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Respecto a los productos tipo bloque, los perfiles de distribución de temperatura muestran valores promedio más altos en aquellas piezas que contienen formas internas circulares. Por ejemplo, productos como H10-C, el cual contiene formas mixtas, presenta temperaturas de 38,9 °C, mientras que H10-D, cuyas cavidades internas son completamente curvas, muestra registros de hasta 42,3 °C. Además, el producto H10-B evidencia temperaturas finales de 39,2 °C al presentar una reducción de los porcentajes de aire interior y un puente térmico adicional respecto a H10-A, el cual presenta la menor temperatura final con 37,9 °C, una disminución significativa en la temperatura final respecto a las demás piezas de 1 °C aproximadamente y hasta 4,4 °C entre B-A y B-D. Ahora bien, con relación al espesor de las muestras, al comparar tres espesores en diferentes productos como H7 (70 mm), H10-A (100 mm) y H15 (150 mm), se puede observar una reducción de temperatura entre H7 (39,82 °C) y H10-A (35,91 °C), lo que resulta en una diferencia entre la temperatura final de 3,91 °C. Así mismo, el diferencial de temperatura entre H10-A (100 mm de espesor) y H15 (150 mm) desde S1 a S2 con 34,76 °C de temperatura transferida en la superficie final es de 1,15 °C.

En consecuencia, el producto H15 es la pieza constructiva cerámica que mejor comportamiento presenta, por lo cual se utiliza como modelo para desarrollar nuevos prototipos de bloque H15-M1 y H15-M2 con un registro de temperatura final de 33,00 °C y 34,37 °C respectivamente para lograr una disminución del calor transferido en la superficie S2 de cada modelo de 2 °C en promedio implementando estrategias de resistencia térmica con la modificación del número de puentes térmicos, la forma de sus cavidades, las dimensiones y la densidad de las piezas tradicionales.

De este modo, se demostró que una pieza liviana de seis cavidades rectangulares resulta ser la más viable respecto a las opciones disponibles para construcciones en climas cálidos al presentar solo tres puentes térmicos directos, un mayor porcentaje de volumen de aire interior y una forma rectangular. Las formas circulares y de mayor masa, por su parte, han demostrado obtener temperaturas de hasta 4 °C por encima de un bloque H10-A, convirtiéndose en un sistema ineficiente para la envolvente en la ciudad de Cúcuta. Estos resultados pueden servir de base para la correcta selección de materiales, así como para la definición de lineamientos en el desarrollo de nuevos productos que puedan contribuir efectivamente a la mitigación de condiciones climáticas extremas.

En cuanto a las piezas tipo ladrillo, los resultados obtenidos muestran que los productos tradicionales no funcionan térmicamente para el clima local, pues registran temperaturas finales de hasta 51,54 °C como, por ejemplo, la pieza L-1, aportando altas cargas térmicas por transferencia de calor en los cerramientos. Los productos L-2 y L-3, de otro lado, presentan comportamientos térmicos similares con temperaturas finales promedio de 41,2 °C considerando características similares en número de paredes y tabiques, sin embargo, L-2 registra temperaturas más altas al contener formas circulares que facilitan una mejor transferencia de calor.

Respecto a la pieza L-4, con mejores características formales, esta presenta el mejor comportamiento térmico entre todas las muestras con una temperatura final transferida de 38,6 °C, cuyas dimensiones en cavidades de aire le otorgan mayores ventajas respecto a otros modelos de pieza permitiendo una mayor resistencia térmica al flujo de calor.

Ahora bien, los modelos propuestos tipo ladrillo L4-M1 y L4-M2, con un registro de temperatura final de 33,34 °C y 33,17 °C respectivamente, lograron disminuir 5 °C en promedio el calor transferido en la superficie S2 de cada modelo implementando estrategias de resistencia térmica.

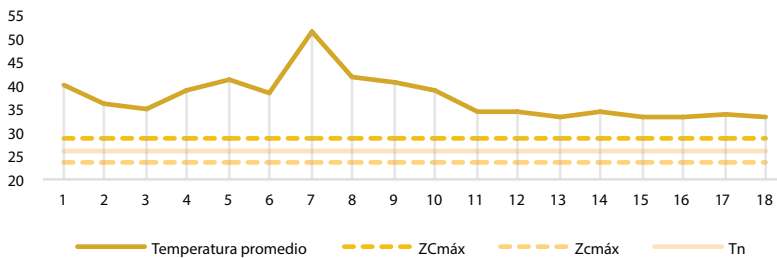
Considerando una disposición constructiva de cerramiento, los productos tipo calado presentan un registro de temperatura final transferida de 34,2 °C en promedio en C-1 y C-2. Estos resultados demuestran un comportamiento térmico eficiente si se comparan con otros productos de la industria cerámica constructiva de cerramientos como los ladrillos cerámicos tradicionales con una temperatura final transferida de 41,70 °C o los bloques cerámicos con una temperatura final transferida de 37,91 °C en promedio. Por tanto, al utilizar calados en una nueva disposición constructiva como piezas de mampostería cerrada, se mejora la transmitancia térmica entre 3,7 °C y 7,5 °C respecto a productos tradicionales.

De esta manera, es posible encontrar un mejor comportamiento térmico en piezas tradicionales sin alterar su estructura base a través de la reinterpretación de sus sistemas constructivos tomando en cuenta una disminución de la transmitancia

térmica de  $5,6^{\circ}\text{C}$  en promedio si se utilizan los calados cerámicos tradicionales como piezas de mampostería en sistemas de cerramiento. Tales resultados permiten visibilizar aquellas estrategias que deben incluirse en el diseño de nuevos productos para la industria de la cerámica constructiva.

Respecto a los modelos propuestos tipo calado C1-M1 y C1-M2, con un registro de temperatura final de  $33,1^{\circ}\text{C}$  en promedio, se logró disminuir el calor transferido en la superficie S2 de cada modelo en  $1^{\circ}\text{C}$  en promedio implementando estrategias de resistencia térmica.

**Figura 98. Análisis comparativo de las muestras evaluadas**



Fuente: Narváez-Ortega (2021).

Tanto los productos ofertados por la industria como los prototipos de producto propuestos muestran temperaturas finales superiores a los rangos de confort, sin embargo, las piezas propuestas se acercan más a los límites higrotérmicos con un diferencial de  $1,5^{\circ}\text{C}$  respecto a piezas como H15-M1 con una temperatura final de  $33,0^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, los modelos fueron estudiados a partir de datos de temperatura ambiente en las situaciones de calor más extremas, donde se tomó una temperatura ambiente de  $33,0^{\circ}\text{C}$ , sin considerar las temperaturas promedio diarias, donde el comportamiento térmico de las muestras podría estar dentro de los perfiles de la zona de confort.

Finalmente, es de anotar que los datos analizados pueden servir de base para la correcta selección de materiales, así como para la definición de lineamientos en el desarrollo de nuevos productos que puedan contribuir efectivamente a la mitigación de condiciones climáticas de alta temperatura. Todo ello a partir de considerar principalmente una mayor proporción de aire en el área de las cavidades internas y una estrategia que utilice formas disipadoras en puentes térmicos.

## REFERENCIAS

- Adell, J.M. y Vega, S. (2005). La fachada contemporánea con ladrillo: cerramientos tipo. *Informes de La Construcción*, 56(495), 13-31.
- Alcaldía de Medellín. (2020). *Memorias y Patrimonio de Medellín*. Cementerio Museo San Pedro. <https://patrimoniomedellin.gov.co/proyectos/mdm/museos-de-medellin/cementerio-san-pedro/>
- Álvarez-Rozo, D., Sánchez-Molina, J., Corpas-Iglesias, F. y Gelves, J. (2018). Características de las materias primas usadas por las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta Colombia. *Boletín de la Sociedad Española*, 52(1), 247-256. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.04.002>
- Auliciems, A. y Szokolay, S. (1997). *Thermal Comfort. Notes of passive and low energy architecture*. University of Queensland.
- Avendaño, W. (2012). Innovación: un proceso necesario para las pequeñas y medianas empresas del municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander (Colombia). *Semestre Económico*, 15(31), 187-207.
- Aznarez, S. (15 de enero de 2010). *La historia escondida en las tumbas de Recoleta*. La Nación. <https://www.lanacion.com.ar/sociedad/la-historia-escondida-en-las-tumbas-de-recoleta-nid1221845/>
- Baixas, J.I. (2012). Envoltente: La piel de los edificios. *Cuadernillo de la técnica ARQ*, 82, 98-101.

- Beck, H.Z., Zimmermann, N.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A. y Wood, E.F. (2018). Present and future Köppen–Geiger climate classification map for Arid, steppe, hot (BSh). *Nature Scientific Data*. <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>
- Blanco-Meneses, D.S., Gelves-Díaz, J.F. y Sánchez-Molina, J. (2020). Metodología de conformación de lotes de arcilla para la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta a partir de análisis fisicoquímicos y modelado de mezclas. *Respuestas*, 25(2), 53-58. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/2302/2291>
- Cáceres, V., Chaparro, A. y Sánchez-Molina, J. (2021). *Caracterización de materiales arcillosos y su potencial aplicación en la industria cerámica*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- Cámara de Comercio de Cúcuta. (22 de marzo de 2021). *Datos geográficos*. Cámara de Comercio de Cúcuta. <https://www.cccucuta.org.co/secciones-51-s/datos-geograficos.htm>
- Carrillo Fajardo, M., Rivera-Díaz, O. y Sánchez-Montaña, R. (2007). Caracterización florística y estructural del bosque seco tropical del Cerro Tasajero, San José de Cúcuta-Norte de Santander, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 29(86), 55-73.
- Cegel, Y.A. (2007). *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico*. McGraw-Hill.
- Centro de Investigación de Materiales Cerámicos [CIMAC]. (2 de enero de 2022). *Galería de imágenes*. Universidad Francisco de Paula Santander. <http://www.ufps.edu.co/ufps/cimac/Galeria.html>
- Colmenares-Uribe, A.P., Sánchez, J. y Díaz, C.X. (2019). Comparative thermal analysis of extruded ceramic products between multi perforated brick and modified bricks in cells distribution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-7. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1386/1/012130/pdf>
- Colmenares-Uribe, A.P., Sánchez-Molina, J. y Díaz-Fuentes, C.X. (2020). Caracterización térmica y técnica del ladrillo multiperforado a nivel de laboratorio. *Respuestas*, 25(1), 43-49.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES]. (31 de enero de 2012). *CONPES 3718 - Política Nacional de Espacio Público*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Conpes-3718-de-2012.pdf>
- Contreras, W., Galban, M. y Sepúlveda, S. (2018). Análisis estadístico de la radiación solar en la ciudad de Cúcuta. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 1909-8367. <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaingenieria/article/view/8/1145>
- 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. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-7. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1708/1/012011/pdf>

- Escovar, A. (2002). El Cementerio Central de Bogotá y los primeros cementerios católicos. *Revista Credencial Historia*, 155.
- Flórez-Vargas, A.O., Sánchez-Molina, J. y Blanco-Meneses, D.S. (2018). Las arcillas de las formaciones geológicas de un área metropolitana, su uso en la industria cerámica e impacto en la economía regional. *Revista EIA*, 15(30), 133-150. doi:<https://doi.org/10.24050/reia.v15i30.1219>
- Gelves, J.F., Monroy, R., Sánchez, J. y Ramírez, R. (2013). Estudio comparativo de las técnicas de extrusión y prensado como procesos de conformado de productos cerámicos de construcción en el área metropolitana de Cúcuta. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y vidrio*, 52(1), 48-54.
- Giraldo, A. (2007). El Cementerio Central, testimonio vivo del arte y la historia. *Alcaldía Mayor de Bogotá*.
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons Inc.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2009). *Norma Técnica Colombiana NTC 4205 sobre unidades de mampostería de arcilla cocida: ladrillos y bloques cerámicos*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. <http://www.cytarcillasyprefabricados.com/wp-content/uploads/2017/02/NTC-4205-Unidades-de-mamposteria-de-arcilla-ladrillos-y-bloques-ceramicos.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2020). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595 sobre planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. [https://www.mineducacion.gov.co/1759/articulos-355996\\_recurso\\_10.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articulos-355996_recurso_10.pdf)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2011). *Clasificaciones climáticas de Colombia*. IDEAM. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2020). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2021). *Atlas de viento y energía eólica de Colombia*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21125/Capitulo4.pdf/3648f6d2-2350-40b4-bf35-a54611253612>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2022). *Atlas climatológico*. IDEAM. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>



- Kanellopoulos, G., Koutsomarkos, V.G., Kontoleon, K.J. y Georgiadis-Filikas, M. (2017). Numerical analysis and modelling of heat transfer processes through perforated clay brick masonry walls. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 492-499.
- Kočí, J., Maděra, J. y Černý, R. (2015). A fast computational approach for the determination of thermal properties of hollow bricks in energy-related calculations. *Energy*, 749-755.
- La Opinión. (17 de septiembre de 2015). *Oleada de calor incrementa el consumo de energía eléctrica*. La Opinión. <https://www.laopinion.com.co/economia/oleada-de-calor-incrementa-el-consumo-de-energia-electrica>
- Ledesma, P.J. (2014). La técnica constructiva en la arquitectura. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, (15), 21-37.
- Lourenço, P., Vasconcelos, G., Medeiros, P. y Gouveia, J. (2010). Vertically perforated clay brick masonry for loadbearing and non-loadbearing masonry walls. *Construction and Building Materials*, 24(11), 2317-2330.
- Lugones Botell, M., Ramírez Bermúdez, M. y Ríos Rodríguez, J.J. (2015). La cremación. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 31(1), 120-128.
- Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F.G., Sabio-Ortega, A. y García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736-755.
- Medina-Jiménez, A. y Jaramillo, J. (2019). Recuperación energética y análisis térmico del proceso de cocción en la industria cerámica. *Revista UIS Ingenierías*, 18, 81-97.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Serie Espacio Público. Guía de Mecanismos de Recuperación del Espacio Público*. Nuevas Ediciones Ltda.
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2022). *Promedio mensual de radiación global en Cúcuta*. Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020). *Guía de aprovechamiento económico del espacio público*. Publicaciones Gerencia Urbana.
- Ministerio de Transporte. (2016). *Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas*. Gea 21.
- Mogrovejo-Andrade, J.M., Bastos-Osorio, L.M. y Antuny-Pabón, J. (2015). Impacto económico del sector cerámico en San José de Cúcuta (Colombia). *Universidad & Empresa*, 17(29), 157-180.
- Moreno, S. (1991). *Colombia. Arquitectura hombre y clima*. Universidad Nacional de Colombia.
- Narváz-Ortega, M.S. (2018). *Diseño de sistemas constructivos cerámicos innovadores para mampostería de bajo costo con atributos de aislamiento térmico a partir*

- de productos tradicionales de la industria cerámica de Norte de Santander.* Universidad Francisco de Paula Santander.
- Narváez-Ortega, M.S., Sánchez-Molina, J. y Díaz-Fuentes, C.X. (2019). Comparative evaluation of physical, mechanical and thermal properties of traditional H10 and H15 red clay blocks manufactured by the ceramic industry from San José de Cúcuta, Colombia. *Journal of physics: Conference series*, 1-8. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1388/1/012007/pdf>
- Narváez-Ortega, M.S., Sánchez-Molina, J. y Díaz-Fuentes, C.X. (2020). Experimentación comparativa de transferencia de calor por puente térmico a partir de la modificación de la geometría de los tabiques en bloque cerámico H10. *Respuestas*, 25(2), 29-35.
- Narváez-Ortega, M.S., Sánchez-Molina, J. y Díaz-Fuentes, C.X. (2020). Physical-thermal isolation strategies for the design of sustainable ceramic building units. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-7. <https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/511/Physical-thermal%20isolation%20strategies%20for%20the%20design%20of%20sustainable%20ceramic%20building%20units.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Narváez-Ortega, M.S., Sánchez-Molina, J. y Sánchez-Zúñiga, J.V. (2021). Análisis térmico por método de elementos finitos en nuevos modelos de piezas cerámicas constructivas. *Mundo FESC*, 11(21), 15-25. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/672/588>
- 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. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/540/578>
- Neira-Contreras, M.E. y Bolaños-Palacios, J. (2007). Estado del arte de diseño constructivo. *Revista de Arquitectura*, 9(1), 81-84.
- Observatorio del Espacio Público. (2019). *Reporte Técnico de Indicadores de Espacio Público*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Olgay, V. (1968). *Clima y Arquitectura en Colombia*. Universidad del Valle.
- Páez-Moreno, D.F., Parra-Rojas, S.X. y Montaña-Gutiérrez, C.A. (2009). Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14), 51-69.
- Peña-Rodríguez, G., Peña-Quintero, J. y Gómez-Tovar, M. (2014). Determinación experimental de la conductividad térmica efectiva en bloques extinguidos de arcilla roja. *Revista Ciencia en Desarrollo*, 5(1), 15-20.
- Portal Único del Estado Colombiano. (9 de abril de 2021). *Datos Geográficos de los Municipios del Departamento Norte de Santander*. <https://www.datos.gov.co/Ordenamiento-Territorial/Datos-Geograficos-de-los-Municipios-del-Departamen/ueny-x3vj#revert>

- Ramírez-Delgado, P. (2012). La innovación tecnológica en las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta. *Respuestas*, 17(1), 66-77.
- Rodríguez, A., De la Puente, M.A. y Trejos, L.F. (2018). *Análisis de la frontera Colombia-Venezuela*. Editorial Universidad del Norte.
- Rozo-Rincón, S.M., Sánchez-Molina, J. y Álvarez-Rozo, D.C. (2014). Propiedades físico-mecánicas de bloques H10 fabricados en el área metropolitana de Cúcuta. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24(1), 67-78.
- Rubiano-Martín, M.A. (2016). La fachada ventilada y el confort climático: un instrumento tecnológico para edificaciones de clima cálido en Colombia. *Dearq Revista de Arquitectura*, (18), 138-145.
- Sánchez, J. y Ramírez, P. (2013). *El clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- Sánchez-Molina, J. (2009). *Diagnóstico general del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- Sánchez-Molina, J. y Díaz-García, J.I. (2011). *Introducción a los hornos utilizados en la industria cerámica tradicional*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- Sánchez-Molina, J., Corpas-Iglesias, F.A. y Álvarez-Rozo, D.C. (2019). *Aplicación de nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Ecoe Ediciones y Universidad Francisco de Paula Santander.
- Sánchez-Molina, J., Sánchez-Zuñiga, J.V. y Díaz-Fuentes, C.X. (2020). Desarrollo de un producto cerámico de construcción bajo los principios de la arquitectura bioclimática y sostenible. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 129-140.
- Sarabia-Guarín, A., Sánchez-Molina, J. y Leyva-Díaz, J.C. (2017). Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular. *Respuestas*, 22(1), 6-16.
- Suárez, C. y Molina, J.L. (2015). Análisis del efecto chimenea en fachadas ventiladas opacas mediante correlaciones del flujo másico inducido. Aplicación para el dimensionado de anchos de cámara. *Informes de la Construcción*, 67(538).
- Szokolay, S.V. (2008). *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design*. Elsevier LTD.
- Vásquez, C. (2012). El diseño del sistema de cerramiento. *Cuadernillo de la técnica ARQ82*, 102-107.
- Vásquez, C. y Prieto, A. (2013). La fachada ventilada. *Cuadernillo de la técnica ARQ82*.
- Velasco, R. y Robles, D. (2011). Diseño de eco-envolventes. Modelo para la exploración, el diseño y la evaluación de envolventes. *Revista de Arquitectura*, 13, 92-105.
- Velásquez Parra, C. y Bernal Botero, D.A. (15 de septiembre de 2009). *Espacios para disfrutar de los recuerdos*. Periódico El Mundo.

- Villar-Burke, R., Jiménez-González, D., Larrumbide, E. y Tenorio, J.A. (2014). Impacto energético y emisiones de CO<sup>2</sup> del edificio con soluciones alternativas de fachada. *Informes de la construcción*, 66(535).
- Vivancos, J.L., Soto, J., Pérez, I., Ros-Lis, J.V. y Martínez-Máñez, R. (2009). A new model based on experimental results for the thermal characterization of bricks. *Building and Environment*, 44(5), 1047-1052.
- Zappulla, C. (2014). *Tecno-patrones: Piel, contexto y fabricación*. Palimpsesto.



### **Marlyn Stephanny Narváez Ortega**

Magíster en Arquitectura Bioclimática de la escuela de arquitectura y diseño Isthmus-Panamá y la universidad Colima-México. Arquitecta de la Universidad Francisco de Paula Santander. Profesionalmente se ha desempeñado como arquitecta en la secretaría de valorización y plusvalía, y en la subdirección de proyectos del área metropolitana de Cúcuta a cargo de obras de arquitectura y construcción de alcance regional que involucran la cerámica como materialidad constructiva. Investigadora activa del Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica – GITEC. Miembro del Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos –GRAMA. En su desarrollo investigativo se destaca como joven investigador en proyectos cofinanciados por la Universidad Francisco de Paula Santander y el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación. Autor y coautor de 8 artículos científicos publicados en revistas indexadas, capítulos de libro resultados de investigación. Ponente en más de 7 eventos científicos de carácter nacional e internacional, he inventor de 3 tecnologías radicadas ante la superintendencia de industria y comercio para solicitud de patente 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.

# CERÁMICA CONSTRUCTIVA ENVOLVENTES VERTICALES EN LA CIUDAD DE CÚCUTA

## Incluye

- ▶ Contexto climático de la envolvente cerámica en la ciudad de Cúcuta.
- ▶ Caracterización físico-térmica de los productos cerámicos para envolventes verticales.
- ▶ Reinterpretación de los modelos constructivos cerámicos tradicionales.

Cerámica constructiva expone un análisis del comportamiento térmico de los productos cerámicos utilizados en sistemas constructivos para mampostería en la región de Norte de Santander, presentando una caracterización de los componentes formales de las piezas y su influencia sobre la transferencia de calor en envolventes verticales; así mismo, genera a partir de estrategias termorresistentes nuevos modelos de piezas cerámicas constructivas que modifican los productos tradicionales proyectando diferentes perspectivas constructivas aplicables a la producción de unidades cerámicas termo-eficientes en climas cálidos tropicales como lo es la ciudad de Cúcuta, Colombia.

Este libro se fundamenta en los parámetros del clima para evaluar el comportamiento térmico de las piezas constructivas fabricadas por la industria de la cerámica de Norte de Santander con el objetivo de definir estrategias y desarrollar lineamientos de diseño en la concepción y adecuación de la envolvente arquitectónica en la región.

Además, se enfoca en la evaluación de las envolventes verticales como un nicho de investigación que sirve de reseña a los sectores de la industria cerámica, la construcción, el diseño arquitectónico y la academia relativa a la Ingeniería Civil y la Arquitectura, funcionando como un referente que permite identificar piezas constructivas que presentan mejores ventajas térmicas por sus características formales, definiendo qué criterios de diseño debe contener un producto cerámico para funcionar eficazmente bajo condiciones de alta temperatura.



Universidad Francisco  
de Paula Santander  
Vigilada Mineducación



Grupo de Investigación en  
Tecnología Cerámica



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS

ISBN 978-958-503-575-1



e-ISBN 978-958-503-576-8