

## CAPÍTULO 3

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

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

### Datos suministrados

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

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

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

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

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

Fuente: elaboración propia.

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

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

Fuente: elaboración propia.

## Datos calculados

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

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

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

Donde:

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

$Nu$ : número de Nusselt.

$k$ : conductividad térmica del aire.

$Lc$ : longitud característica del producto.

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

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

Donde:

$Re$ : número de Reynolds.

$Pr$ : número de Prandtl.

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

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

$\rho$ : densidad del aire.

$V$ : velocidad del viento.

$\mu$ : viscosidad dinámica del aire.

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

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

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

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

$$Pr = 0,72736$$

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

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

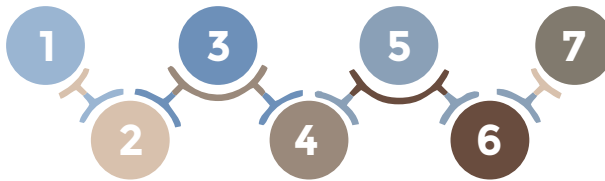
Carga	Valor	Superficie
Coeficiente de transferencia de calor por convección	25,903W/m <sup>2</sup> . °C	Sección exterior de la geometría (donde hay exposición directa al viento)
Transferencia de calor por convección natural	5W/m <sup>2</sup> . °C	Interior

Fuente: elaboración propia.

## Procedimiento

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

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

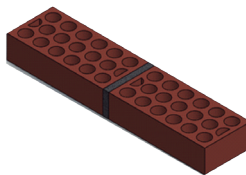


Nota. 1 Analysis System Type. 2 Engineering Data. 3 Geometry. 4 Model. 5 Setup. 6 Solution. 7 Results.

Fuente: elaboración propia.

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

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



Fuente: elaboración propia.

### Analysis System Type

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

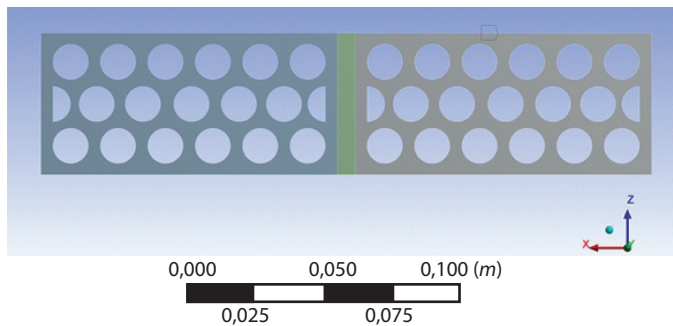
### Engineering Data

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

### Geometry

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

Figura 11. LM en Design Modeller

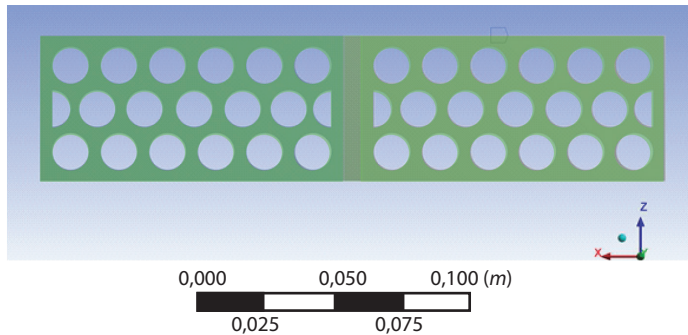


Fuente: elaboración propia.

### Model

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

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

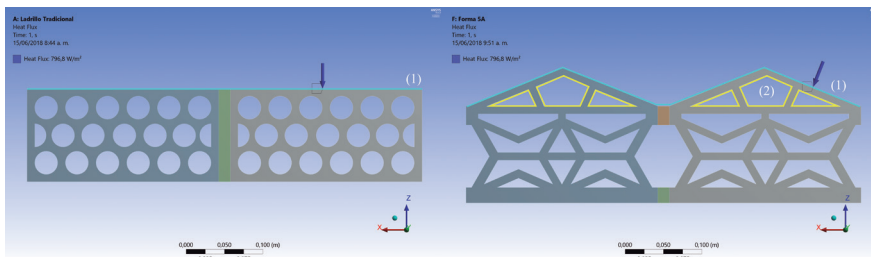


Fuente: elaboración propia.

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

## Setup

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



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

Fuente: elaboración propia.

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

## Solution

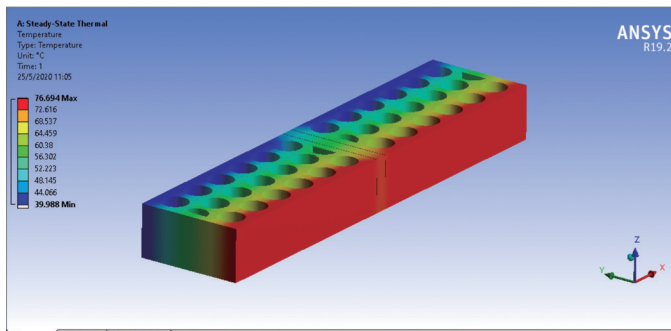
Las soluciones más relevantes de la simulación son distribución de temperatura y flujos de calor.

## Results

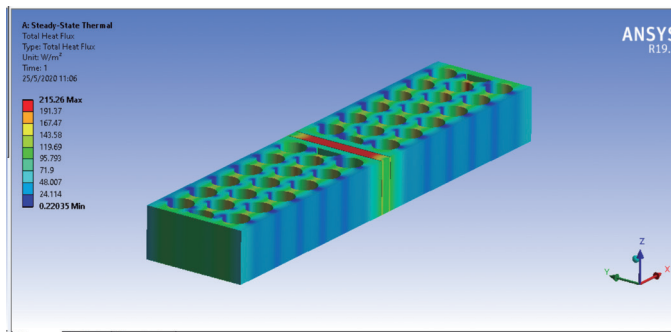
Los resultados arrojan gráficos de la distribución de temperaturas en °C y flujos de calor en  $W/m^2$ . La Figura 14 ejemplifica los resultados obtenidos de las simulaciones, en el caso de LM en M Aa.

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

a.



b.



Fuente: elaboración propia.

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