

## ESTRUCTURAS

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales – Especialidad Mecánica

### PRÁCTICA 1: TRANSMISIÓN DE CALOR

Álvaro Morales Sánchez – 18240

Jorge Calvo Arroyo

Antón Levytskyy

## Contenido

1.	Modelo 1D y cálculo manual .....	3
2.	Modelo sin disipador – ANSYS.....	6
3.	Diseño disipador .....	10
4.	Evaluación 1D del disipador.....	10
5.	Evaluación del disipador con ANSYS .....	10

## 1. Modelo 1D y cálculo manual

Previo al diseño del disipador habrá que estudiar el comportamiento del chip. A partir del guión, tenemos el siguiente esquema y datos:

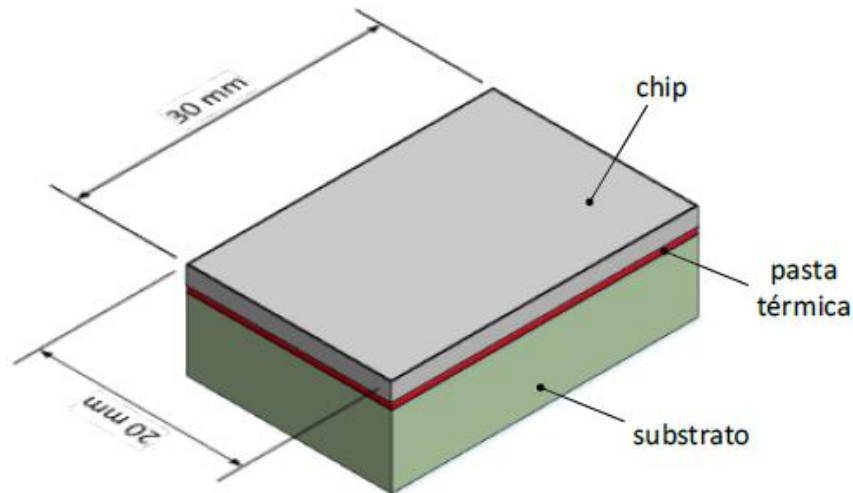


ILUSTRACIÓN 1 - ESQUEMA DEL CHIP

- $V$  aire forzada
- $h = 240 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $T = 30^\circ\text{C}$

$k_{\text{chip}} = 50 \text{ W/mK}; t_{\text{chip}} = 2 \text{ mm}$
$k_{\text{pasta}} = 3.8 \text{ W/mK}; t_{\text{pasta}} = 0.8 \text{ mm}$
$k_{\text{subst}} = 120 \text{ W/mK}; t_{\text{subst}} = 12 \text{ mm}$

- $V$  aire no forzada
- $h = 35 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $T = 30^\circ\text{C}$

ILUSTRACIÓN 2 - DATOS DE LOS COMPONENTES

Para el diseño, debemos tener en cuenta que el chip generará calor según la frecuencia de funcionamiento, alcanzando una generación máxima de  $Q = 65 \text{ W}$ . El chip no puede pasar una temperatura máxima de funcionamiento de  $95^\circ\text{C}$ . En todo momento habrá que tener en cuenta que las caras externas producen disipación por convección, como se observa en el esquema resumen con los datos. En la cara externa del chip la convección es forzada por un ventilador situado en el equipo.

Una vez definidas las condiciones de trabajo se pasa a estudiar el comportamiento del chip sin disipador. Para ello se toman todos los contactos entre superficies idealmente perfectos, sin resistencias adicionales. Con este primer estudio 1D se obtienen las temperaturas de los distintos elementos y la disipación de las caras externas.

Para dicho estudio se toma un modelo FEM en el cual cada elemento del mallado corresponderá a uno de los elementos del esquema del chip.

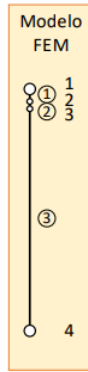


ILUSTRACIÓN 3 - EJEMPLO DEL MODELO FEM

Observando el modelo y comparándolo con el chip:

- Elemento 1: Chip. Longitud del elemento,  $L_1 = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$ .
- Elemento 2: Pasta térmica (óxido de zinc).  $L_2 = 0,8 \text{ mm} = 0,0008 \text{ m}$ .
- Elemento 3: Substrato de base de aluminio.  $L_3 = 12 \text{ mm} = 0,012 \text{ m}$ .
- Nudo 1: Superficie del chip en contacto con el aire, nudo a través del cual se producirá parte de la disipación por convección.
- Nudo 2: Superficie entre el chip y la pasta. Como se mencionó previamente, se considerará idealmente perfecto por lo que se omitirá la transferencia entre elementos.
- Nudo 3: Superficie entre la pasta y el substrato. Calor en dicha superficie supuesto como nulo.
- Nudo 4: Superficie del substrato en contacto con el aire, el otro nudo donde se producirá la disipación a estudiar.

En todos los elementos el área es constante,  $A_e = 600 \text{ mm}^2 = 0,0006 \text{ m}^2$ . ( $A_e = A_1 = A_2 = A_3$ )

Siendo la matriz de rigidez elemental de un elemento 1D:

$$K^e = \frac{k^e * A_e}{L_e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Con los datos anteriores y la división FEM realizada, las matrices de cada elemento serán:

$$K^1 = \frac{k_{chip} * A_e}{L_e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = \frac{50 \frac{W}{mK} * 0,0006 \text{ m}^2}{0,002 \text{ m}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = 15 \frac{W}{K} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K^2 = \frac{k_{pasta} * A_e}{L_e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = \frac{3,8 \frac{W}{mK} * 0,0006 \text{ m}^2}{0,0008 \text{ m}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = 2,85 \frac{W}{K} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K^3 = \frac{k_{subst} * A_e}{L_e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = \frac{120 \frac{W}{mK} * 0,0006 \text{ m}^2}{0,012 \text{ m}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = 6 \frac{W}{K} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

El sistema, de forma  $K T = Q$  será:

$$\begin{bmatrix} K_{11}^1 & K_{12}^1 & 0 & 0 \\ K_{21}^1 & K_{22}^{1+2} & K_{23}^2 & 0 \\ 0 & K_{32}^2 & K_{33}^{2+3} & K_{34}^3 \\ 0 & 0 & K_{43}^3 & K_{44}^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix}$$

Ensamblando las matrices anteriores en sus posiciones correspondientes:

$$\begin{bmatrix} 15 & -15 & 0 & 0 \\ -15 & 15 + 2,85 & -2,85 & 0 \\ 0 & -2,85 & 2,85 + 6 & -6 \\ 0 & 0 & -6 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix}$$

A continuación, se desarrolla el vector de cargas y las condiciones de contorno, para ensamblarlas en el vector Q.

- Vector de carga o calor generado por volumen en el chip:

$$f^1 = \frac{Q}{2} * \begin{bmatrix} f_1^1 \\ f_2^1 \end{bmatrix}$$

Sustituyendo para régimen máximo Q = 65 W:

$$f^1 = \frac{65 \text{ W}}{2} * \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

- No hay ninguna condición esencial o de Dirichlet ( $T_1 = T_{superficie}$ )
- Tampoco hay condiciones naturales o de Neumann.
- Convección superficial. Al contrario de los anteriores, de este tipo de contorno tendremos dos. El primero entre la superficie externa del chip y el aire forzado (Nudo 1).

$$\begin{aligned} q_{01} &= -h_{aire \text{ forzado}} * A_e * (T_1 - T_{\infty}) = -240 \frac{W}{m^2 K} * 0,0006 \text{ m}^2 * (T_1 - T_{\infty}) \\ &= -0,144 \frac{W}{K} * (T_1 - T_{\infty}) \end{aligned}$$

El segundo entre la superficie externa del substrato con el aire sin forzada (Nudo 4).

$$\begin{aligned} q_{04} &= -h_{aire \text{ no forzado}} * A_e * (T_4 - T_{\infty}) = -35 \frac{W}{m^2 K} * 0,0006 \text{ m}^2 * (T_4 - T_{\infty}) \\ &= -0,021 \frac{W}{K} * (T_4 - T_{\infty}) \end{aligned}$$

Metiendo dichas condiciones en el vector Q, el sistema será:

$$\begin{bmatrix} 15 & -15 & 0 & 0 \\ -15 & 15 + 2,85 & -2,85 & 0 \\ 0 & -2,85 & 2,85 + 6 & -6 \\ 0 & 0 & -6 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} = f^1 + q_{01} + q_{04}$$

$$\begin{bmatrix} 15 & -15 & 0 & 0 \\ -15 & 15 + 2,85 & -2,85 & 0 \\ 0 & -2,85 & 2,85 + 6 & -6 \\ 0 & 0 & -6 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} = \frac{65 \text{ W}}{2} * \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - 0,144 \frac{W}{K} * \begin{bmatrix} (T_1 - T_{\infty}) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - 0,021 \frac{W}{K} * \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ (T_4 - T_{\infty}) \end{bmatrix}$$

Pasando a la matriz de rigideces los términos que multiplican a  $T_1$  y  $T_4$ , y juntando los de  $T_{\infty}$ :

$$\begin{bmatrix} 15 + 0,144 & -15 & 0 & 0 \\ -15 & 15 + 2,85 & -2,85 & 0 \\ 0 & -2,85 & 2,85 + 6 & -6 \\ 0 & 0 & -6 & 6 + 0,021 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} = \frac{65 \text{ W}}{2} * \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + T_{\infty} * \begin{bmatrix} 0,144 \frac{W}{K} \\ 0 \\ 0 \\ 0,021 \frac{W}{K} \end{bmatrix}$$

Juntando y sumando, sacando el sistema final a resolver (con  $T_{\infty} = 30^{\circ}\text{C} = 303,15 \text{ K}$  para ambas convecciones):

$$\begin{bmatrix} 15,144 & -15 & 0 & 0 \\ -15 & 17,85 & -2,85 & 0 \\ 0 & -2,85 & 8,85 & -6 \\ 0 & 0 & -6 & 6,021 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 76,15 \\ 32,5 \\ 0 \\ 6,37 \end{bmatrix}$$

Resolviéndolo, obtendremos las temperaturas buscadas:

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 697,43 \\ 699,05 \\ 696,16 \\ 694,79 \end{bmatrix} \text{ K} = \begin{bmatrix} 424,28 \\ 425,9 \\ 423,01 \\ 421,64 \end{bmatrix} ^{\circ}\text{C}$$

Con este resultado comprobamos que se supera con bastante diferencia los  $95^{\circ}\text{C}$  de temperatura máxima de funcionamiento, por lo que confirmamos que habrá que diseñar un disipador.

Además, la disipación resulta:

$$q_{01} = -56,77 \text{ W (el - confirma que es saliente)}$$

$$q_{04} = -8,22 \text{ W}$$

Realizando un balance con el generado:  $-56,77 - 8,22 + 65 = 0,01 \text{ W}$ . Habrá una parte del calor generado que no es disipada, habrá que intentar incrementar dicha transferencia con el disipador.

## 2. Modelo sin disipador – ANSYS

En este apartado se busca confirmar la coherencia de los resultados anteriores, previo al diseño del disipador, empleando ANSYS.

Siguiendo los pasos explicados por el profesor tanto en clase como en la práctica:

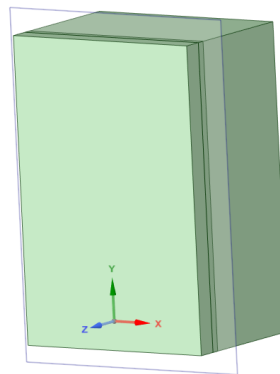


ILUSTRACIÓN 4 - GEOMETRÍA DEL CHIP EN ANSYS

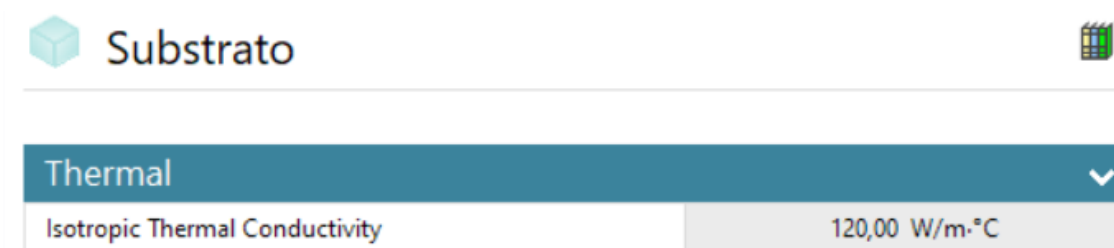


ILUSTRACIÓN 5 - PROPIEDADES DE MATERIAL: SUBSTRATO

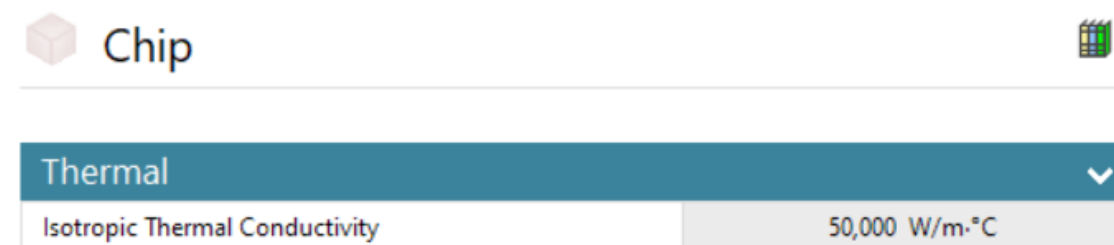


ILUSTRACIÓN 6 - PROPIEDADES DE MATERIAL: CHIP

Thermal	
Isotropic Thermal Conductivity	3,8000 W/m·°C

ILUSTRACIÓN 7 - PROPIEDAD DE MATERIAL: PASTA

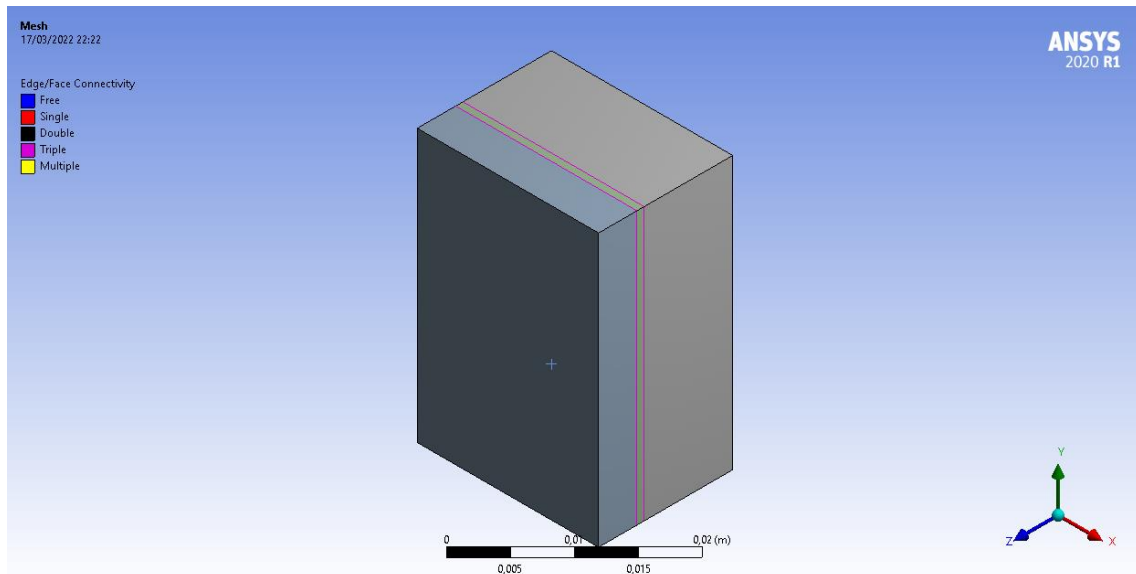


ILUSTRACIÓN 8 - GEOMETRÍA CON CONTACTO ENTRE CARAS RESALTADO

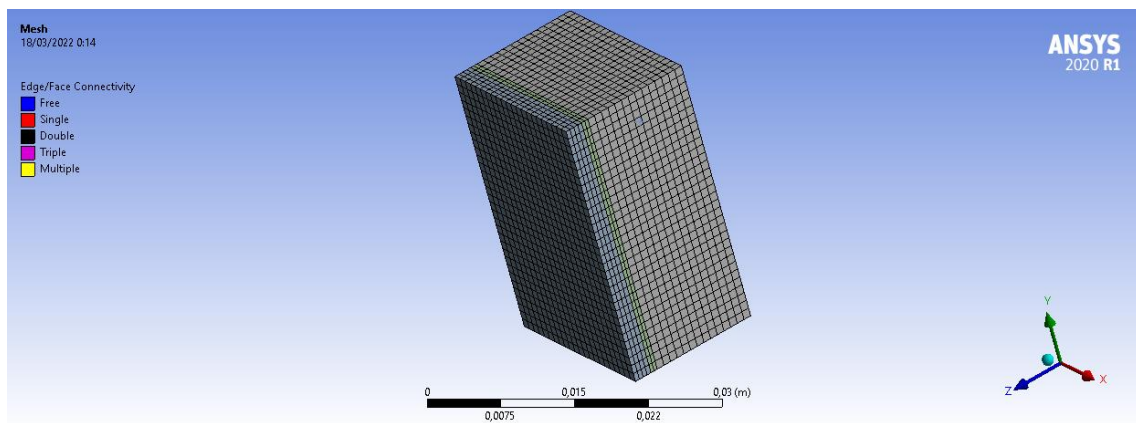


ILUSTRACIÓN 9 - MALLADO DE LA GEOMETRÍA

Type	Internal Heat Generation
<input type="checkbox"/> Magnitude	5,4167e+007 W/m <sup>3</sup> (ramped)

ILUSTRACIÓN 10 - GENERACIÓN INTERNA DEL MODELO

Type	Convection
<input type="checkbox"/> Film Coefficient	240, W/m <sup>2</sup> ·°C (step appli...
<input type="checkbox"/> Ambient Temperature	30, °C (ramped)

ILUSTRACIÓN 11 - CONDICIÓN DE CONVECCIOÓN CHIP-AIRE

Type	Convection
<input type="checkbox"/> Film Coefficient	35, W/m <sup>2</sup> ·°C (step applied)
<input type="checkbox"/> Ambient Temperature	30, °C (ramped)

ILUSTRACIÓN 12 - CONDICIÓN DE CONVECCIÓN: SUBSTRATO-AIRE

Tras crear la geometría, copiar en ANSYS las propiedades de los materiales, mallar y poner las condiciones al modelo se obtienen los siguientes resultados.

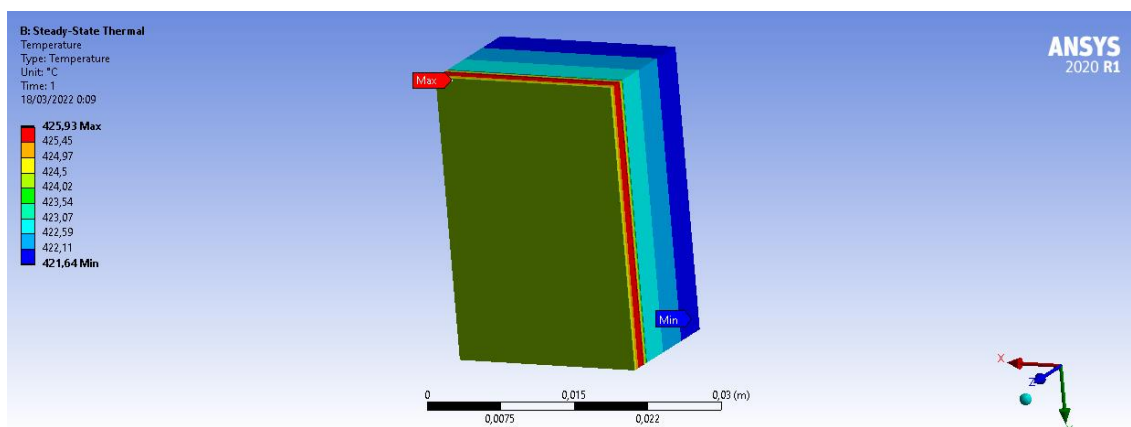


ILUSTRACIÓN 13 - DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS

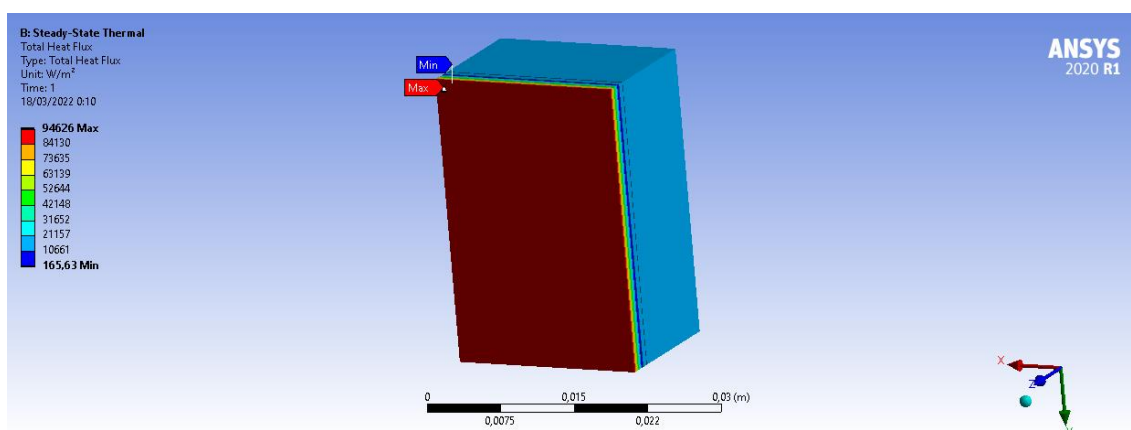


ILUSTRACIÓN 14 - DISTRIBUCIÓN DE CALOR



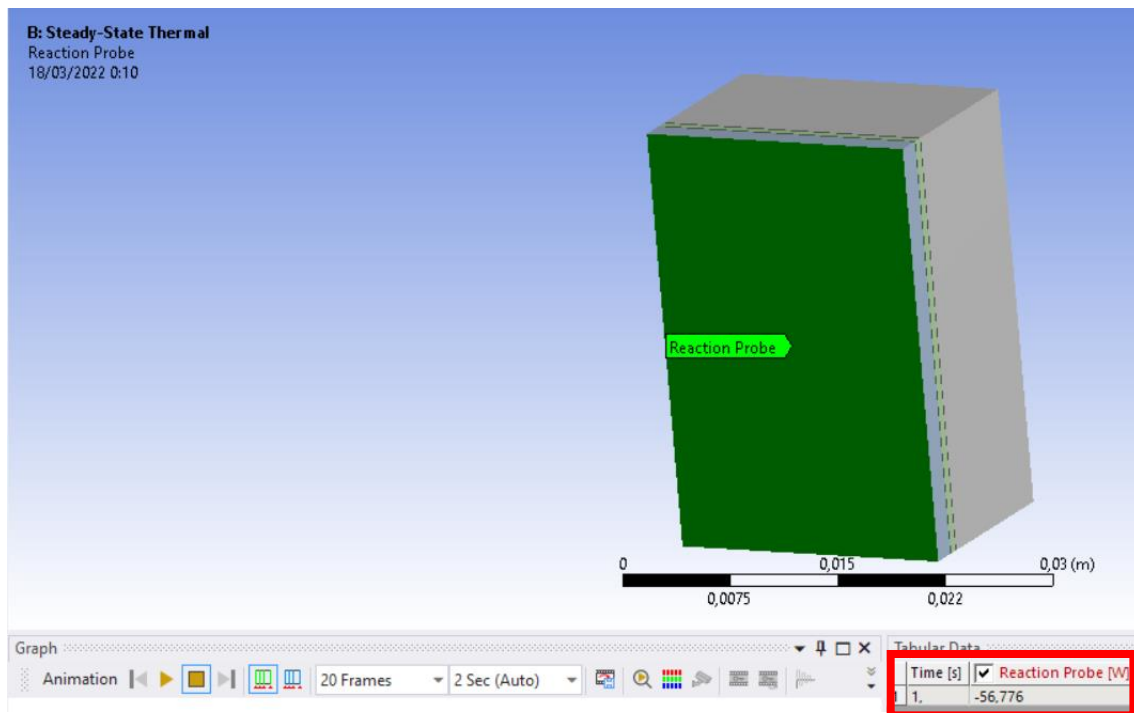


ILUSTRACIÓN 15 - CALOR DISIPADO POR LA CONVECCIÓN CHIP-AIRE

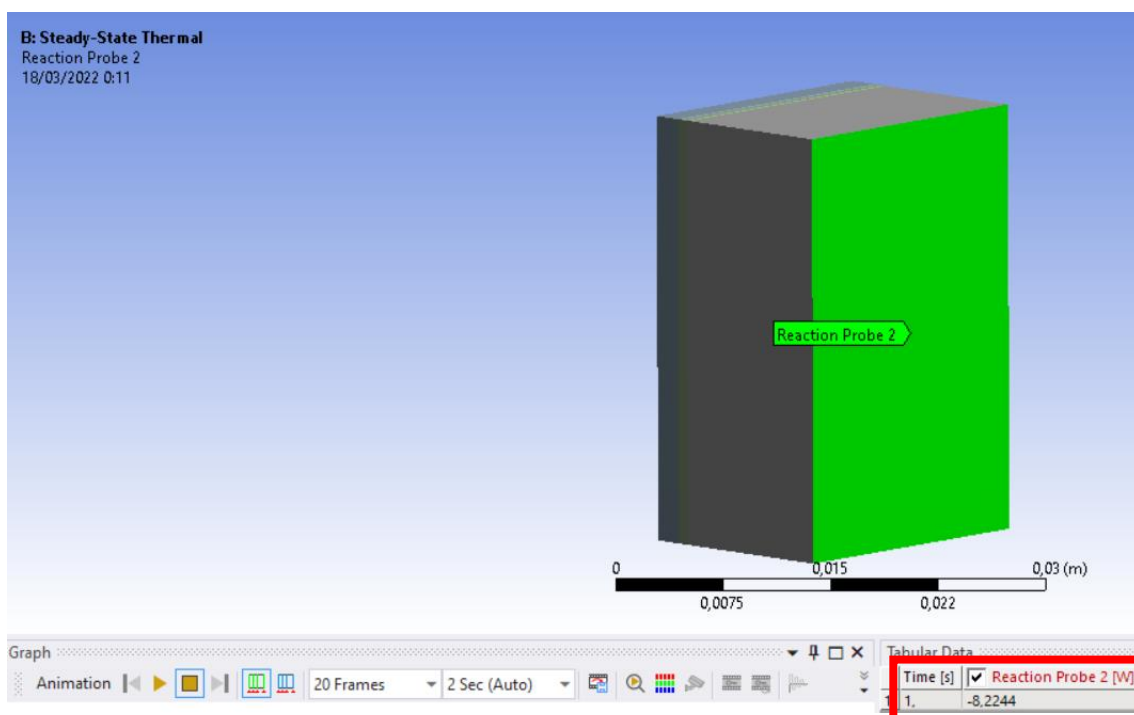


ILUSTRACIÓN 16 - CALOR DISIPADO POR LA CONVECCIÓN SUBSTRATO-AIRE

Como se puede observar en las últimas imágenes, tanto temperaturas como calores coinciden tanto en el modelo 1D como en ANSYS. Por lo que podremos confirmar los resultados anteriores y afirmar que debemos crear un disipador para lograr reducir la temperatura del chip.

3. Diseño disipador
4. Evaluación 1D del disipador
5. Evaluación del disipador con ANSYS