



# **CARACTERIZACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN MATERIALES AISLANTES**

[INFO@IESMAT.COM](mailto:INFO@IESMAT.COM)

**91 650 8005**

**17 DE ABRIL DE 2024**

**iesmat**

# AGENDA

**Qué es la Conductividad Térmica**

**Métodos para determinar la Conductividad Térmica**

- Estacionarios
- Transitorios

**Métodos de medida transitorios**

- MTPS
- TPS Flex
- TLS

**Aplicaciones habituales en la determinación de la conductividad térmica**

**Determinación de la Conductividad Térmica – Materiales Aislantes**

# iesmat

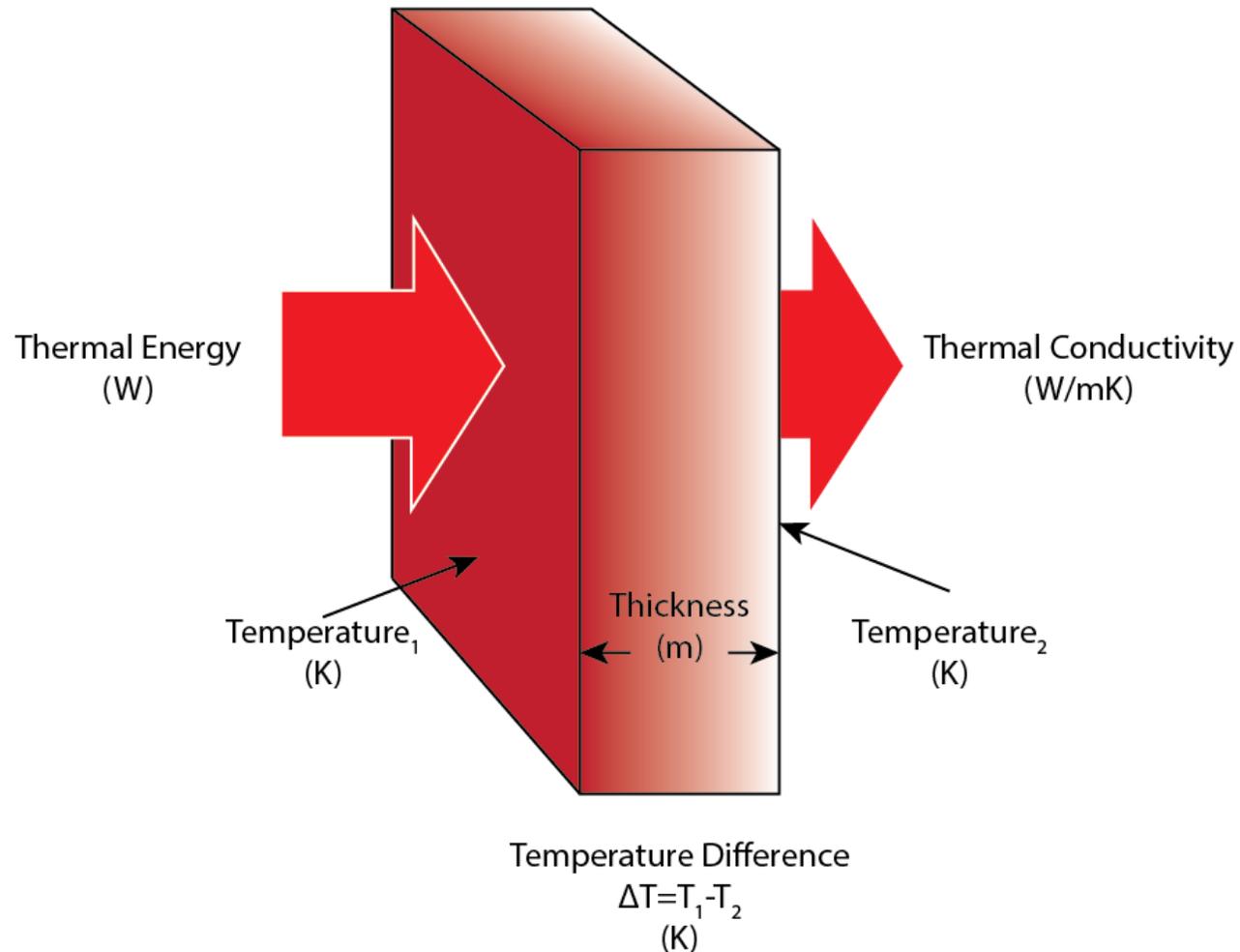


## ¿QUIÉNES SOMOS?

IESMAT es el **equipo** especializado en **solucionar tus retos** de caracterización de materiales

- **Tamaño**
- **Concentración**
- **Potencial zeta**
- **Afinidad**
- **( $\mu$ ) Calorimetría**
- **... y más**

# ¿Qué es la Conductividad Térmica?



Capacidad de un material para conducir calor.

Se denota como  $k$  y tiene unidades SI de  $W/m \cdot K$



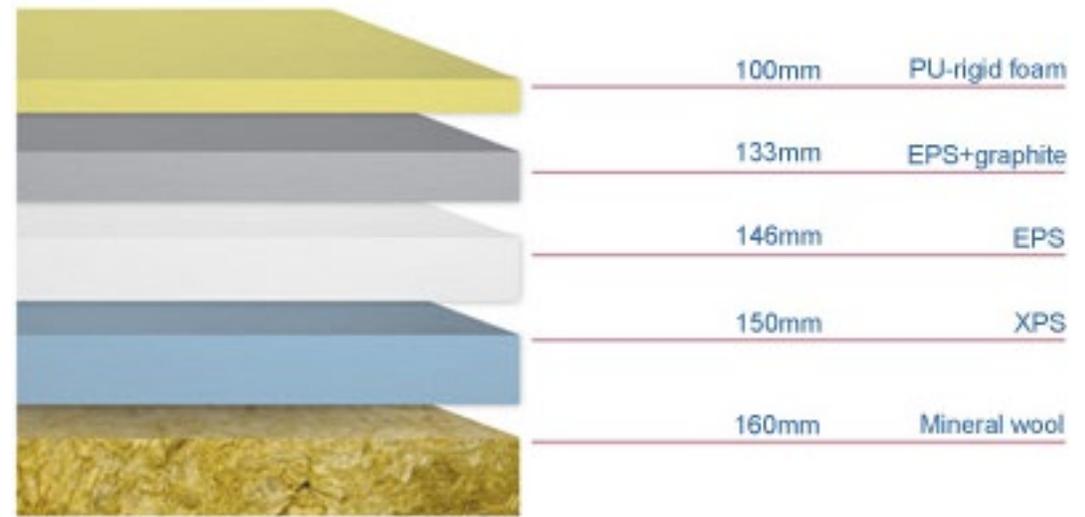
**Hierro Fundido**  
**52 W/mK**

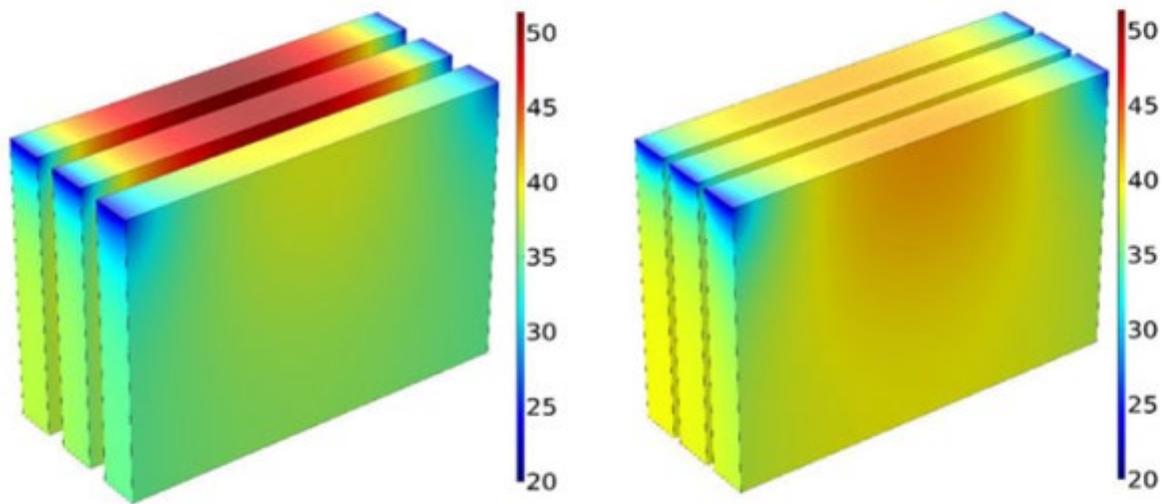
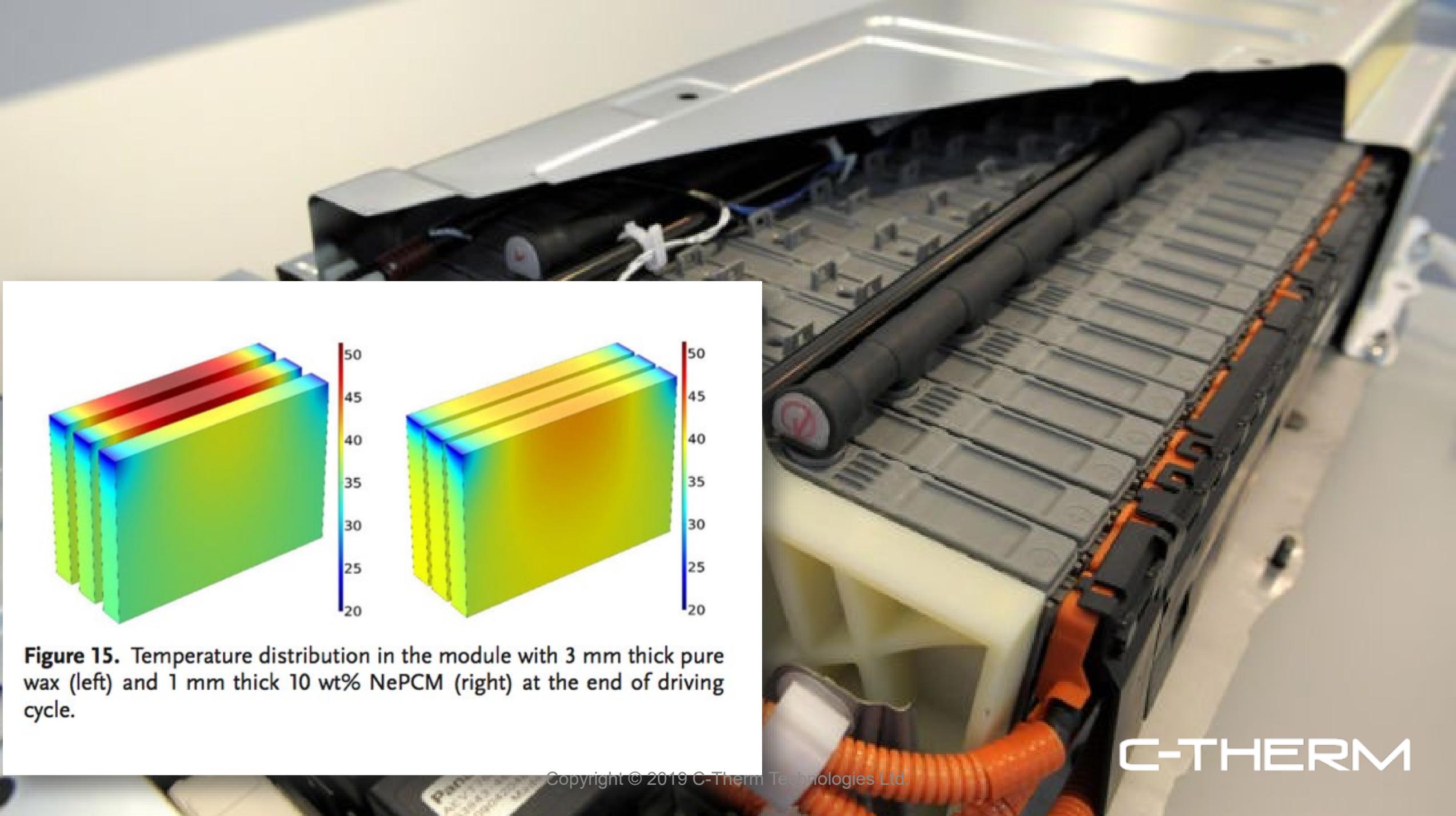
**Trapo de Algodón**  
**0.04 W/mK**

**C-THERM**



## Aislante térmico equivalente (r-value)





**Figure 15.** Temperature distribution in the module with 3 mm thick pure wax (left) and 1 mm thick 10 wt% NePCM (right) at the end of driving cycle.

# Conductividad Térmica ( $k$ )

Depende del Material:

- Fase
  - Sólida
  - Líquida
  - Polvo
  - Pasta
- Estructura
- Composición
- Densidad

Depende del Ambiente:

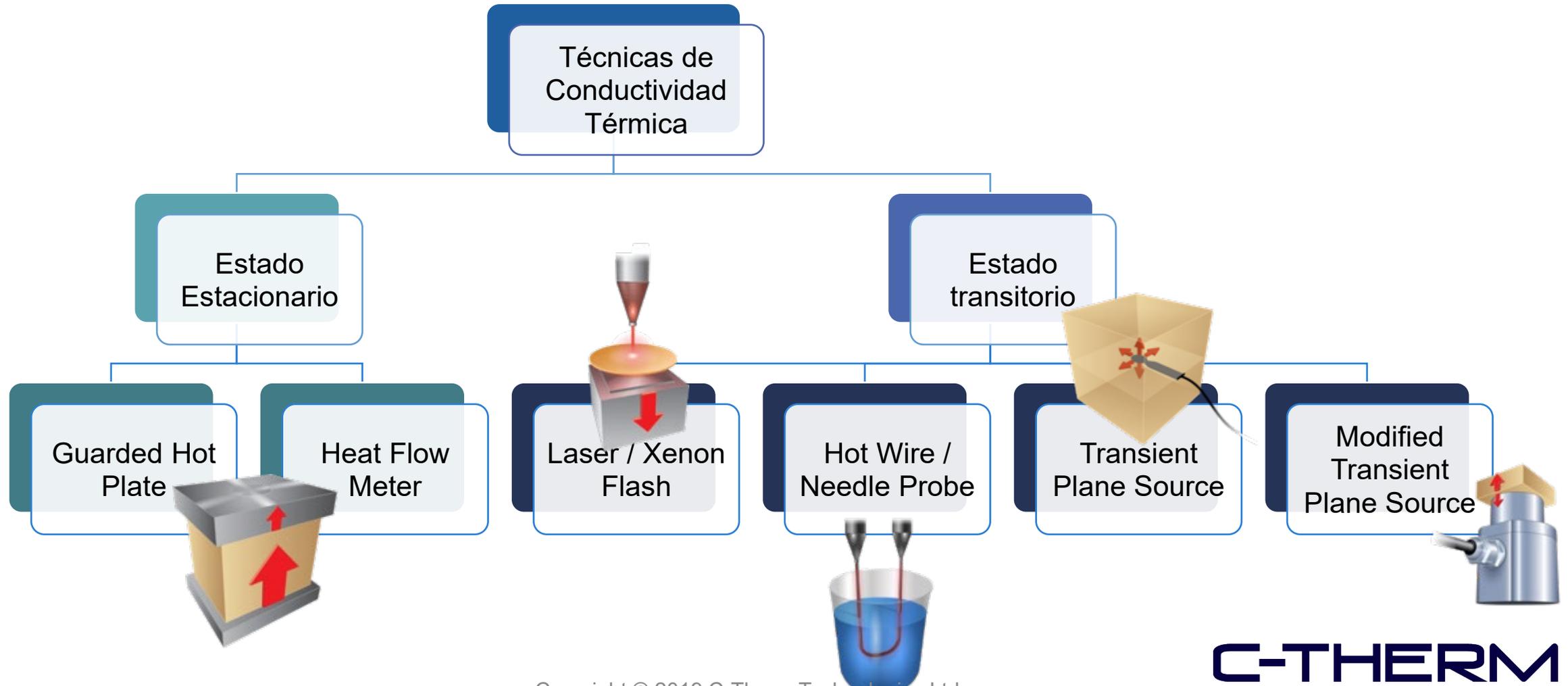
- Temperatura
- Presión
- Humedad



# Obtener buenos datos de Conductividad Térmica

1. Replicar el ambiente real del material de estudio (temperatura, presión, compresión, humedad)
2. Elegir el método más adecuado para la muestra.
3. Reducir los efectos del aire entre el sensor y la muestra.

# Técnicas de medida de Conductividad Térmica



# Estado Estacionario

- **¿Cómo funciona?:** Muestra sólida de dimensión fija entre dos placas de temperatura controlada. Una placa se calienta mientras que la otra no y las temperaturas de las placas se controlan hasta que son constantes.
  - El espesor de la muestra y la entrada de calor a la placa caliente se utilizan para calcular la conductividad térmica.



# Estado Estacionario

## Tamaño de muestra

- Típico 10cm a 30cm de lado, ~5cm grosor

## Tipo de muestra

- Bajas conductividades térmicas ( $<1$  W/mK) como materiales de construcción, aislantes

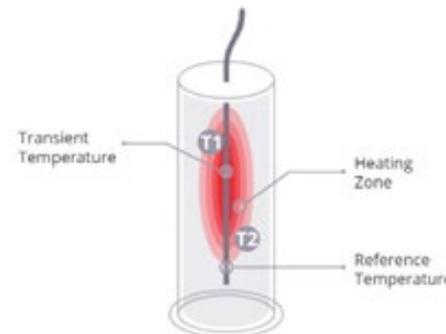
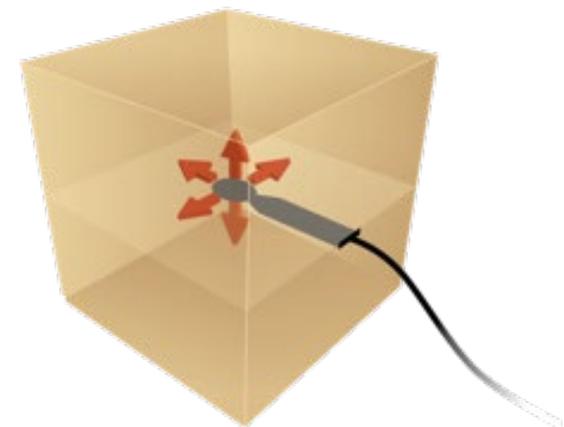
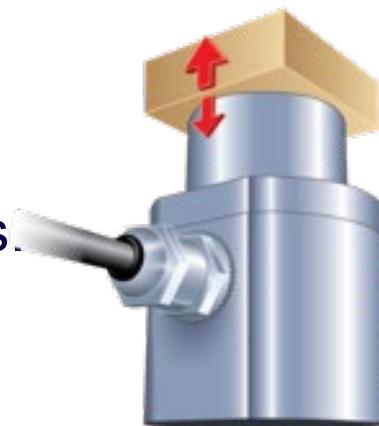
## Tiempo de la prueba

- 30 minutos a 8 horas, dependiendo de las propiedades de la muestra



# Análisis Térmico Transitorio

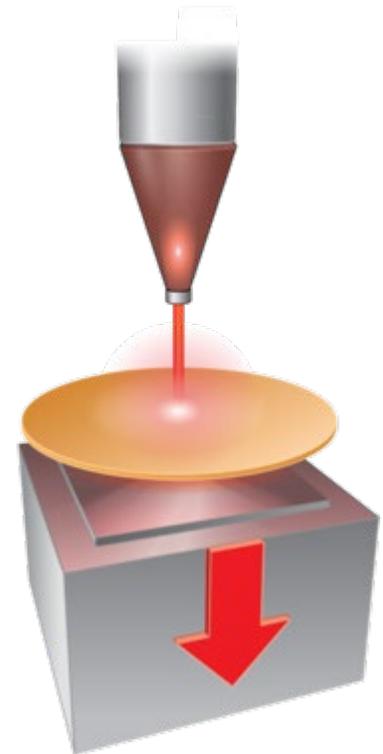
- Beneficios de las opciones Transitorias:
  - Medidas rápidas.
  - Requisitos de tamaño relativamente flexibles.
  - Formatos de muestra y condiciones de prueba versátiles.
- Tres métodos de discusión:
  - Difusión láser/Flash Xenon (No C-Therm)
  - **Modified Transitory Plane Source (MTPS).**
  - **Transitory Plane Source (TPS).**
  - **Transitory Line Source (TLS).**



# Difusión Láser - Xenon Flash

**¿Cómo funciona?:** Se aplica un pulso corto de calor a la cara frontal de una muestra usando un láser o un flash de xenón, y se mide el cambio de temperatura de la cara trasera con un detector infrarrojo (IR).

- El resultado del aumento de la temperatura de la cara posterior como función del tiempo, junto con el espesor de la muestra permite determinar la difusividad térmica.
- La difusividad combinada con la densidad y la capacidad calorífica permite calcular la conductividad térmica.



# Difusión Láser - Xenon Flash

## Tamaño de muestra

- 12mm diámetro / lado

## Tipo de muestra

- Homogeneo, sólidos, opacos

## Tiempo de prueba

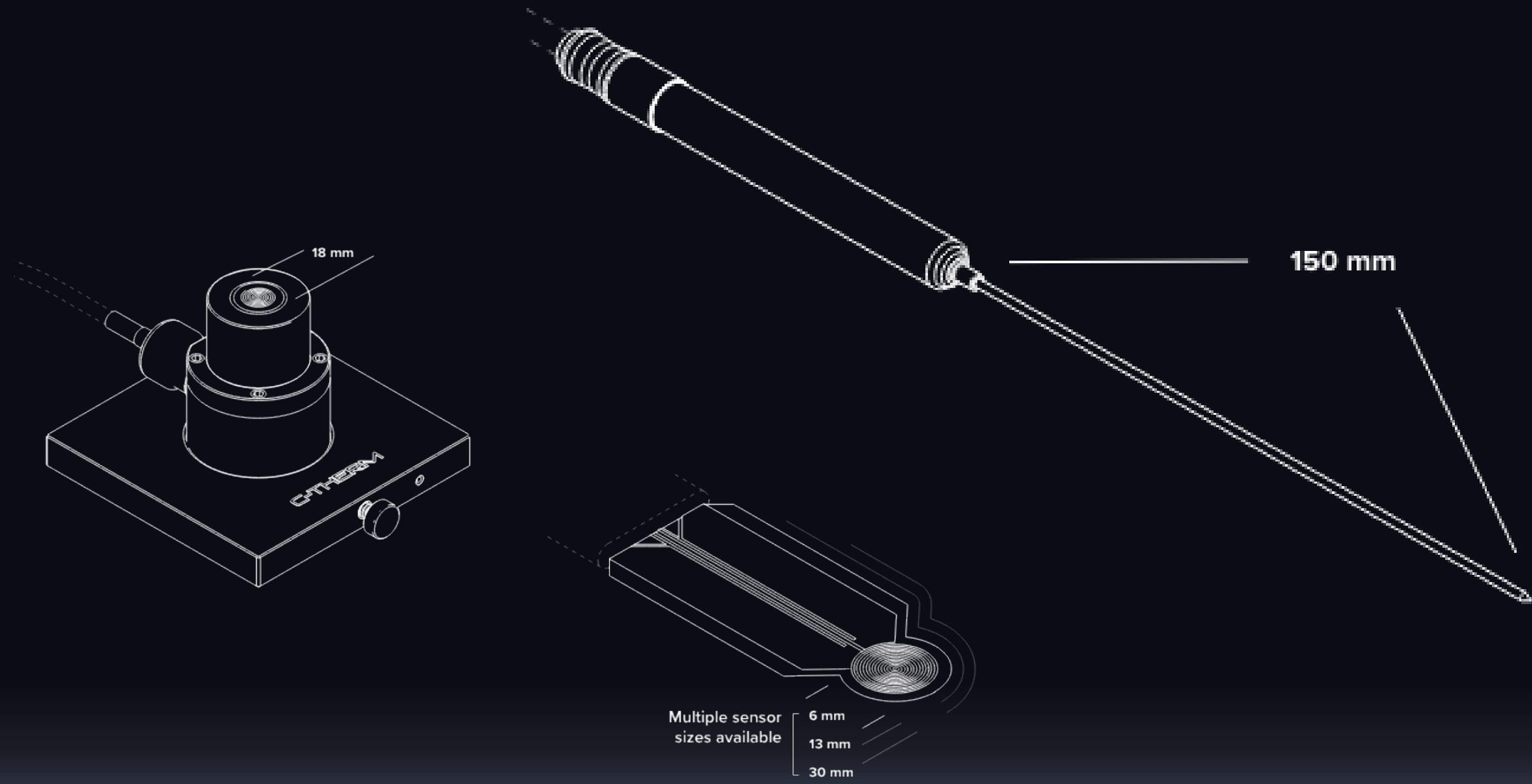
- Segundos, pero con preparación de muestra importante y se necesita experiencia.
- Se necesitan los datos de difusividad, capacidad calorífica y densidad para determinar la conductividad térmica.

## Otras consideraciones

- Ideal para pruebas a alta temperatura (>500° C).
- ASTM E1461.

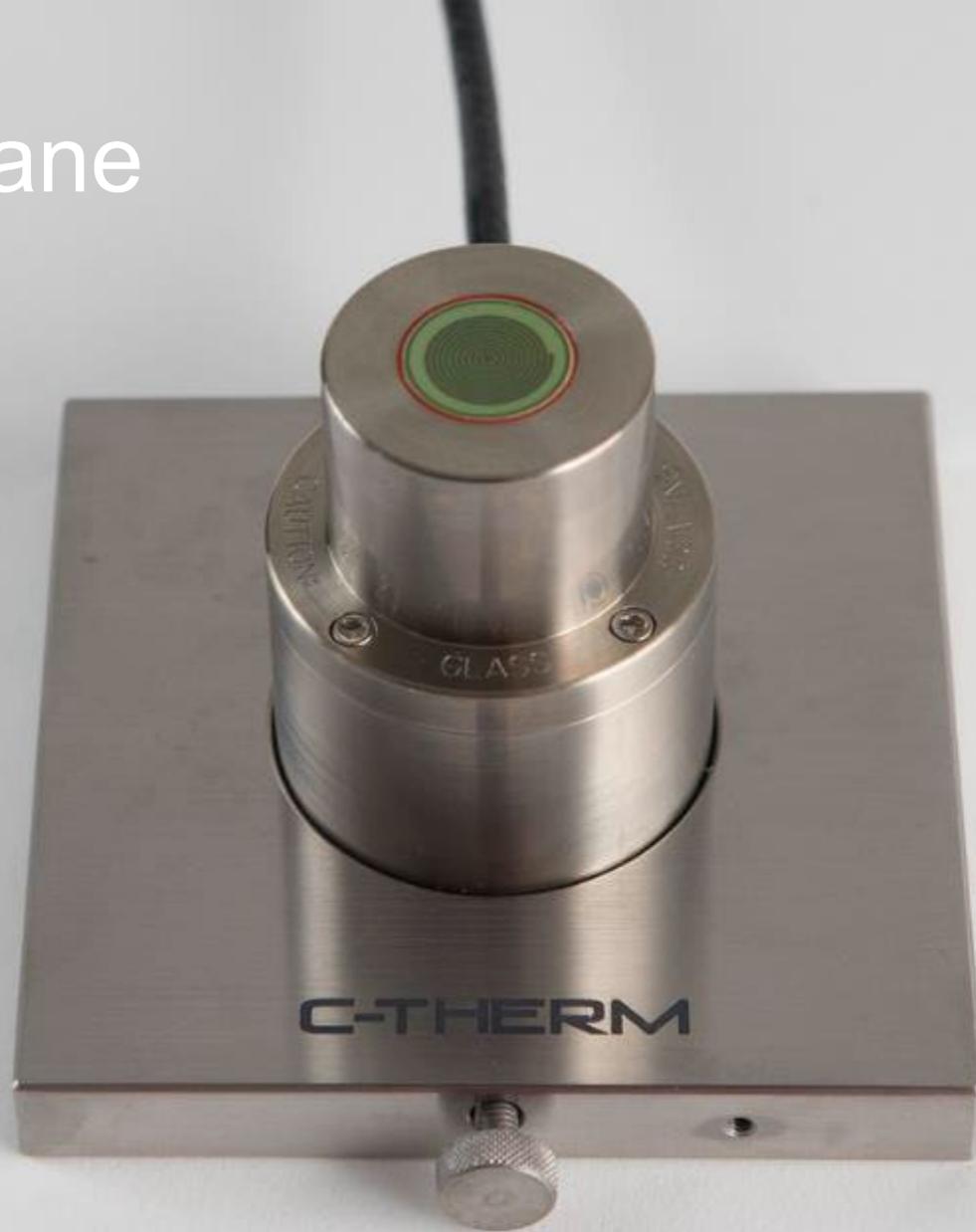


**C-THERM**



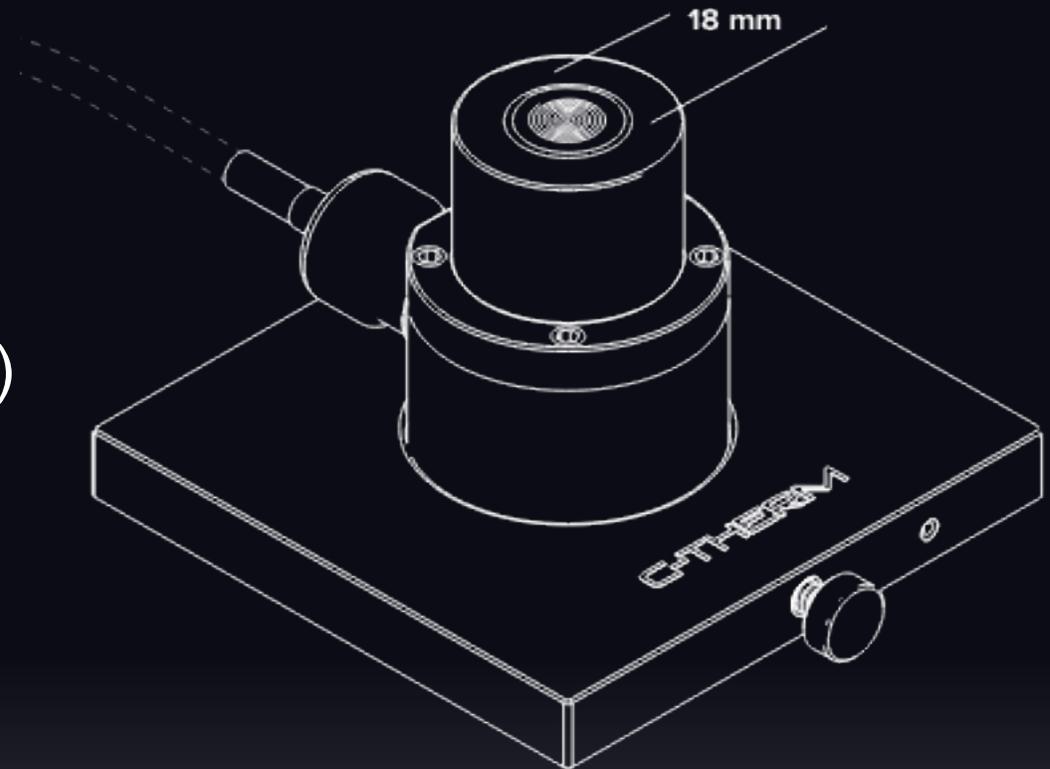
**C-THERM**

# Modified Transient Plane Source - MTPS



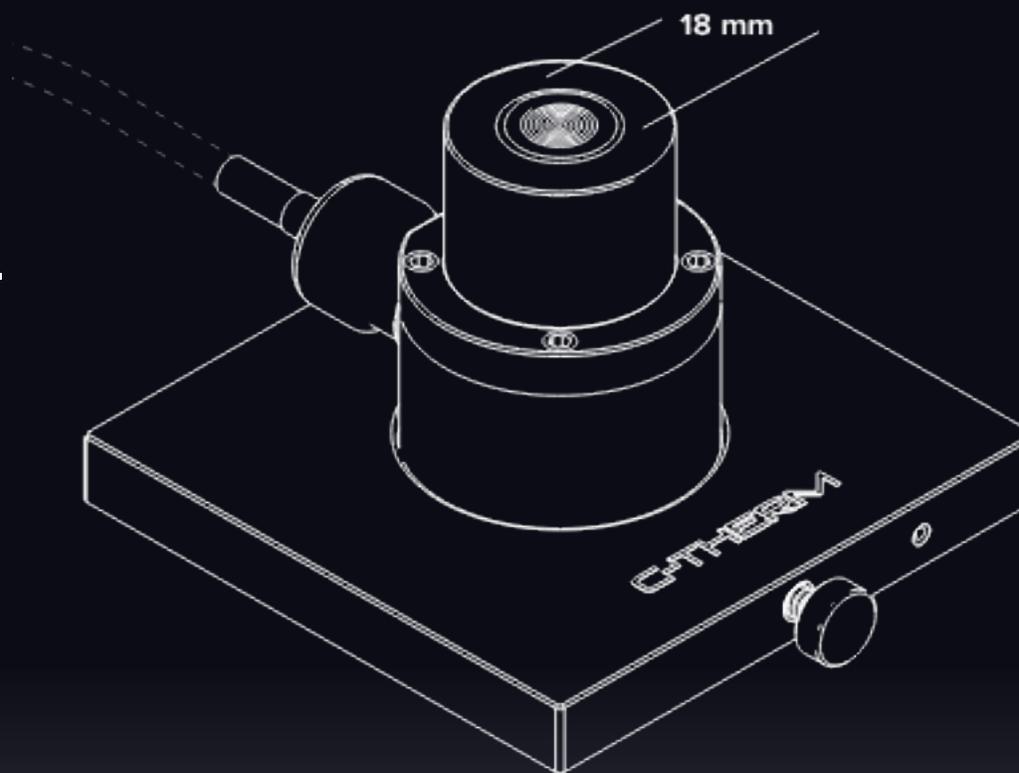
# Modified Transitory Plane Source (MTPS)

- Sensor de una cara.
- También mide efusividad térmica.
- Trabaja de acuerdo ASTM D7984.
- El método más sencillo de utilizar.
- El método más rápido (1-3 segundos)
- Más versátil:
  - Pruebas de sólidos, líquidos, polvos y pastas
  - Adaptable para alta presión
  - Amplio rango de temperatura.

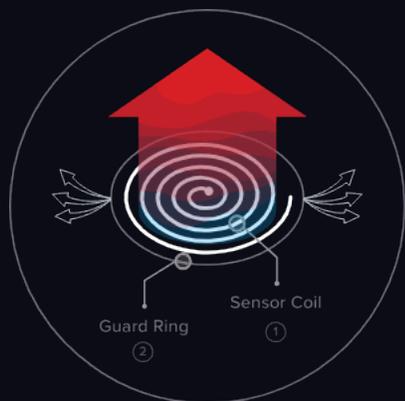


# Modified Transitory Plane Source (MTPS)

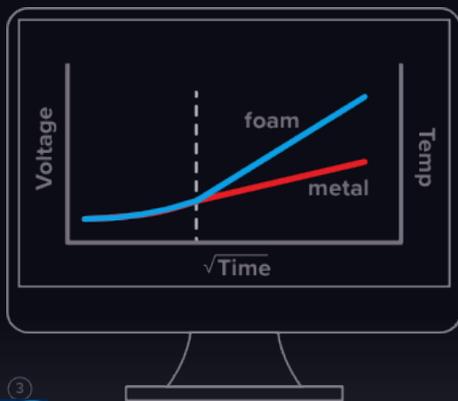
- Temperatura
  - -50 – 200° C (opcional hasta 500° C)
  - Gradiente < 1° C
- Compatibilidad Química de fluidos.
- Metales:
  - Metales > 110 W/mK
    - High Metals Calibration
  - 15 W/mK < Metales < 110 W/mK
    - Low Metals Calibration



# MTPS – Principios de Operación



1. Se aplica una corriente en la bobina del sensor principal.
2. Un anillo protector que rodea la bobina del sensor hace que la transferencia de calor a la muestra sea unidimensional
3. La corriente aplicada da como resultado un aumento de temperatura en la interfaz entre el sensor y la muestra, lo que induce un cambio en la caída de voltaje del sensor.
4. La caída de voltaje está calibrada para controlar el cambio de temperatura a lo largo del tiempo. La conductividad térmica de la muestra es inversamente proporcional a la tasa de aumento de la temperatura.



# MTPS – Tipos de muestra

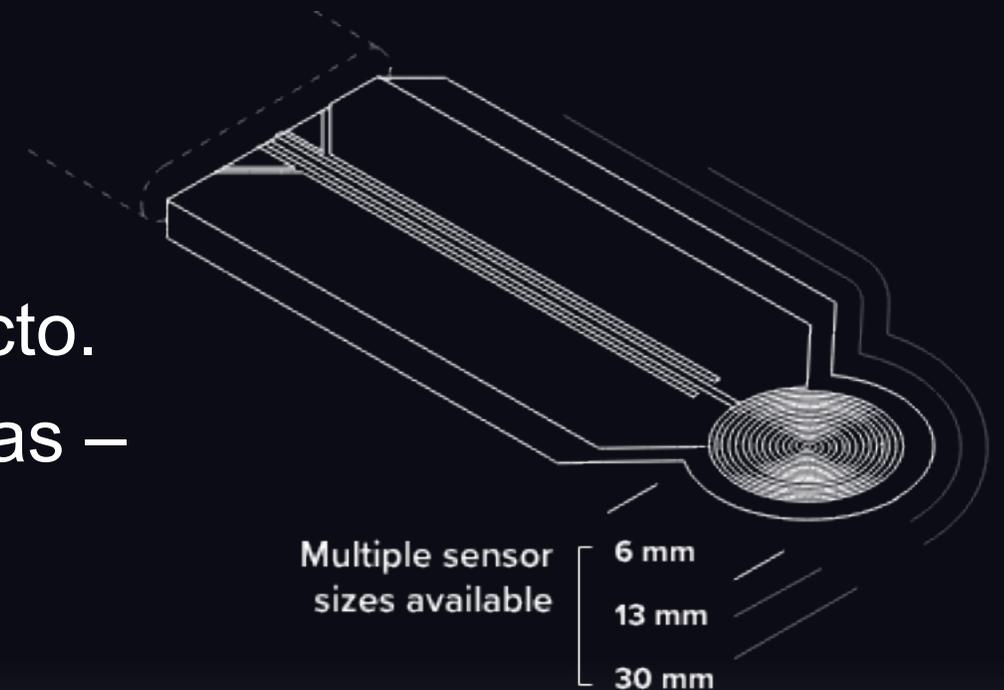


# Transient Plane Source - TPS

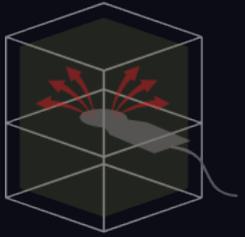


# FLEX Transient Plane Source (TPS)

- Sensor de doble cara.
- Conforme a ISO 22007-2.
- Opciones de tamaño de sensor.
- Parámetros de prueba ajustables.
- Sin necesidad de agente de contacto.
- Utilizadas especializadas avanzadas –  
SLAB / Thin Films / Anisotropic



# TPS – Principio de Operación



①  
Parameter Estimation



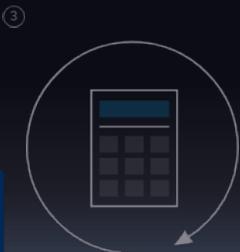
– Time



– Power



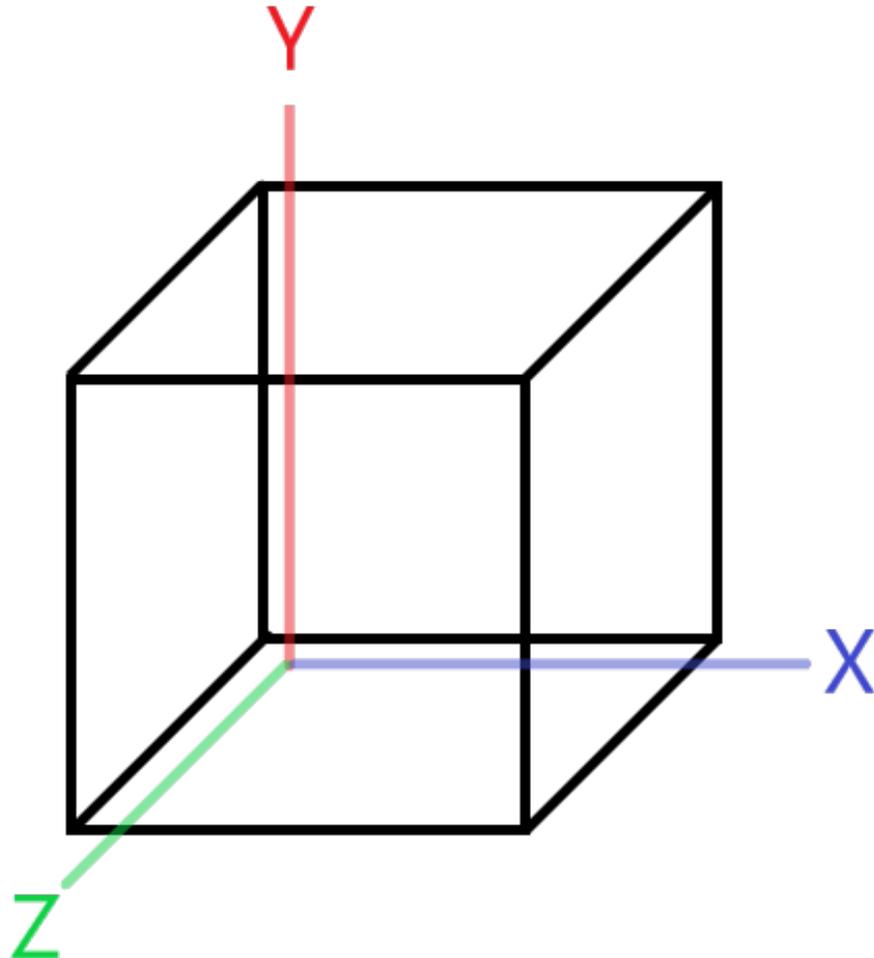
– Sensor  
Size



1. Se aplica energía al elemento calefactor en espiral del sensor, lo que proporciona una pequeña cantidad de calor. Esto da como resultado un aumento de la temperatura en la interfaz entre el sensor y la muestra, controlado por el sensor de temperatura calibrado de fábrica (TCR).
2. Los resultados de la ejecución inicial se utilizan para estimar el tiempo de prueba, el nivel de potencia y el tamaño ideal del sensor. El experimento se ejecuta con los nuevos parámetros. Se proporciona orientación en la norma ISO 22007-2.2.
3. El resultado de la prueba es una gráfica de temperatura vs tiempo.
4. Los resultados se analizan con un procedimiento de resolución iterativo para generar datos de propiedades térmicas como la difusividad térmica y la conductividad térmica.



# Limitación Anisotrópica TPS



## Isotrópico

$$Y = X = Z$$

(TPS Bulk Utility)

## Anisotropía Ortotrópica

$$Y \neq X = Z$$

(TPS Anisotropic Utility)

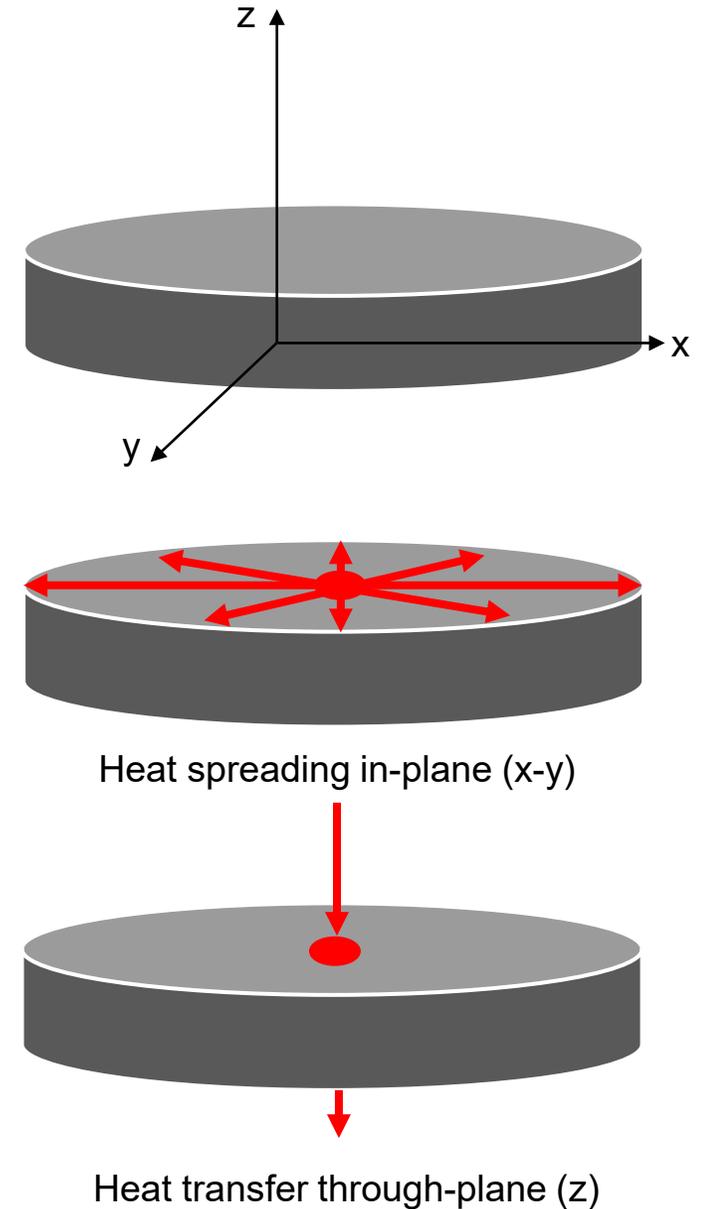
## Anisotropía de 3 capas

$$Y \neq X \neq Z$$

(N/A - MTPS)

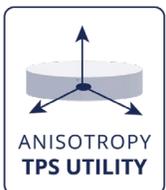
# Utilidad Anisotrópica

- Limitado a materiales Ortotrópicos.
- Informa sobre las propiedades en plano y a través de plano.
- Necesita entrada manual de capacidad calorífica específica ( $C_p$ ) y densidad ( $\rho$ ).
- Los cálculos para muestras anisotrópicas se pueden encontrar en ISO 22007-2.

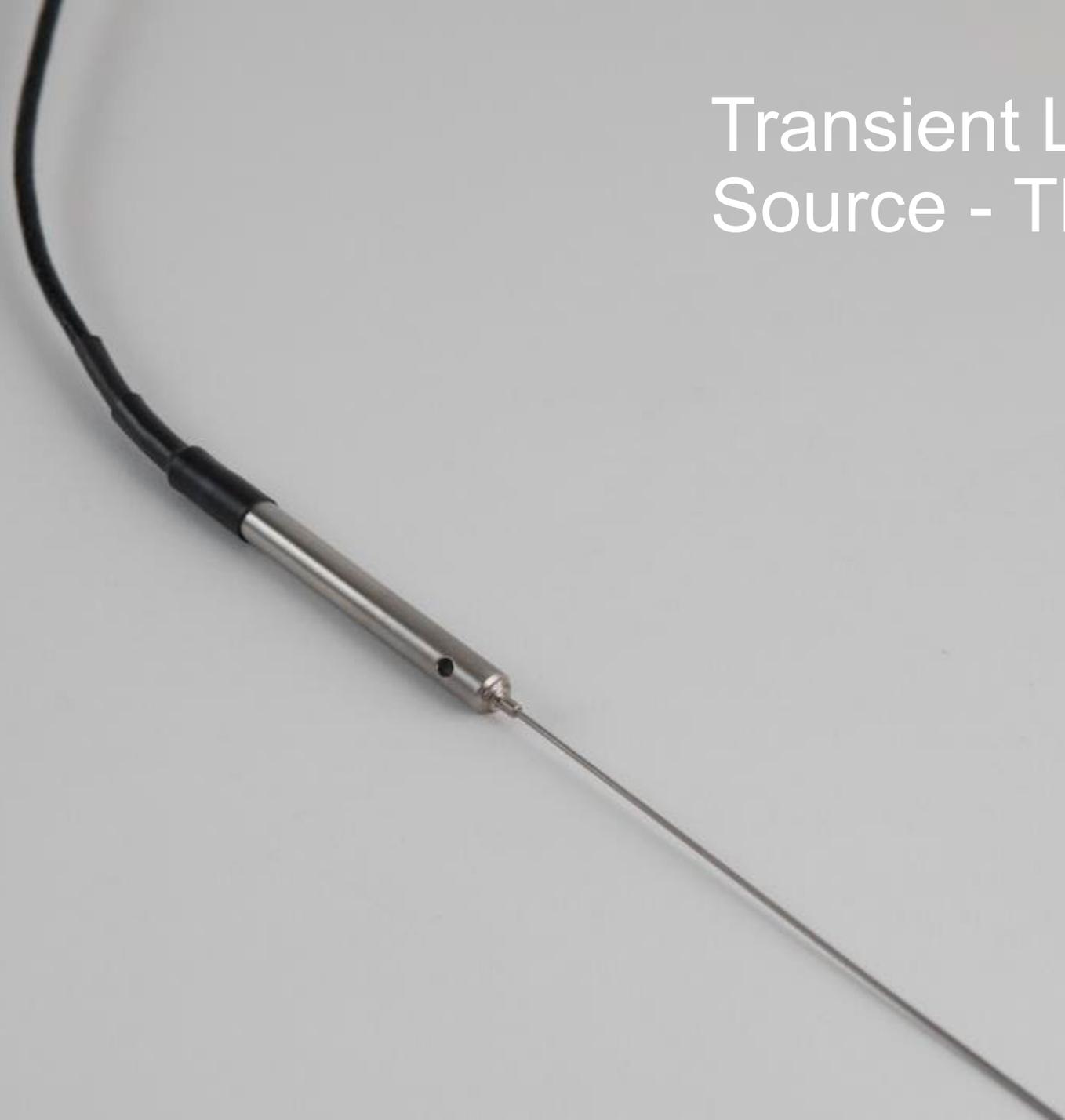


Heat transfer through-plane (z)

**C-THERM**

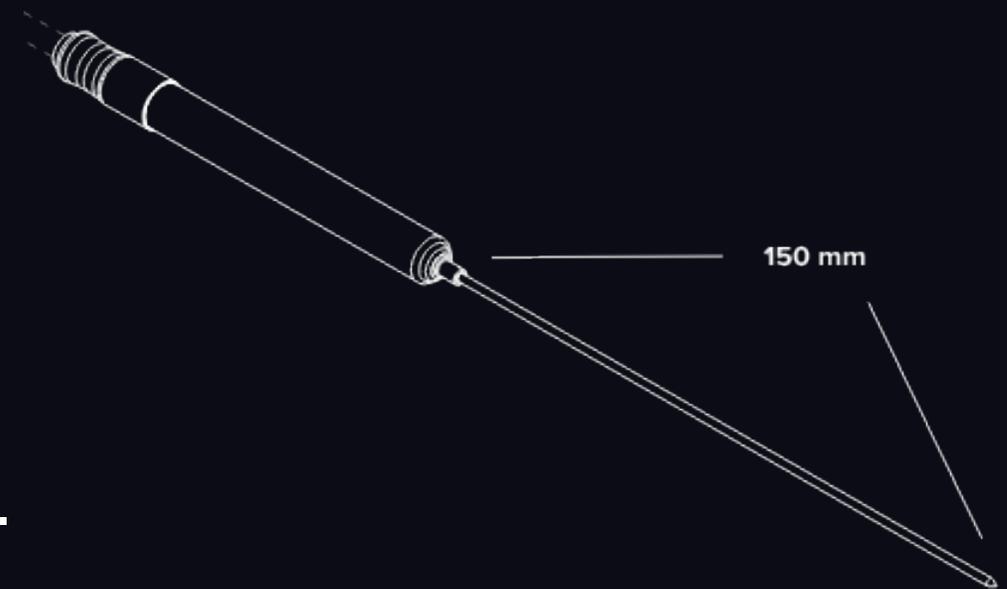


# Transient Line Source - TLS

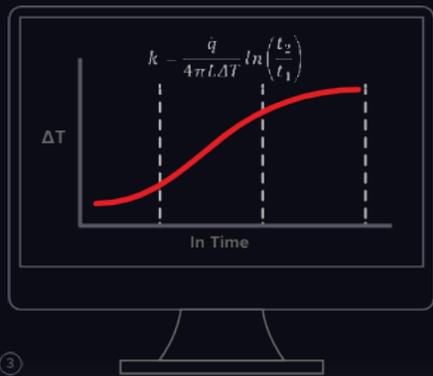
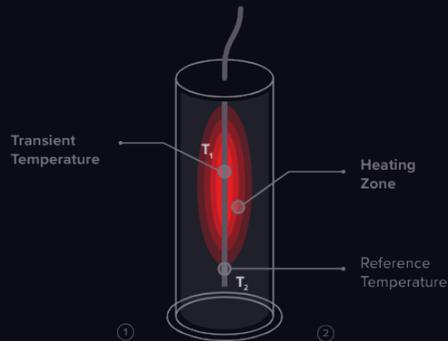


# Transitory Line Source (TLS)

- Diseño de sonda de aguja.
- Conforme a ASTM D5334 y D5970.
- Completamente encerrada en acero inoxidable.
- Parámetros de prueba ajustables.
- Se mide la velocidad de aumento de la temperatura para calcular la conductividad térmica



# TLS – Principios de Operación



1. Se aplica una cantidad conocida de calor al cable calentador del sensor, proporcionando una cantidad conocida de calor por unidad de longitud.
2. La corriente aplicada da como resultado un aumento de la temperatura en la zona de la muestra, que se mide utilizando dos termopares (T1 y T2).
3. El aumento de la temperatura en función del logaritmo del tiempo es lineal y nos permite calcular la conductividad térmica de la muestra. La pendiente de la línea es inversamente proporcional a la conductividad térmica.

# TLS – Energía & Tiempo

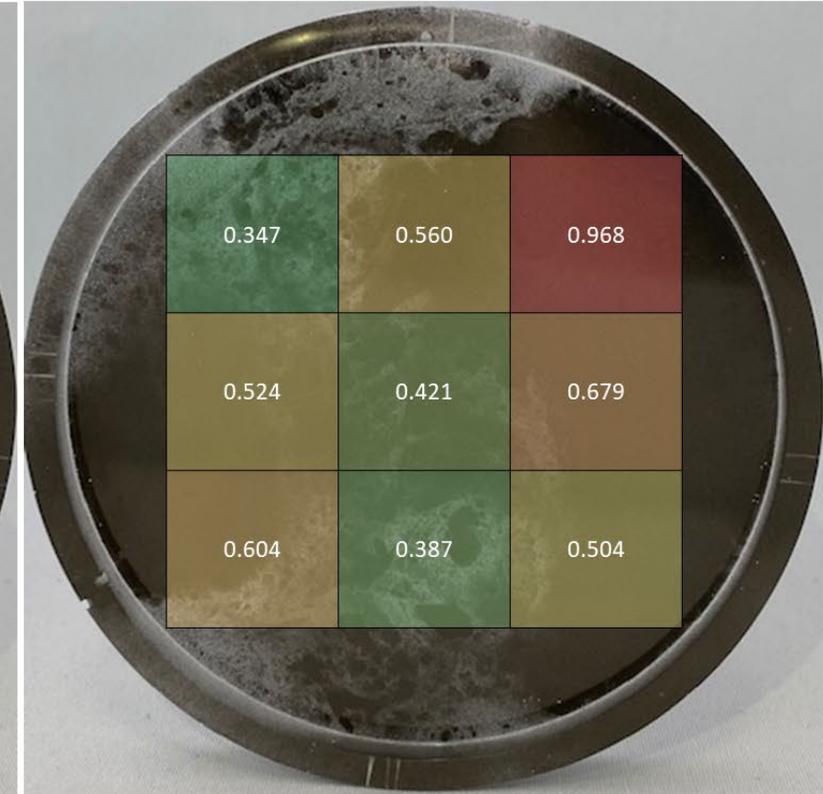
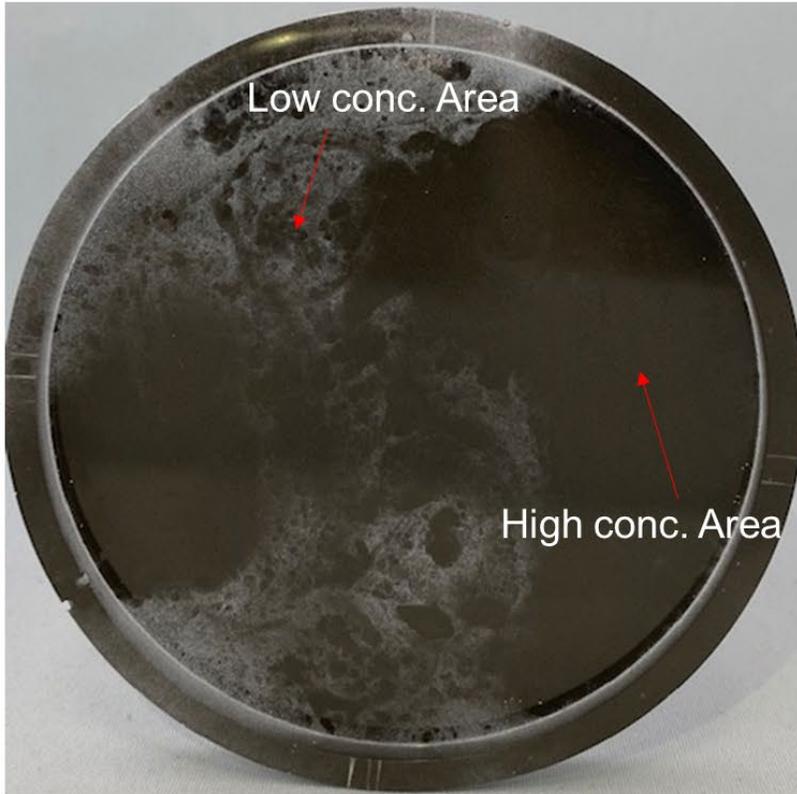
Tiempos de prueba	Niveles de Energía			
	0.10	0.25	0.50	1.00
2-3 min	Fluidos no-viscosos*	Fluidos viscosos, la mayoría de polvos inorgánicos	Polvos conductivos, la mayoría de nanofluidos	Nanofluidos excepcionales
3-4 min	Muchos polvos biológicos/orgánicos (compost, etc.)	Arenas, algunos suelos, la mayoría de geles, muchas grasas térmicas, polvos gruesos	Polímeros fundidos, grasas térmicas	Polímeros fundidos Termoconductores, grasas térmicas excepcionales
5 min	No recomendado típicamente	Capa superficial del suelo, muestras geológicas	No recomendado típicamente	No recomendado típicamente

\* Se recomienda MTPS

# MTPS: Aplicaciones Clave



# MTPS – Mapeo Térmico de Compuestos



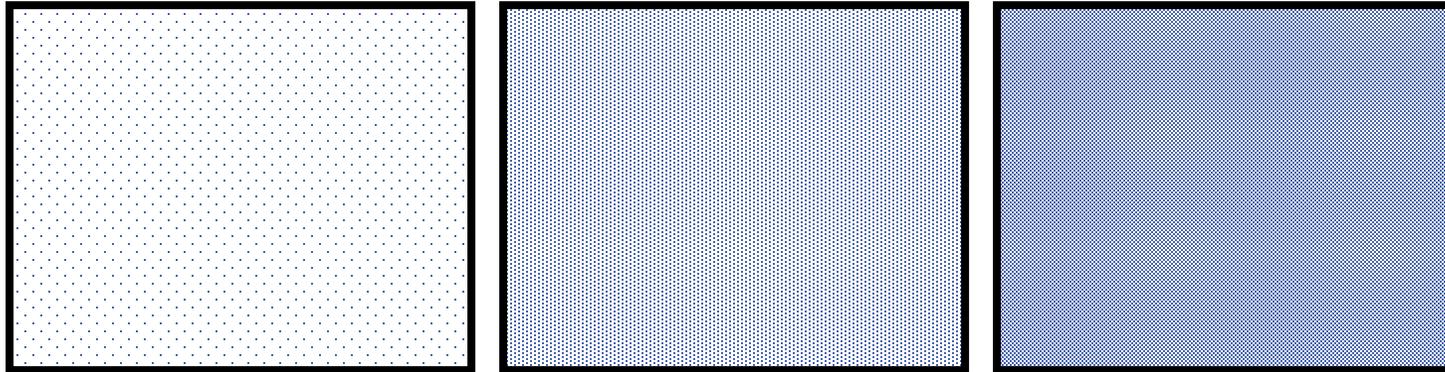
# Reduciendo Errores de Convección en muestras Líquidas



Hay tres formas principales de minimizar el impacto de la convección:

1. Reducir el **VOLUMEN** requerido para el fluido
2. Prueba de **CORTA DURACIÓN**
3. Pulso de medida de **BAJA ENERGÍA**

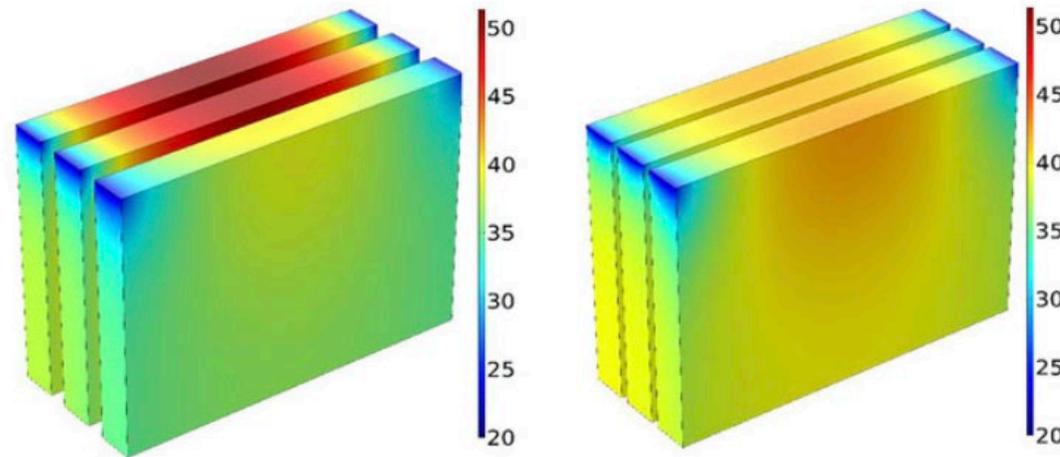
# Transferencia de Calor en Polvos



- Un tema importante a considerar en el estudio de  $k_{\text{eff}}$  de polvos es la densidad del polvo.
- Menos denso = más bolsas de aire = más aislamiento = menor  $k_{\text{eff}}$
- En general,  $k_{\text{eff}}$  aumentará con la densidad, acercándose a  $k$  del material puro.

# Uso de Materiales de Cambio de Fase (PCM)

- El PCM puede mantener una temperatura 1.2 y 1.9° C más baja, comparado con la parafina pura.
- Relacionado con la conductividad térmica mejorada del sistema de relleno.



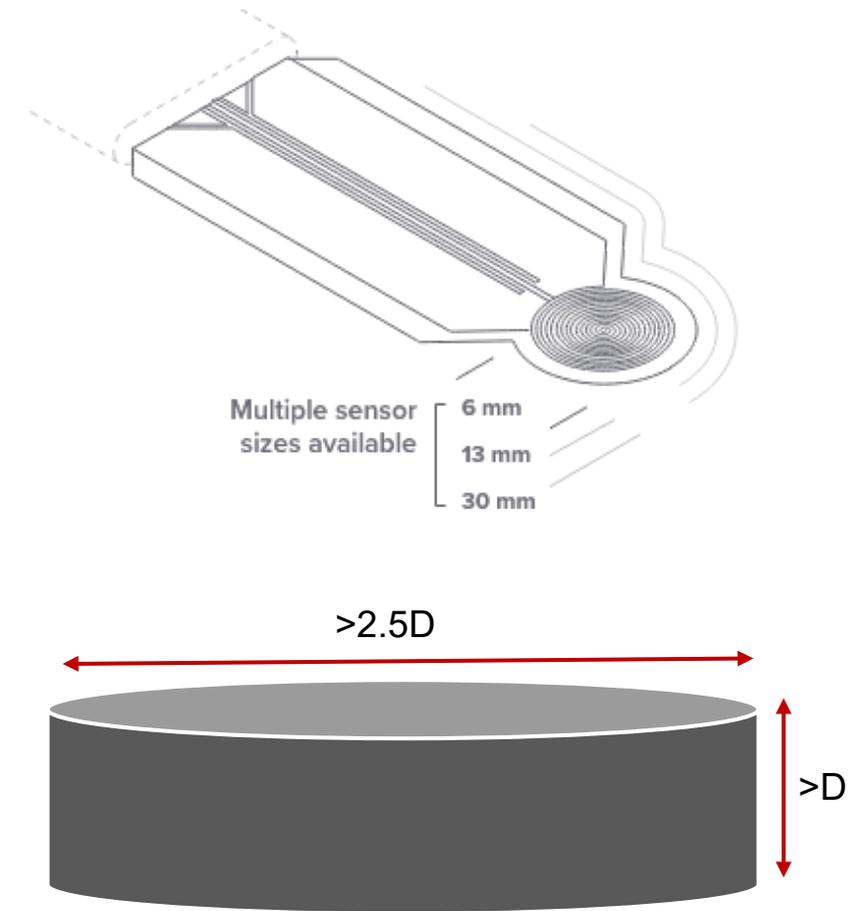
**Figure 15.** Temperature distribution in the module with 3 mm thick pure wax (left) and 1 mm thick 10 wt% NePCM (right) at the end of driving cycle.

# TPS: Aplicaciones clave



# Bulk Utility

- Bulk es la forma más simple de pruebas con TPS.
- Se asume que el material es isotrópico.
- El resultado de la medida es una media geométrica de la dirección a través de plano y en plano.
- De acuerdo a requerimientos de verificación ISO.
- El tamaño del sensor depende del tamaño de la muestra

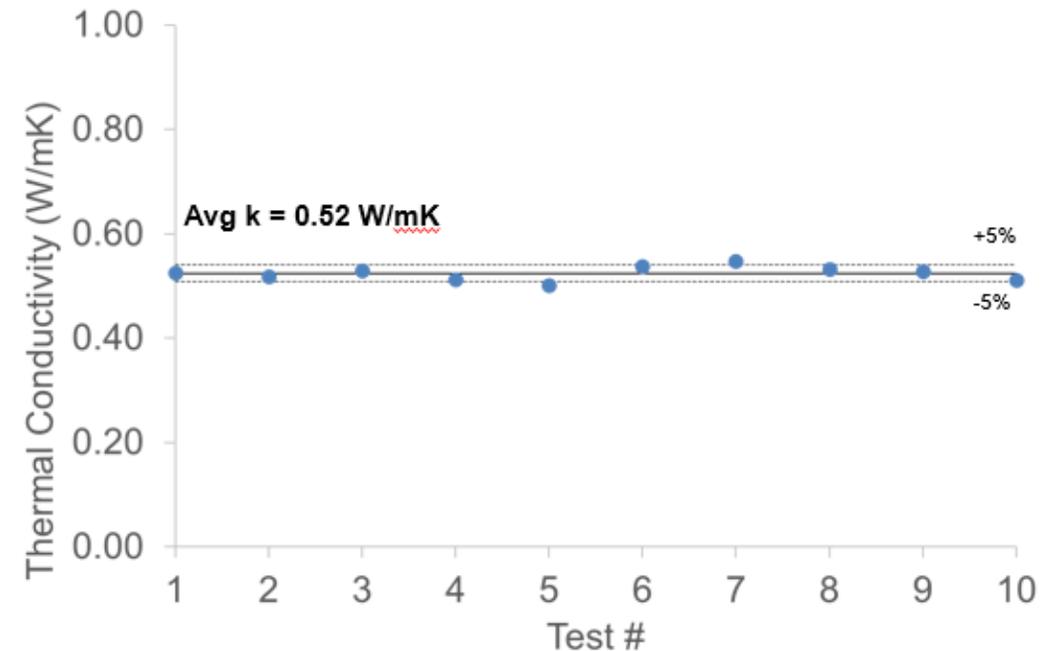
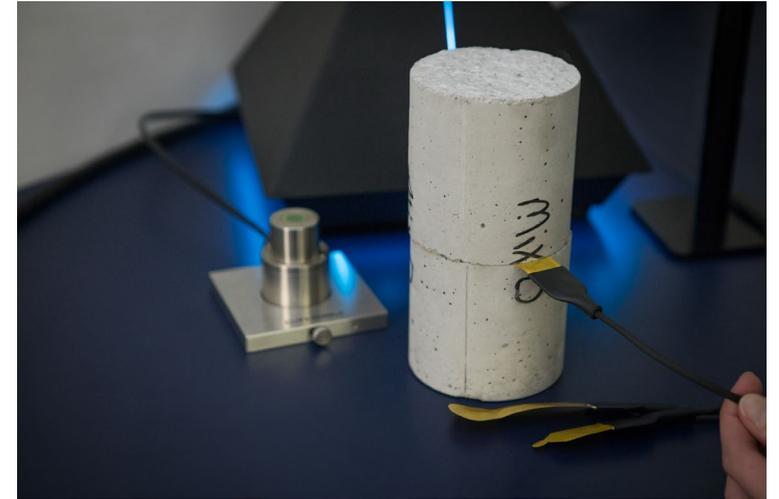


# Aplicación destacada: Hormigón/Cemento

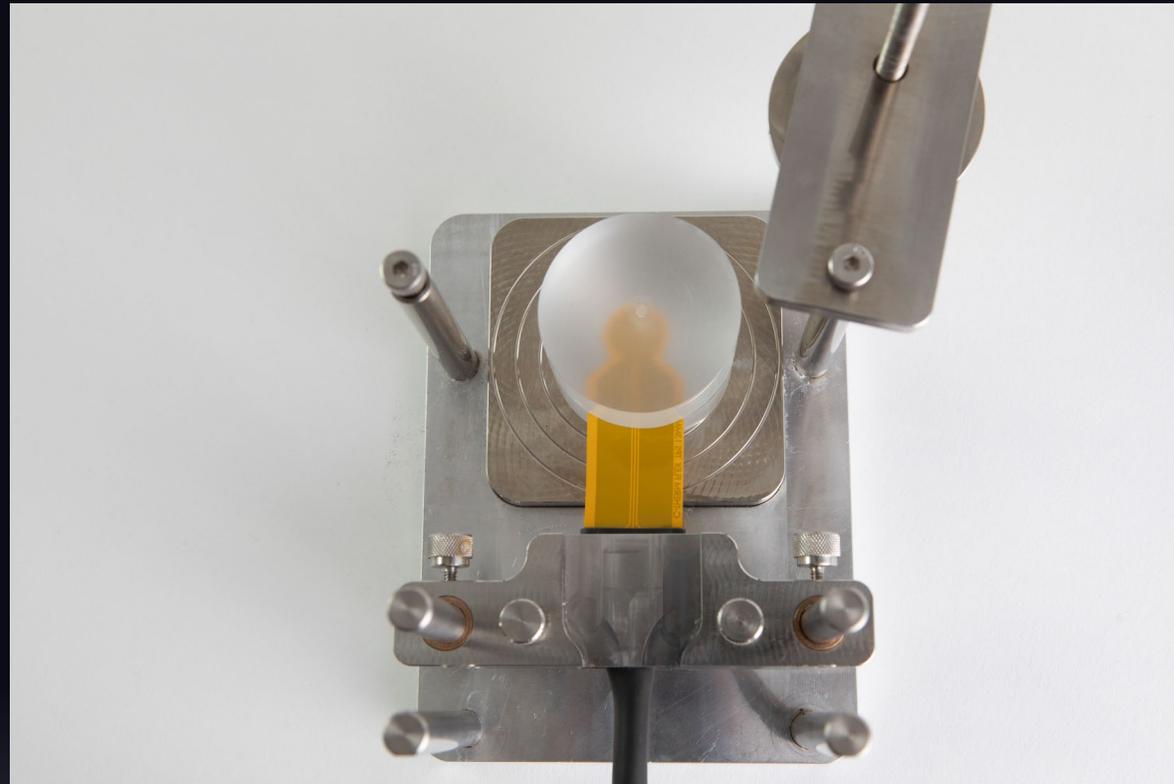
El diseño del sensor flexible reduce el riesgo de rotura.

El sensor se movió a 10 posiciones diferentes de la muestra.

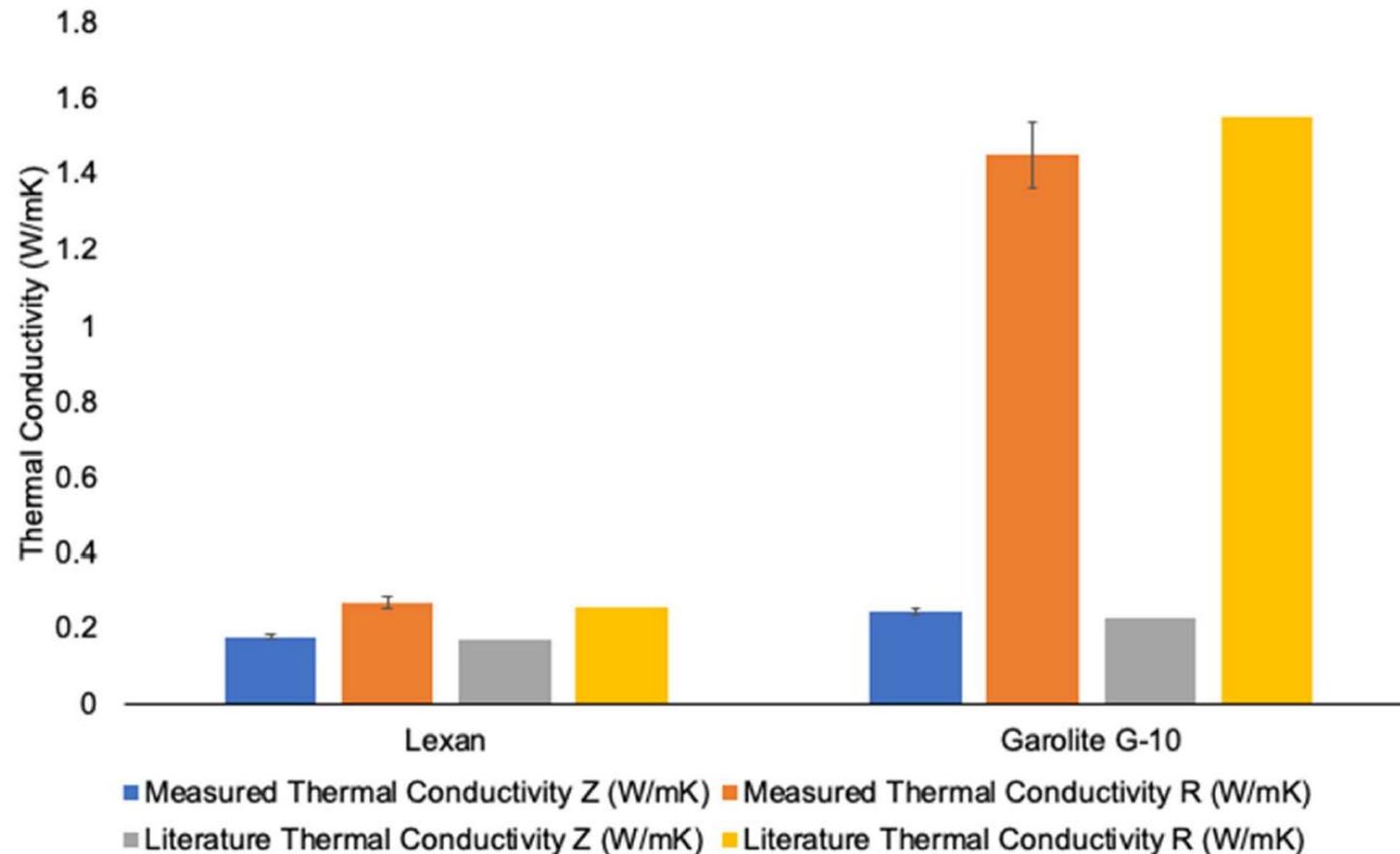
- Buena repetibilidad en los resultados obtenidos



# Aplicación destacada: Polímeros Anisotrópicos

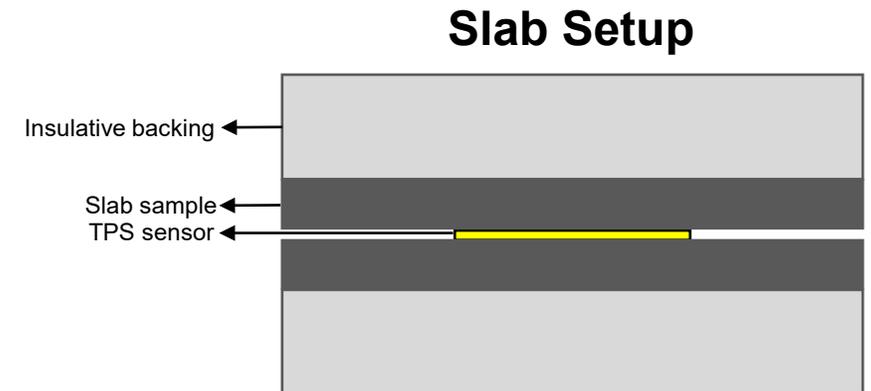
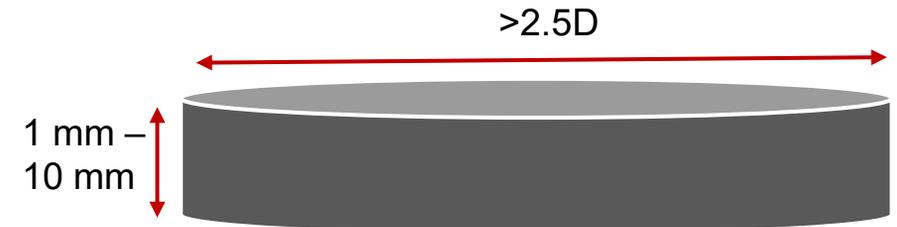


# Resultados de Conductividad Térmica



# Utilidad SLAB

- Más adecuado para materiales de elevada  $k$  ( $>10$  W/mK).
- Asume que los materiales son isotrópicos.
- Requiere entrada manual de espesor de la muestra.
- El diámetro de muestra requerido depende del tamaño del sensor, el espesor puede variar de 1-10 mm.



# Aplicación destacada: Planchas de Metal

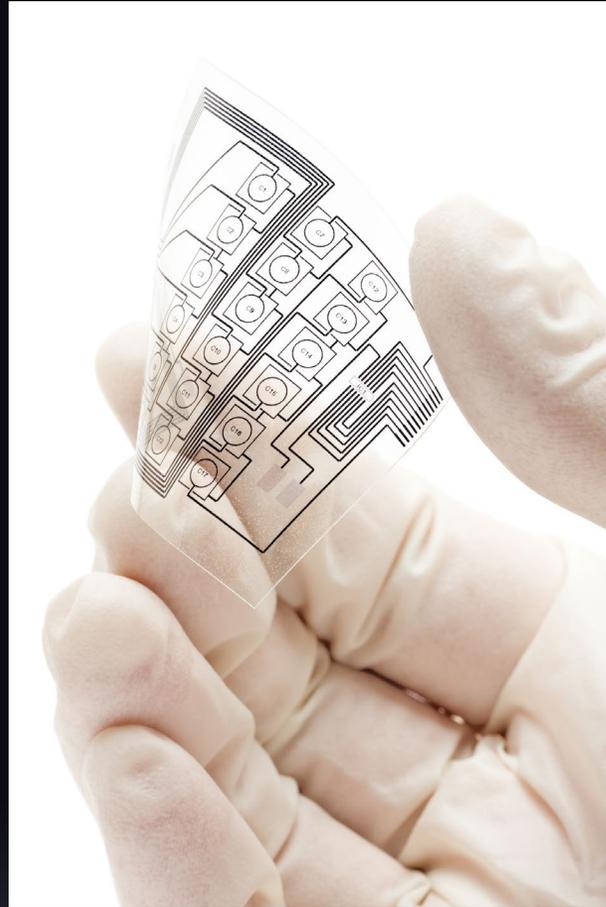


# Resultados de Conductividad Térmica

- Se ensayaron láminas de aluminio (1,75 mm de espesor) mediante TPS.
- La configuración de prueba necesitó el uso de un material aislante (EPS).
- Resultados obtenidos dentro del rango especificado tanto para  $k$  como para  $\alpha$ .

Nominal Value		Test Results	
$k$ (W/mK)	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	$k$ (W/mK)	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)
112	3.46E-05	115.97	3.81E-05

# Aplicación destacada: Thin Films

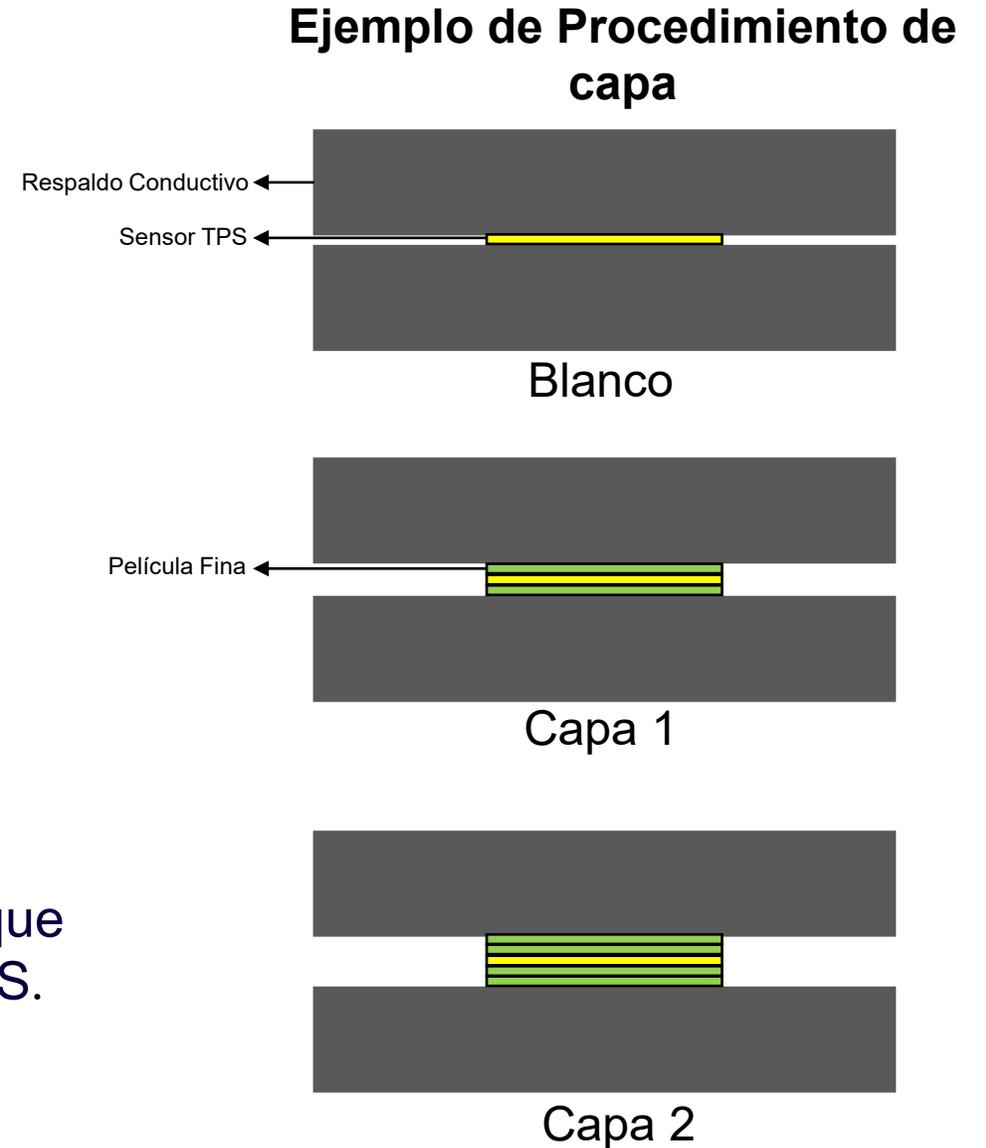


Copyright © 2021 C-Therm Technologies Ltd.

**C-THERM**

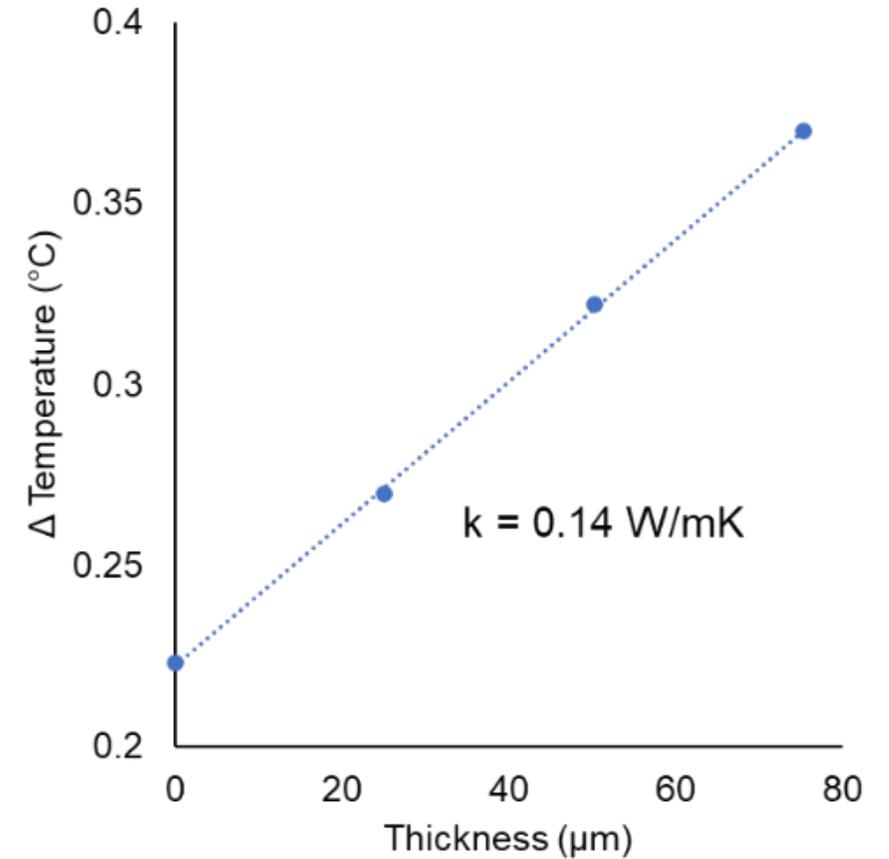
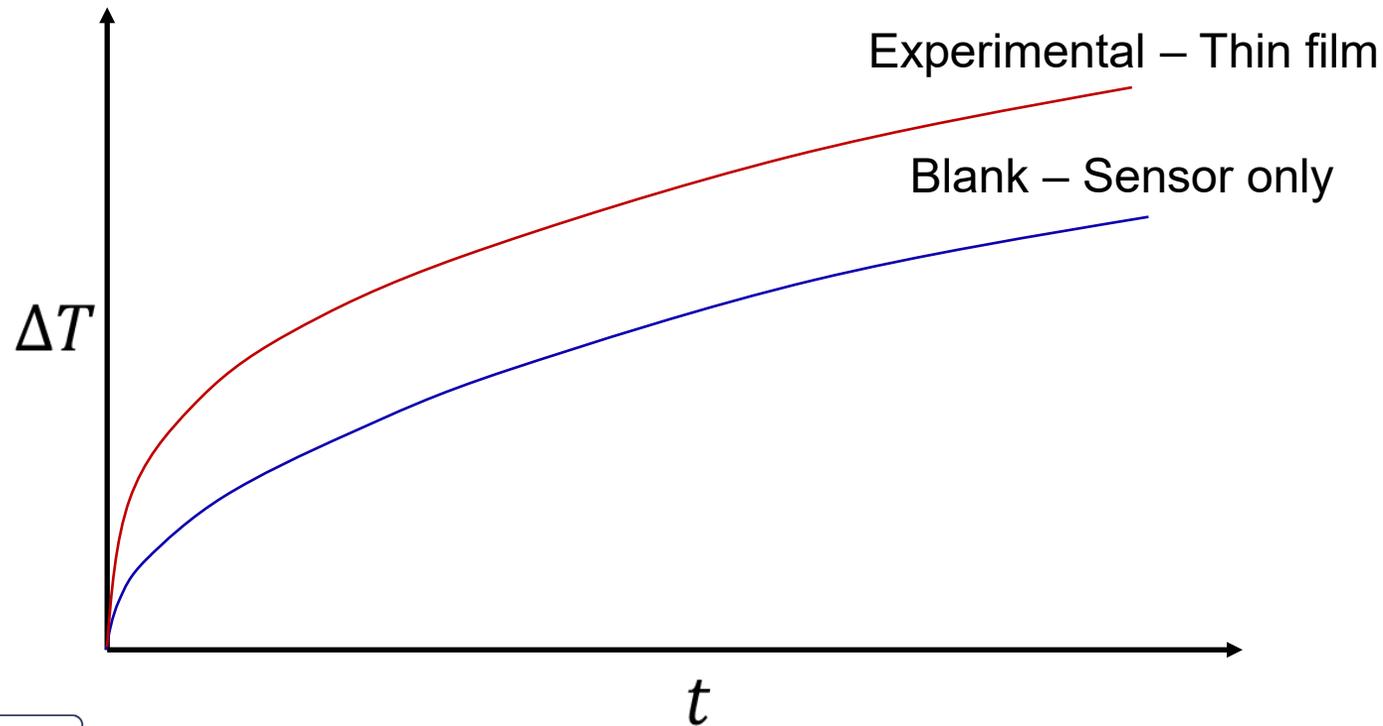
# Utilidad Thin Film

- Válido para muestras  $< 5 \text{ W/mK}$ .
- Medición a través de plano.
- Límite de espesor mínimo  $10 \mu\text{m}$ .
- Las muestras deben tener espesor uniforme en un 1% en el cuerpo de la muestra para mejor resultados.
- Solo para uso con sensor TPS de 13 mm.
- Implica un procedimiento de estratificación sucesiva, que difiere de los requisitos de verificación estándar de TPS.

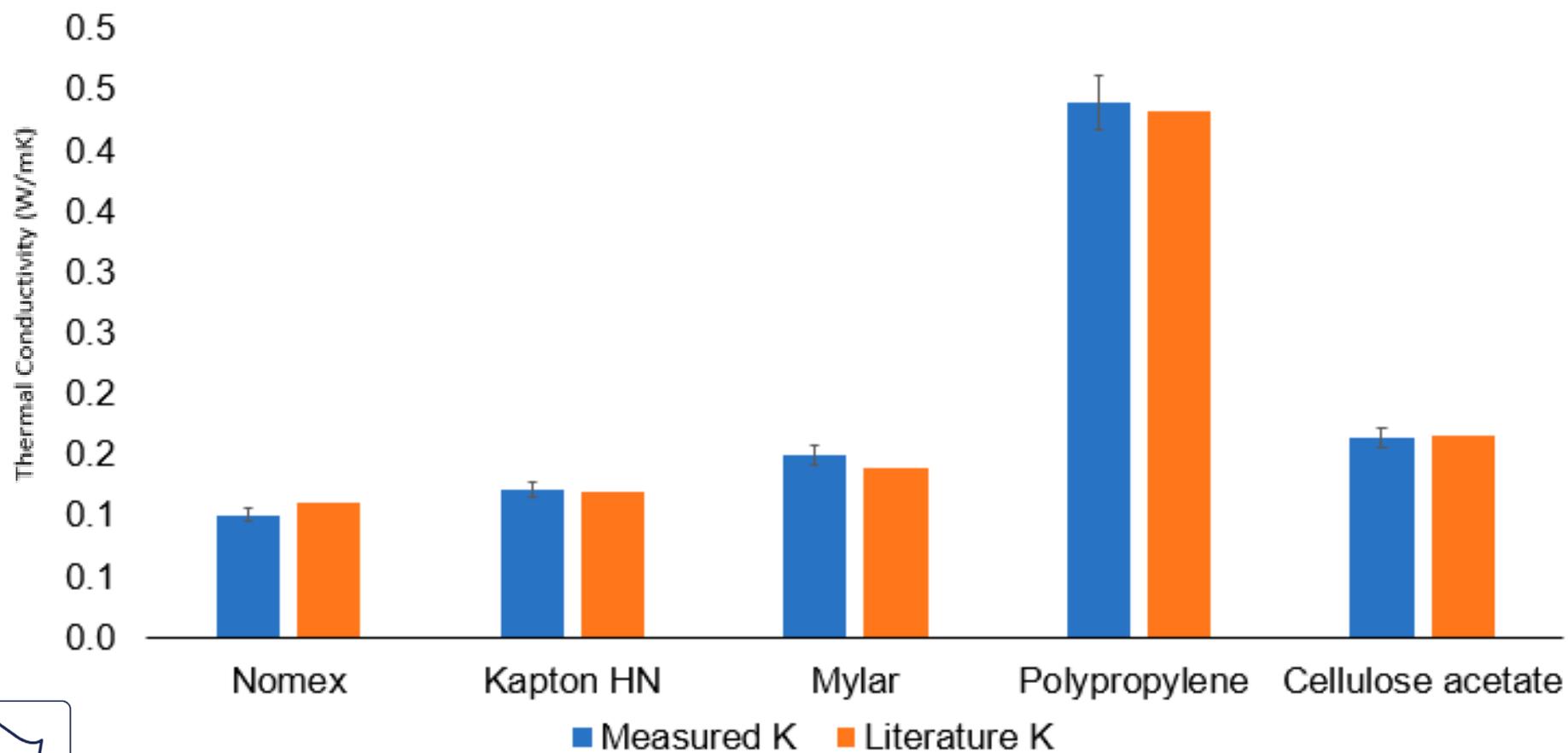


**C-THERM**

# TPS – Teoría de Películas Finas



# Resultados de Conductividad Térmica

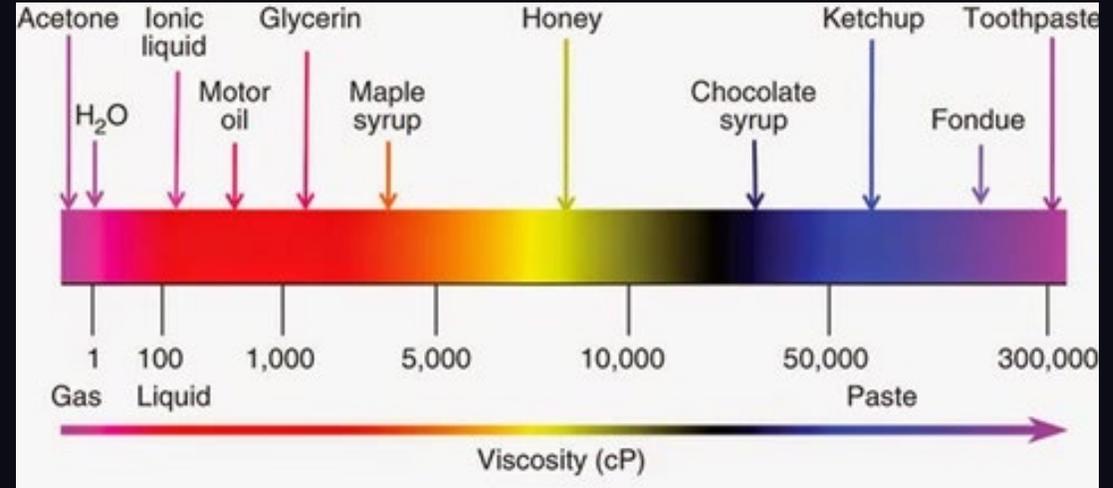


# Aguja TLS: Aplicaciones clave

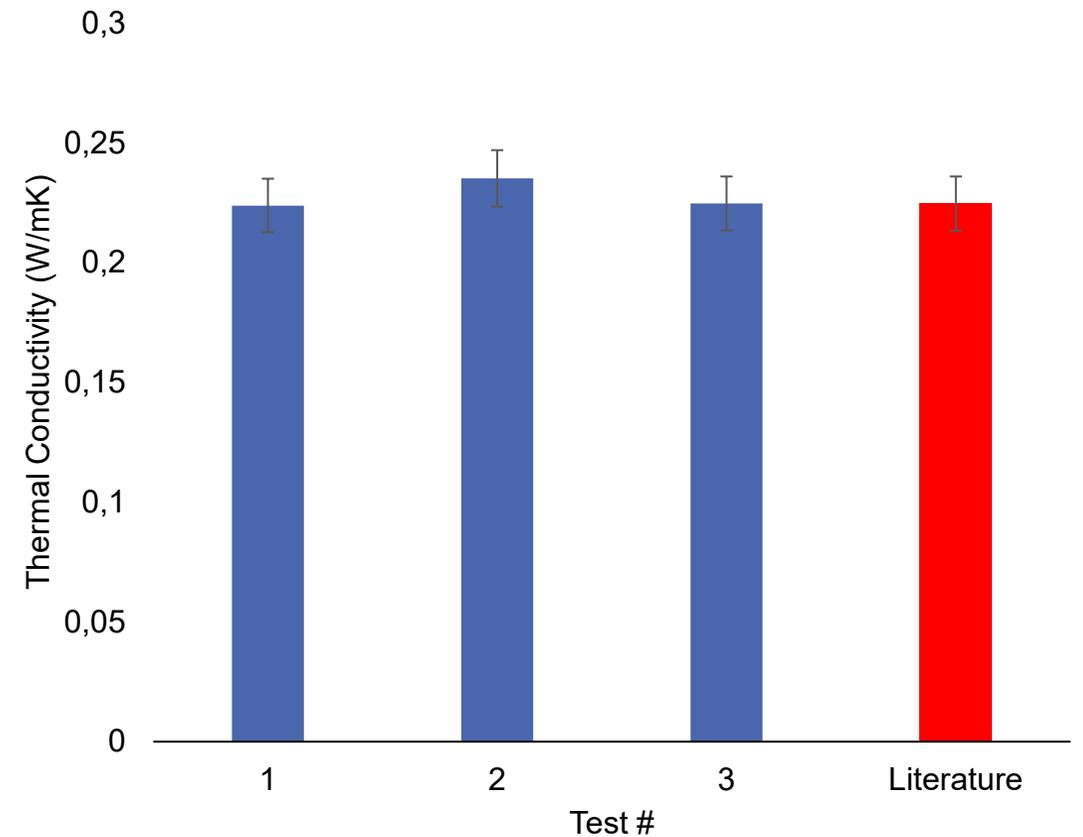


# Aplicación destacada: Líquidos viscosos y polímeros fundidos

- Los errores de convección son más prominentes con materiales de menor viscosidad – Mejores resultados a través de MTPS.
- Muestras de viscosidades elevadas se pueden probar a través de TLS.
- Método recomendado cuando se trata con materiales agresivos químicamente.



# El Polímero ABS funde a 250 °C



# Aplicaciones Materiales Aislantes



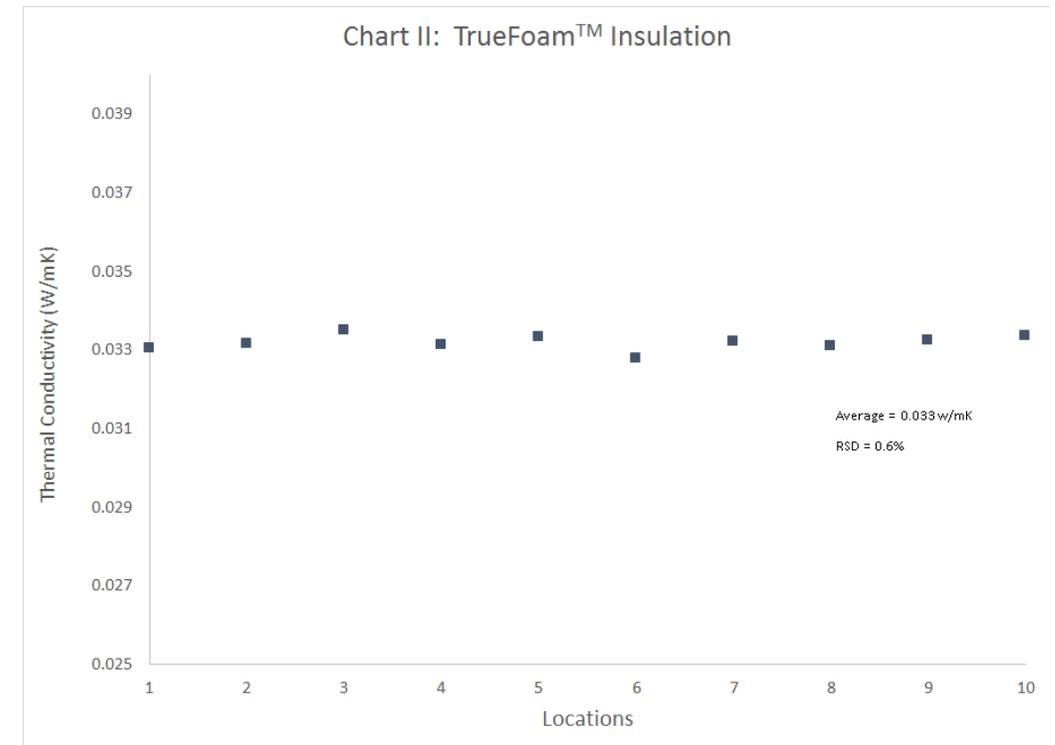
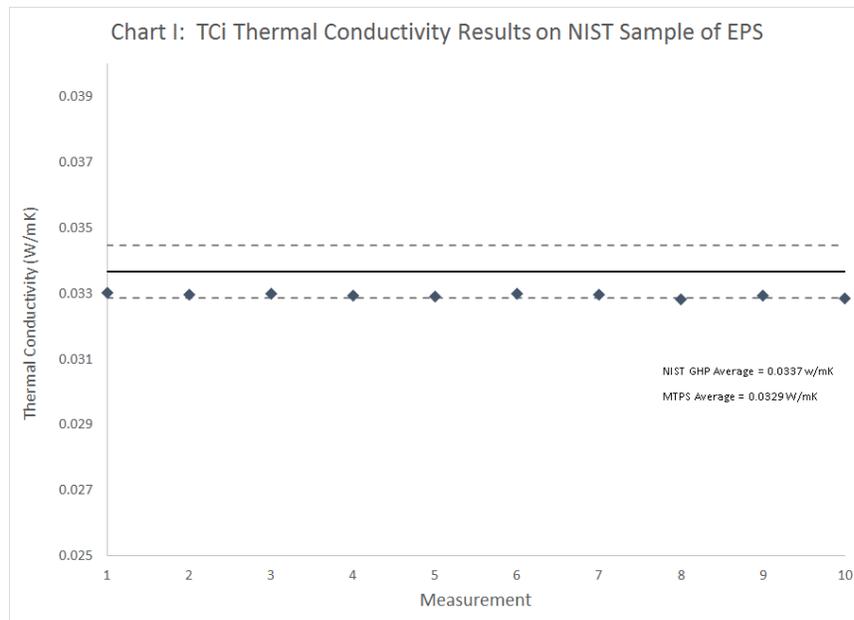
# Medida de la conductividad térmica en Materiales Aislantes

- Diseñados para reducir o prevenir la transmisión de calor
- Áreas de aplicación
  - Embalaje
  - Construcción
  - Automoción
  - Naves espaciales
  - Ropa (Textil)
  - ...



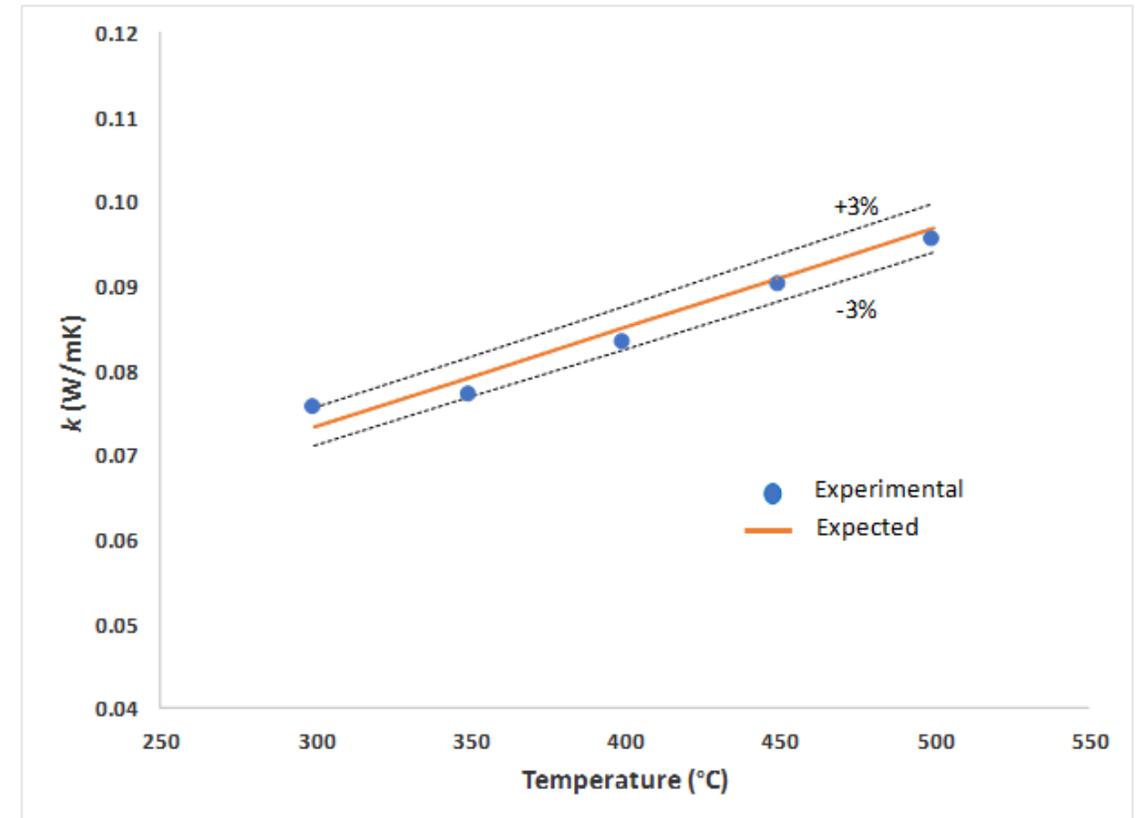
# MTPS – Medición de la conductividad térmica de muestras de espuma de poliestireno expandido – Comparación con el método tradicional de placa caliente

- Las planchas de Espuma de Poliestireno Expandido (EPS Foam) es un material plástico utilizado en múltiples aplicaciones de empaquetado y materiales aislantes
- Tiene una conductividad térmica muy baja – Ideal como material aislante



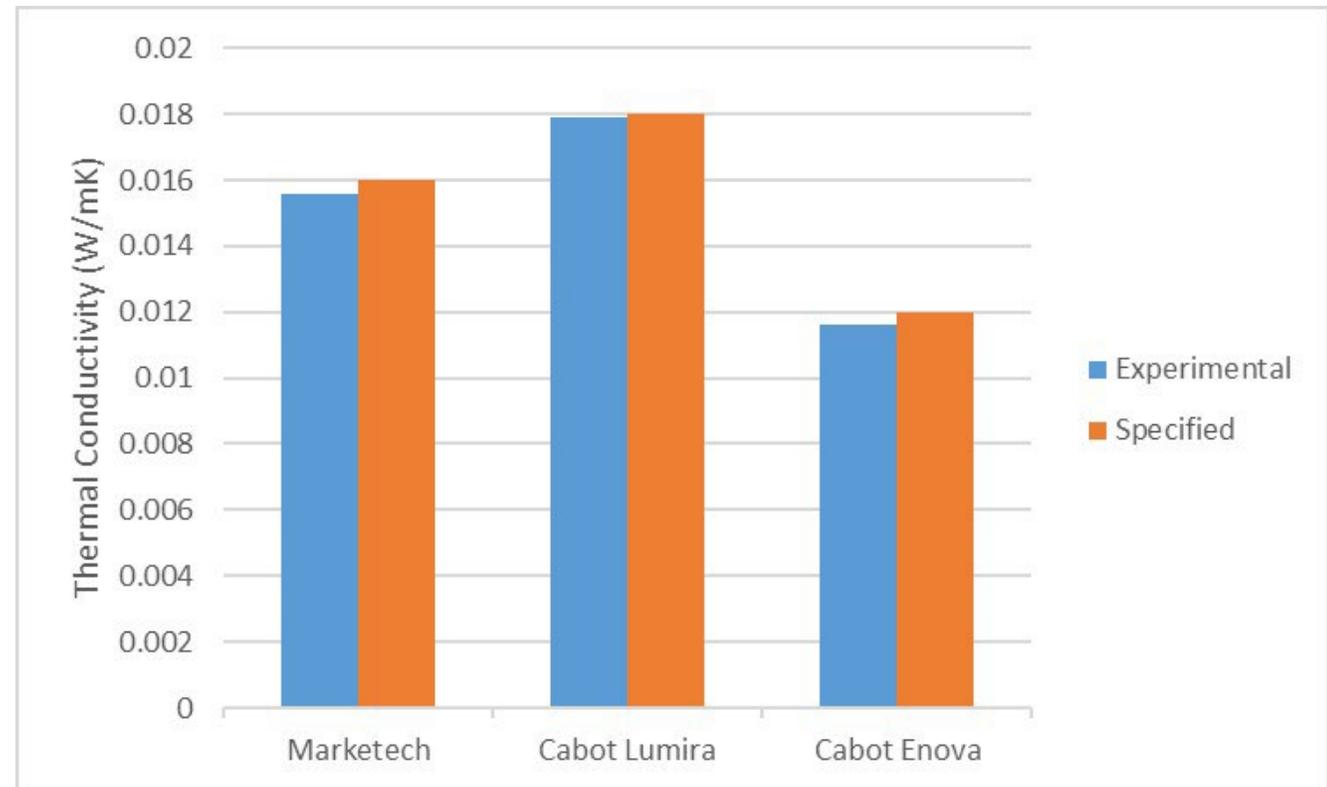
# Conductividad térmica de materiales aislantes a alta temperatura

- Evaluación de materiales en ambientes de temperatura elevada
  - Aislantes de hornos
  - Transporte de fluidos a altas temperaturas en tubería
- Limitación con los sensores transitorios tradicionales por el material del sensor
- MTPS Trident puede trabajar hasta 500° C



# Evaluación rápida del rendimiento de la conductividad térmica de los aerogeles

- Conductividad térmica extremadamente baja, a menudo menor que la del aire
- 3 Muestras realizadas con MTPS





MUCHAS GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN

[INFO@IESMAT.COM](mailto:INFO@IESMAT.COM)

91 650 8005

**iesmat**