

Medición de la conductividad térmica de materiales aislantes en el CENAM

*Dr. Leonel Lira Cortés
Dr. Edgar Mendez Lango*

*ÁREA DE METROLOGÍA ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE TERMOMETRÍA*

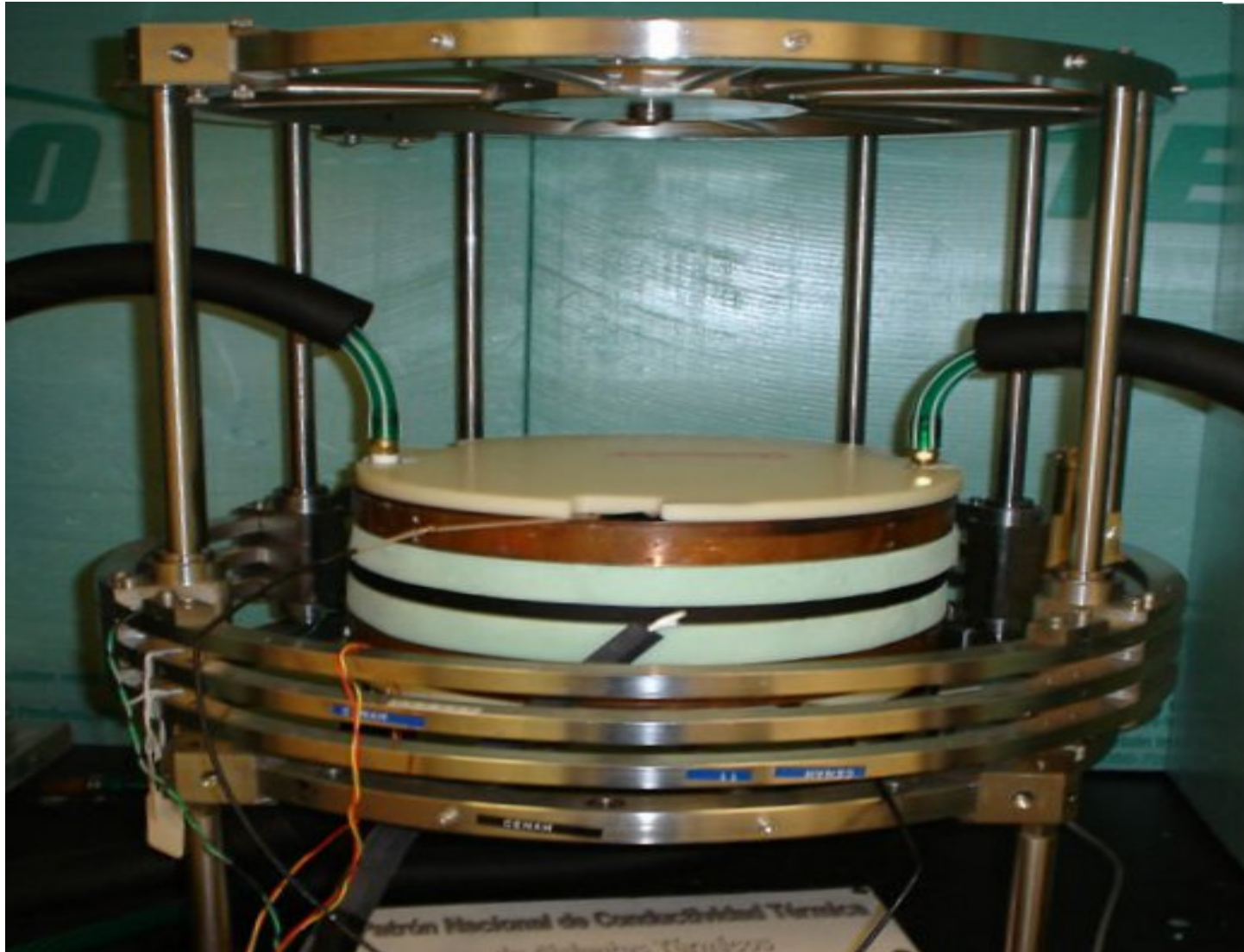
CONTENIDO

- *INTRODUCCION*
- *ECUACION DE CONDUCCION DE CALOR (Ley de Fourier)*
 - (1) Efecto de Borde*
 - (2) Distribución del campo de Temperatura*
 - (3) Transferencia de calor en el espacio anular*
 - (4) Efecto del material de la guarda*
 - (5) Evaluación de la incertidumbre*
- *CONCLUSIONES*

INTRODUCCION

- CENAM Desarrollo un patrón primario para la medición de la conductividad térmica de materiales aislantes usando un aparato de placa caliente (APCG)
- En México existe la necesidad de conocer el valor de la conductividad térmica de materiales que se usan como aislantes en edificaciones y sistemas térmicos.

INTRODUCCION (APCG)



La ecuación para la conductividad térmica es:

$$\lambda = q L / (A \Delta T)$$

Donde:

q es el flujo de calor dentro de la muestra (W).

L es el espesor de la muestra (m).

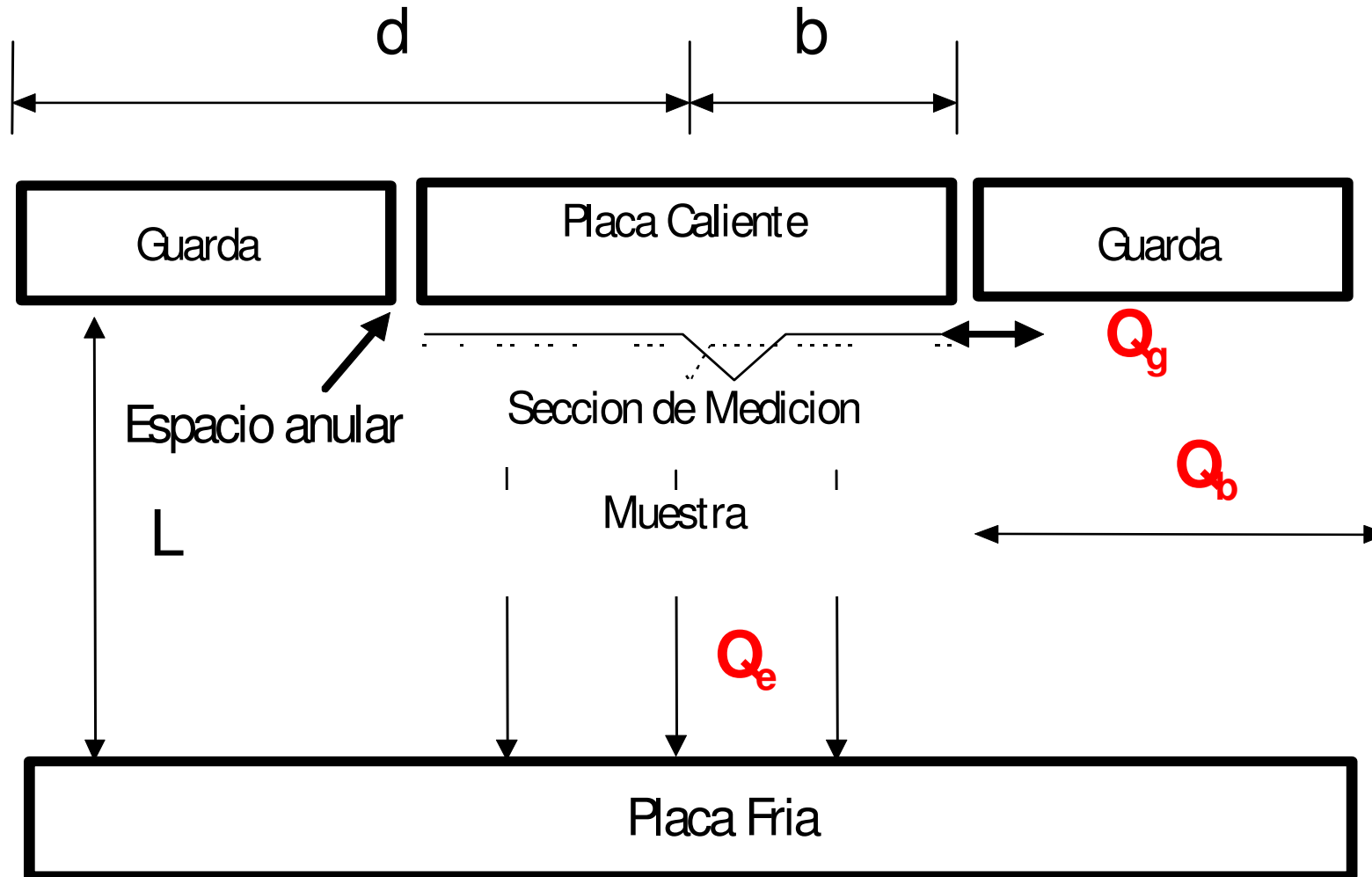
A es la sección transversal de la muestra (m²).

ΔT es la diferencia de temperatura en la muestra (K) y

λ es la conductividad térmica de la muestra (W/m K)

ECUACION DE CONDUCCION DE CALOR

Flujos de calor en el APCG



(1) El Efecto de Borde

El efecto de borde se define como:

$$EB = (Q_i - Q_e) / Q_i = Q_b / Q_i$$

La ecuación a resolver para evaluar el efecto de borde es:

$$k_r \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + k_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

Las condiciones a la frontera son:

$$z = 0 \quad 0 \leq r \leq d \quad T = V = T_C - T_A$$

$$z = L \quad 0 \leq r \leq d \quad T = U = T_F - T_A$$

$$0 \leq z \leq L \quad r = d \quad 0 = k_r dT/dr + hT$$

(1) El efecto de borde

Valores de los parámetros para este caso:

- *Temperatura ambiente: 18°C*
- *Temperatura de la placa caliente: 28°C*
- *Temperatura de la placa fría: 20°C*
- *Radio de la sección de medición (b): 76mm*
- *Conductividad térmica del poliestireno en la dirección z (K_z): 0,029 W/mK*
- *Conductividad térmica del poliestireno en la dirección r (K_r): 0,029 W/mK*

$$EB = A + B X$$

$$h / K_z = 196.5 \text{ m}^{-1}$$

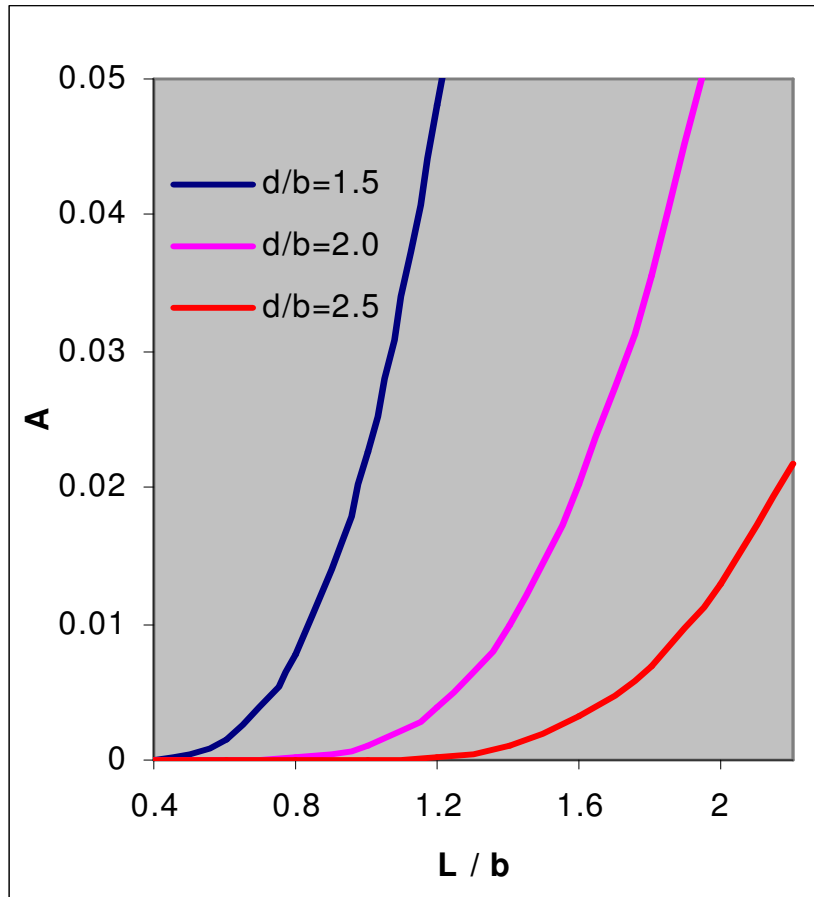


Figura. A Contribución del efecto de borde como función de L/b , el espesor y el radio del área de medición.

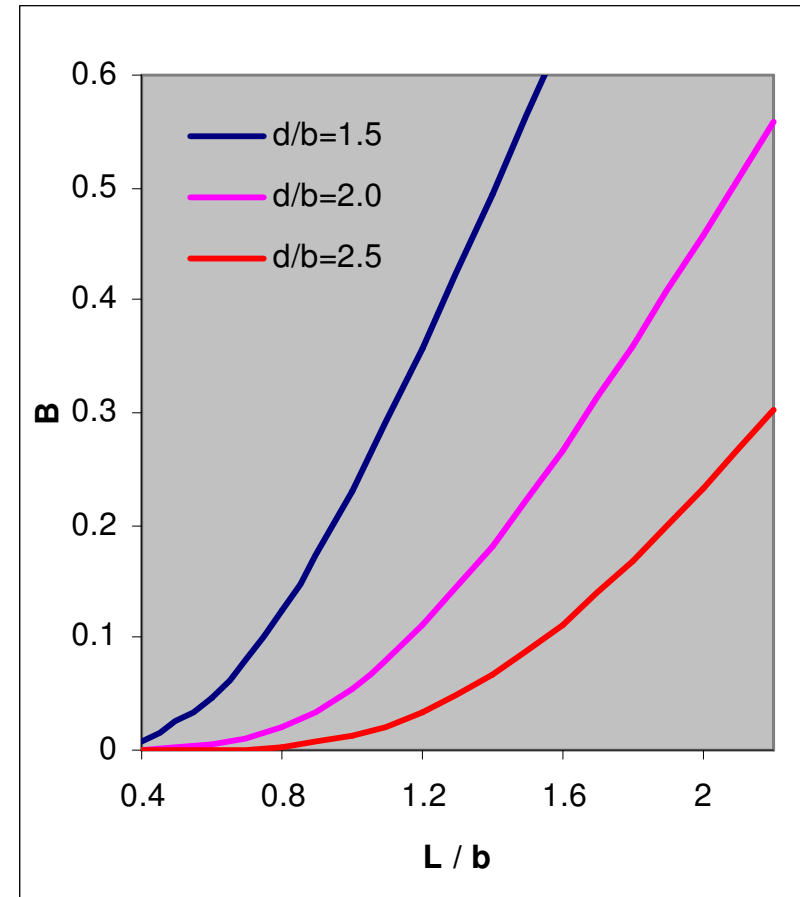


Figura. B Contribución del efecto de borde como función de L/b , el espesor y el radio del área de medición.

(2) Distribucion de Temperatura

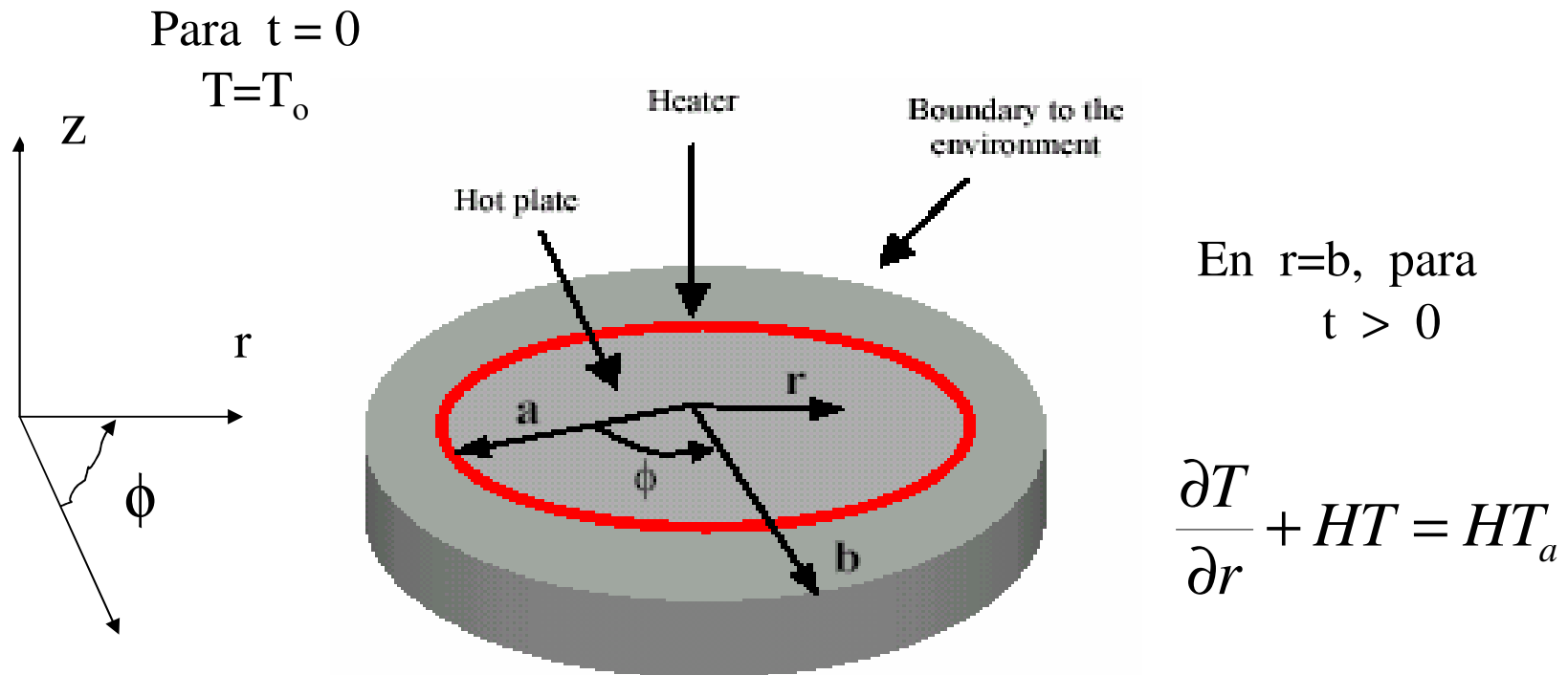


Figura 1. Modelo fisisco para la placa caliente

(2) Distribucion de temperatura

La ecuación a resolver para la placa caliente es:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{1}{k} g(r, \phi, t) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

las condiciones a la frontera:

$$\frac{\partial T}{\partial r} + HT = HT_a \quad \text{en } r = b, H = h/k, \text{ for } t > 0$$

y la condición inicial es:

$$T = T_o \quad \text{en } 0 \leq r \leq b, 0 \leq \phi \leq 2\pi, \text{ con } t = 0$$

(2) *Distribucion de temperatura*

La solución es:

$$T(r, \phi, t) = T_a + \left[\frac{T_o - T_a}{\pi} \right] \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{\nu=0}^{\infty} \frac{e^{-\alpha \beta_m^2 t}}{N(\beta_m)} R_{\nu}(\beta_m, r) *$$

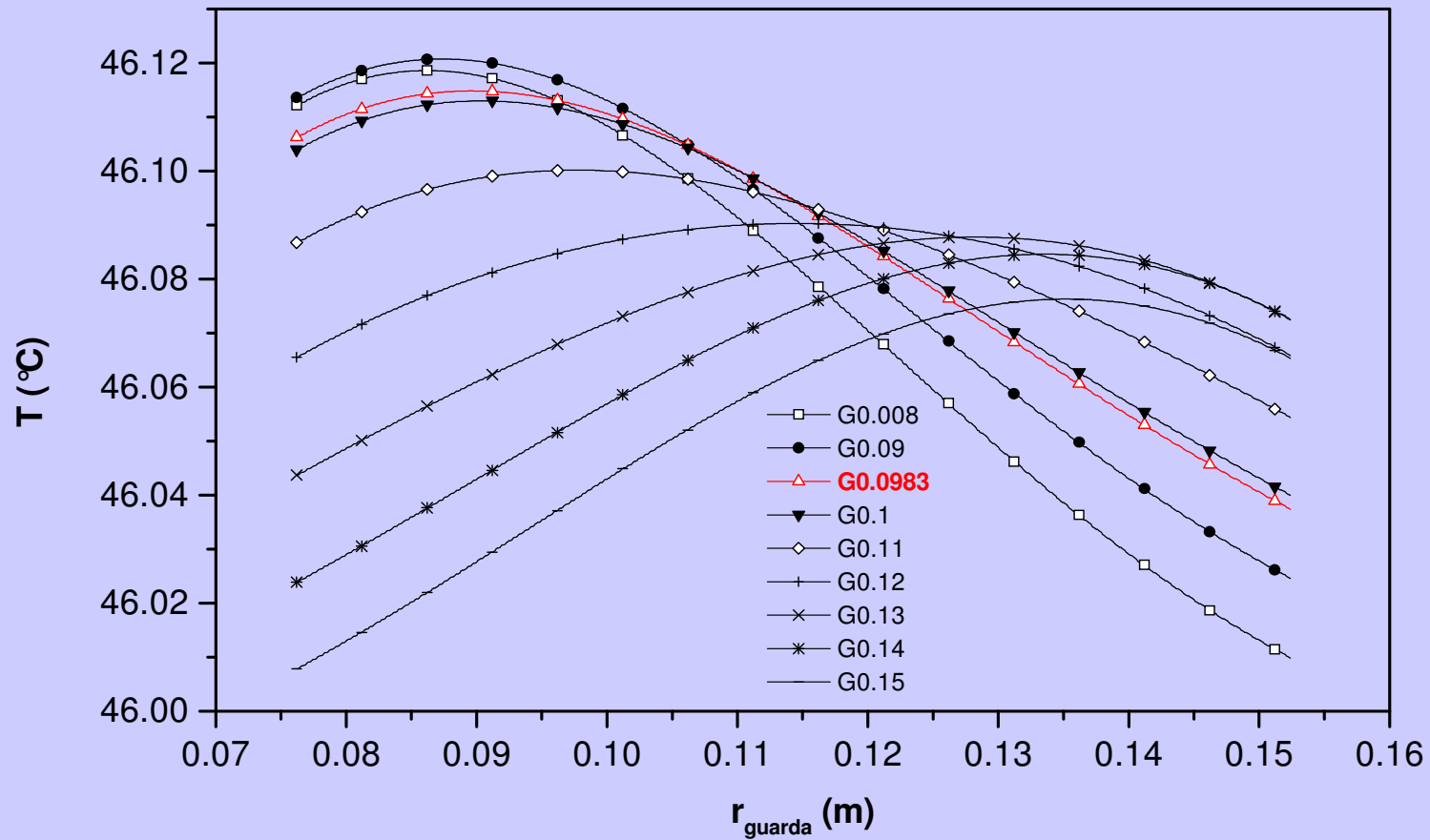
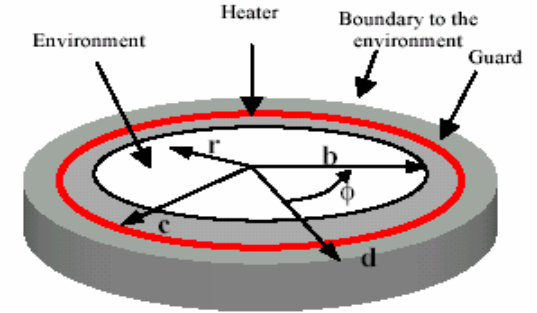
$$* \int_{r'=0}^b \int_{\phi'=0}^{2\pi} r' R_{\nu}(\beta_m, r') \text{Cos } \nu(\phi - \phi') d\phi' dr' +$$

$$+ \frac{\alpha}{K} \frac{1}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{\nu=0}^{\infty} \frac{e^{-\alpha \beta_m^2 t}}{N(\beta_m)} R_{\nu}(\beta_m, r) *$$

$$* \int_{r'=0}^b \int_{\phi'=0}^{2\pi} \int_{\tau=0}^t g(r', \phi', \tau) e^{-\alpha \beta_m^2 \tau} *$$

$$* r' R_{\nu}(\beta_m, r') \text{Cos } \nu(\phi - \phi') d\tau d\phi' dr'$$

(2) Distribucion de temperatura (guarda)



(3) *Trasferencia de calor en el espacio anular*

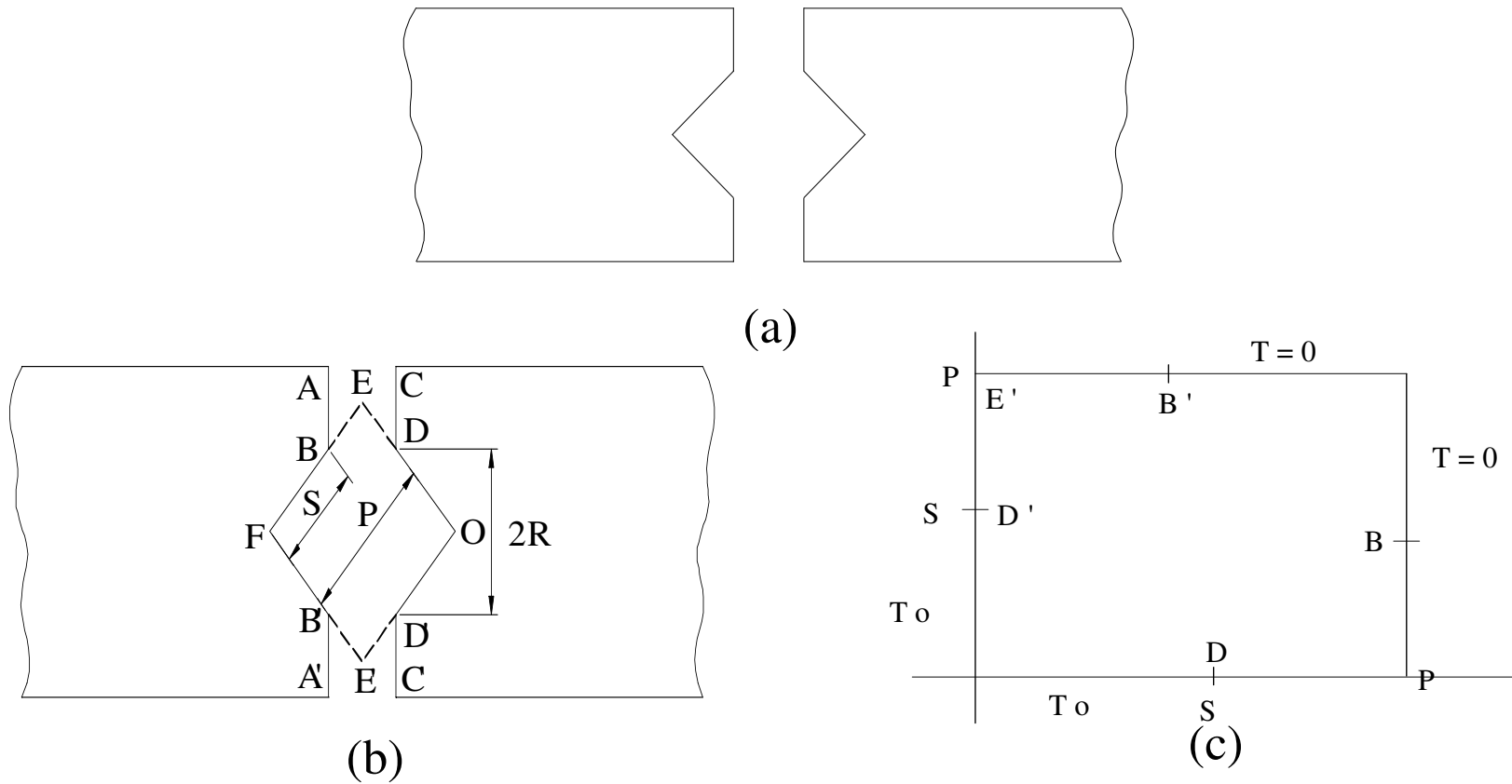


Figura. Diagrama del espacio anular a) forma real b) Modelo para análisis de flujo c) Modelo en forma de diamante para el espacio anular.

(3) Tráansferencia de calor en el espacio anular

La ecuación para determinar la temperatura en el espacio anular es:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$

Las condiciones a la frontera son:

$$x=0, 0 \leq y \leq p; T= T_0$$

$$y=0, 0 \leq x \leq p; T= T_0$$

$$x=p, 0 \leq y \leq p; T= 0$$

$$y=p, 0 \leq x \leq p; T= 0$$

(3) Transferencia de calor en el espacio anular

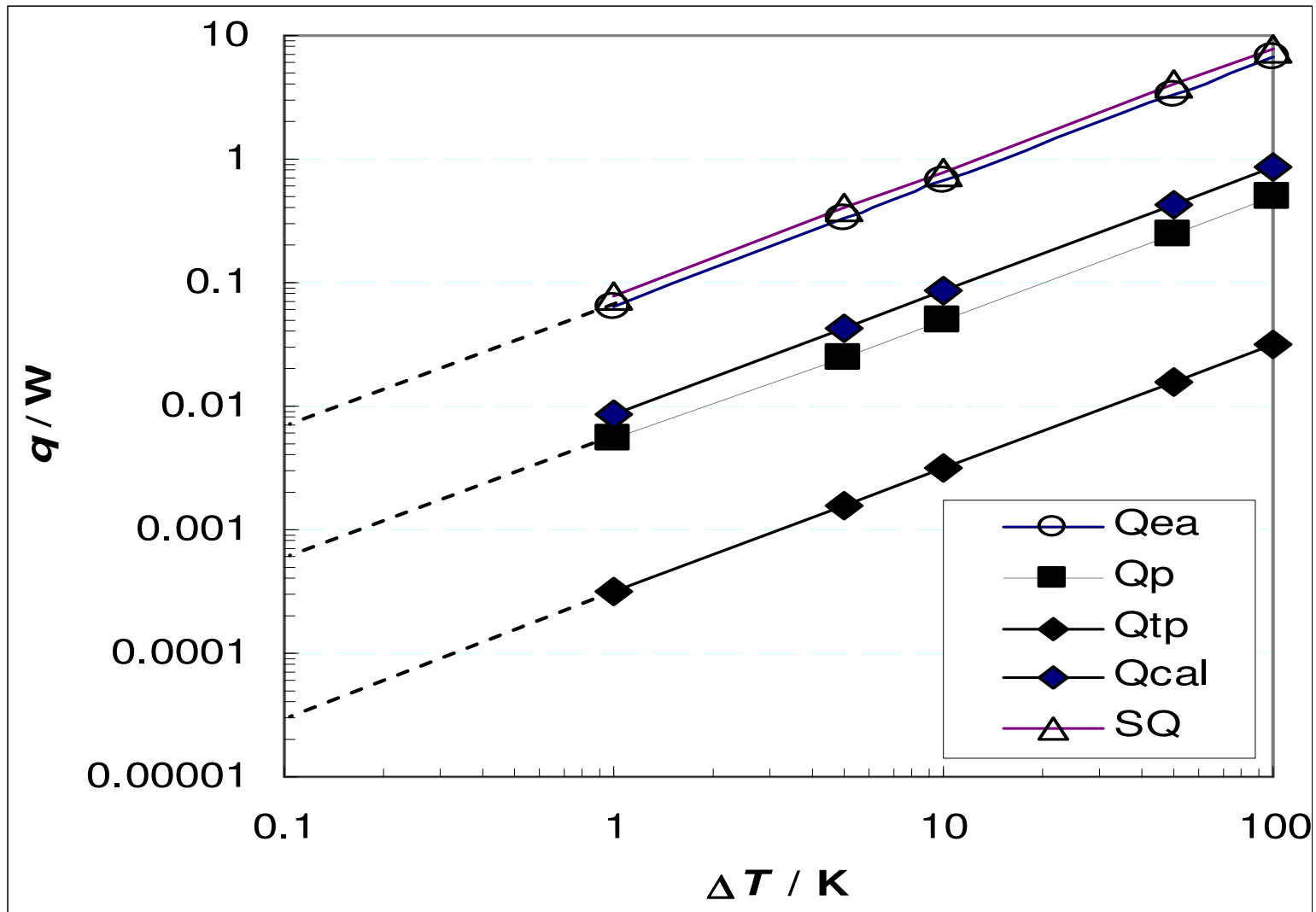
Contribuciones a la transferencia de calor en el espacio anular:

- *a) Transferencia de calor por conducción a través de:*
- *Espacio anular*
- *Pernos que fijan la guarda*
- *Alambres del calefactor*
- *Alambres de los termopares.*

(3) Transferencia de calor en el espacio anular (Resultados)

ΔT (K)	Q_g (W)	Q_p (W)	Q_t (W)	Q_l	Q_{total}
1	$6,50 \times 10^{-2}$	$5,47 \times 10^{-3}$	$3,21 \times 10^{-4}$	$8,65 \times 10^{-3}$	$7,94 \times 10^{-2}$
5	$3,27 \times 10^{-1}$	$2,52 \times 10^{-2}$	$1,60 \times 10^{-3}$	$4,30 \times 10^{-2}$	$3,96 \times 10^{-1}$
10	$6,54 \times 10^{-1}$	$5,05 \times 10^{-2}$	$3,21 \times 10^{-3}$	$8,65 \times 10^{-2}$	$7,94 \times 10^{-1}$
50	3,27	$2,52 \times 10^{-1}$	$1,60 \times 10^{-2}$	$4,30 \times 10^{-1}$	3,96
100	6,54	$5,05 \times 10^{-1}$	$3,20 \times 10^{-2}$	$8,6 \times 10^{-1}$	7,93

(3) Transferencia de calor en el espacio anular (Resultados)



(4) Efecto del material de la guarda

Para determinar la influencia en el valor del valor de la conductividad térmica de un material se puso en el espacio de la guarda tres diferentes materiales aislantes y se mide bajo las mismas condiciones.

Muestra	Material guarda	Espesor (mm)	Temperatura (°C)	Conductividad térmica (W m⁻¹ K⁻¹)	Incertidumbre (W m⁻¹ K⁻¹)
Poliestireno	Poliestireno	23.5	22.02	0.03268	0.00011
Poliestireno	Fibra cerámica	23.5	22.06	0.03248	0.00011
Poliestireno	Fibra de vidrio	23.5	21.99	0.03253	0.00008

(5) Evaluación de la Incertidumbre

- *A partir del modelo para medir la conductividad térmica:*

$$\lambda = \frac{q L}{A \Delta T}$$

- *La incertidumbre se calcula con:*
-

$$\frac{U_{\lambda}}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{U_q}{q}\right)^2 + \left(\frac{U_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{U_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta T}}{\Delta T}\right)^2}$$

(5) Evaluación de la Incertidumbre

•Evaluación de la incertidumbre para la conductividad térmica

Variable	Valor	Incertidumbre relativa
Potencia disipada	1,05599 W	$3,4 \times 10^{-5}$
Espesor	0,02271 m	$2,2 \times 10^{-3}$
Área	$0,021448 \text{ mm}^2$	$3,0 \times 10^{-5}$
Diferencia de temperatura	17,52 °C	$7,3 \times 10^{-3}$
Conductividad térmica	$0,0319 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$7,6 \times 10^{-3}$

CONCLUSIONES

- El método utiliza un aparato de placa caliente con guarda
- Este método se caracterizó vía varias pruebas y estudios.
- Los resultados del efecto de borde proporcionan valores de límites de diseño a partir de parámetros dimensionales
- . El resultado de la distribución de temperatura permite encontrar la mejor posición para los termopares.
- El estudio del espacio anular permite conocer la pérdida de calor por flujo radial como función de la diferencia de temperatura.

CONCLUSIONES

- El estudio del material de la guarda indica que el método y el modelo experimental adoptado para calcular la conductividad térmica por medio de la ecuación de Fourier es adecuado.
- La evaluación de la incertidumbre muestra que las contribuciones más significativas corresponden a la diferencia de temperatura y el espesor de la muestra.
- La incertidumbre se declara en términos del SI.
- El patrón nacional de conductividad térmica es un método primario.

Gracias por su atención

