

# **CALTEP 2000**

## **Ejemplos de Validación Caso Bidimensional II**

E. Sala  
F. Zárate

# **CALTEP 2000**

## **Ejemplos de Validación Caso Bidimensional II**

E. Sala  
F. Zárate

Informe Técnico CIMNE IT-381 B-2, Octubre 2001

Éste informe corresponde a una selección de temas presentados en  
el Informe Técnico CIMNE IT-381

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2. GEOMETRÍA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL .....</b>	<b>2</b>
<b>4. MALLA Y CONDICIONES DE CONTORNO.....</b>	<b>3</b>
4.1 PROBLEMA 1.....	3
4.2 PROBLEMA 2.....	4
4.3 PROBLEMA 3.....	5
4.4 PROBLEMA 4.....	6
4.5 PROBLEMA 5.....	7
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>8</b>
5.1 PROBLEMA 1.....	8
5.2 PROBLEMA 2.....	9
5.3 PROBLEMA 3.....	10
5.4 PROBLEMA 4.....	13
5.5 PROBLEMA 5.....	13

## 1. INTRODUCCIÓN

En este documento se describen algunos ejemplos utilizados para acabar de validar el funcionamiento del programa Caltep2000 en el caso bidimensional. En este caso se plantean diferentes problemas sobre una geometría sencilla en la que se combinan dos materiales. Sobre este dominio se solucionan distintos problemas variando en cada uno las condiciones de contorno.

## 2. GEOMETRÍA

La geometría sobre la que se va a resolver el problema está formada por dos cuartos de circunferencias concéntricas de radios 1 y 0.25. Sobre cada uno de ellos se genera una superficie, de manera que se obtiene el dominio que puede verse a continuación.

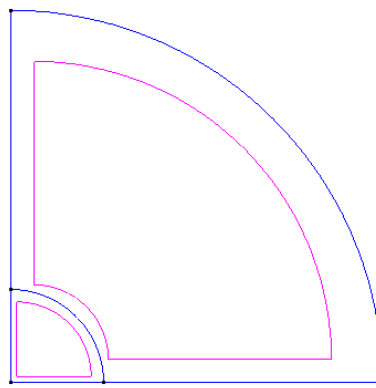


Figura 2-1 Geometría.

## 3. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

La geometría que se va a estudiar está formada por dos materiales que se diferencian únicamente en tener o no activada la fuente de calor interna. La distribución de dichos materiales puede verse en la figura siguiente.

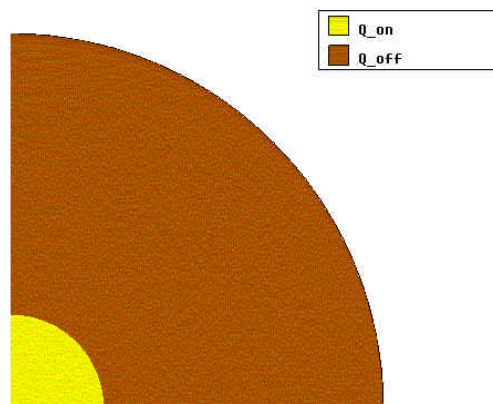


Figura 3-1 Distribución de materiales.

Las características de los materiales son:

- Conductividad 1.0 en todas las direcciones
- Densidad 1.0
- Calor específico 1.0
- Fuente de calor interna 30.0
- Coeficiente de radiación: 0.5

## 4. MALLA Y CONDICIONES DE CONTORNO

En cada uno de los problemas, además de cambiar las condiciones de contorno, se utiliza una malla formada por diferentes tipos de elementos tal y como se describe a continuación.

### 4.1 PROBLEMA 1

#### Malla computacional

Para resolver el primer problema se utiliza una malla no estructurada de elementos triangulares de tres nodos. Sobre las líneas de la superficie pequeña (la que tienen activada la fuente de calor) se ha impuesto un tamaño de elemento de 0.03 mientras que en el resto del dominio los elementos tienen un tamaño de 0.08. Con estas condiciones se obtiene la malla de la figura siguiente, que tiene 384 elementos (309 sobre la superficie grande y 75 sobre la pequeña) y 223 nodos.

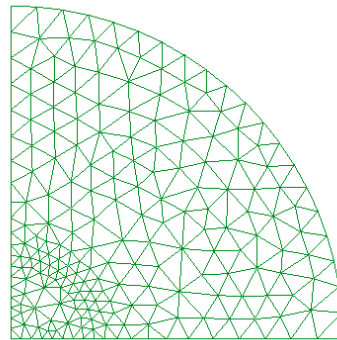


Figura 4-1 Malla problema 1.

#### Condiciones de contorno

En este problema la única condición de contorno impuesta es una de tipo Dirichlet en el perímetro del cuarto de circunferencia. En concreto, sobre esta línea se ha impuesto una temperatura de 0, tal y como se indica en la figura.

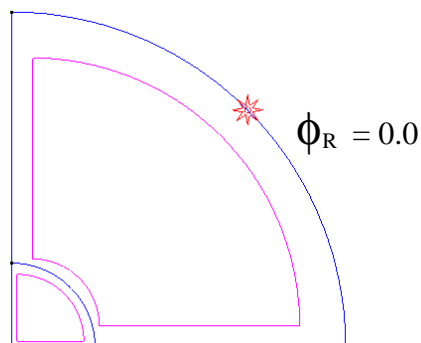


Figura 4-2 Problema 1. Condiciones de contorno.

Para imponer esta condición con GiD sólo hace falta utilizar la opción FIXED TEMPERATURE – LINE TEMPERATURE.

## 4.2 PROBLEMA 2

### Malla computacional

Para resolver el problema se utiliza una malla no estructurada de elementos triangulares de seis nodos. Sobre las líneas de la superficie pequeña (la que tienen activada la fuente de calor) se ha impuesto un tamaño de elemento de 0.03 mientras que en el resto del dominio los elementos tienen un tamaño de 0.1. Con estas condiciones se obtiene la malla de la figura siguiente, que tiene 292 elementos (217 sobre la superficie grande y 75 sobre la pequeña) y 637 nodos.

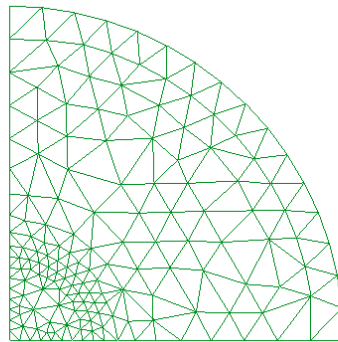


Figura 4-3 Malla problema 2.

### Condiciones de contorno

Todas las condiciones de contorno impuestas en este problema son de tipo Dirichlet. Concretamente, se ha impuesto temperatura nula en el perímetro del cuarto de circunferencia y en el centro de la misma, tal y como puede verse en la figura siguiente.

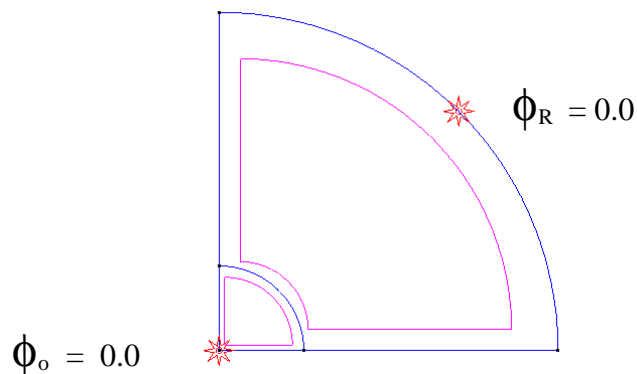


Figura 4-4 Problema 2. Condiciones de contorno.

De la misma manera que en el problema anterior, si se trabaja con GiD para imponer la condición sobre la circunferencia sólo hace falta utilizar la opción FIXED TEMPERATURE– LINE TEMPERATURE. Para prescribir la temperatura sobre el punto se usa la opción FIXED TEMPERATURE – POINT TEMPERATURE.

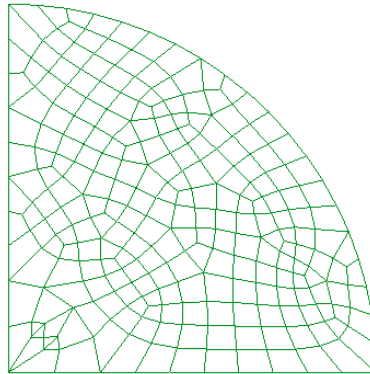
### 4.3 PROBLEMA 3

#### Malla computacional

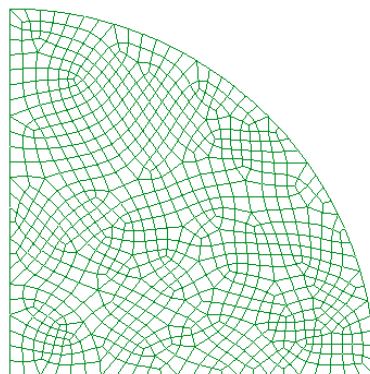
Se va a resolver este problema con diferentes mallas para poder así comparar, por un lado, el comportamiento de un elemento lineal y uno cuadrático y, por otro, qué sucede cuando se refina la malla en ambos casos. Para ello se generan cuatro mallas distintas sobre la misma geometría con las características que se describen a continuación:

- cuadrados de cuatro nodos y tamaño de elemento 0.04 (831 elementos y 875 nodos)
- cuadrados de ocho nodos y tamaño de elemento 0.04 (831 elementos y 2580 nodos)
- cuadrados de cuatro nodos y tamaño de elemento 0.08 (226 elementos y 247 nodos)
- cuadrados de ocho nodos y tamaño de elemento 0.08 (226 elementos y 719 nodos)

En las figuras siguientes puede verse el aspecto de las mallas así generadas:



**Figura 4-5 Malla problema 3.  
Tamaño de elemento 0.08**



**Figura 4-6 Malla problema 3.  
Tamaño de elemento 0.04**

### Condiciones de contorno

En este problema se han impuesto condiciones de contorno de dos tipos. Por un lado, se imponen condiciones de tipo Dirichlet puesto que se prescribe el valor de la temperatura a  $-10$  en el punto central. Por otro, se utilizan condiciones de tipo Neumann ya que se impone un flujo nulo en la circunferencia exterior. Además, se considera la radiación provocada por el contacto con el medio exterior imponiendo una temperatura exterior de  $5$  sobre la misma curva.

En la figura siguiente pueden verse estas condiciones que se han impuesto.

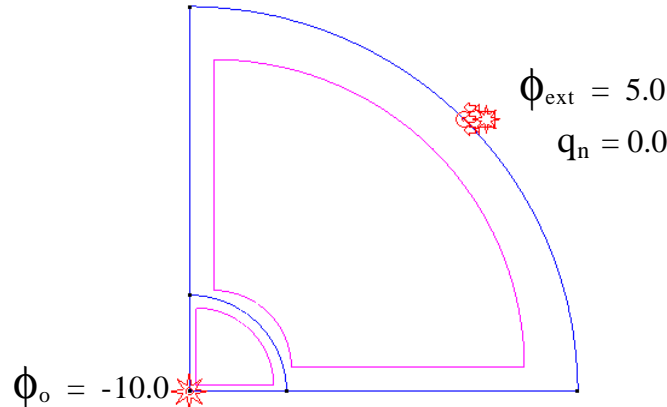


Figura 4-7 Problema 3. Condiciones de contorno.

Si se trabaja con GiD la temperatura sobre el origen se prescribe mediante la opción FIXED TEMPERATURE - POINT TEMPERATURE, para imponer la temperatura exterior se utiliza EXTERNAL TEMPERATURE - LINE EXTERNAL TEMPERATURE y el flujo sobre la circunferencia se fija con LOADS - LINE FLUX OVER LINE.

## 4.4 PROBLEMA 4

### Malla computacional

Para resolver el problema se utiliza una malla no estructurada de elementos cuadriláteros de ocho nodos. El tamaño de los elementos es de  $0.08$  en toda la malla excepto en el punto donde se ha prescrito la temperatura en el que se refina un poco la malla imponiendo un tamaño de elemento de  $0.02$ . Con estas condiciones se obtienen la malla de la figura, que está formada por  $253$  elementos ( $12$  en la superficie pequeña y  $241$  en la grande) y  $810$  nodos.

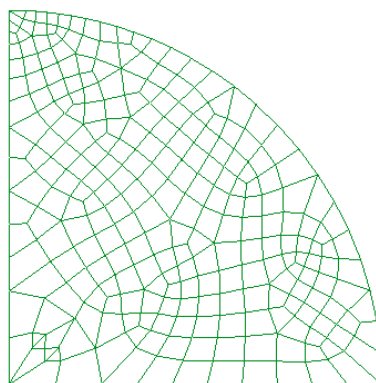


Figura 4-8 Malla problema 4.



### Condiciones de contorno

En este problema se imponen dos tipos de condiciones de contorno. Por un lado, se fija la temperatura a 0 en el punto situado en la esquina superior izquierda utilizando la opción FIXED TEMPERATURE – POINT TEMPERATURE. Por otro, se prescribe un valor del flujo por unidad de longitud en la circunferencia exterior mediante la opción LOADS – LINE FLUX OVER LINE.

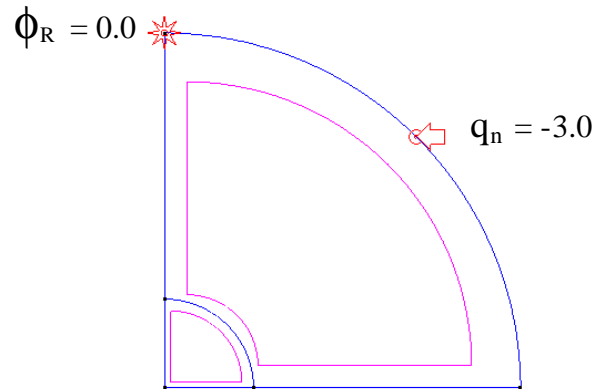


Figura 4-9 Problema 4. Condiciones de contorno.

### 4.5 PROBLEMA 5

#### Malla computacional

Para resolver el problema se utiliza la malla de elementos cuadriláteros de nueve nodos que puede verse en la siguiente figura.

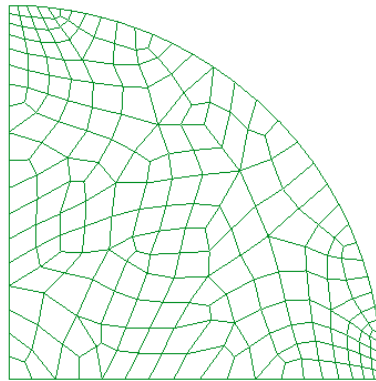


Figura 4-10 Malla problema 5.

Esta malla se ha generado imponiendo un tamaño de elemento 0.02 sobre los dos puntos en que se ha prescrito el valor de la temperatura, cuatro divisiones en las líneas que forman la superficie pequeña y un tamaño de elemento de 0.08 en el resto de la geometría. Está formada por 211 elementos (10 en la pequeña y 201 en la grande) y 915 nodos.

### Condiciones de contorno

Para definir completamente el problema falta imponer las condiciones de contorno. En este caso se ha fijado la temperatura a  $-10$  en dos puntos de la circunferencia separados  $90^\circ$  y en el arco que los une se ha impuesto un flujo nodal saliente de valor  $3.00$ .

Si se utiliza GiD, para imponer el valor de la temperatura en los puntos sólo hace falta utilizar la opción FIXED TEMPERATURE – POINT TEMPERATURE. Para poder prescribir un valor del flujo nodal se tiene que generar la malla e imponer un flujo puntual sobre cada uno de los nodos del contorno donde se desee fijar el valor del flujo, utilizando para ello la opción LOADS – POINT FLUX OVER POINTS.

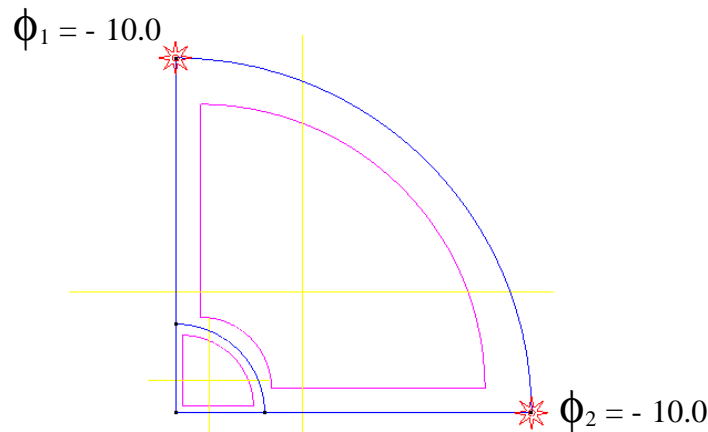


Figura 4-11 Problema 5. Temperatura puntual impuesta.

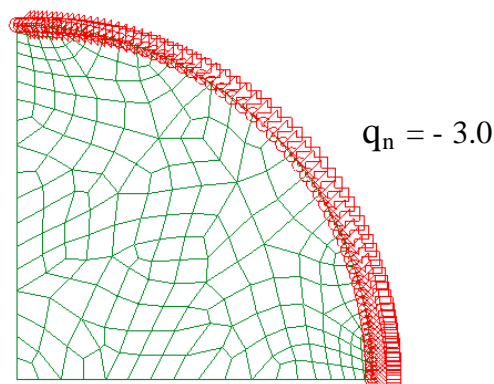


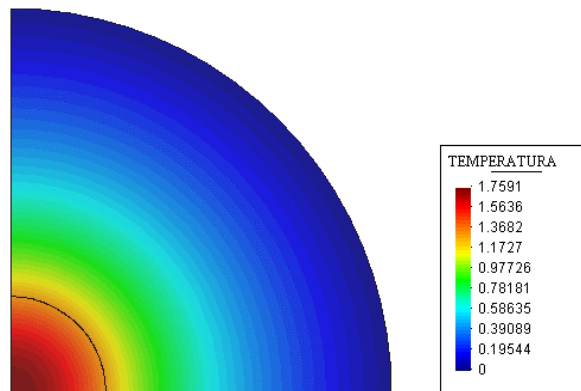
Figura 4-12 Problema 5. Flujo nodal prescrito.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 PROBLEMA 1

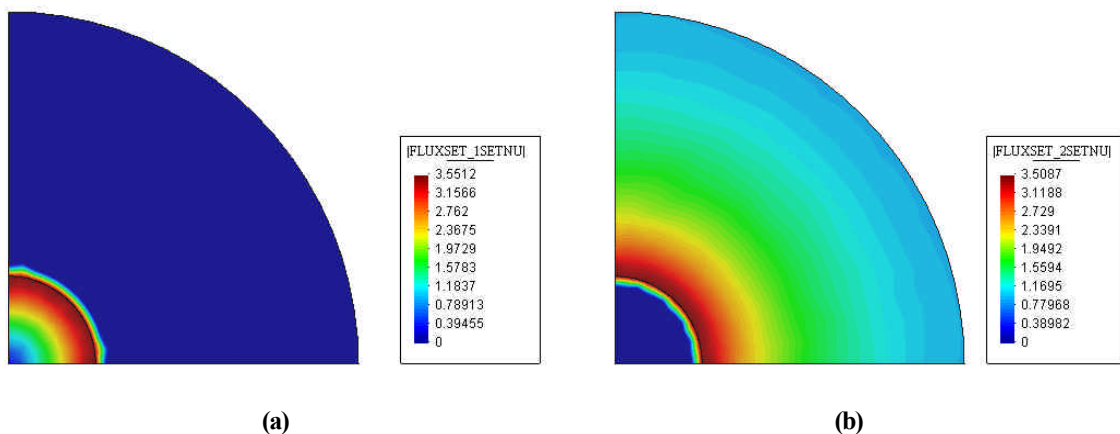
Debido a la sencillez del problema sabemos a priori como tienen que ser los resultados del análisis. Como se ha impuesto temperatura nula en la circunferencia que forma el perímetro exterior, el campo de temperaturas toma un valor cero en esta línea. A medida que se acerca a la parte interior va aumentando su valor ya que en esta zona el material tiene una fuente de generación interna de calor. Debido a las características del problema, el campo de temperatura se distribuye de manera que se forman circunferencias concéntricas de igual temperatura.

Estos resultados esperados son los que se obtienen en el análisis, tal y como puede verse en la siguiente figura.



**Figura 5-1 Distribución de temperatura. Problema 1.**

En las figuras siguientes puede verse la distribución del flujo de calor para cada uno de los dos conjuntos definidos en el análisis, correspondientes a los dos tipos de material definidos:



**Figura 5-2 Distribución de flujo suavizado. Problema 1.**

**(a) Set 1. Material con generación interna de calor.**

**(b) Set 2. Material sin generación interna de calor.**

## 5.2 PROBLEMA 2

Si no hubiera una generación interna de calor, la distribución de temperaturas sería nula en todo el dominio. En el problema analizado, la existencia de una fuente de calor en una de las superficies hace subir la temperatura en esta zona provocando que la distribución de temperaturas deje de ser uniforme y se distribuya formando líneas isotermas concéntricas que van disminuyendo la temperatura desde la zona donde ésta es máxima hacia el centro por un lado y hacia la circunferencia del perímetro por el otro.

El resultado que se obtiene con el programa es el esperado, tal y como puede verse en la gráfica de distribución de temperaturas que se muestra a continuación.

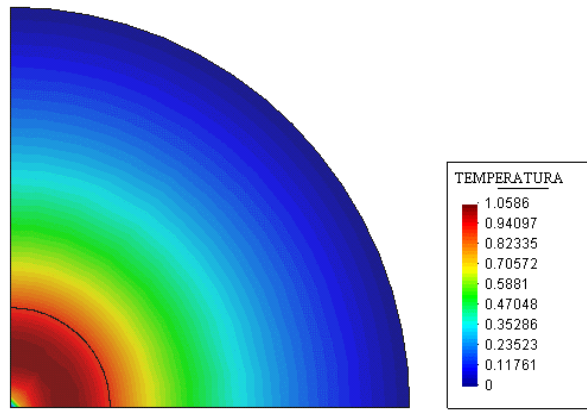
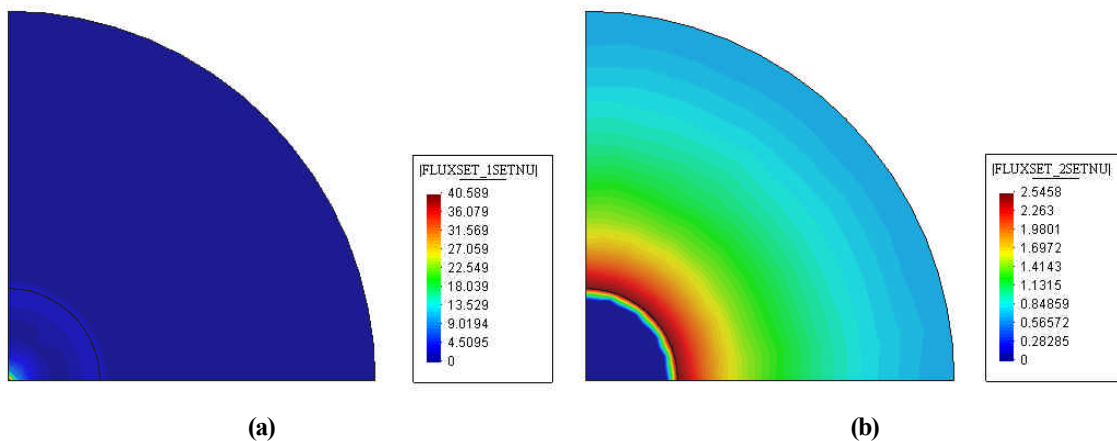


Figura 5-3 Distribución de temperatura. Problema 2.

En las figuras siguientes puede verse la distribución de flujo para cada uno de los sets utilizados en el cálculo (cada set está formado por los elementos que tienen un tipo de material)



(a)

(b)

Figura 5-4 Distribución de flujo suavizado. Problema 2.

(a) Set 1. Material con generación interna de calor.

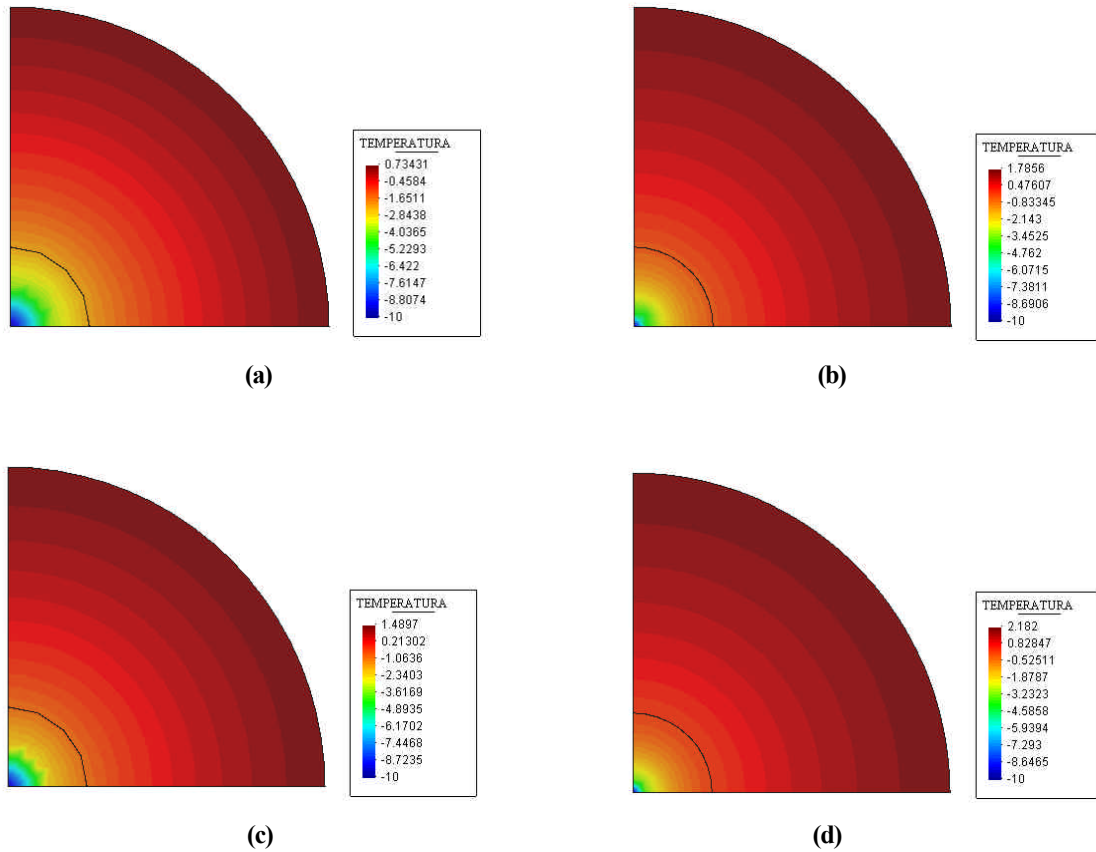
(b) Set 2. Material sin generación interna de calor.

### 5.3 PROBLEMA 3

El campo de temperatura toma un valor 10 en el punto donde se ha impuesto la condición de tipo Dirichlet. La temperatura será mayor en el resto del dominio debido a la generación de calor del material que forma la superficie interior.

El flujo se concentra en el punto donde se ha prescrito el valor de la temperatura ya que en esta zona hay una variación brusca de temperaturas que provoca un fuerte gradiente. La condición de contorno de tipo Neumann se verifica de forma aproximada.

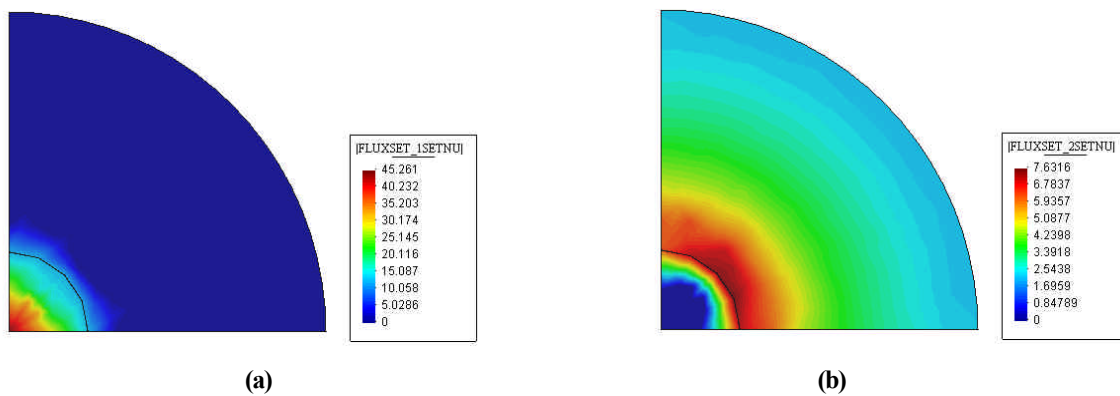
A continuación pueden verse los resultados obtenidos con las diferentes mallas utilizadas en el análisis.



**Figura 5-5 Distribución de temperaturas. Problema 3.**

- (a) Elemento QU04, tamaño 0.08.
- (b) Elemento QU04, tamaño 0.04.
- (c) Elemento QU08, tamaño 0.08.
- (d) Elemento QU08, tamaño 0.04.

En las siguientes figuras puede verse la distribución de flujo obtenida con cada tipo de elemento.



**Figura 5-6 Distribución de flujo suavizado.**

**Problema 3. Malla de cuadriláteros lineales de tamaño 0.08.**

- (a) Set 1. Material con generación interna de calor.
- (b) Set 2. Material sin generación interna de calor.

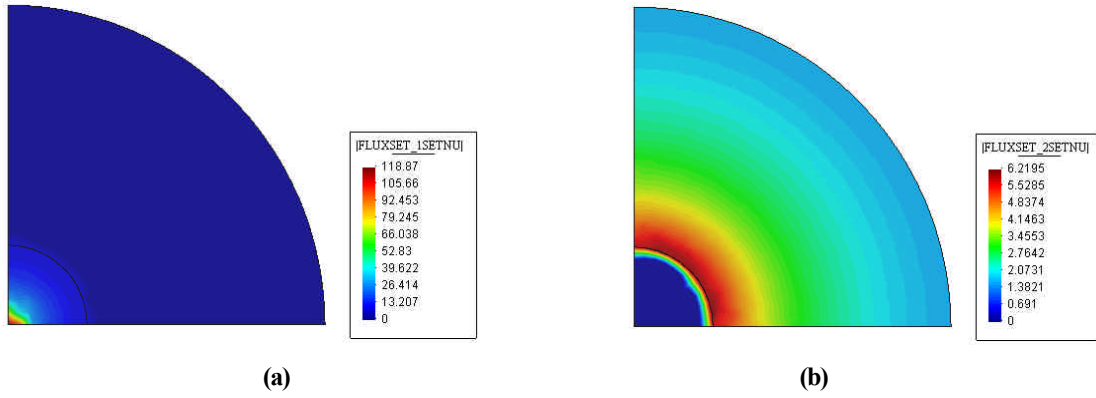


Figura 5-7 Distribución de flujo suavizado.

Problema 3. Malla de cuadrilátero lineales de tamaño 0.04.

- (a) Set 1. Material con generación interna de calor.
- (b) Set 2. Material sin generación interna de calor.

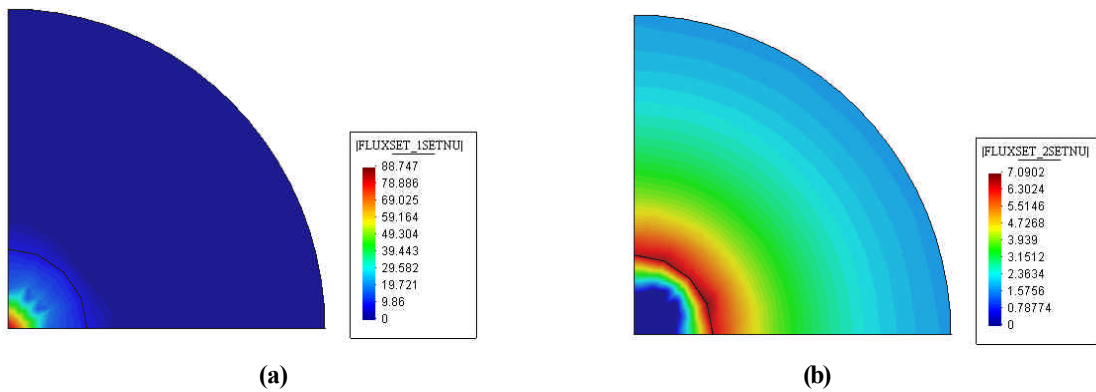


Figura 5-8 Distribución de flujo suavizado.

Problema 3. Malla de cuadriláteros cuadráticos de tamaño 0.08.

- (a) Set 1. Material con generación interna de calor.
- (b) Set 2. Material sin generación interna de calor.

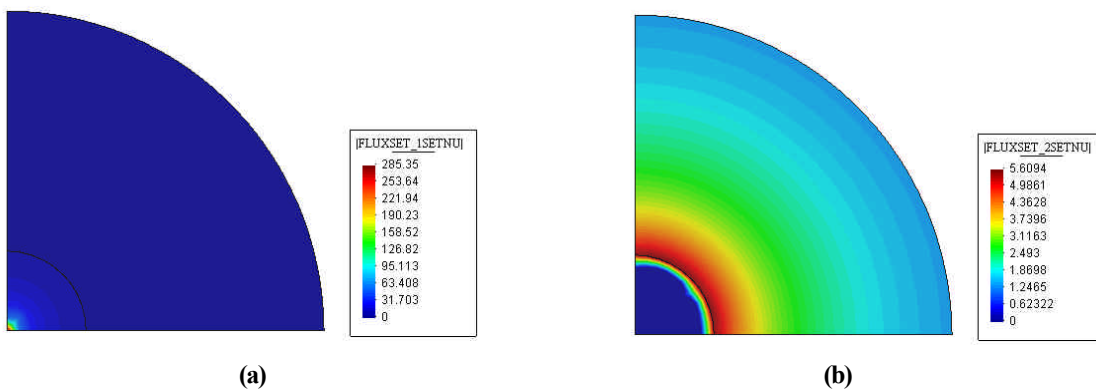


Figura 5-9 Distribución de flujo suavizado.

Problema 3. Malla de cuadriláteros cuadráticos de tamaño 0.04.

- (a) Set 1. Material con generación interna de calor.
- (b) Set 2. Material sin generación interna de calor.

### 5.4 PROBLEMA 4

Dadas las condiciones de contorno impuestas, el resultado que se espera para el campo de temperaturas es que tome un valor 0 en el punto donde se ha impuesto. En el resto del dominio la temperatura disminuye debido a que en el contorno se ha impuesto un flujo de calor negativo, que sale del dominio.

El flujo se concentrará alrededor del punto donde se ha impuesto la temperatura ya que en esta zona es donde hay mayor variación de la temperatura.

En la figura siguiente podemos ver como el resultado del análisis es el esperado.

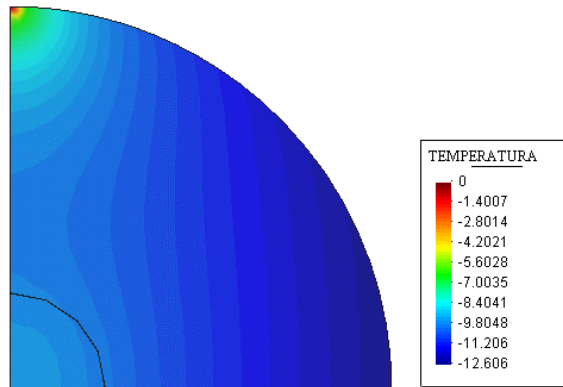


Figura 5-10 Distribución de temperatura. Problema 4.

En las figuras siguientes puede verse la distribución de flujo para cada tipo de material.

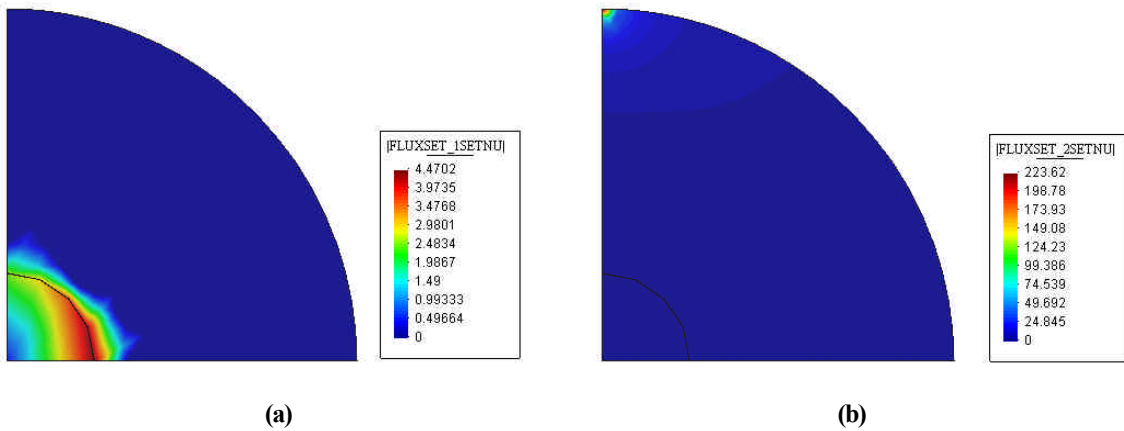


Figura 5-11 Problema 4. Distribución de flujo suavizado

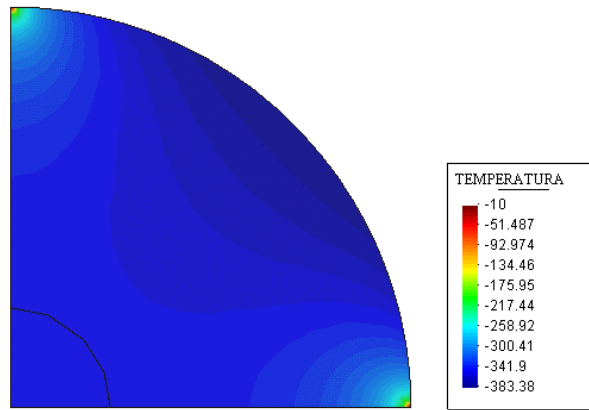
(a) Set 1. Material con generación interna de calor

(b) Set 2. Material sin generación interna de calor

### 5.5 PROBLEMA 5

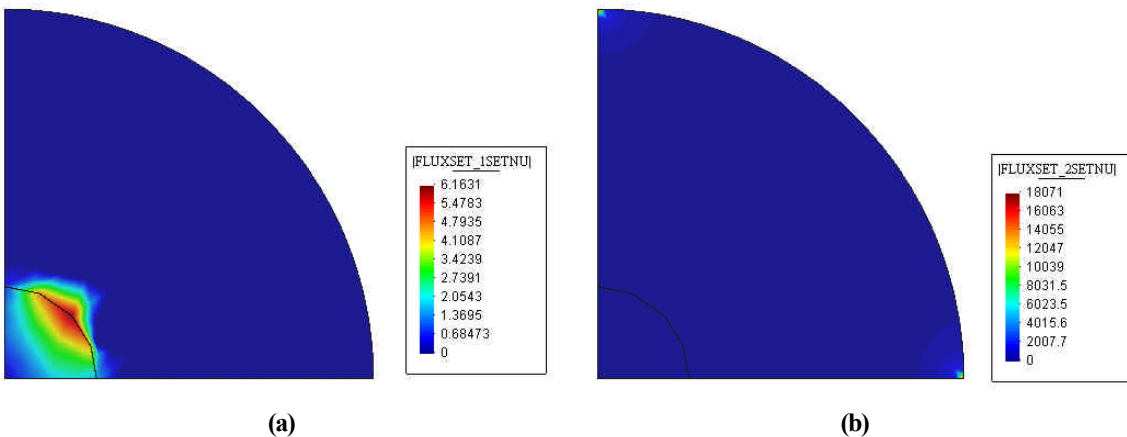
Dado que las condiciones de tipo Dirichlet se imponen de forma fuerte, en los puntos donde se ha fijado la temperatura ésta tomará exactamente el valor prescrito. En el resto del dominio el campo de temperaturas tomará valores inferiores debido a que en el contorno se ha impuesto un flujo de calor saliente.

Estos resultados esperados son los que se obtienen en el análisis, tal y como puede verse en la siguiente figura.



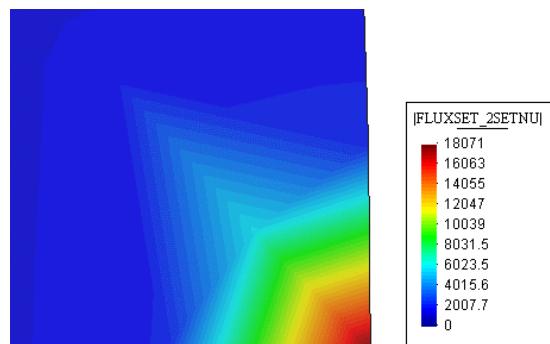
**Figura 5-12 Distribución de temperatura. Problema 5.**

En las figuras siguientes puede verse la distribución de flujo que se obtiene en el análisis. El flujo que se observa en la superficie interior es debido al suavizado que el programa realiza para mostrar los resultados. En realidad, el flujo se concentra en los vértices en los que se ha fijado el valor de la temperatura mientras que en el resto del dominio es prácticamente nulo. Nótese que la condición de tipo Neumann no se verifica exactamente pero sí que es cierto que en el contorno se tiene un flujo aproximadamente igual (del mismo orden) al prescrito.



**Figura 5-13 Distribución de flujo suavizado. Problema 5.**

- (a) Set 1. Material con generación interna de calor
- (b) Set 2. Material sin generación interna de calor



**Figura 5-14 Detalle distribución de flujo en un vértice.**