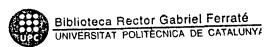
-1400572557 T 99/24





## **TESIS DOCTORAL**

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE FLUIDOS

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO DE MEDIOS POROSOS SATURADOS HASTA EBULLICIÓN-"DRYOUT" DE SU FASE LÍQUIDA

Tesis doctoral presentada por: : MONTSERRAT CARBONELL VENTURA

**DIRECTOR: Dr. LUIS VIRTO ALBERT** 

### 3.3.4.4.- Medio poroso constituido por ALGODÓN

#### - POROSIDAD ( $\varepsilon = 0.92$ )

La determinación de la conductividad térmica del medio poroso constituido por algodón ( $\epsilon$  = 0,92) fue realizada a partir de experiencias en régimen transitorio, fijando la potencia suministrada en 25 W.

El hecho de realizar las experiencias correspondientes al medio fibroso suministrando una potencia inferior a las experiencias realizadas con medio granular, fue debido a la posibilidad de que se produjera desaturación del medio poroso en contacto con la placa calefactora, elevándose la temperatura de la fase sólida a valores que dieran lugar al quemado del algodón de la parte superior de la célula.

Dicha determinación se llevo a cabo tanto en el caso del agua destilada (con un caudal de refrigeración de 3,220.10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>/s) como en el caso de la solución acuosa de tensioactivo (con un caudal de refrigeración de 4,642.10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>/s) como fluido saturante.

#### Fluido saturante: AGUA DESTILADA

Los datos de temperatura registrados por los termopares a lo largo de las cuatro horas de experimentación, realizando un registro de temperaturas cada 60 segundos, se encuentran representados en la figura 3.15. En dicha figura se aprecia la variación de la temperatura registrada en los cinco termopares instalados en el interior del medio poroso, así como la temperatura recogida por los termopares situados en la entrada y salida de la cámara de agua de refrigeración.

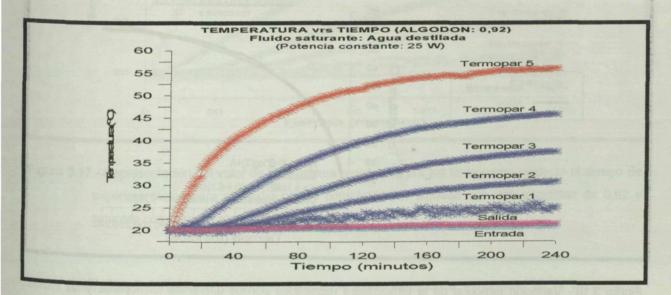


Figura 3.15.- Variación temporal de la temperatura para cada termopar en el medio poroso constituido por algodón con una porosidad de 0,92 y saturado con agua destilada.

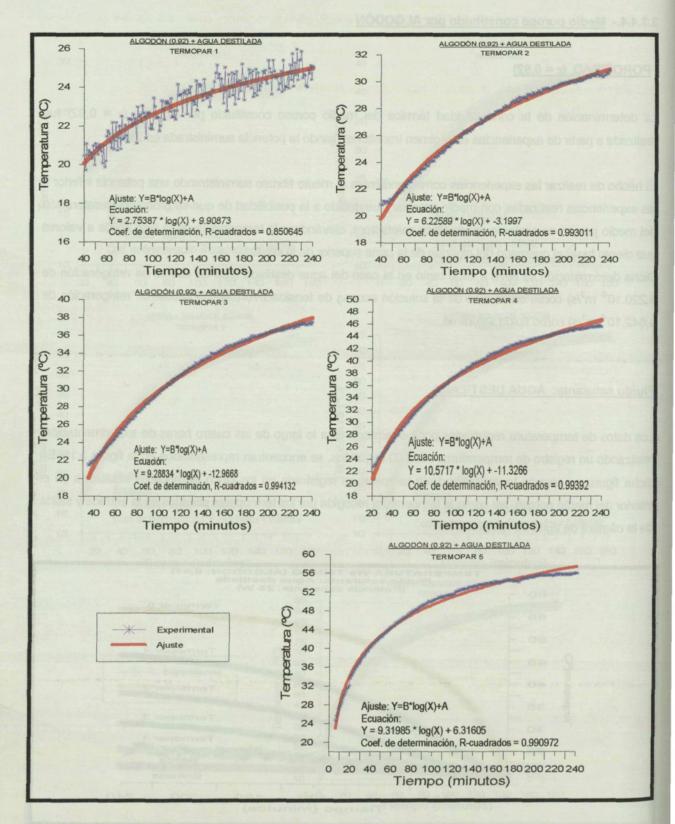


Figura 3.16.- Variación temporal de la temperatura registradas por los diferentes termopares y su ajuste mediante una función logarítmica.

En la figura 3.16 se han representado los diferentes ajustes correspondientes a la variación temporal de la temperatura de cada uno de los termopares. En este caso las variaciones temporales de temperatura siguen expresiones logarítmicas para tiempos de calentamiento superiores a los reportados por los materiales granulares (a excepción claro está del termopar 5 correspondiente a la placa calefactora).

#### Fluido saturante: SOLUCIÓN ACUOSA DE NONILFENOL 30-O.E.

Los valores de temperatura registrados por los termopares durante las tres horas de experimentación se encuentran representados en la figura 3.17. La potencia suministrada fue de 25 W y el caudal del agua de refrigeración de 4,642 .10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>/s.

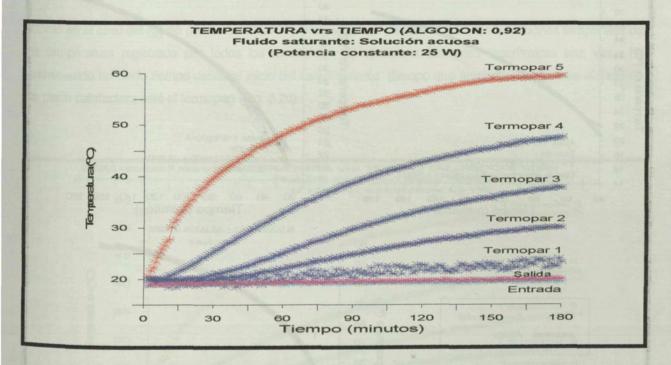


Figura 3.17.- Representación del valor de temperatura registrados por los termopares respecto al tiempo de experimentación para el medio poroso constituido por algodón con una porosidad de 0,92 y saturado con solución acuosa de tensioactivo.

En la figura 3.18 se muestran los ajustes realizados a las variaciones temporales de la temperatura registradas por cada uno de los termopares.

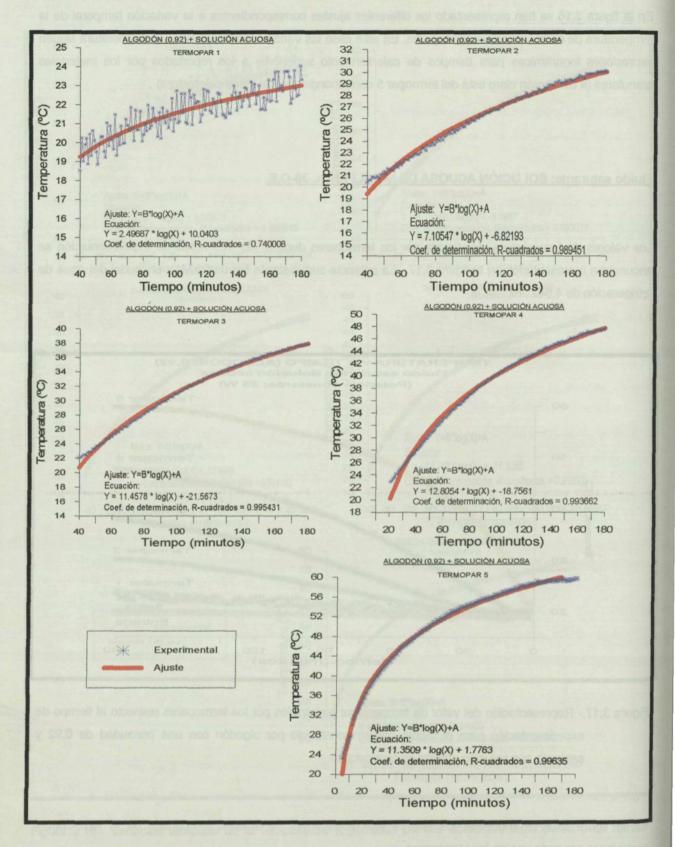


Figura 3.18.- Variación temporal de la temperatura registrada por los diferentes termopares y su ajuste mediante una función logarítmica.

#### - POROSIDAD ( $\varepsilon = 0.88$ )

La determinación de la conductividad térmica del medio poroso constituido por algodón ( $\varepsilon$  = 0,88) fue realizada a partir de experiencias en régimen transitorio, cuyo periodo de duración fue de tres horas, fijando la potencia suministrada en 25 W y con un caudal del agua de refrigeración de 6,130.10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>/s.

#### Fluido saturante: AGUA DESTILADA

Los datos de temperatura registrados por los termopares a lo largo de las tres horas de experimentación, realizando un registro de temperaturas cada 60 segundos, se encuentran representados en la figura 3.19. En dicha figura se aprecia la variación de la temperatura registrada en los cinco termopares instalados en el interior del medio poroso, así como la temperatura recogida por los termopares situados en la entrada y salida de la cámara de agua de refrigeración.

Como en el caso del medio poroso constituido por algodón con porosidad 0,92, las variaciónes temporales de la temperatura registrada por todos los termopares se ajustan a funciones logarítmicas una vez ha transcurrido un cierto tiempo desde el inicio del calentamiento (tiempo que aumenta cuanto más alejado de la placa calefactora esté el termopar) (Fig. 3.20).

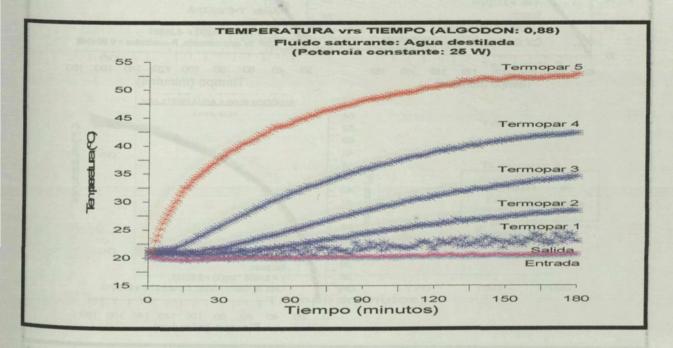


Figura 3.19.- Variación temporal de la temperatura para el medio constituido por algodón con una porosidad de 0,88 y saturado con agua destilada.

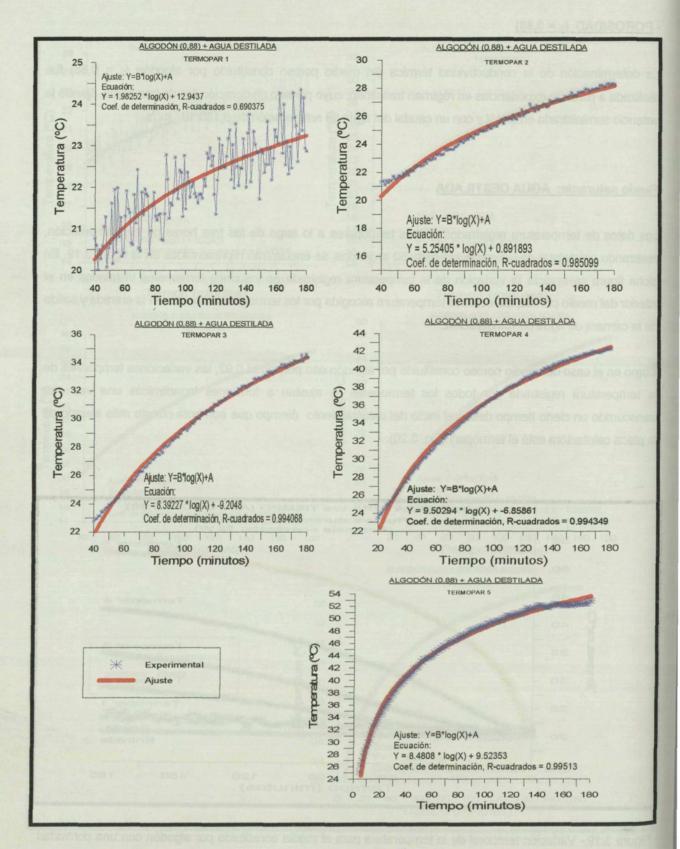


Figura 3.20.- Variación temporal de la temperatura registrada por los distintos termopares y su ajuste a una función logarítmica.

#### - POROSIDAD ( $\varepsilon = 0.83$ )

La determinación de la conductividad térmica del medio poroso constituido por algodón ( $\varepsilon$  = 0,83) fue realizada a partir de experiencias en régimen transitorio, cuyo periodo de duración fue de tres horas, fijando la potencia suministrada en 25 W y con un caudal de agua de refrigeración de 3,735.10<sup>-6</sup> m³/s y de 3,672.10<sup>-6</sup> m³/s, para el caso de agua destilada y de solución acuosa respectivamente

#### Fluido saturante: AGUA DESTILADA

Los datos de temperatura registrados por los termopares a lo largo de las tres horas de experimentación, realizando un registro de temperaturas cada 60 segundos, se encuentran representados en la figura 3.21. En dicha figura se aprecia la variación de la temperatura registrada en los cinco termopares instalados en el interior del medio poroso, así como la temperatura recogida por los termopares situados en la entrada y salida de la cámara de agua de refrigeración.

Las variaciones temporales de la temperatura registrada por los termopares, también en este caso se ajustan a funciones logarítmicas una vez transcurrido un cierto tiempo, y se encuentran representadas en la Fig. 3.22.

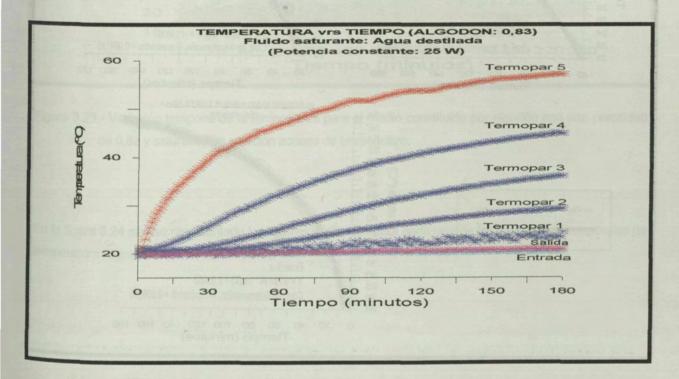


Figura 3.21.- Variación temporal de la temperatura para el medio constituido por algodón con una porosidad de 0,83 y saturado con agua destilada.

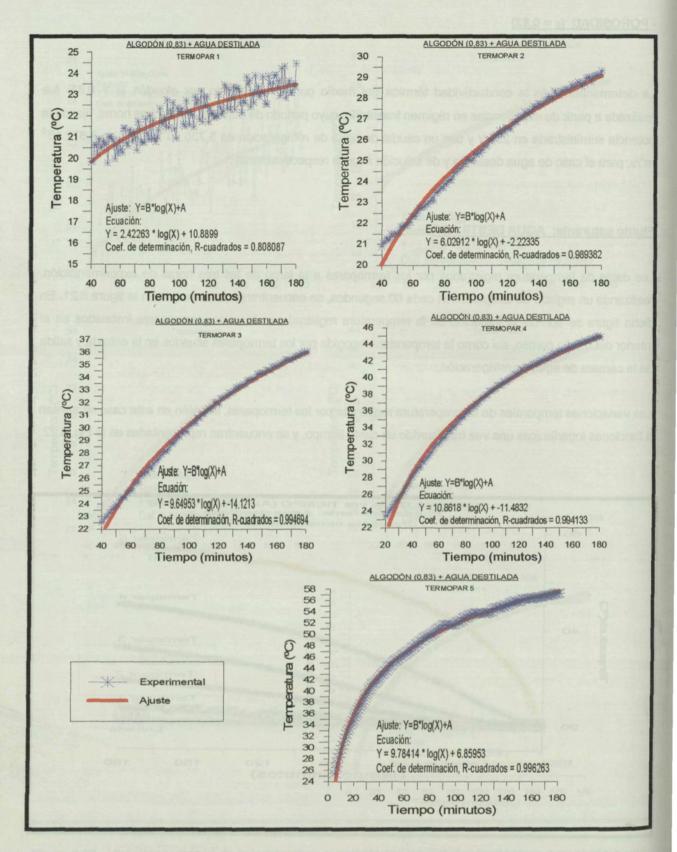


Figura 3.22.- Variaciones temporales de temperatura de los diferentes termopares y su ajuste mediante una función logarítmica.

#### Fluido saturante: SOLUCIÓN ACUOSA DE TENSIOACTIVO

Los datos de temperatura registrados por los termopares a lo largo de las cuatro horas de experimentación, realizando un registro de temperaturas cada 60 segundos, se encuentran representados en la figura 3.23. En dicha figura se aprecia la variación de la temperatura registrada en los cinco termopares instalados en el interior del medio poroso, así como la temperatura recogida por los termopares situados en la entrada y salida de la cámara de agua de refrigeración.

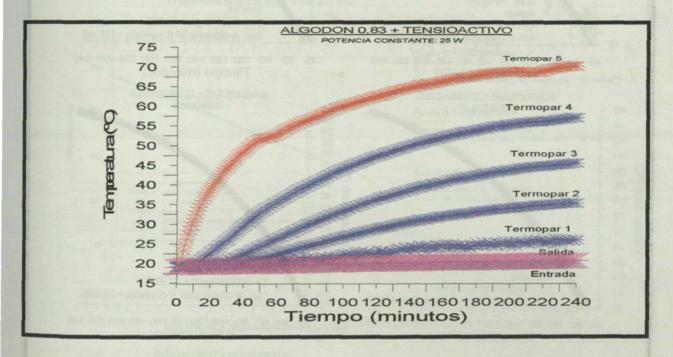


Figura 3.23.- Variación temporal de la temperatura para el medio constituido por algodón con una porosidad de 0,83 y saturado con solución acuosa de tensioactivo.

En la figura 3.24 se han representado los ajustes realizados para cada una de las variaciones temporales de temperatura registradas por los termopares.

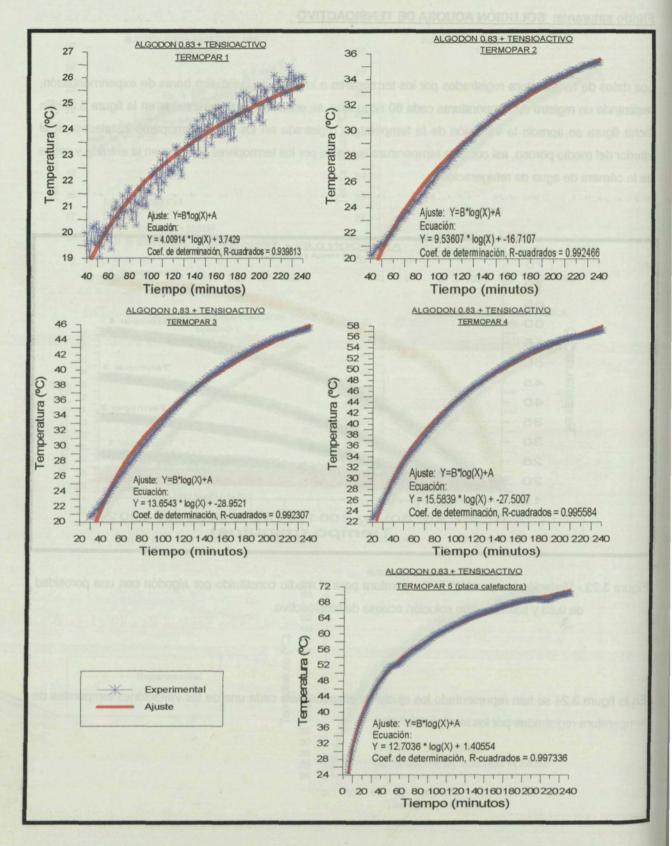


Figura 3.24.- Variaciones temporales de temperatura de los diferentes termopares y su ajuste mediante una función logarítmica.

# 3.3.5.- CÁLCULO DE LA CONDUCTIVIDAD Y DIFUSIVIDAD TÉRMICAS EFECTIVAS DE LOS MEDIOS POROSOS CONSIDERADOS

A partir de los datos de temperatura obtenidos, se realizaron las distribuciones de temperatura en los distintos medios porosos para los últimos minutos de experimentación (figuras de la 3.25 a la 3.31) con el objeto de apreciar si en el transcurso de las pruebas se alcanzó el régimen conductivo permanente.

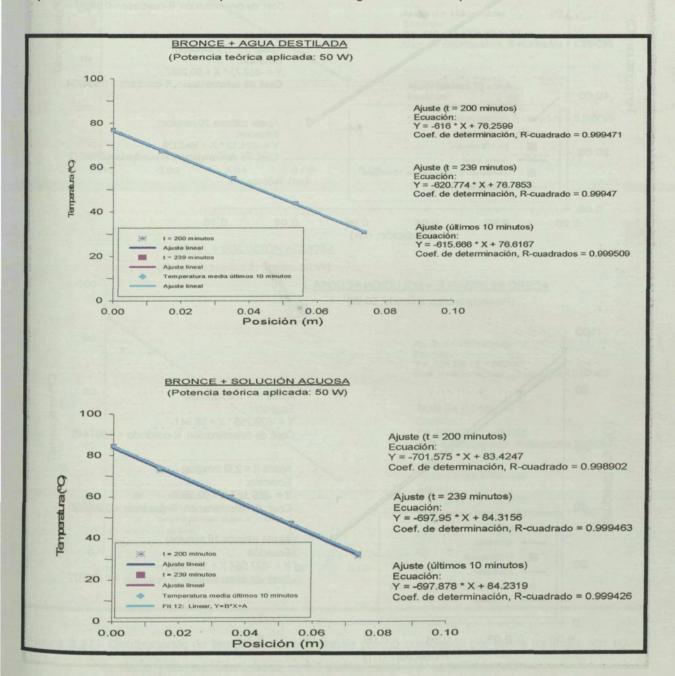


Figura 3.25.- Distribuciones de temperatura en el medio poroso constituido por partículas de bronce saturado con agua destilada y con solución acuosa, en los últimos minutos de experimentación.

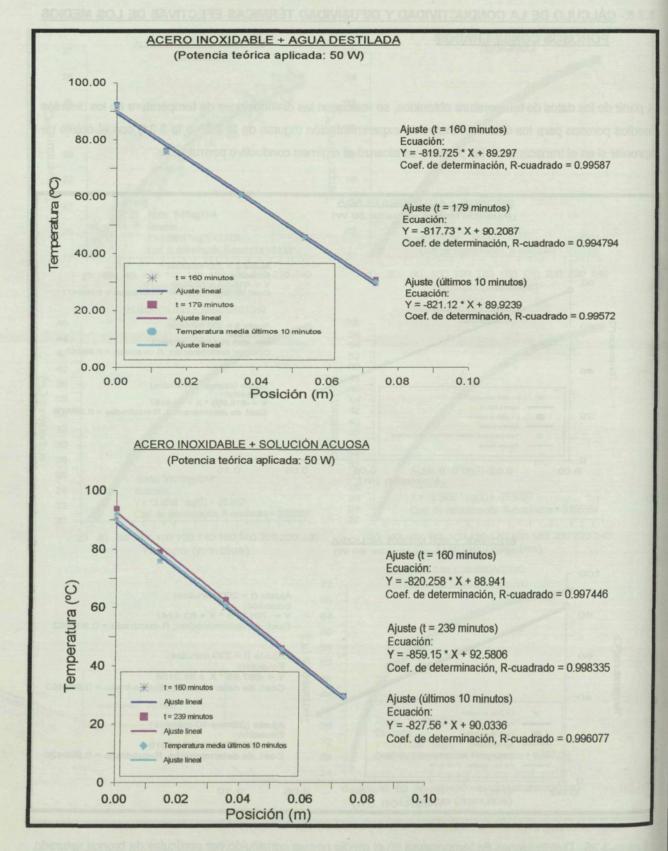


Figura 3.26.- Distribuciones de temperatura en el medio poroso constituido por partículas de acero saturado con agua destilada y con solución acuosa, en los últimos minutos de experimentación.

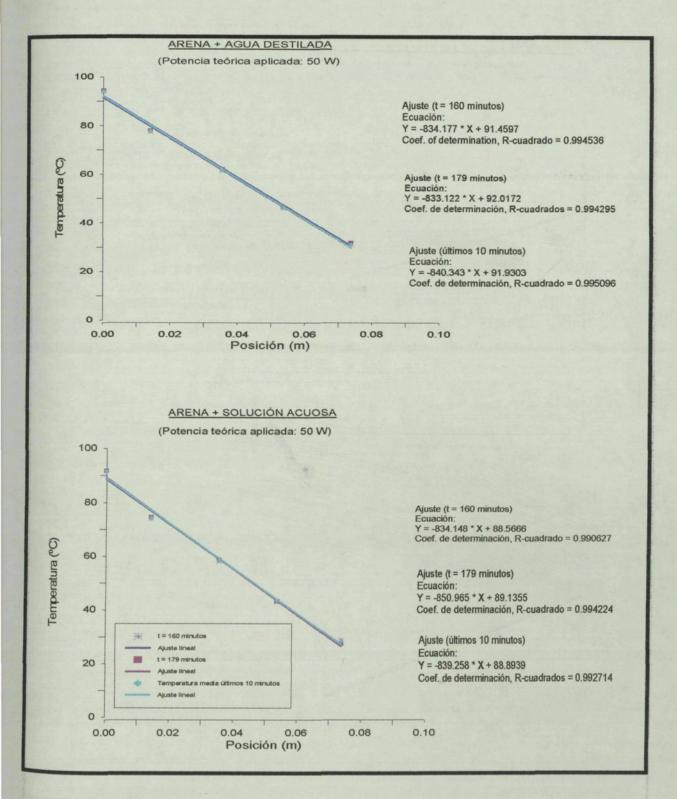


Figura 3.27.- Distribuciones de temperatura en el medio poroso constituido por arena saturada con agua destilada y con solución acuosa, en los últimos minutos de experimentación.

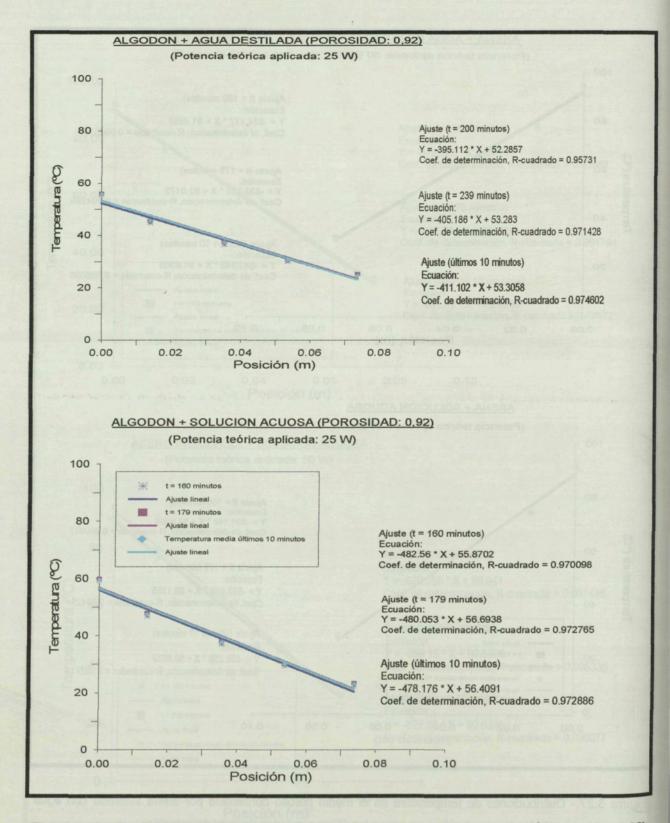


Figura 3.28.- Distribuciones de temperatura en el medio poroso constituido por algodón (porosidad 0,92) saturado con agua destilada y con solución acuosa, en los últimos minutos de experimentación.

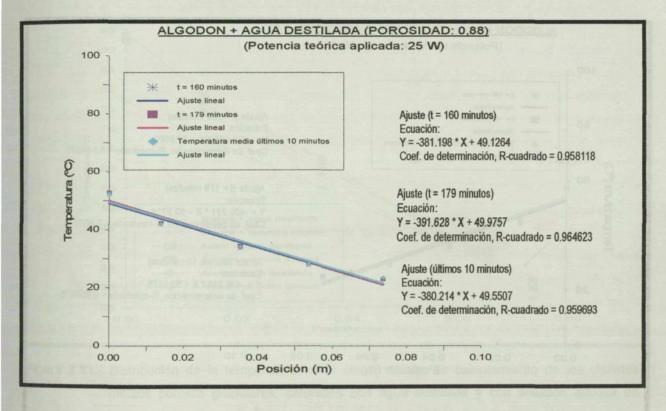


Figura 3.29.- Distribuciones de temperatura en el medio poroso constituido por algodón (porosidad 0,88) saturado con agua destilada en los últimos minutos de experimentación.

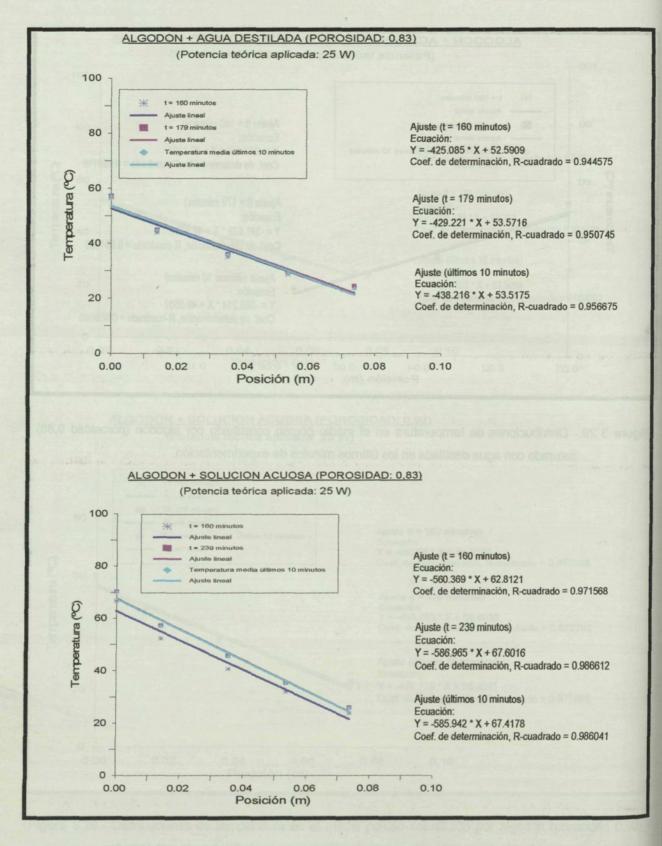


Figura 3.30.- Distribuciones de temperatura en el medio poroso constituido por algodón (porosidad 0,83) saturado con agua destilada y con solución acuosa, en los últimos minutos de experimentación.

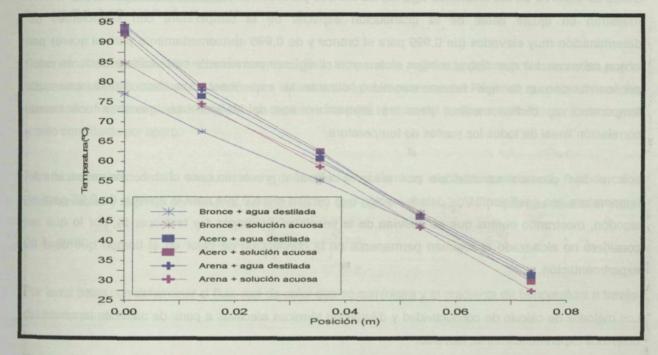


Figura 3.31.- Distribución de la temperatura en el último minuto de calentamiento de los distintos medios porosos granulares, saturados con agua destilada y con solución acuosa de tensioactivo.

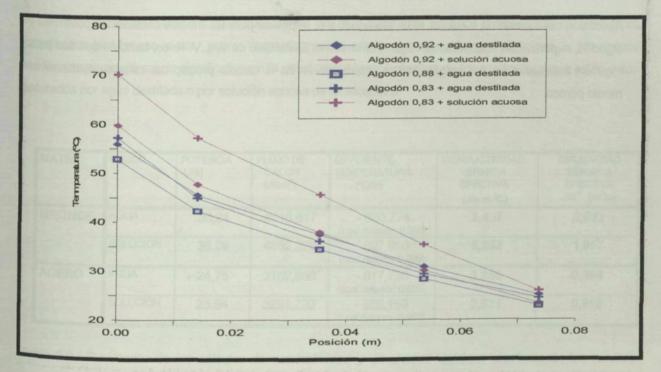


Figura 3.32.- Distribución de la temperatura en el último minuto de calentamiento correspondiente a los medios porosos fibrosos, saturados con agua destilada y con solución acuosa de tensioactivo

Como se observa en las anteriores figuras, los medios porosos correspondientes al bronce y al acero, muestran un ajuste lineal de la distribución espacial de la temperatura con coeficientes de determinación muy elevados (de 0,999 para el bronce y de 0,996 aproximadamente para el acero) por lo que cabe concluir que dichos medios alcanzaron el régimen permanente en la transferencia de calor por conducción a la que fueron sometidos durante la experimentación. Las distribuciones de temperatura en dichos medios, para los últimos minutos de las pruebas, muestran una buena correlación lineal de todos los puntos de temperatura.

Los medios porosos constituidos por arena y algodón presentan una distribución espacial de temperatura con coeficientes de determinación que oscilan entre 0,994 para la arena y de 0,95 para el algodón, mostrando puntos que se desvían de la linealidad (termopar 1 y termopar 5), por lo que se consideró no alcanzado el régimen permanente en la conducción de calor en el tiempo que duró la experimentación.

Los métodos de cálculo de conductividad y difusividad térmicas efectivas a partir de datos de temperatura obtenidos experimentalmente, han sido:

- Aplicación de la ley de Fourier para los medios constituidos por bronce y acero inoxidable, experiencias en las cuales se consideró alcanzado el régimen conductivo permanente.
- Aplicación del método de I. Nozad, R.G. Carbonell y S. Whitaker para los medios constituidos por arena y algodón, experiencias realizadas en régimen transitorio. El método de W.L.V. Price, también definido para régimen transitorio, no fue elegido por la incertidumbre en el cálculo preciso del calor suministrado al medio poroso.