

1.	Introducción	1
1.1	Presentación del problema	1
1.2	Objetivos	4
1.3	Organización del documento	10
2.	Estado del arte	11
2.1	Modelación matemática del transporte en medios porosos saturados	11
2.2	Ley de Darcy y transporte convectivo	13
2.2.1	Flujo en medio poroso	13
2.2.2	Generalización de la Ley de Flujo	14
2.2.3	Balace de masa y enfoque euleriano del transporte convectivo	15
2.2.4	Enfoque lagrangiano del transporte convectivo	18
2.3	Dispersión, difusión y transferencia de masa	20
2.3.1	Introducción	20
2.3.2	Procesos microscópicos	21
2.4	Desarrollo de la ecuación de convección-dispersión	33
2.5	Dispersión macroscópica	36
2.6	Aproximaciones alternativas al proceso de flujo y transporte	38
2.6.1	Comportamiento no fickiano	38
2.6.2	ADE estocástica	42
2.6.3	Modelo de Transferencia Multitasa (Multi-rate Transfer Model o MRMT)	44
2.6.4	Modelo lagrangiano de transporte no fickiano	46
2.6.5	Modelo de trayectorias aleatorias continuo en el tiempo (CTRW)	47
2.6.6	Modelos de convección-dispersión en derivadas fraccionales	50
2.7	Conclusiones	52
2.8	Experimentación en medios físicos de laboratorio	56
2.8.1	Experimentación a escala intermedia	56
2.8.2	Tratamiento de imagen digital como sistema de medida de concentraciones	60
2.8.3	Estudio de la dispersión no-fickiana mediante tanques de experimentación	63
3.	Modelo de experimentación a escala intermedia	67
3.1	Descripción del dispositivo físico, justificación de materiales y detalles constructivos	67
3.1.1	Construcción del tanque de experimentación	67
3.2	Descripción del medio utilizado	69
3.2.1	Origen de los datos de conductividad	69
3.2.2	Diseño del campo de conductividades hidráulicas	73
3.3	Construcción del medio poroso	77
3.4	Sistema de adquisición de datos	80

3.4.1 Sistema de medida de alturas piezométricas	80
3.4.2 Sistema de medida de concentraciones	82
3.5 Descripción de los ensayos realizados	88
3.5.1 Experimentos realizados	88
3.5.2 Justificación y detalles del experimento	89
3.5.3 Establecimiento de un gradiente hidráulico	89
3.5.4 Descripción del ensayo	90
3.6 Modelación numérica del experimento	92
3.6.1 Tamaño de malla y condiciones de contorno	92
3.6.2 Conductividad hidráulica y observaciones de alturas	92
3.6.3 Calibración del modelo numérico y estimación del campo de velocidades del flujo	94
4. Determinación de la dispersividad local instantánea	103
4.1 El parámetro dispersividad en la ecuación del transporte	103
4.2 Dispersividades dependientes de la escala soporte de estimación y del tiempo.	107
4.2.1 Dispersividad instantánea dependiente del tiempo $\alpha(t)$	108
4.2.2 Dispersividad media temporal $\alpha'(t)$	109
4.3 Estimación de las dispersividades en un dominio tridimensional	111
4.3.1 Determinación del valor de la dispersividad efectiva media temporal $\alpha'(t)$	111
4.3.2 Determinación de las dispersividades efectivas locales instantáneas $\alpha(x_i, t)$ mediante modelación inversa	113
4.3.3 Obtención de las dispersividades locales instantáneas en cada celda (i, j)	117
5. Resultados y discusión	121
5.1 Dispersividades medias efectivas	121
5.1.1 Momentos centrales del penacho	121
5.2 Dispersividad local efectiva instantánea	130
5.2.1 Estimación del balance de masa instantáneo	130
5.2.2 Componente convectiva instantánea del balance de masa	132
5.2.3 Componente dispersiva instantánea	133
5.3 Cálculo de las dispersividades locales efectivas instantáneas	135
5.4 Comportamiento temporal de la dispersividad	136
5.5 Mapa de dispersividades máximas	137
5.6 Evolución temporal de las dispersividades locales instantáneas.	138
5.6.1 Selección de puntos de control de la evolución de la dispersividad local efectiva instantánea	138
5.6.2 Comportamiento temporal de la dispersividad local instantánea según su distancia al cdm	138
5.6.3 Comportamiento según su distancia al punto de inyección	144

5.7	Correlación entre el valor máximo de la dispersividad y el valor máximo del gradiente	147
5.8	Comportamiento de la dispersividad efectiva local máxima según el tipo de material	150
5.9	Modelación numérica utilizando los valores de dispersividad local efectiva instantánea	155
6.	Síntesis y Conclusiones	163
6.1	Conclusiones	167
6.2	Futuras líneas de investigación	169
7.	Referencias	171
Anexo A Descripción del modelo físico construido y funcionamiento.		181
A.1 Descripción general del tanque de experimentación.		181
A.1.1 Montaje de la pared lateral		181
A.1.2 Montaje de la parte exterior del tanque		183
A.1.3 Montaje de las cámaras de entrada y salida de agua		184
A.1.4 Colocación de los transductores de presión		188
A.2 Características del medio poroso		192
A.2.1 Granulometría y conductividad		192
A.2.2 Llenado del tanque		193
Anexo B. Instrumentación de las medidas de concentración		197
B.1 Introducción		197
B.1.1 Teoría del color		197
B.1.2 Relación entre intensidad de color y concentración. Ley de Beer		200
B.2 Cámara fotográfica y formato gráfico		203
B.3 Corrección de la influencia de otros factores en la imagen digital		209
B.3.1 Temperatura de color		209
B.3.2 Corrección por iluminación no homogénea		210
B.3.3 Corrección de color de fondo no homogéneo y cálculo de concentraciones		217