

Agradecimientos	1
------------------------------	---

Capítulo 1 (Introducción)	2
--	---

1.1 Introducción	3
1.2 El qué, cómo y cuándo de los Sistemas de Olfato Electrónico (SDOE)	4
1.2.1 ¿Que es un sistema de olfato electrónico?.....	4
1.2.2 Funcionamiento.....	4
1.2.2.1 El sistema de olfato humano.....	4
1.2.2.2 Paralelismo con el sistema de olfato artificial.....	5
1.2.2.3 Módulos básicos y secuencia de trabajo.....	8
1.2.3 Historia de los sistemas de olfato electrónico.....	10
1.3 Posibles aplicaciones en el sector agroalimentario	12
1.4 Los sistemas de olfato electrónico hoy	15
1.5 Estrategias de optimización	18
1.5.1 Objetivos.....	19
1.6 Organización de la memoria	21
1.7 Referencias bibliográficas	22

Capítulo 2 (Optmización de resultados mediante algoritmos de selección de variables)	27
---	----

2.1 Introducción	28
2.1.1 Antecedentes.....	28
2.1.2 Objetivos.....	33
2.2 Base teórica	34
2.2.1 Técnicas de selección de variables.....	34
2.2.1.1 Principal Components Analysis (PCA).....	34
2.2.1.2 Discriminant Function Analysis (DFA).....	36
2.2.1.3 Criterio de selección basado en intra/intervarianza.....	38
2.2.1.4 Forward selection.....	39
2.2.1.5 Algoritmos Genéticos (GA).....	40
2.2.2 Redes Art.....	43
2.2.2.1 La Red neuronal fuzzy ART.....	43
2.2.2.2 Red neuronal fuzzy ARTMAP.....	46
2.3 Desarrollo del equipo	51
2.3.1 Esquema general.....	51
2.3.2 Hardware.....	53
2.3.3 Descripción del Software.....	57
2.3.3.1 Sincronización entre el Headspace AutoSampler y el PC.....	57
2.3.3.2 Análisis y obtención de datos.....	58
2.3.3.3 Procesado de datos.....	59
2.4 Pruebas y resultados	62
2.4.1 Medidas con etanol, amoníaco y acetona.....	62
2.4.2 Medidas con hongos.....	65
2.4.2.1 Resultados con la fuzzy ARTMAP, sin selección de variables.....	70
2.4.2.2 Usando DFA como una técnica de selección de variables.....	70
2.4.2.3 PCA usado como método de selección acoplado a la red fuzzy ARTMAP.....	72
2.4.2.4 Resultados acoplando los algoritmos genéticos y fuzzy ARTMAP:.....	73
2.4.2.5 Selección de variables a través del criterio de intra/intervarianza.....	74
2.4.2.6 Forward selection.....	75
2.4.3 Conclusiones.....	76

2.4.4 Comparación del prototipo diseñado con otros sistemas comerciales de olfato electrónico	78
2.5 Referencias bibliográficas	80

Capítulo 3 (Aumento de la sensibilidad mediante un sistema de desorción térmica).....	87
--	-----------

3.1 Introducción	88
3.1.1 Antecedentes.....	88
3.1.2 Objetivos.....	90
3.2 Estado del arte.....	92
3.2.1 Sistemas de muestreo.....	92
3.2.2 Sistemas de pre-concentración	95
3.2.3 Sistemas basados en Desorción Térmica (DT)	96
3.2.3.1 Principio de funcionamiento.....	96
3.2.3.2 Equipos y aplicaciones.....	102
3.3 Desarrollo del equipo.....	107
3.3.1 Esquema general	107
3.3.2 Sistemas de medición preliminares	109
3.3.2.1 Sistema de muestreo compuesto por un rotámetro y una electroválvula.....	109
3.3.2.2 Sistema de medida basado en MFC's	111
3.3.3 Diseño del sistema multisensor.....	114
3.3.3.1 Diseño y construcción de una cámara con capacidad para 15 sensores.....	114
3.3.3.2 Estudios con 20 ppm de benceno	116
3.3.3.3 Estudios con 7, 5 y 2 ppm de benceno	121
3.3.3.4 Selección final del conjunto de sensores.....	135
3.3.3.5 Diseño y construcción de la cámara de medida final	135
3.3.4 Diseño del sistema de desorción térmica	138
3.3.4.1 Sistema de desorción mediante mantas térmicas y cerámicas	138
3.3.4.2 Sistema de desorción mediante tubos de Inconel 600.....	140
3.3.4.3 Sistema de desorción mediante un "heating wire" con un tubo de vidrio.....	142
3.3.4.4 Construcción de una unidad de desorción térmica mediante un tubo de vidrio y material adsorbente	146
3.3.5 Automatización del equipo.....	149
3.4 Pruebas y resultados	153
3.4.1 Diseño experimental	153
3.4.1.1 Con el sistema de medida con rotámetro y electroválvula	153
3.4.1.2 Sistema de medida compuesto por MFC's.....	154
3.4.1.3 Ciclos de medida	155
3.4.2 Pruebas iniciales con 20 ppm de benceno	158
3.4.2.1 Evaluación de la repetitividad del sistema	161
3.4.2.2 Sensibilidades	162
3.4.3 Estudios con 70 y 150 ppb de benceno	163
3.4.3.1 Estudios con 70 ppb	163
3.4.3.2 Estudios con 150 ppb de benceno.....	167
3.4.4 Discriminación entre CO ₂ puro, benceno e interferentes	170
3.4.4.1 Medidas con 20 ppb de benceno, interferentes y CO ₂ puro.....	174
3.4.4.2 Medidas con 10 ppb de benceno, interferentes y CO ₂ puro.....	179
3.4.4.3 Resultados con CO ₂ puro, 20 ppb y 10 ppb benceno e interferentes	182
3.5 Mejoras adicionales en el equipo.....	186
3.5.1 Separación de compuestos mediante rampas de temperatura en la unidad de DT	186
3.5.1.1 Unidad de DT acoplada a cromatografía de gases, y espectrometría de masas (GC-MS).....	193
3.5.2 Futuras líneas de trabajo	197
3.5.2.1 Pruebas con diferentes tipos de adsorbentes	197
3.5.3 Pruebas finales y calibración.....	198
3.6 Referencias bibliográficas	199

Capítulo 4 (Aumento de la selectividad mediante modulación de flujo) 205

4.1 Introducción	206
4.1.1 Antecedentes	206
4.1.2 Objetivos	212
4.2 Descripción del equipo	213
4.2.1 Esquema general del sistema	213
4.2.1.1 Sistema de modulación y transporte de flujo	214
4.2.1.2 Cámara de medida	216
4.2.1.3 Inyección de muestra	218
4.2.1.4 Cámara de inyección y vaporización de volátiles	218
4.2.1.5 Sistema de control y automatización	220
4.2.2 Realización de medidas con el prototipo	226
4.3 Pruebas y resultados	229
4.3.1 Pruebas de funcionamiento	229
4.3.2 Medidas iniciales con diferentes compuestos	230
4.3.3 Medidas con un conjunto de 5 compuestos volátiles	234
4.3.4 Resultados aplicando algoritmos de procesado de datos	241
4.3.4.1 Formas de onda sin pre-procesado	245
4.3.4.2 Formas de onda con centrado de datos	246
4.3.4.3 Formas de onda con auto-escalado de datos	248
4.4 Referencias bibliográficas	251

Capítulo 5 (Conclusiones) 254

Anexo A (Congresos) 260

- Contribuciones	261
- Poster	286

Anexo B (Artículos) 290

Figuras

Figura 1.1: Proceso de detección del sistema de olfato humano	5
Figura 1.2: Comparación entre la estructura de los sistemas de olfato biológico y los de olfato electrónico	6
Figura 1.3: Curva de sensibilidades solapadas de tres sensores diferentes ante un espectro de aromas	7
Figura 1.4: Radar representando cada compuesto en concentraciones diferentes	7
Figura 1.5: Secuencia para el análisis de aromas.....	8
Figura 1.6: Extracción de parámetros estáticos y dinámicos ante la respuesta de un sensor de óxido de estaño.....	9
Figura 1.7: Variaciones en la respuesta del sensor.....	16
<hr/>	
Figura 2.1: Ejemplo de interpretación de loads en un diagrama PCA	36
Figura 2.2: Cálculo del poder de resolución con 10 medidas de tres clases diferentes	38
Figura 2.3: Esquema explicativo del cruce entre padres para generación de hijos.....	41
Figura 2.4: Esquema de la red fuzzy Art.....	43
Figura 2.5: Esquema general de una red fuzzy Artmap.....	47
Figura 2.6: Esquema general de funcionamiento	51
Figura 2.7: Sistema de muestreo HP	51
Figura 2.8: Equipo de medición,.....	53
Figura 2.9: Circuito básico de medida y formula para calcular la	54
Figura 2.10: Tarjeta de adquisición National Instruments	55
Figura 2.11: Fotografía del sistema de olfato electrónico	56
Figura 2.12: Conjunto de GUI's necesarios para	57
Figura 2.13: GUI para la sincronización HP-PC.....	58
Figura 2.14: GUI para el análisis de datos.....	58
Figura 2.15: GUI para el procesado de datos.....	59
Figura 2.16: GUI PCA para la discriminación de medidas	61
Figura 2.17: GUI de la red Neuronal fuzzy ARTMAP	61
Figura 2.18: Respuesta de los sensores al etanol	62
Figura 2.19: Respuesta de los sensores al amoníaco	63
Figura 2.20: Respuesta de los sensores al acetona.....	63
Figura 2.21: Respuesta PCA con 18 medidas y 12 sensores	64
Figura 2.22: Muestras con el producto (magdalenas) contaminado por	65
Figura 2.23: Respuesta de sensores al medio de cultivo	66
Figura 2.24: Respuesta de sensores al genero "Penecillium"	66
Figura 2.25: Respuesta de sensores al genero "Aspergillus"	67
Figura 2.26: Respuesta de sensores al genero "Eurotium"	67
Figura 2.27: Respuesta de los sensores de gases en valores de resistencia	68
Figura 2.28: Respuesta de los sensores de gases en valores de la conductancia	68
Figura 2.29: Proceso iterativo para la clasificación de medidas	69
Figura 2.30: Proyección PCA con 16 medidas (14 Hongos y 2 medios de cultivo).....	70
Figura 2.31: Proyección DFA, discriminación de géneros de hongos	71
Figura 2.32: Proyección DFA, discriminación de especies de hongos.....	71
Figura 2.33. Proyección PCA, discriminación de especies de hongos.....	72
Figura 2.34: Punto de convergencia del PER en la generación 33.....	73
Figura 2.35: Selección de 5 variables al finalizar el proceso interactivo.....	74
Figura 2.36: Selección de 7 variables mediante el criterio Vr	75
Figura 2.37: Esquema gráfico del método Forward Selection	76
Figura 2.38: Correlación del aFOX 3000 y el prototipo de la URV.....	79
Figura 2.39: Correlación del aFOX 3000 y el prototipo de la URV.....	79

Figura 3.1: Diagrama para determinar el volumen de saturación (Vs).....	101
Figura 3.2: Dibujo esquemático de un sistema que contiene unidad de desorción, y una unidad de separación de analitos.....	103
Figura 3.3: (a) Tubo pre-concentrador, (b) Sistema experimental de medida	103
Figura 3.4: (a) Sistema de desorción térmica, (b) Sistema de medida	104
Figura 3.5: (a) Mini-sistema de desorción térmica, (b) Sistema de medida	105
Figura 3.6: Diseño preliminar, planta del prototipo	107
Figura 3.7: Esquema del sistema de muestreo por rotámetro	109
Figura 3.8: Rotámetro para el control de flujo, 250 ml/min	110
Figura 3.9: Circuito básico de medida y formula para calcular la resistencia del sensor (Rs)	110
Figura 3.10: Esquema del sistema de muestreo por MFC's	111
Figura 3.11: Controladores de flujo máscicos.....	112
Figura 3.12: Cámara de medida preliminar con sensores Taguchi y FIS-SP.	115
Figura 3.13: Señales con el primer grupo de sensores, 1 ^{ra} Repetición con 20 ppms de benceno sobre un flujo de CO ₂	117
Figura 3.14: Señales con el primer grupo de sensores, 2 ^{da} Repetición con 20 ppm de benceno sobre un flujo de CO ₂	118
Figura 3.15: Señales con el segundo grupo de sensores, 1 ^{ra} Repetición de 20 ppms de benceno sobre un flujo de CO ₂	118
Figura 3.16: Señales segundo grupo de sensores, 2 ^{da} Repetición de 20 ppm	119
Figura 3.17: Grafica de sensibilidades con el primer grupo de sensores	120
Figura 3.18: Grafica de sensibilidades con el segundo grupo de sensores.	120
Figura 3.19: Señales con el primer grupo de sensores, 1 ^{ra} Repetición, 7 ppm	123
Figura 3.20: Señales con el segundo grupo de sensores, 1 ^{ra} Repetición, 7 ppm	123
Figura 3.21: Sensibilidades con el primer grupo de sensores a 7 ppm.....	124
Figura 3.22: Sensibilidades con el segundo grupo de sensores a 7 ppm.....	124
Figura 3.23: Señales con el tercer grupo de sensores, 1 ^{ra} repetición a 7 ppm	126
Figura 3.24: Sensibilidades con el 2 ^{do} grupo de sensores a 7 ppm	127
Figura 3.25: Señales con el tercer grupo de sensores, 1 ^{ra} Repetición a 5 ppm	128
Figura 3.26: Señales con el tercer grupo de sensores, 2 ^{da} Repetición a 5 ppm.....	129
Figura 3.27: Sensibilidades del tercer grupo, 1 ^{ra} Repetición a 5 ppm	129
Figura 3.28: Sensibilidades del tercer grupo, 2 ^{da} Repetición a 5 ppm	130
Figura 3.29: Señales con el tercer grupo de sensores, 1 ^{ra} Repetición con 2 ppm.....	131
Figura 3.30: Señales con el tercer grupo de sensores, 2 ^{da} Repetición con 2 ppm	132
Figura 3.31: Sensibilidades del tercer grupo, 1 ^{ra} Repetición a 2 ppm	132
Figura 3.32: Sensibilidades del tercer grupo, 2 ^{da} Repetición a 2 ppm	133
Figura 3.33: Señales con el tercer grupo de sensores ,1 ^{ra} Repetición con CO ₂	134
Figura 3.34: Señales con el tercer grupo de sensores, 2 ^{da} Repetición con CO ₂	134
Figura 3.35: Nueva cámara de sensores de tres piezas.....	136
Figura 3.36: Cámara de sensores construida, unida a dos placas de PCB	137
Figura 3.37: Sistema de desorción térmica con mantas térmicas	139
Figura 3.38: Sistema de desorción térmica a través de un componente cerámico	140
Figura 3.39: Tubos Inconel utilizados para el experimento	141
Figura 3.40: Sistema de desorción mediante el tubo de Inconel 600.....	141
Figura 3.41: Heating wire de diámetros de (a) 0.25 mm y (b) 0.5 mm	142
Figura 3.42: (a) Vista del diámetro del tubo, (b) Vista de la longitud del tubo	143
Figura 3.43: Tubo utilizado para realizar el proceso de desorción térmica	144
Figura 3.44: Carbopack B.....	146
Figura 3.45: Material Comercial	146
Figura 3.46: Construcción del tubo de desorción térmica.....	147
Figura 3.47: Epoxy para altas temperaturas	147
Figura 3.48: Adhesivo (280 °C)	147
Figura 3.49: Circuito de control de temperatura para el termopar tipo k.....	148
Figura 3.50: Unidad de desorción térmica y control de temperatura.....	149
Figura 3.51: Interface gráfica para el control general del sistema	150
Figura 3.52: (a) Electroválvula volumen muerto, (b) Electroválvula normal	150

Figura 3.53: Fotografía del montaje final del sistema de desorción térmica.....	151
Figura 3.54: Esquema del prototipo experimental, y de la unidad de desorción térmica	153
Figura 3.55: Esquema del prototipo experimental usando MFC's.....	155
Figura 3.56: Diagrama de las etapas y ciclos de tiempo para cada medida.....	156
Figura 3.57: Prueba de desorción con adsorción previa de CO ₂ puro	157
Figura 3.58: Respuesta de adsorción.....	158
Figura 3.59: Desorción de analitos de benceno.....	159
Figura 3.60: Desorción a temperatura de ebullición del benceno	159
Figura 3.61: Respuesta en valor de conductancia	160
Figura 3.62: Respuesta de sensores en valor de voltaje.....	160
Figura 3.63: Respuesta de sensores en valor de conductancia	161
Figura 3.64: (a) Cambio de flujo en la 1 ^{era} desorción, (b) 1 ^{ra} repetición, señal en conductancia, (c) 2 ^{da} repetición, (d) 2 ^{da} repetición, señal en conductancia.....	162
Figura 3.65: Sensibilidades de los sensores.....	162
Figura 3.66: Respuesta de sensores, señales en valores de voltaje (a), y conductancia (b)	164
Figura 3.67: Respuesta de sensores con diferentes tiempos de adsorción, (a) 5 minutos, (b) 15 minutos	164
Figura 3.68: Respuesta de sensores, dos repeticiones (a) y (b)	166
Figura 3.69: Respuesta anormal de sensores por contaminación del carbopack (a, b).....	167
Figura 3.70: Respuesta de sensores a diferentes flujos de desorción.....	168
Figura 3.71: Respuesta de sensores, dos repeticiones (a, b) con 150 ppb de adsorción.....	170
Figura 3.72: Respuesta de sensores con diferentes compuestos.....	172
Figura 3.73: Resultados con el análisis por componentes principales (PCA).....	173
Figura 3.74: Respuestas de sensores en valores de voltaje (a) y conductancia (b)	176
Figura 3.75: Resultados con el análisis de componentes principales (PCA), (14 compuestos), 47 medidas	178
Figura 3.76: Respuestas de señales en valores de voltaje (a) y conductancia (b)	180
Figura 3.77: Resultados con análisis de componentes principales (PCA), (7 compuestos y 26 medidas) ..	181
Figura 3.78: Resultados con análisis por componentes principales (PCA).....	183
Figura 3.79: Resultados con análisis de componentes principales (PCA).....	185
Figura 3.80: Sistema de medida para las pruebas de separación de VOC's	187
Figura 3.81: Señal de tres rampas de voltaje y respuesta del sensor de temperatura	188
Figura 3.82: Respuesta termopar, con la posible desorción de BTX	188
Figura 3.83: Respuesta de los sensores de gases a BTX.....	189
Figura 3.84: Respuesta de los sensores de gases al Benceno, a los 8 minutos de medida.....	190
Figura 3.85: Respuesta de los sensores de gases al Tolueno, a los 10 minutos de medida	191
Figura 3.86: Respuesta de los sensores de gases al ortoxileno (Pico observado a los 13 minutos)	192
Figura 3.87: Respuesta de los sensores para cada uno de los contaminantes, Benceno, Tolueno y Xileno	193
Figura 3.88: Esquema de medida con la unidad de DT acoplada al GC-MS.....	194
Figura 3.89: Esquema de medida con la unidad de DT acoplada al GC-MS.....	195
Figura 3.90: Construcción de una unidad de desorción térmica con diferentes tipos de adsorbentes	197
Figura 3.91: Bomba peristáltica	198

Figura 4.1: Circuito de control	207
Figura 4.2: Respuesta promedio de la conductancia de sensores TGS y FIS a varias frecuencias.....	207
Figura 4.3: a) Proceso para la determinación de parámetros dinámicos y la sensibilidad del sensor	209
Figura 4.4: Sistema de concentración de volátiles.....	210
Figura 4.5: Esquema del equipo de medida.....	213
Figura 4.6: Cabezal de la bomba peristáltica	214
Figura 4.7: Cámara de metacrilato	216
Figura 4.8: Cámara de acero	216
Figura 4.9: (a) Respuesta de sensores con la cámara de metacrilato y (b) respuesta de sensores con la cámara de acero,	218
Figura 4.10: Jeringa cromatográfica	218
Figura 4.11: Cámara de vaporización.....	219

Figura 4.12: Diagrama de interacción entre los diferentes componentes.....	221
Figura 4.13: Electroválvula de tres vías.....	221
Figura 4.14: Diagrama de la modulación de anchura de pulsos.....	222
Figura 4.15: Monitorización de las señales de modulación de flujo y de los sensores, bajo los entornos Matlab y Visual Basic.....	224
Figura 4.16: Formas de onda para el control de flujo.....	225
Figura 4.17: Vista general del sistema completo.....	226
Figura 4.18: Esquema del prototipo final con los circuitos de purga y medida.....	226
Figura 4.19: Respuesta de los sensores a un flujo pulsante.....	228
Figura 4.20: Respuesta de los sensores a un flujo senoidal.....	228
Figura 4.21: Respuesta de los sensores a diferentes concentraciones de tolueno.....	229
Figura 4.22: Respuesta de los sensores a 20 ppm de metanol.....	230
Figura 4.23: Respuesta de la señal modulada con 20 ppm de metanol.....	231
Figura 4.24: Muestra de la señal modulada, 20 ppm de tolueno.....	232
Figura 4.25: Muestra de la señal modulada, 20 ppm de paraxileno.....	232
Figura 4.26: Respuestas del sensor TGS 800 a 20 ppm con diferentes volátiles.....	233
Figura 4.27: Respuestas del sensor TGS 822 a 20 ppm con diferentes volátiles.....	233
Figura 4.28: Respuestas del sensor TGS 823 a 20 ppm con diferentes volátiles.....	234
Figura 4.29: Respuestas del sensor TGS 800 a 20 ppm con diferentes volátiles.....	235
Figura 4.30: Respuestas del sensor TGS 822 a 20 ppm con diferentes volátiles.....	236
Figura 4.31: Respuestas del sensor TGS 823 a 20 ppm con diferentes volátiles.....	236
Figura 4.32: Medidas de metanol con el sensor TGS 800,.....	237
Figura 4.33: Medidas de tolueno con el sensor TGS 800,.....	237
Figura 4.34: Medidas de ortoxileno con el sensor TGS 800,.....	238
Figura 4.35: Medidas de metanol con el sensor TGS 822.....	238
Figura 4.36: Medidas de paraxileno con el sensor TGS 822.....	239
Figura 4.37: Medidas de ortoxileno con el sensor TGS 822.....	239
Figura 4.38: Medidas de benceno con el sensor TGS 823.....	240
Figura 4.39: Medidas de paraxileno con el sensor TGS 823.....	240
Figura 4.40: Medidas de ortoxileno con el sensor TGS 823.....	241
Figura 4.41: Respuesta del sensor TGS 823, a los cinco contaminantes.....	242
Figura 4.42: Señal pulsante con 4 periodos.....	242
Figura 4.43: Harmónicos de la FFT.....	243
Figura 4.44: Señales de modulación para el sensor TGS, sin pre-procesado (Respuestas del sensor 800) .	245
Figura 4.45: Señales de modulación para el sensor TGS, sin pre-procesado (Respuestas del sensor 822) .	245
Figura 4.46: Señales de modulación para el sensor TGS, sin pre-procesado (Respuestas del sensor 823) .	246
Figura 4.47: Señales de modulación para el sensor TGS, centrado de datos (Respuestas del sensor 800) .	247
Figura 4.48: Señales de modulación para el sensor TGS, centrado de datos (Respuestas del sensor 822) .	247
Figura 4.49: Señales de modulación para el sensor TGS, centrado de datos (Respuestas del sensor 823) .	248
Figura 4.50: Señales de modulación para el sensor TGS, auto-escalado (Respuestas del sensor 800)	249
Figura 4.51: Señales de modulación para el sensor TGS, auto-escalado (Respuestas del sensor 822)	249
Figura 4.52: Señales de modulación para el sensor TGS, auto-escalado (Respuestas del sensor 823)	250

Tablas

Tabla 1.1: Parámetros estáticos extraídos de las señales de un sensor de óxido de estaño.....	10
Tabla 1.2: SDOE disponibles comercialmente.....	11
Tabla 1.3: Aplicaciones de los SDOE en productos alimenticios.....	14

Tabla 2.1: Diferentes topologías de redes ART.....	49
Tabla 2.2: Descripción de la matriz de sensores.....	54
Tabla 2.3: Parámetros de acondicionamiento de la muestra, medidas de prueba.....	62
Tabla 2.4: Especies de hongos por género.....	65
Tabla 2.5: Parámetros de acondicionamiento de la muestra,(medidas de hongos).....	66

Tabla 2.6: Parámetros del algoritmo genético.....	73
Tabla 2.7: Resultados y variables seleccionadas con cada método.....	76
Tabla 2.8: Calificación de cada SDOE en la discriminación de los géneros de hongos.....	78

Tabla 3.1: Contaminantes típicos con sus máximas concentraciones.....	88
Tabla 3.2: Características de los métodos, EPA para el análisis de VOC's en aire.....	94
Tabla 3.3: Métodos de Pre-concentración.....	96
Tabla 3.4: Materiales comunes de Adsorción.....	99
Tabla 3.5: sensores de óxidos metálicos utilizados.....	115
Tabla 3.6: Grupos de sensores en la cámara de medida.....	117
Tabla 3.7: Primer grupo.....	121
Tabla 3.8: Segundo grupo.....	121
Tabla 3.9: Porcentajes de aberturas de los MFC's.....	122
Tabla 3.10: Primer grupo.....	125
Tabla 3.11: Segundo grupo.....	125
Tabla 3.12: Tercer grupo de 15 sensores.....	126
Tabla 3.13: Primera repetición con los 15 sensores del tercer grupo.....	127
Tabla 3.14: Primera repetición.....	130
Tabla 3.15: Segunda repetición.....	130
Tabla 3.16: Primera repetición.....	133
Tabla 3.17: Segunda repetición.....	133
Tabla 3.18: Pruebas de calentamiento con mantas térmicas.....	139
Tabla 3.19: Pruebas de calentamiento con cerámicas.....	140
Tabla 3.20: Pruebas de calentamiento con el heating wire ubicado en la parte externa del tubo.....	144
Tabla 3.21: Pruebas de calentamiento con el heating wire ubicado en la parte interna del tubo.....	145
Tabla 3.22: Adsorbente usado para atrapar compuestos volátiles.....	146
Tabla 3.23: Sensibilidades de los sensores con 20 ppm de benceno.....	163
Tabla 3.24: Parámetros de medida con la botella de 70 ppb.....	163
Tabla 3.25: Sensibilidades con una concentración de 70 ppb de benceno (5 minutos de adsorción).....	165
Tabla 3.26: Sensibilidades con una concentración de 70 ppb de benceno (10 minutos de adsorción).....	165
Tabla 3.27: Sensibilidades con una concentración de 70 ppb de benceno (15 minutos de adsorción).....	165
Tabla 3.28: Sensibilidades con una concentración de 150 ppb de benceno (10 minutos de adsorción con diferentes flujos de desorción).....	169
Tabla 3.29: Valores de sensibilidades con 150 ppb.....	170
Tabla 3.30: Parámetros de medida.....	171
Tabla 3.31: Conjunto de diferentes compuestos puros y contaminados.....	171
Tabla 3.32: Resultados de clasificación con las 7 categorías.....	174
Tabla 3.33: Parámetros de medida.....	174
Tabla 3.34: Porcentajes de aberturas de los MFC's para conseguir 20 ppb de benceno, con la botella de 150 ppb.....	175
Tabla 3.35: Diferentes compuestos de medida con 20 ppb de benceno.....	175
Tabla 3.36: Sensibilidades a diferentes mezclas.....	177
Tabla 3.37: Resultados de clasificación con las 14 categorías.....	178
Tabla 3.38: Resultados de clasificación con 3 categorías.....	179
Tabla 3.39: Porcentajes de aberturas de los MFC's para 10 ppb de benceno.....	179
Tabla 3.40: Diferentes compuestos de medida con 10 ppb.....	179
Tabla 3.41: Sensibilidades de los sensores.....	181
Tabla 3.42: Resultados de clasificación con 7 categorías.....	182
Tabla 3.43: Diferentes compuestos de medida con 10 ppb y 20 ppb, (Cuatro categorías).....	182
Tabla 3.44: Resultados de clasificación con 4 categorías.....	184
Tabla 3.45: Diferentes compuestos de medida con 10 ppb y 20 ppb, (Tres categorías).....	184
Tabla 3.46: Resultados de clasificación con 3 categorías.....	185
Tabla 3.47: Especificaciones del Carbo-pack B, Cantidades de volumen de flujo y puntos de ebullición.....	186
Tabla 3.48: Adsorbente usado para atrapar analitos y sus características.....	197

Tabla 4.1: Sensores usados para la aplicación	217
Tabla 4.2: Cálculos de los volúmenes de inyección a una concentración dada.....	219
Tabla 4.3: Condiciones de medida	235
Tabla 4.4: Porcentaje de clasificación por técnicas de normalización y salidas correspondientes al número de frecuencias seleccionadas y learning rate.....	244