

Índice general

1. Introducción	8
1.1. Motivación	9
1.2. Objetivo	9
1.3. Resumen	10
2. Tecnología MEMS	12
2.1. Introducción	12
2.2. Primeros MEMS comerciales	13
2.3. Ventajas de la miniaturización	15
2.4. Desarrollo y aplicaciones	17
3. Teoría de microfluidos y dispositivos	19
3.1. Introducción	19
3.2. Aspectos teóricos	20
3.3. Dispositivos.....	27
3.4. Lab-on-Chip.....	30
3.4.1. Estructura y funciones.....	32
3.4.2. Ventajas e inconvenientes.....	34
3.4.3. Lab-on-Chip comerciales.....	35

4. Estado del arte de las microválvulas	39
4.1 Introducción	39
4.2 Clasificación y características	42
4.3 Ejemplos	46
4.4 Tecnología de SU-8	53
4.5 PCBMEMS	58
5. Diseño de la microválvula	64
5.1 Consideraciones iniciales	64
5.2 Principio de funcionamiento	66
5.3 Estructura	67
5.4 Estudio teórico	69
5.4.1 Principio de actuación mecánico	69
5.4.2 Principio de actuación térmico.....	75
5.4.3 Estudio microfluídico.....	78
5.5 Solución propuesta.....	82
6. Fabricación	87
6.1 Introducción a la microfabricación	87
6.2 Salas blancas	88
6.3 Fotolitografía.....	89
6.3.1 Deposición	90
6.3.2 Exposición.....	93
6.3.3 Revelado	95
6.4 Fabricación de la microválvula.....	96
6.4.1 Materiales.....	96
6.4.2 Proceso de fabricación	97
6.4.3 Tolerancias del proceso.....	109

7. Resultados experimentales	114
7.1 Preparación de los ensayos	114
7.2 Procedimiento de medida.....	117
7.2.1 Ensayo de presión	118
7.2.2 Ensayo de presión y temperatura	118
7.3 Resultados y análisis del funcionamiento	122
7.4 Zonas de operación del dispositivo.....	129
7.5 Consumo y prestaciones	131
8. Conclusiones	133
8.1 Futuras líneas de investigación	135
Bibliografía	138
Agradecimientos	144

Índice de Figuras

2.1	Hormiga sujetando un micro-engranaje de níquel	13
2.2	Dispositivo basado en MEMS para la activación del airbag	14
2.3	Componentes MEMS de un inyector de cartucho de tinta comercial.....	15
2.4	Microguitarra con nanocuerdas	18
3.1	Peso del mosquito frente a la tensión superficial.....	21
3.2	Modelo esquemático explicativo de la viscosidad de los fluidos	21
3.3	Ejemplo de flujo laminar ilustrado por un glaciar	23
3.4	Velocidades en un conducto circular para régimen laminar estacionario.....	24
3.5	Resistencias fluídicas para algunas geometrías de canales habituales.....	25
3.6	Micromezclador en serie con varios grados de dilución según la salida	28
3.7	Diseño de la memoria microfluídica.....	29
3.8	Ejemplo de Lab-on-Chip.....	31
3.9	Esquema de funcionamiento de un sistema LOC	33
3.10	Chip Biosite junto a su sistema de adquisición de datos	36
3.11	Ejemplo de dispositivo Lab-on-Chip: Agilent 2100 Bioanalyzer.....	37
4.1	Principios de actuación para microválvulas activas.....	43
4.2	(a) Microválvula reversible con sistema neumático externo de aire/vacío y (b) Microválvula no reversible sin actuación externa	47
4.3	Esquema de la vista transversal de la microválvula.....	48
4.4	Vista esquemática de un Lab-on-Chip con microbombas integradas	49
4.5	Fotografía del dispositivo fabricado	49

4.6	Esquema que muestra: (a) Elementos del LOC multicapa y (b) Analizador con forma de reloj de pulsera para detección “point-of-care”	50
4.7	Esquema del multiplexor con los dispensadores integrados y fotografías del movimiento de un líquido coloreado por los microcanales	52
4.8	Fotografía del biochip	53
4.9	(a) Ultra elevada relación de aspecto altura-anchura, (b) Encapsulado y pasivación y (c) Microfluídica	55
4.10	Fotografías de estructuras de SU-8	55
4.11	Imágenes de microestructuras de dos niveles	56
4.12	Fotografía de estructuras multicapa	56
4.13	(a) Sección transversal de la celda y (b) fotografía de la implementación	57
4.14	Fotografía del B-FIT en un brazo humano.....	57
4.15	Principio de fabricación de microcanales en tecnología PCBMEMS	58
4.16	Sección de un microcanal en tecnología PCBMEMS.....	60
4.17	Geometría triangular de sellado y vista superior de anales fabricados	60
4.18	PCB para formar un calentador de fluido o un sensor de T^a	61
4.19	Principio de actuación de una válvula controlada por presión en PCB	61
4.20	Válvula controlada eléctricamente con una cámara calefactora.	62
4.21	Microbomba en tecnología PCB	62
4.22	Vista superior de un sistema FIA integrado.....	63
5.1	Ejemplo esquemático de la plataforma LOC para aplicaciones biomédicas ..	65
5.2	(a) Vista transversal y (b) vista superior del primer diseño de la válvula.....	67
5.3	Vista superior del diseño final de la microválvula.....	69
5.4	Modelado matemático de la membrana	70
5.5	Tensión mecánica teórica sufrida para diferentes relaciones de aspecto en la membrana y bajo presiones distintas.....	73
5.6	Deformación de la membrana al aplicarle 5 atmósferas de presión	74
5.7	Tensión mecánica sufrida por la membrana de SU-8 al aplicarle 5 atm.....	74
5.8	Desplazamiento de la estructura de SU-8 en función de la tensión mecánica para diferentes valores de temperatura.....	78
5.9	(a) Variación del módulo de Young del SU-8 en función de la T^a y (b) Variación de la tensión de fractura frente a diferentes valores de T^a	78
5.10	Microválvula con una presión P_i en la cámara antes de ser activada	80

5.11	Microválvula activada.....	80
6.1	Interior de una sala blanca donde se llevó a cabo la fabricación	89
6.2	Pasos en la deposición de la resina mediante un spincoater	91
6.3	Curvas de deposición para dos tipos de SU-8.....	92
6.4	Efecto de media-luz	93
6.5	Proceso de fabricación de la microválvula	98
6.6	Máscara con el layout de cobre correspondiente al sustrato PCB	98
6.7	Máquina de wire bonding empleada para la soldadura de los microhilos	99
6.8	Microhilo de oro soldado sobre las pistas de cobre	100
6.9	Resultados experimentales del espesor de la capa de SU-8 depositada sobre cobre en función de la velocidad.....	102
6.10	Máscara con el layout de la estructura de las microválvulas de SU-8.....	103
6.11	Fotografía de la microválvula fabricada en el laboratorio	106
6.12	Detalle de la membrana de la válvula mostrada anteriormente	107
6.13	Sección transversal del desplazamiento del SU-8 de la tapadera al aplicar presión	108
6.14	Tensión mecánica sufrida por la membrana al aplicar 7 Atm. ante diferentes variaciones en la altura y espesor	110
6.15	(a) Vista superior de la membrana	111
6.15	(b) Ampliación de la parte izquierda de la membrana.....	112
6.16	Efecto de la subexposición sobre la membrana	113
7.1	Montaje de aluminio para suministrar presión.....	115
7.2	Preparación del experimento con todo el equipamiento necesario.....	117
7.3	(a) hasta (d): Etapas en el funcionamiento de la microválvula.....	120
7.4	Corriente necesaria en función de la presión en el depósito para microválvulas con membranas de relaciones de aspecto 11:1, 9:1 y 4.1.....	122
7.5	Variación del módulo de Young del SU-8 en función de la T°	124
7.6	Modelo matemático de distribución de T^a alrededor del wire bonding	125
7.7	Analogía eléctrica a los parámetros de conducción térmica.	126
7.8	Tensión mecánica sobre las membranas en función de la presión.....	128
7.9	Zonas de operación de la microválvula	129
7.10	Potencia consumida para diferentes presiones en el depósito	131

Índice de Tablas

2.1	Ley de escala para diferentes magnitudes y fuerzas físicas	16
2.2	Compañías involucradas en la tecnología MEMS en los Estados Unidos.....	17
3.1	Viscosidades de algunos fluidos comunes a diferentes temperaturas.....	22
3.2	Detectores frecuentemente empleados en dispositivos LOC.....	33
4.1	Clasificación de las microválvulas por categorías	42
4.2	Características de una microbomba fabricada con esta tecnología.....	50
4.3	Propiedades físicas y químicas del epoxi SU-8	54
4.4	Principales aplicaciones del SU-8.....	54
5.1	Valores de c_1 en función de L_x y L_y	70
5.2	Valores de c_2 en función de L_x y L_y	71
5.3	Valores de c_3 en función de L_x y L_y	71
6.1	Tiempos de soft bake para el SU-8	92
6.2	Tiempos de post exposure bake para el SU-8.....	95
6.3	Tiempos de revelado para el SU-8.....	95
6.4	Variación de alturas de los microhilos de oro.....	101
7.1	Corriente necesaria para activar la válvula a diferentes presiones.....	123
7.2	Presión, corriente, voltaje y potencia de las válvulas estudiadas.....	131
7.3	Características de la microválvula con mejores prestaciones	132