

Índice

1. Introducción	1
1.1 ¿Por que MEMS?	3
1.2 Mercados y Aplicaciones	4
1.3 Objetivo y Estructura de este Trabajo	6
2. Aspectos Generales sobre Micromaquinado	8
2.1 Definición de MEMS	8
2.2 ¿Qué es el Micromaquinado?	9
2.3 Materiales para la Fabricación de MEMS	9
2.3.1 Silicio	9
2.3.2 Oxido y Nitruro de Silicio	12
2.3.3 Películas delgadas de Metal	12
2.3.4 Polímeros	12
2.4 Procesos de Microfabricación	13
2.4.1 Técnicas de Micromaquinado	13
2.4.1.1 Deposición de Materiales	13
2.4.1.2 Transferencia de Patrones, Litografía	15
2.4.1.3 Atacado de Materiales, Grabado	16
2.4.2 Procesos de Micromaquinado	18
2.4.2.1 Micromaquinado de Superficie	18
2.4.2.2 Micromaquinado Volumétrico	19
2.5 Procesos Comerciales para Fabricación en MEMS	20
2.5.1 PolyMUMPs	20
2.5.2 MetalMUMPs	21
2.5.3 SOIMUMPs	21
2.5.3.1 Resumen del Proceso	23
3. Micromecánica de un Acelerómetro	25
3.1 Sistema para Medición de Vibraciones	25
3.1.1 Elemento de Inercia: Masa de Prueba	25
3.1.2 Elemento de Rigidez: Resorte Elástico	27
3.1.3 Elemento de Disipación: Amortiguamiento	29
3.1.3.1 Flujo de un Fluido Viscoso	30
3.1.3.2 Ecuaciones para Flujo Viscoso	32
3.1.3.3 Modelos de Amortiguamiento	33
3.1.3.4 Amortiguamiento por Película Comprimida	34
3.2 Esfuerzo y Deformación	40

3.2.1	Esfuerzo	40
3.2.2	Deformación	42
3.2.3	Ley de Hooke	44
3.2.4	Esfuerzo y Deformación en una Viga	45
3.2.4.1	Desplazamiento en una Viga	46
3.2.4.2	Momento Flexionante y Momento de Inercia de una Viga	47
3.2.5	Torsión de Vigas	49
3.2.6	Frecuencia de Vibración	51
3.3	Instrumentos Medidores de Vibraciones	52
3.3.1	Sismómetro	54
3.3.2	Acelerómetro	55
3.4	Escalamiento de Dispositivos Micromecánicos	56
3.4.1	Leyes de Escalamiento	57
3.4.2	Notación Vertical de Trimmer	58
4.	Electrostática y Sensado Capacitivo	62
4.1	Fuerza Electroestática	62
4.1.1	Fuerza Normal a la Placa del Electrodo	62
4.1.2	Fuerza Tangencial a la Placa del Electrodo	64
4.2	Desplazamiento de Estructuras Elásticas debido a Fuerzas Electroestáticas	66
4.2.1	Desplazamiento Normal y Efecto Pull-In	66
4.2.2	Desplazamiento Angular de una Barra de Torsión	67
4.3	Efectos de la Fuerza Electroestática sobre el Sensado Capacitivo	68
4.3.1	Control de un solo Lado (Single-Sided)	69
4.3.2	Control de dos Lados (Double-Sided)	71
4.3.3	Control de dos Lados con Retroalimentación	73
4.4	Sensado Capacitivo	76
4.4.1	Técnicas de Sensado Capacitivo	79
4.4.1.1	Integrador de Carga y Seguidor de Voltaje	79
4.4.1.2	Capacitores Conmutados	80
4.4.1.3	Puentes de AC	82
4.4.2	Capacitancias Parasitas	84
4.4.3	Amplitud Modulada	85
4.4.3.1	Demodulación de AM en Cuadratura	85
5.	Diseño del Microacelerómetro	87
5.1	Especificaciones de un Acelerómetro	87
5.2	Antecedentes de Microacelerómetros Capacitivos	88
5.2.1	Serie SCA de VTI Technologies	89
5.2.2	El Microacelerómetro Torsional, Capacitivo y Vertical	89

5.3	Diseño del Microacelerómetro	91
5.3.1	Selección del Proceso de Fabricación	91
5.3.2	Diseño Mecánico	92
5.3.3	Diseño Electrónico	96
6.	Resultados y Conclusiones	102
6.1	Resultados	102
6.1.1	Simulación Mecánica	103
6.1.1.1	Frecuencia Natural de Vibración y Factor de Amortiguamiento	104
6.1.1.2	Respuesta de la Estructura Mecánica a una Entrada Escalón	105
6.1.2	Simulación Electromecánica	110
6.1.2.1	Voltaje de Pull-In	110
6.1.2.2	Capacitancia Generada por la Aceleración	111
6.2	Conclusiones	114
	Bibliografía	119