

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>i</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>LOS MICROSISTEMAS ELECTROMECÁNICOS (MEMS)</b>	<b>3</b>
1.1 Breve Historia de los MEMS	4
1.2 Tecnologías de Micro fabricación de MEMS	5
1.2.1 Micro maquinado	6
1.2.1.1 Micro maquinado de volumen (Bulk Micromachining)	6
1.2.1.2 Micro maquinado de superficie (Surface Micromachining)	7
1.2.1.3 Proceso LIGA	7
1.2.1.4 Proceso PolyMUMP's	9
1.3 Aplicaciones de los MEMS	12
1.4 Estado de Arte de los MEMS	15
1.5 Bibliografía y Referencias	19
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DEL MSA-400 PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA Y MOVIMIENTO DE LOS MEMS</b>	<b>21</b>
2.1 Interferometría	22
2.1.1 Breve Historia de la Interferometría	22
2.1.2 Interferómetros de frente de onda dividida	24
2.1.3 Interferómetros de amplitud de onda dividida	25
2.1.4 Interferencia	26
2.1.5 Coherencia	27
2.2 Configuraciones de los interferómetros	31
2.2.1 Interferómetro de Michelson	32
2.2.2 Interferómetro de Mirau	33
2.2.3 Interferómetro de luz blanca de escaneo vertical	35
2.3 El estroboscopio	36
2.3.1 Microscopio con video estroboscópico	37
2.4 El vibrómetro y el Efecto Doppler	37
2.4.1 El vibrómetro de láser Doppler	39

2.5	Bibliografía y Referencias	41
-----	----------------------------	----

### **CAPÍTULO 3**

#### **EL ANALIZADOR DINÁMICO DE MICROSISTEMAS ELECTROMECÁNICOS**

<b>MSA-400</b>		<b>43</b>
3.1	El analizador de Microsistemas MSA-400 del Centro UNAMems	44
3.1.1	Descripción general del analizador MSA-400	44
3.2	Caracterización de MEMS	45
3.2.1	Topografía de los MEMS	45
3.2.2	El Sistema de Medición Topográfica (TMS)	46
3.2.2.1	Teoría de la interferometría de la luz blanca	47
3.2.2.2	Interferómetro de luz blanca de Michelson	48
3.2.2.3	Microscopios con interferómetros de luz blanca	50
3.2.2.4	Relación entre ancho espectral y longitud coherente	51
3.2.2.5	Cálculo de la “envolvente máxima”	54
3.2.2.6	Método de la evaluación de fase	55
3.3	Caracterización dinámica de los MEMS dentro del plano	56
3.3.1	El Analizador de Movimiento dentro del plano (PMA)	57
3.3.1.1	Máquina de visión estroboscópica	58
3.3.1.2	Parámetros importantes del sistema	59
3.4	Caracterización dinámica de los MEMS fuera del plano	60
3.4.1	El Vibrómetro de Micro escaneo (MSV)	60
3.4.1.1	La vibrometría con láser Doppler	61
3.4.1.2	Principios de la vibrometría con láser Doppler	61
3.5	Bibliografía y Referencias	66

### **CAPÍTULO 4**

#### **CARACTERIZACIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA DE LOS MEMS**

4.1	Caracterización estática de los MEMS	67
4.1.1	Topografía de los MEMS	68
4.1.1.1	Actuador electro térmico en V	69
4.1.1.2	Engrane	72
4.1.1.3	Logo Pumas	74

<b>4.2</b>	<b>Caracterización dinámica de los MEMS</b>	<b>76</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Caracterización dinámica dentro del plano</b>	<b>76</b>
<b>4.2.1.1</b>	<b>Actuador electro térmico en V</b>	<b>77</b>
<b>4.2.1.2</b>	<b>Hot Arm</b>	<b>85</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Caracterización dinámica fuera del plano</b>	<b>88</b>
<b>4.2.2.1</b>	<b>Resonador MEMS</b>	<b>88</b>
<b>4.2.2.2</b>	<b>Resonador 1</b>	<b>93</b>
<b>4.2.2.3</b>	<b>Resonador 2</b>	<b>97</b>
<b>4.2.2.4</b>	<b>Resonador 3</b>	<b>99</b>
<b>4.3</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>101</b>
<b>4.4</b>	<b>Bibliografía y Referencias</b>	<b>102</b>