

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Radiación térmica . . . . .	1
1.2. Tipos de sensores de infrarrojo . . . . .	2
1.3. Proyecto marco . . . . .	5
1.4. Objetivos y ordenamiento de la tesis . . . . .	6
<b>2. Análisis mecánico del sensor</b>	<b>9</b>
2.1. Planteo del problema mecánico . . . . .	9
2.1.1. Ordenamiento del Capítulo . . . . .	12
2.2. Solución Lineal . . . . .	12
2.2.1. Aplicación del <i>Principio de Trabajos Virtuales</i> . . . . .	12
2.2.2. Ecuaciones lineales para la bisagra y el brazo central . . . . .	14
2.2.2.1. Ecuaciones para la bisagra . . . . .	15
2.2.2.2. Ecuaciones para la barra central . . . . .	15
2.2.3. Condiciones de vínculo . . . . .	16
2.2.3.1. Restricción geométrica en $\hat{x}$ . . . . .	16
2.2.3.2. Restricción geométrica en $\hat{y}$ . . . . .	17
2.2.4. Mínimo de energía con restricciones . . . . .	18
2.3. Solución lineal I: $h(\Delta T)$ . . . . .	20
2.3.1. Ecuación lineal para la altura del sensor en función de la diferencia de temperatura . . . . .	20
2.3.2. Simulaciones numéricas para $h(\Delta T)$ en el régimen lineal . . . . .	23
2.4. Solución lineal II: constante de rigidez . . . . .	26
2.4.1. Ecuación para la constante de rigidez . . . . .	26
2.4.2. Simulaciones numéricas en el régimen lineal para la cons- tante de rigidez . . . . .	27
2.4.3. Comparación con otros sistemas termoelásticos en régimen lineal . . . . .	30
2.5. Solución no lineal para la altura del sensor . . . . .	33
2.5.1. Solución no lineal y simulaciones numéricas . . . . .	34
2.5.2. Inestabilidad de <i>Buckling</i> . . . . .	35
<b>3. Fabricación de los sensores</b>	<b>39</b>
3.1. Fabricación de microestructuras a base de polímeros . . . . .	40
3.2. Utilización de PMMA como material estructural . . . . .	42
3.2.1. Depósito de una capa de PMMA . . . . .	43

3.2.2.	Escritura de PMMA con litografía electrónica . . . . .	44
3.3.	Utilización de PMGI como material de sacrificio . . . . .	46
3.3.1.	Litografía electrónica de PMGI . . . . .	47
3.3.2.	Utilización de PMGI como material de sacrificio . . . . .	48
3.4.	Proceso de fabricación PMGI/PMMA . . . . .	54
3.4.1.	Limpieza del sustrato . . . . .	54
3.4.2.	Marcas de alineación . . . . .	54
3.4.3.	Capa de sacrificio de PMGI . . . . .	55
3.4.4.	Capa estructural de PMMA . . . . .	55
3.4.5.	Extracción final del PMGI . . . . .	55
3.5.	Resultados en la fabricación de sensores . . . . .	62
<b>4.</b>	<b>Mediciones</b>	<b>67</b>
4.1.	Mediciones en actuadores térmicos de silicio . . . . .	67
4.1.1.	Proceso de fabricación y diseño . . . . .	68
4.1.2.	Método de medición . . . . .	69
4.1.3.	Medición de resistividad para $T_{amb}$ . . . . .	71
4.1.4.	Temperatura media en actuadores electrotérmicos . . . . .	72
4.1.5.	Medición de desplazamiento vs. corriente . . . . .	75
4.2.	Mediciones en sensores de PMMA . . . . .	79
4.2.1.	Perfilometría óptica en superficies semitransparentes . . . . .	80
4.2.2.	Resultados de $\Delta h$ vs $\Delta T$ en sensores de PMMA . . . . .	85
4.2.3.	Mediciones complementarias en AFM . . . . .	87
<b>5.</b>	<b>Análisis del sensor infrarrojo</b>	<b>93</b>
5.1.	Eficiencia térmica $\gamma_T$ . . . . .	95
5.1.1.	Conductividad térmica $\mathcal{G}$ . . . . .	97
5.1.2.	Capacidad térmica $\mathcal{C}$ . . . . .	99
5.1.3.	Tiempo de respuesta $\tau$ . . . . .	99
5.1.4.	Análisis de la eficiencia térmica $\gamma_T$ . . . . .	100
5.1.4.1.	Modulación de la potencia incidente . . . . .	101
5.1.4.2.	Coefficiente de absorción . . . . .	102
5.2.	Eficiencia mecánica $\gamma_M$ . . . . .	103
5.3.	Eficiencia de detección $\gamma_D$ . . . . .	104
5.3.1.	Cálculo de un capacitor interdigitado . . . . .	106
5.3.2.	Variación relativa de la capacidad . . . . .	109
5.4.	Eficiencia de amplificación $\gamma_A$ . . . . .	111
5.5.	Respuesta del sensor y ruido térmico equivalente . . . . .	112
5.5.1.	Ruido debido a fluctuaciones térmicas . . . . .	114
5.5.2.	Ruido termomecánico . . . . .	114
5.5.3.	Ruido de amplificación . . . . .	115
5.6.	Discusión sobre la respuesta del sensor . . . . .	115
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>119</b>

<b>Apéndices</b>	<b>121</b>
<b>A. Solución lineal de un cantilever</b>	<b>123</b>
<b>B. Cálculo no lineal del sistema de bisagras</b>	<b>127</b>
B.0.1. Solución no lineal de un cantilever . . . . .	127
B.0.2. Restricción geométrica no lineal en $\hat{x}$ . . . . .	128
B.0.3. Mínimo de energía con restricción no lineal . . . . .	129
B.0.4. Límite de bajas temperaturas . . . . .	130
B.0.5. Límite de altas temperaturas . . . . .	130
<b>Índice de figuras</b>	<b>133</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>135</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>137</b>