

Tabla de Contenido

I	Introducción y objetivos	1
1	Introducción	3
2	Objetivos	5
	2.1 Objetivos generales	5
	2.2 Objetivos específicos	5
II	Transferencia de calor en convección de Rayleigh-Bénard	7
3	Convección de Rayleigh-Bénard	9
	3.1 Descripción del fenómeno	9
	3.1.1 Mecanismo de inestabilidad	10
	3.1.2 Ecuaciones del sistema	11
	3.1.3 Diferentes regímenes de convección	12
	3.2 Convección confinada	14
	3.3 Transferencia de calor	16
	3.3.1 Comportamiento para $Ra \sim Ra_c$	17
	3.3.2 Comportamiento para $Ra \gg Ra_c$	18
	3.4 Convección en condiciones no-Boussinesq	19
	3.5 Convección en celdas inclinadas	21
4	Dispositivo experimental de convección de Rayleigh-Bénard	25
	4.1 Dispositivo experimental	26
	4.1.1 Celda de convección	26
	4.1.2 Fluido de trabajo	30
	4.2 Métodos de medición	33
	4.2.1 Medición del flujo de calor	33
	4.2.2 Medición de temperatura	38
	4.3 Sistema de control de la celda de convección	44
	4.3.1 Control orientado a potencias elevadas	44

4.3.2	Control orientado a potencias pequeñas	50
5	Resultados	57
5.1	Respuesta temporal del sistema de control	58
5.1.1	Respuesta a escalones de temperatura	58
5.1.2	Respuesta a rampas de temperatura	61
5.2	Transferencia de calor en régimen de conducción	63
5.2.1	Respuesta transiente ante un escalón de temperatura	63
5.2.2	Potencia en régimen de conducción estacionario	71
5.3	Transferencia de calor en régimen de convección	75
5.3.1	Convección horizontal	75
5.3.2	Convección inclinada	83
5.4	Visualización de flujo	90
6	Publicación: Feedback control and heat transfer measurements in a Rayleigh-Bénard convection cell	95
7	Conclusiones	107
<hr/>		
III	Reconstrucción del campo de temperatura de plumas térmicas	109
<hr/>		
8	Métodos ópticos basados en patrones de referencia	111
8.1	Métodos ópticos basados en la deflección de la luz	111
8.1.1	Descripción de la propagación de la luz en arreglos ópticos	112
8.1.2	Métodos ópticos clásicos	116
8.2	Técnicas Synthetic Schlieren y Background Oriented Schlieren . . .	120
8.2.1	Arreglos ópticos de las técnicas BOS y Synthetic Schlieren	120
8.2.2	Metodología de procesamiento de imágenes	124
8.3	Descripción del fenómeno de plumas térmicas	128
8.3.1	Ecuaciones del sistema	128
8.3.2	Características del campo de temperatura	129
9	Implementación de Synthetic Schlieren orientado a plumas térmicas . .	133
9.1	Synthetic Schlieren aplicado a plumas térmicas	134
9.1.1	Adquisición y procesamiento de imágenes	134
9.1.2	Requerimientos para la implementación de algoritmos	136
9.2	Descripción de los algoritmos de correlación	138
9.2.1	Algoritmos de correlación directos	138

9.2.2	Algoritmos de correlación iterativos	142
9.3	Implementación de un algoritmo de correlación	144
9.3.1	Descripción del algoritmo	144
9.3.2	Ensayos del algoritmo	146
9.4	Estudio experimental de una pluma térmica en una cavidad	154
9.4.1	Dispositivo experimental para la generación de plumas térmicas	154
9.4.2	Sistema de control del elemento calefactor	156
9.4.3	Implementación de Synthetic Schlieren	162
9.4.4	Medición de potencia y del campo de temperatura	166
9.5	Conclusiones	171
<hr/>		
IV	Conclusiones y perspectivas	173
<hr/>		
10	Conclusiones generales	175
<hr/>		
V	Apéndices	177
<hr/>		
A	Planos de la celda de convección	179
B	Propiedades de los fluidos de trabajo	181
B.1	Propiedades del agua y glicerina	181
B.2	Propiedades de una solución agua-glicerina	182
C	Soluciones a la ecuación de calor unidimensional transiente	185
C.1	Respuesta ante un escalón ideal de temperatura	185
C.2	Respuesta ante una función temporal	189
C.3	Extensión a un modelo transiente de la celda de convección	193
D	Detalles de interpretación de un arreglo óptico de Synthetic Schlieren	195
D.1	Trayectoria de rayos entre el patrón y el lente	195
D.2	Incidencia de rayos en el sensor	197
E	Desarrollo de una pluma térmica en una cavidad (simulación numérica)	199
E.1	Métodos numéricos	199
E.2	Resultados del análisis numérico	203
E.2.1	Transferencia de calor	203
E.2.2	Formación de la pluma térmica	204
E.2.3	Evolución del campo de temperatura	205

F	Detalles de implementación de un algoritmo de correlación	209
F.1	Desarrollo del código computacional	209
F.1.1	Estructura general del código	209
F.1.2	Descripción del código principal	211
F.2	Estabilidad y resolución espacial del algoritmo	212
F.3	Generación de secuencias de imágenes artificiales	214
G	Circuitos eléctricos de drenaje de corriente y medición de temperatura .	217
G.1	Circuito de drenaje de corriente	217
G.2	Circuito de medición de temperatura	219
	Bibliografía	221