

# Contenidos

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Dinámica no lineal</b>	<b>7</b>
2.1. Sistemas dinámicos . . . . .	8
2.1.1. Sistemas lineales y no lineales . . . . .	9
2.1.2. Espacio de las fases . . . . .	10
2.2. Estabilidad . . . . .	11
2.2.1. Estabilidad lineal . . . . .	12
2.2.2. Estabilidad estructural . . . . .	14
2.3. Dinámica . . . . .	15
2.3.1. Conjuntos límite omega . . . . .	17
2.3.2. Atractores . . . . .	18
2.3.3. Bifurcaciones . . . . .	18
2.3.4. Medidas . . . . .	20
2.3.5. Sistemas disipativos . . . . .	21
2.4. Dimensión fractal . . . . .	21
2.4.1. Dimensión de Hausdorff . . . . .	21
2.4.2. Dimensión generalizada . . . . .	24
2.5. Análisis de series temporales . . . . .	26
2.5.1. Embedding . . . . .	27
2.6. Control de sistemas dinámicos . . . . .	29
2.6.1. Teoría clásica de control lineal . . . . .	30
2.6.2. Sistemas difusos de Takagi-Sugeno . . . . .	33
<b>3. Análisis no lineal de inestabilidades</b>	<b>35</b>
3.1. El sistema de Lorenz . . . . .	36
3.2. Dimensión de caja . . . . .	38
3.3. Dimensión de correlación . . . . .	41
3.3.1. Contando cajas . . . . .	43
3.3.2. Midiendo distancias . . . . .	45
3.4. Caracterización del espacio de parámetros . . . . .	49

<b>4. Inestabilidades en flujo de una fase</b>	<b>53</b>
4.1. El loop toroidal anular . . . . .	53
4.1.1. Ecuaciones de conservación . . . . .	54
4.1.2. Adimensionalización . . . . .	57
4.2. Caso particular: condiciones de contorno QT . . . . .	59
4.2.1. Reducción al sistema de Lorenz . . . . .	59
4.3. Análisis no lineal de inestabilidades . . . . .	64
4.3.1. Solución numérica . . . . .	64
4.3.2. Embedding . . . . .	66
4.3.3. Mapa de estabilidad . . . . .	66
4.3.4. Explicación física de la inestabilidad . . . . .	68
4.4. Control basado en lógica difusa . . . . .	70
4.4.1. Control difuso del sistema de Lorenz . . . . .	70
4.4.2. Control del loop toroidal . . . . .	75
<b>5. Inestabilidades neutrónicas</b>	<b>80</b>
5.1. Ecuaciones de cinética puntual . . . . .	81
5.2. Análisis de estabilidad lineal . . . . .	82
5.2.1. Estabilidad sin lazo de control . . . . .	84
5.2.2. Estabilidad con lazo de control . . . . .	86
5.3. Efectos no lineales . . . . .	88
5.3.1. Estabilidad de Lyapunov . . . . .	88
5.3.2. Realimentación . . . . .	92
5.3.3. Coeficientes de reactividad . . . . .	93
5.3.4. Fórmula de perturbaciones . . . . .	95
5.4. Mapas de estabilidad . . . . .	96
5.4.1. Mapa de estabilidad . . . . .	98
<b>6. Inestabilidades en flujo de dos fases</b>	<b>103</b>
6.1. Tipos de inestabilidades . . . . .	103
6.1.1. Inestabilidad excursiva de Ledinegg . . . . .	104
6.1.2. Ondas de densidad . . . . .	104
6.2. El modelo de Clausse y Lahey . . . . .	106
6.2.1. Zona de una fase . . . . .	106
6.2.2. Zona de dos fases . . . . .	109
6.2.3. Conservación de momento . . . . .	112
6.2.4. El sistema dinámico . . . . .	117
6.3. Estabilidad . . . . .	119
6.4. Canales paralelos . . . . .	123
6.5. Riser adiabático . . . . .	127
6.5.1. Estabilidad . . . . .	134

<b>7. Reactor nuclear integrado de convección natural</b>	<b>140</b>
7.1. Modelo matemático . . . . .	141
7.1.1. Circuito termohidráulico . . . . .	142
7.1.2. Combustible . . . . .	151
7.1.3. Neutrónica . . . . .	155
7.2. Sistema dinámico . . . . .	158
7.2.1. Estado estacionario . . . . .	160
7.2.2. Implementación . . . . .	162
7.3. Limitaciones del modelo . . . . .	163
7.4. Caso particular . . . . .	166
7.4.1. Estado estacionario . . . . .	170
7.4.2. Transitorios . . . . .	172
7.5. Estabilidad . . . . .	178
7.5.1. Coeficiente de vacío vs. pérdida de carga . . . . .	178
7.5.2. Potencia vs. longitud del riser . . . . .	181
<b>8. Reactor nuclear de canales paralelos</b>	<b>184</b>
8.1. Modelo matemático . . . . .	184
8.1.1. Fluidodinámica . . . . .	186
8.1.2. Termodinámica . . . . .	189
8.1.3. Neutrónica . . . . .	195
8.2. Canales iguales . . . . .	196
8.3. Canales diferentes . . . . .	200
8.3.1. Potencia homogénea . . . . .	200
8.3.2. Distribución radial de potencia . . . . .	203
<b>9. Conclusiones</b>	<b>206</b>
9.1. Trabajos futuros . . . . .	208
<b>A. Derivación del estado estacionario de un boiling channel</b>	<b>210</b>
A.1. El problema . . . . .	210
A.2. Solución . . . . .	212
A.2.1. Adimensionalización . . . . .	213
A.2.2. Estado estacionario . . . . .	217
<b>B. El software MELON</b>	<b>223</b>
B.1. Controladores basados en lógica difusa . . . . .	223
B.2. Esquema de I/O . . . . .	224
B.3. Implementación . . . . .	227
B.3.1. Mecanismos de sincronización . . . . .	229
B.3.2. Esquema multi-threading . . . . .	230
B.4. Ejemplos de códigos fuzzy . . . . .	231
B.4.1. Controlador difuso por shared memory . . . . .	231

B.4.2. Sistema de adquisición remota . . . . .	233
<b>C. Drivers de hardware de adquisición para Linux</b>	<b>234</b>
C.1. Placa interna de adquisición ADQ12B . . . . .	235
C.1.1. Módulo adq12b . . . . .	236
C.1.2. Detalles de la implementación . . . . .	238
C.2. Módulos externos RIAC . . . . .	239
C.2.1. Módulo qfserial . . . . .	241
C.2.2. Detalles de la implementación . . . . .	244
C.3. Ejemplo: control difuso de temperatura . . . . .	244
<b>Referencias</b>	<b>248</b>