

# Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Los métodos numéricos . . . . .	1
1.1.1	Un poco de historia: Los métodos numéricos antes de la aparición de la computadora . . . . .	1
1.1.2	Los métodos numéricos en la actualidad . . . . .	2
1.2	Métodos numéricos para CFD . . . . .	3
1.3	Los <i>Bond Graphs</i> . . . . .	4
1.3.1	Generalidades sobre los <i>Bond Graphs</i> . . . . .	5
1.3.2	Los <i>Bond Graphs</i> y la Fluidodinámica . . . . .	6
1.4	Motivación . . . . .	7
<b>2</b>	<b>La metodología BG-CFD</b>	<b>9</b>
2.1	Introducción . . . . .	9
2.2	Balance de potencia por unidad de volumen . . . . .	12
2.2.1	Coenergía cinética por unidad de volumen . . . . .	12
2.2.2	Energía interna por unidad de volumen . . . . .	12
2.2.3	Energía total por unidad de volumen . . . . .	13
2.2.4	Relaciones constitutivas . . . . .	14
2.2.5	Relaciones de Maxwell . . . . .	14
2.2.6	Ecuaciones de conservación . . . . .	15
2.2.7	Ecuaciones de balance . . . . .	15
2.2.8	Cálculo de términos relevantes . . . . .	16
2.3	Discretización . . . . .	18
2.3.1	Descripción de los campos . . . . .	18
2.3.2	Variables integradas . . . . .	19
2.3.3	Balance de potencia en el sistema . . . . .	20
2.3.4	Ecuaciones de estado . . . . .	27
2.3.5	Matrices de acoplamiento . . . . .	36
2.4	<i>Bond Graph</i> del sistema . . . . .	43
2.5	Condiciones iniciales . . . . .	46
2.6	Condiciones de contorno . . . . .	46
2.6.1	Estado de tensión impuesto . . . . .	47
2.6.2	Velocidad impuesta . . . . .	48

2.6.3	Flujo de calor o convección impuestas . . . . .	48
2.6.4	Propiedades termofísicas impuestas . . . . .	49
2.7	Procedimiento para la asignación de la causalidad . . . . .	51
<b>3</b>	<b>Problemas de advección-difusión</b>	<b>55</b>
3.1	Introducción . . . . .	55
3.2	<i>Bond Graph</i> del sistema . . . . .	55
3.3	Algunas soluciones exactas . . . . .	56
3.3.1	Ecuación de balance adimensional . . . . .	56
3.3.2	Soluciones unidimensionales . . . . .	58
3.4	Tratamiento unidimensional . . . . .	59
3.4.1	Funciones de forma y de peso de entropía . . . . .	60
3.4.2	Vector nodal $\dot{W}_{Ql}^{(\Gamma)}$ . . . . .	64
3.4.3	Vector nodal $\dot{W}_{Ql}$ . . . . .	64
3.4.4	Vector nodal $\dot{W}_{Al}$ . . . . .	65
3.4.5	Matriz $(\Theta)_{ln}$ . . . . .	66
3.5	Algunos resultados numéricos . . . . .	66
3.5.1	Conducción de calor en un <i>slab</i> . . . . .	66
3.5.2	Advección-difusión en un <i>slab</i> ( $\beta = 0$ ) . . . . .	70
3.5.3	Un esquema de <i>upwind</i> . . . . .	73
3.6	Comparación con otros métodos numéricos . . . . .	75
<b>4</b>	<b>Flujo compresible unidimensional</b>	<b>79</b>
4.1	Introducción . . . . .	79
4.2	Relaciones para un gas ideal . . . . .	79
4.3	Tratamiento unidimensional . . . . .	80
4.3.1	Funciones de forma de velocidad . . . . .	80
4.3.2	Funciones de forma y de peso de entropía . . . . .	82
4.3.3	Funciones de forma y de peso de densidad . . . . .	86
4.3.4	Vectores nodales de potenciales . . . . .	89
4.3.5	Matriz de inercia . . . . .	90
4.3.6	Matriz $(\Theta)_{ln}$ , $(\Psi)_{ln}$ y $(K)_{ln}$ . . . . .	91
4.4	Ecuación de balance en la puerta de velocidad . . . . .	91
4.4.1	Vector nodal $F_{Vl}^{(\Gamma)}$ . . . . .	92
4.4.2	Vectores nodales $F_{Gl}$ y $F_{Rl}$ . . . . .	92
4.4.3	Vector nodal $F_{Pl}$ . . . . .	92
4.4.4	Vector nodal $F_{Vl}$ . . . . .	93
4.4.5	Vector nodal $F_{Kl}$ . . . . .	94
4.5	Ecuación de balance en la puerta de entropía . . . . .	94

48			
49	4.5.1	Vector nodal $\dot{W}_{QI}^{(\Gamma)}$ . . . . .	94
51	4.5.2	Vector nodal $\dot{W}_{CI}^{(\Gamma)}$ . . . . .	95
55	4.5.3	Vector nodal $\dot{W}_{QI}$ . . . . .	95
55	4.5.4	Vector nodal $\dot{W}_{CI}$ . . . . .	96
56	4.5.5	Vector nodal $\dot{W}_{FI}$ . . . . .	97
56	4.5.6	Vector nodal $\dot{W}_{SUI}$ . . . . .	97
58	4.5.7	Vector nodal $\dot{W}_{PI}$ . . . . .	98
59	4.5.8	Vector nodal $\dot{W}_{VI}$ . . . . .	99
60	4.6	Ecuación de balance en la puerta de masa . . . . .	99
64	4.6.1	Vector nodal $\dot{W}_{WI}^{(\Gamma)}$ . . . . .	99
64	4.6.2	Vector nodal $\dot{W}_{WI}$ . . . . .	100
65	4.6.3	Vector nodal $\dot{W}_{MUI}$ . . . . .	100
66	4.6.4	Vector nodal $\dot{W}_{KI}$ . . . . .	101
66	4.7	Esquema numérico de integración . . . . .	102
70	4.8	Problema de aplicación: tubo de choque	
73		( <i>shock tube</i> ) . . . . .	102
75	4.8.1	Definición del problema . . . . .	102
9	4.8.2	Datos y condiciones de contorno . . . . .	104
9	4.8.3	Compensación de las inestabilidades mediante	
0		viscosidad artificial . . . . .	104
0	4.8.4	Resultados . . . . .	105
1			
1	<b>5</b>	<b>Consideraciones finales</b>	<b>113</b>
2			
2			
2			
3			
4			
4			