

Contenido

PRESENTACIÓN	V
CONTENIDO.....	VII
NOMENCLATURA	XIII
ABREVIATURAS.....	XVII
OPERADORES.....	XVIII
UNIDADES	XIX
INTRODUCCIÓN.....	1
1 PRINCIPIOS CONSTITUTIVOS	2
1.1 El Principio del Determinismo.....	3
1.2 El Principio de la Acción Local.....	3
1.3 El Principio de Equipresencia.....	3
1.4 El Principio de la Objetividad.....	3
1.5 El Principio de la Disipación.....	4
2 CARACTERIZACIÓN DE LAS ECUACIONES CONSTITUTIVAS PARA UN MATERIAL SIMPLE	4
3 CARACTERIZACIÓN DE LAS ECUACIONES CONSTITUTIVAS PARA UN MATERIAL TERMOVISCOELÁSTICO.....	11
4 ECUACIONES CONSTITUTIVAS CON VARIABLES INTERNAS.....	15
5 PROBLEMA DE VALOR DE CONTORNO INICIAL (PVICI) Y LA MECÁNICA COMPUTACIONAL.....	17
6 CONTENIDO DEL LIBRO.....	19
APÉNDICE A. PROPIEDADES MECÁNICAS	21
A.1 COMPORTAMIENTO DE LOS SÓLIDOS.....	21
A.1.1 Efecto de la Temperatura.....	25
A.1.2 Ensayos y Propiedades Mecánicas del Material	25
A.1.2.1 Ensayo de Tracción Simple.....	25
A.1.2.2 Ensayo Brasileño.....	30
A.1.2.3 Ensayo de Compresión Simple.....	30
A.1.2.4 Ensayo de Compresión Triaxial	32
A.2 COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS	35
A.2.1 Viscosidad	36
A.3 MATERIALES VISCOELÁSTICOS	37
1 HIPERELASTICIDAD	39
1.1 INTRODUCCIÓN	39
1.2 ECUACIÓN CONSTITUTIVA	40
1.2.1 Tensores Constitutivos Tangentes Elásticos.....	44
1.2.1.1 Tensor Constitutivo Tangente Elástico en la Configuración Material.....	44
1.2.1.2 Tensor Constitutivo Tangente Elástico en la Configuración Actual.....	45
1.2.1.3 Tensor Constitutivo Tangente Elástico Instantáneo	47
1.2.1.4 Pseudo-Tensor Constitutivo Tangente Elástico.....	48

1.3 MATERIAL HIPERELÁSTICO ISÓTROPICO.....	51
1.3.1 Ecuación Constitutiva en Función de los Invariantes	51
1.3.1.1 Ecuación Constitutiva en Función de \mathbf{C} y \mathbf{b}	51
1.3.1.2 Ecuación Constitutiva en Función de \mathbf{E}	54
1.3.2 Expansión en Serie del Potencial Elástico.....	54
1.3.3 Ecuación Constitutiva en Función de los Estiramientos Principales.....	55
1.4 ELASTICIDAD	59
1.4.1 Linealización de las Ecuaciones Constitutivas.....	60
1.4.2 Elasticidad Lineal.....	62
1.5 MATERIAL COMPRESIBLE	62
1.5.1 Tensores de Tensiones	64
1.5.2 Material Hiperelástico Compresible Isótropo.....	67
1.5.2.1 Material Hiperelástico Compresible Isótropo en Función de los Invariantes....	70
1.6 MATERIAL INCOMPRESIBLE	71
1.6.1 Interpretación Geométrica.....	73
1.6.2 Material Hiperelástico Incompresible Isótropo.....	74
1.6.2.1 Expansión en Serie del Potencial Elástico para Material Hiperelástico Incompresible Isótropo.....	75
1.7 EJEMPLOS DE MODELOS HIPERELÁSTICOS	76
1.7.1 Modelo de Sólido Neo-Hookeano.....	76
1.7.2 Modelo Tipo-Goma de Ogden	76
1.7.2.1 Modelo Tipo-Goma de Ogden Incompresible	76
1.7.2.2 Modelo de Hadamard.....	77
1.7.3 Modelo de Mooney-Rivlin	78
1.7.3.1 Energía Libre de Helmholtz	78
1.7.3.2 Tensor de Tensiones.....	78
1.7.4 Modelo de Yeoh	79
1.7.4.1 Energía Libre de Helmholtz	79
1.7.4.2 Tensor de Tensiones.....	79
1.7.5 Modelo de Arruda-Boyce.....	79
1.7.6 Modelo de Blatz-Ko.....	80
1.7.7 Modelo de Saint-Venant-Kirchhoff.....	80
1.7.7.1 Energía Libre de Helmholtz	80
1.7.7.2 Tensor de Tensiones.....	81
1.7.7.3 Tensor Constitutivo Tangente Elástico	81
1.7.8 Modelo Neo-Hookeano Compresible.....	82
1.7.8.1 Energía Libre de Helmholtz	82
1.7.8.2 Tensores de Tensiones	82
1.7.8.3 Tensor Constitutivo Tangente Elástico	83
1.7.9 Modelo de Gent.....	85
1.7.10 Modelos Estadísticos	86
1.7.11 Modelo de 8 Parámetros	87
1.7.12 Modelo de Jamus-Green-Simpson.....	88
1.7.12.1 Función Energía de Deformación de Jamus-Green-Simpson	88
1.7.12.2 Ejemplo Uniaxial.....	88
1.8 HIPERELASTICIDAD ANISÓTROPICA	90
1.8.1 Material Transversalmente Isótropo.....	90
APÉNDICE B. DEMOSTRACIÓN DE LOS MODELOS DE 8 PARÁMETROS Y ESTADÍSTICO	93
B.1 MODELOS ESTADÍSTICOS.....	93
B.1.1 Función de Energía.....	93
B.1.2 Tensor de Tensión.....	94
B.1.3 Tensor Constitutivo Tangente.....	95
B.1.3.1 Resumen del Modelo Estadístico	97
B.2 MODELOS DE 8 PARÁMETROS.....	99
B.2.1 Función de Energía.....	99

B.2.2 Tensor de Tensiones.....	99
B.2.3 Tensor Constitutivo Tangente	100
B.2.4 Resumen del Modelo de 8 Parámetros	106
2 PLASTICIDAD.....	109
2.1 INTRODUCCIÓN	109
2.2 COMPORTAMIENTO DE SÓLIDO CON DEFORMACIÓN PLÁSTICA.....	111
2.3 SUPERFICIE DE FLUENCIA. CRITERIO DE FLUENCIA	112
2.3.1 Superficie de Fluencia para Materiales Anisótropos.....	112
2.3.1.1 Gradiente de la Superficie de Fluencia	112
2.3.2 Superficie de Fluencia para Materiales Isótropos	113
2.3.3 Criterio de Fluencia para Materiales Independientes de la Presión Hidrostática	116
2.3.3.1 Criterio de von Mises	116
2.3.3.2 Criterio de Tresca.....	121
2.3.4 Criterio de Fluencia para Materiales Sensibles a la Presión Hidrostática.....	125
2.3.4.1 Criterio de Mohr-Coulomb	125
2.3.4.2 Criterio de Drucker-Prager.....	129
2.3.4.3 Criterio de Rankine.....	134
2.3.5 Superficie de Fluencia después de la Plastificación	137
2.4 MODELOS DE PLASTICIDAD EN PEQUEÑAS DEFORMACIONES. CASO UNIDIMENSIONAL.....	141
2.4.1 Plasticidad Independiente de la Tasa en 1D.....	141
2.4.1.1 Comportamiento Elastoplástico Perfecto.....	141
2.4.1.2 Comportamiento Elastoplástico con Endurecimiento Isótropo.....	145
2.4.1.3 Comportamiento Elastoplástico con Endurecimiento Cinemático.....	151
2.4.1.4 Comportamiento Elastoplástico con Endurecimiento Isótropo y Cinemático	154
2.5 PLASTICIDAD EN PEQUEÑAS DEFORMACIONES (TEORÍA CLÁSICA DE PLASTICIDAD)	155
2.5.1 Tensor de Deformación. Ley Constitutiva	156
2.5.2 Energía Libre de Helmholtz.....	156
2.5.3 Disipación de Energía. Evolución de las Variables Internas	157
2.5.4 Tensor Constitutivo Tangente Elastoplástico	159
2.5.5 Teoría Clásica de Flujo J_2	164
2.5.5.1 Plasticidad Perfecta.....	164
2.5.5.2 Plasticidad con Endurecimiento Cinemático e Isótropo.....	166
2.6 TEORÍA DEL POTENCIAL PLÁSTICO.....	168
2.7 PLASTICIDAD EN DEFORMACIÓN FINITA.....	172
2.8 PLASTICIDAD EN DEFORMACIÓN FINITA BASADA EN LA DESCOMPOSICIÓN MULTIPLICATIVA DEL GRADIENTE DE DEFORMACIÓN.....	173
2.8.1 Relaciones Cinemáticas	173
2.8.1.1 Tensores de Deformación	174
2.8.1.2 Deformaciones de los Diferenciales de Área y de Volumen	180
2.8.1.3 Tensor Gradiente Espacial de Velocidad.....	182
2.8.1.4 Tasa de Oldroyd.....	185
2.8.1.5 Tasa de Cotter-Rivlin.....	186
2.8.2 Tensores de Tensiones	188
2.8.2.1 Tasa de Tensores de Tensiones	190
2.8.3 Energía Libre de Helmholtz.....	190
2.8.3.1 Desacoplamiento de la Energía Libre de Helmholtz	191
2.8.3.2 Principio de Objetividad para la Energía Libre de Helmholtz	191
2.8.3.3 Función Energía Libre Isótropa	192
2.8.3.4 Tasa de la Energía Libre Isótropa	192
2.8.4 Potencial Plástico y Criterio de Fluencia	195
2.8.5 Disipación. Ecuaciones Constitutivas.....	195
2.8.6 Evolución de las Variables Internas	196
2.8.7 Tensor Constitutivo.....	198

2.8.7.1 Tensor Tangente Elastoplástico	199
2.8.8 Modelo Hiperelastoplástico con Función de Fluencia de von Mises	202
2.8.8.1 Energía Libre de Helmholtz	202
2.8.8.2 Tensor de Tensiones	202
2.8.8.3 Formulación Considerando la Transformación F^p como una Transformación Isocórica	204
2.8.8.4 Tasa de la Energía Libre	205
2.8.8.5 Criterio de Fluencia. Evolución de las Variables Internas	206
3 TERMOELASTICIDAD. TERMOPLASTICIDAD	209
3.1 PROCESO REVERSIBLE	209
3.1.1 Energía Interna Específica	210
3.1.2 Energía Libre de Helmholtz	210
3.1.3 Energía Libre de Gibbs	212
3.1.4 Entalpía	212
3.1.5 Proceso Isotérmico e Isentrópico	214
3.1.6 Calor Específico y Tensor Calor Latente	215
3.2 TERMOELASTICIDAD LINEAL	218
3.2.1 Linealización de las Ecuaciones Constitutivas	218
3.2.1.1 Linealización del Primer Tensor de Tensiones de Piola-Kirchhoff	219
3.2.1.2 Linealización del Flujo de Calor	221
3.2.1.3 Linealización de la Entropía	222
3.2.1.4 Linealización de la Energía Libre de Helmholtz	222
3.2.1.5 Ecuaciones Constitutivas Linealizadas	223
3.2.1.6 Termoelasticidad Lineal en el Régimen de Pequeñas Deformaciones	223
3.2.1.7 Termoelasticidad Lineal para Sólido Elástico, Lineal e Isótropo en el Régimen de Pequeñas Deformaciones	225
3.3 PROBLEMA TERMO-MECÁNICO DESACOPLADO EN PEQUEÑAS DEFORMACIONES	228
3.3.1 Problema Puramente Térmico	230
3.3.1.1 Condiciones de Contorno e Iniciales	231
3.3.2 Problema Puramente Mecánico	232
3.3.2.1 Ecuaciones de Gobierno	233
3.3.2.2 Condiciones de Contorno e Iniciales	233
3.4 TEORÍA CLÁSICA DE TERMOELASTICIDAD EN DEFORMACIÓN FINITA	234
3.4.1 Ecuación del Flujo de Calor Acoplado	235
3.4.2 Energía Libre de Helmholtz	238
3.5 TERMOELASTICIDAD CON DESCOMPOSICIÓN MULTIPLICATIVA DEL GRADIENTE DE DEFORMACIÓN	240
3.5.1 Tensores de Deformación	241
3.5.2 Tensores de Tensiones	242
3.5.3 Diferencial de Área y de Volumen	243
3.5.4 Particularización a un Material Isótropo	245
3.5.5 Energía Libre de Helmholtz. Ecuaciones Constitutivas	247
3.5.5.1 Ecuaciones Constitutivas de Tensión	248
3.5.5.2 Ecuación Constitutiva de Entropía	250
3.6 TERMOPLASTICIDAD EN PEQUEÑAS DEFORMACIONES	253
3.6.1 Energía Libre de Helmholtz	253
3.6.2 Disipación de Energía	253
4 FLUIDOS	257
4.1 INTRODUCCIÓN	257
4.2 FLUIDO EN REPOSO Y EN MOVIMIENTO	258
4.2.1 Fluido en Reposo	258
4.2.2 Fluido en Movimiento	259
4.3 FLUIDO VISCOSO Y NO VISCOSO	260
4.3.1 Fluido No Viscoso (Fluido Perfecto)	260

4.3.2	Fluido Viscoso.....	260
4.4	FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO	261
4.5	CASOS PARTICULARES DE FLUIDOS	262
4.5.1	Fluidos Incompresibles.....	262
4.5.1	Representación de la Aceleración.....	262
4.5.2	Fluido Irrotacional.....	263
4.5.3	Flujo Estacionario.....	264
4.6	FLUIDO NEWTONIANO	265
4.6.1	Condición de Stokes.....	268
4.7	POTENCIA TENSIONAL. POTENCIA DISIPADA. POTENCIA RECUPERABLE	269
4.8	ECUACIONES BÁSICAS DE LOS FLUIDOS NEWTONIANOS	270
4.8.1	Ecuación de Movimiento de Navier-Stokes-Duhem.....	272
4.8.1.1	Forma Alternativa de las Ecuaciones Básicas para Fluidos Newtonianos	273
4.8.1.2	Ecuaciones Básicas para Fluidos Newtonianos Incompresibles.....	273
4.8.2	Ecuación de Movimiento de Navier-Stokes.....	274
4.8.3	Ecuación de Movimiento de Euler	274
4.8.3.1	Fluidos Perfectos e Incompresible.....	275
4.9	ECUACIÓN DE BERNOULLI.....	279
APÉNDICE C. VARIABLES ADIMENSIONALES		283
C.1	VARIABLES ADIMENSIONALES.....	283
5	VISCOELASTICIDAD	287
5.1	INTRODUCCIÓN	287
5.2	MODELOS REOLÓGICOS PARA LA VISCOELASTICIDAD	291
5.3	MODELOS VISCOELÁSTICOS.....	292
5.3.1	Modelo de Maxwell	293
5.3.2	Modelo de Kelvin	295
5.3.3	Modelo de Burgers.....	298
5.4	GENERALIZACIÓN DE LOS MODELOS DE MAXWELL Y KELVIN	302
5.4.1	Generalización del Modelos de Maxwell en Serie	302
5.4.2	Generalización del Modelo de Kelvin en Paralelo	303
5.4.3	Generalización del Modelo de Maxwell en Paralelo.....	304
5.4.4	Generalización del Modelo de Kelvin en Serie.....	305
5.5	FORMA DE OPERADOR DIFERENCIAL DE LA LEY CONSTITUTIVA	306
5.6	REPRESENTACIÓN INTEGRAL DE LAS ECUACIONES CONSTITUTIVAS VISCOELÁSTICAS...308	
5.6.1	Función de Fluencia Lenta.....	308
5.6.2	Función de Relajación.....	309
5.6.3	Principio de la Superposición de Boltzmann. Representación Integral.....	310
5.6.4	Relación entre la Función de Fluencia Lenta y la Función de Relajación.....	313
5.7	GENERALIZACIÓN DE LA REPRESENTACIÓN INTEGRAL A TRES DIMENSIONES.....	314
5.8	PROBLEMA DE VALOR DE CONTORNO INICIAL. PRINCIPIO DE CORRESPONDENCIA	317
6	MECÁNICA DEL DAÑO CONTINUO	319
6.1	INTRODUCCIÓN	319
6.2	MODELO DE DAÑO ISÓTROPO EN DEFORMACIÓN INFINITESIMAL	320
6.2.1	Descripción del Modelo de Daño Isótropo en Una Dimensión.....	320
6.2.1.1	Ecuación Constitutiva.....	321
6.2.2	Modelo de Daño Isótropo en Tres Dimensiones.....	322
6.2.2.1	Energía Libre de Helmholtz.....	323
6.2.2.2	Disipación de Energía Interna y Ley Constitutiva	323
6.2.2.3	“Ingredientes” del Modelo de Daño	327
6.2.2.4	Ley de Ablandamiento/Endurecimiento.....	333
6.2.3	Tensor Constitutivo Tangente de Daño Isótropo.....	335
6.2.4	Las Normas.....	338
6.2.4.1	Modelo Simétrico (Tracción–Compresión) – Modelo I.....	338

6.2.4.2	Modelo de Daño “Sólo Tracción” – Modelo II.....	339
6.2.4.3	Modelo de Daño no Simétrico – Modelo III	340
6.3	DAÑO ISÓTROPO GENERALIZADO	342
6.3.1	Energía Libre de Helmholtz	343
6.3.2	Tensiones Efectivas Esférica y Desviadora.....	344
6.3.3	Consideraciones Termodinámicas	344
6.3.4	Tensor Constitutivo Tangente de Daño.....	345
6.4	MODELO DE DAÑO-PLÁSTICO EN DEFORMACIÓN INFINITESIMAL	348
6.4.1	Modelo de Daño-Plástico de Simó&Ju (1987) en Pequeñas Deformaciones.....	349
6.4.1.1	Energía Libre de Helmholtz	349
6.4.1.2	Disipación de Energía. Ecuación Constitutiva. Consideraciones Termodinámicas.....	349
6.4.1.3	Caracterización del Daño.....	350
6.4.1.4	Tensor Constitutivo Tangente de Daño.....	351
6.4.1.5	Caracterización de la Respuesta Plástica. Tensor Constitutivo Tangente Daño-Plástico.....	352
6.5	MODELO DE DAÑO-PLÁSTICO DEL TIPO TRACCIÓN-COMPRESIÓN.....	355
6.5.1	Energía Libre de Helmholtz	355
6.5.2	Caracterización del Daño	357
6.5.3	Evolución de la Variable de Daño	358
6.5.4	Evolución del Tensor de Deformación Plástica.....	359
6.5.5	Disipación de Energía Interna.....	360
6.6	DAÑO EN DEFORMACIÓN FINITA	363
6.6.1	Modelo Unidimensional de Gurtin & Francis	363
6.6.2	Modelo de Daño Elástico en 3D Independiente de la Tasa.....	364
6.6.3	Variable de Daño. Evolución del Daño.....	365
6.6.4	Modelo de Daño-Plástico de Simó & Ju (1989)	365
6.6.4.1	Energía Libre de Helmholtz	365
6.6.4.2	Disipación de Energía. Ecuación Constitutiva. Consideraciones Termodinámicas.....	366
6.6.4.3	Caracterización del Daño.....	368
6.6.4.4	Tensor Constitutivo Tangente de Daño.....	368
6.6.4.5	Caracterización de la Respuesta Plástica. Tensor Constitutivo Tangente de Elastoplástico Efectivo	369
6.6.4.6	Tensor Constitutivo Tangente Daño-Plástico.....	370
6.6.5	Modelo de Daño-Plástico Ju(1989)	371
6.6.5.1	Energía Libre de Helmholtz	371
6.6.5.2	Disipación de Energía. Ecuación Constitutiva. Consideraciones Termodinámicas.....	371
6.6.5.3	Caracterización del Daño. Tensor Constitutivo Tangente de Daño.....	373
6.6.5.4	Tensor Constitutivo Tangente de Daño.....	373
6.6.5.5	Caracterización de la Respuesta Plástica. Tensor Constitutivo Tangente Elastoplástico.	374
6.6.5.6	Tensor Constitutivo Tangente de Daño-Plástico.....	376
	BIBLIOGRAFÍA	379
	ÍNDICE TEMÁTICO	387