

Índice

Agradecimientos	i
Resumen	iii
Listado de Símbolos	xxi
Listado de Acrónimos	xxv
Glosario	xxix
1 Introducción y objetivos	1
1.1 Reseña histórica	3
1.2 Tamaño, forma y topología	5
1.3 La necesidad de optimización	7
1.4 Estado del arte sobre la optimización topológica y estructural simultánea	10
1.4.1 Fuentes de información	10
1.4.2 Criterios de búsqueda	12
1.4.3 Estudio de la producción científica global	13
1.4.4 Estudio de la producción científica por año de publicación	17
1.4.5 Estudio de la producción científica en revistas indexadas	17
1.4.6 Principales grupos de investigación	22
1.4.7 Conclusiones	24

1.5 Organización de la tesis	26
2 Objetivos	27
2.1 Objetivos	29
2.2 Planificación de la investigación	30
3 Estado del arte de la optimización de estructuras	33
3.1 Breve reseña histórica	35
3.2 Técnicas de Optimización de Estructuras	36
3.2.1 Programación matemática	36
3.2.2 Técnicas metaheurísticas	47
3.2.2.1 Recocido Simulado (SA)	47
3.2.2.2 Computación evolutiva	49
Los Algoritmos Evolutivos	50
La Optimización por enjambre de partículas (PSO)	63
La Optimización por colonia de hormigas (ACO)	65
3.3 Formulación del problema de optimización de estructuras	66
4 Optimización mediante Algoritmos Genéticos	69
4.1 Breve introducción a la Computación Evolutiva	71
4.2 Antecedentes históricos de los Algoritmos Genéticos	73
4.3 Antecedentes biológicos	75
4.3.1 La célula	76
4.3.2 Los cromosomas	76
4.3.3 Los genes	77
4.3.4 La genética	79
4.3.5 La reproducción	80
4.3.6 La selección natural	82
4.4 Terminología de los Algoritmos Genéticos	82
4.4.1 La población	82
4.4.2 Los individuos	83

4.4.3 Los genes	83
4.4.4 La función de aptitud	84
4.5 Definición formal de un Algoritmo Genético estándar	84
4.6 Codificación de las variables de diseño	85
4.6.1 Clasificación de los diferentes tipos de codificación	85
4.6.2 Propiedades de las codificaciones	88
4.7 Operadores genéticos.	89
4.7.1 El operador de inicialización.	90
4.7.2 Los operadores de reproducción.	91
4.7.2.1 El operador de selección	91
La selección aleatoria	92
La selección por ruleta (RWS)	92
La selección por muestreo universal estocástico (SUS)	94
La selección por muestreo determinístico	95
La selección por muestreo estocástico del resto con remplazo.	95
La selección por muestreo estocástico del resto sin remplazo	96
Selección por grupos.	96
La selección por rango	96
La selección de Boltzmann.	99
La selección por torneo	99
4.7.2.2 El operador de cruce	101
Operadores de cruce determinísticos	102
Operadores de cruce aritmético	106
Cruce geométrico	110
Cruce por mezcla alfa (BLX- α)	110
Cruce binario simulado (SBX- β)	112
Operadores de cruce multiparentales.	114
4.7.3 El operador de mutación	121
4.7.3.1 Mutación aleatoria uniforme.	122
4.7.3.2 Mutación aleatoria no uniforme.	123
4.7.3.3 Mutación de convolución gaussiana.	123

4.7.4 El operador de remplazo	126
4.7.4.1 Reemplazo de los menos aptos.	126
4.7.4.2 Reemplazo aleatorio	126
4.7.4.3 Torneo a muerte	127
4.7.4.4 Reemplazo del individuo más viejo	127
4.7.4.5 Selección conservativa	127
4.7.4.6 Reemplazo de los progenitores.	127
4.7.4.7 Elitismo	127
4.7.5 Ajuste de los parámetros de los operadores genéticos.	128
4.7.5.1 Ajuste <i>offline</i>	128
4.7.5.2 Ajuste <i>online</i>	131
Retroalimentación heurística	131
Auto-adaptación	134
4.8 Criterios de detención	134
4.9 La función de aptitud o función objetivo	135
4.9.1 Manejo de las restricciones	136
4.9.1.1 Funciones de penalización	136
Penalización estática	139
Penalización dinámica.	141
Penalización adaptativa.	142
Penalización coevolutiva	144
Algoritmo Genético segregado.	145
Pena de muerte.	145
Penalización Fuzzy.	146
4.9.1.2 Algoritmos de reparación	147
4.9.1.3 Métodos híbridos.	147
Multiplicadores de Lagrange.	147
Optimización restringida por evolución aleatoria (CORE).	148
4.9.2 Técnicas de escalado	148
4.9.2.1 Escalado lineal	149
4.9.2.2 Truncado sigma	151
4.9.2.3 Escalado potencial	152

5 Implementación del Algoritmo Genético GASOP	153
5.1 La librería GALib	155
5.2 La implementación de las clases GASOPGenome y GAMulti	156
5.2.1 Codificación de las variables de diseño	156
5.2.1.1 Codificación de las variables topológicas	157
5.2.1.2 Codificación de las variables estructurales	161
5.2.2 Los operadores genéticos	164
5.2.2.1 El operador de inicialización	164
5.2.2.2 Los operadores de reproducción	166
5.2.2.3 Los operadores de mutación	166
5.2.2.4 El operador de migración	167
5.2.2.5 El operador de renacimiento	168
5.2.3 La evaluación de legalidad de los individuos	168
5.2.3.1 Detección de nudos y subestructuras inconexas	169
5.2.3.2 Detección de parámetros geométricos inválidos	172
5.2.4 Ajuste de los parámetros de los operadores genéticos	173
5.2.5 La función de aptitud	175
5.2.6 El procesamiento en paralelo	180
5.3 El motor de cálculo estructural	182
6 Validación del Algoritmo Genético GASOP	187
6.1 El método de validación	189
6.2 Configuración óptima	194
6.3 Análisis del operador de inicialización	195
6.3.1 Análisis de los operadores de selección	198
6.3.2 Análisis de los operadores de cruce	198
6.4 Los operadores de mutación	204
6.5 El operador de migración	205
6.6 El operador de renacimiento	207
6.7 El operador de remplazo	208

6.8 El ajuste de los parámetros del Algoritmo Genético	210
6.8.1 El tamaño de la población	210
6.8.2 La probabilidad de cruce	212
6.8.3 La probabilidad de mutación	214
6.9 La función de penalización	215
6.10 La solución óptima	218
7 Conclusiones	229
8 Futuras líneas de investigación	241
Bibliografía	249
Índice de figuras	291
Índice de tablas	297
Apéndices	299
A Propiedades geométricas de las secciones implementadas	301
A.1 Sección rectangular	303
A.1.1 Parámetros del comando SECDATA	303
A.1.2 Equivalencia entre los parámetros del cromosoma de geometría y SECDATA.	303
A.1.3 Cálculo de la tensión de torsión	304
A.2 Sección rectangular hueca (HREC)	304
A.2.1 Parámetros del comando SECDATA	304
A.2.2 Equivalencia entre los parámetros del cromosoma de geometría y SECDATA.	305
A.2.3 Cálculo de la tensión de torsión	305
A.3 Sección circular	306
A.3.1 Parámetros del comando SECDATA	306
A.3.2 Equivalencia entre los parámetros del cromosoma de geometría y SECDATA.	306

A.3.3 Cálculo de la tensión de torsión	306
A.4 Sección tubular	307
A.4.1 Parámetros del comando SECDATA	307
A.4.2 Equivalencia entre los parámetros del cromosoma de geometría y SECDATA.	308
A.4.3 Cálculo de la tensión de torsión	308
A.5 Sección en T	308
A.5.1 Parámetros del comando SECDATA	308
A.5.2 Equivalencia entre los parámetros del cromosoma de geometría y SECDATA.	309
A.5.3 Cálculo de la tensión de torsión	309
A.6 Sección en L	310
A.6.1 Parámetros del comando SECDATA	310
A.6.2 Equivalencia entre los parámetros del cromosoma de geometría y SECDATA.	311
A.6.3 Cálculo de la tensión de torsión	311
A.7 Sección en U o en Z	312
A.7.1 Parámetros del comando SECDATA	312
A.7.2 Equivalencia entre los parámetros del cromosoma de geometría y SECDATA.	313
A.7.3 Cálculo de la tensión de torsión	313
A.8 Sección en I	314
A.8.1 Parámetros del comando SECDATA	315
A.8.2 Equivalencia entre los parámetros del cromosoma de geometría y SECDATA.	315
A.8.3 Cálculo de la tensión de torsión	315
A.9 Sección en omega (HATS).	316
A.9.1 Parámetros del comando SECDATA	316
A.9.2 Equivalencia entre los parámetros del cromosoma de geometría y SECDATA.	317
A.9.3 Cálculo de la tensión de torsión	317
 B Listado de comandos para el análisis con ANSYS APDL del mejor individuo	 319
 C Código fuente de la clase GASOPGenome	 329