

Índice.

Índice.....	i
Notación.....	viii
Acrónimos.....	xi
Relación de Figuras.....	xiii
Relación de Tablas.....	xvi
1 Introducción	1
1.1 Planteamiento general del problema de optimización.....	3
1.2 Técnicas de diseño óptimo en ingeniería.....	6
1.3 Técnicas aproximadas empleadas en la optimización monoobjetivo de estructuras	6
1.3.1 Introducción.....	6
1.3.2 Algoritmos que generalizan la búsqueda secuencial por entornos.....	9
1.3.2.1 Introducción.....	9
1.3.2.2 Métodos que realizan una aceptación voraz de la solución con un operador simple.....	10
1.3.2.3 Métodos que realizan una aceptación estratégica admitiendo una degradación acotada de la solución actual.....	12
1.3.2.4 Búsqueda tabú.....	15
1.3.2.5 Optimización por Colonia de Hormigas.....	15
1.3.2.6 Aplicaciones.....	16
1.3.2.7 Descripción general.....	16
1.3.2.8 Aplicaciones.....	18
1.3.3 Redes neuronales.....	18
1.4 Técnicas aproximadas empleadas en la optimización multiobjetivo de estructuras	19
1.4.1 Introducción.....	19
1.4.2 Óptimo de Pareto.....	19

1.4.3	Métodos basados en la heurísticas que generalizan la búsqueda secuencial por entornos.	20
1.4.4	Métodos basados en los algoritmos evolutivos.....	21
1.5	Los pórticos en las estructuras de edificación.	23
1.6	Objetivos, contribuciones y estructura de esta Tesis.....	27
2	Estado del arte.	29
2.1	Introducción.	31
2.2	Revisiones bibliográficas anteriores.	31
2.3	Técnicas exactas empleadas en el diseño óptimo de estructuras.....	32
2.4	Técnicas aproximadas empleadas en la optimización monoobjetivo de estructuras.	35
2.4.1	Algoritmos que generalizan la búsqueda secuencial por entornos.	35
2.4.1.1	Estructuras de acero.	35
2.4.1.2	Estructuras de hormigón.	36
2.4.2	Algoritmos evolutivos.	37
2.4.2.1	Estructuras de acero.	37
2.4.2.2	Estructuras de hormigón.	39
2.4.3	Otras aportaciones.	43
2.5	Técnicas aproximadas empleadas en la optimización multiobjetivo de estructuras.	43
2.5.1	Estrategias basadas en heurísticas que generalizan la búsqueda secuencial por entornos.	43
2.5.2	Estrategias basadas en los algoritmos evolutivos.....	45
2.5.2.1	Estructuras de acero.	45
2.5.2.2	Estructuras de hormigón.	46
2.5.2.3	Otros trabajos.	47
2.5.3	Métodos híbridos.....	48
2.6	Otros métodos.	48
2.7	Resumen.	49
2.8	Conclusiones.	52
3	Definición del problema de optimización.	55
3.1	Introducción.	57
3.2	Parámetros.	57
3.2.1	Introducción.....	57
3.2.2	Parámetros geométricos.	57
3.2.3	Parámetros relativos a las acciones.....	59

3.2.4	Parámetros relativos a los coeficientes de seguridad y al grado de exposición de la estructura.	63
3.2.5	Otros parámetros.	64
3.3	Variables de diseño.	64
3.4	Restricciones de comportamiento y de diseño.	68
3.4.1	Introducción.	68
3.4.2	Principios básicos del “Método de los Estados Límite”.	68
3.4.3	Acciones consideradas en el cálculo. Combinación de acciones.	69
3.4.4	Verificación de Estados Límites.	69
3.4.4.1	ELS de fisuración en vigas.	70
3.4.4.2	ELS de deformación en vigas.	70
3.4.4.3	ELU de agotamiento frente a sollicitaciones normales en vigas y pilares.	71
3.4.4.4	EL de Agotamiento frente a cortante.	72
3.4.4.5	EL de Inestabilidad.	72
3.4.4.6	Disposiciones relativas a las armaduras.	73
3.4.5	Otras comprobaciones.	74
3.5	Funciones objetivo.	75
3.5.1	Coste económico.	75
3.5.1.1	Definición de las unidades de obra existentes.	75
3.5.1.2	Función de coste económico.	76
3.5.2	Facilidad constructiva.	78
3.5.3	Sostenibilidad ambiental.	79
3.5.4	Seguridad estructural.	81
3.6	Problemas estudiados.	81
4	Métodos heurísticos empleados.	83
4.1	Introducción.	85
4.2	Estrategia de saltos múltiples aleatorios.	87
4.2.1	Introducción.	87
4.2.2	Aplicación del algoritmo al problema planteado.	88
4.2.2.1	Descripción.	88
4.2.2.2	Horquillas empleadas en la definición del armado de pilares.	88
4.2.2.3	Horquillas empleadas en la definición del armado de vigas.	90
4.2.2.4	Otras horquillas.	90
4.3	Gradiente First Best.	91
4.3.1	Introducción.	91

4.3.2	Aplicación del algoritmo.....	91
4.3.2.1	Descripción.....	91
4.3.2.2	Parámetros.....	93
4.4	Cristalización Simulada.....	94
4.4.1	Introducción.....	94
4.4.2	Aplicación del algoritmo.....	94
4.5	Aceptación por Umbrales.....	99
4.6	Algoritmos Genéticos.....	104
4.6.1	Introducción.....	104
4.6.2	Descripción general.....	105
4.6.2.1	Terminología genética y representación de soluciones.....	106
4.6.2.2	Funciones de penalización y aptitud de un individuo.....	107
4.6.2.3	Evaluación de la aptitud de un individuo.....	107
4.6.2.4	El operador “Selección”.....	108
4.6.2.5	El operador “Cruzamiento” o “Crossover”.....	108
4.6.2.6	El operador “Mutación”.....	110
4.6.2.7	El operador “Elitismo”.....	110
4.6.3	Modificaciones del GA básico.....	111
4.6.3.1	Introducción.....	111
4.6.3.2	Algoritmos meméticos.....	111
4.6.3.3	Nuevos modos de aplicar el operador “cruzamiento”.....	112
4.6.4	Definición completa del algoritmo.....	115
4.6.4.1	Forma de representación.....	116
4.6.4.2	Tamaño de la población.....	116
4.6.4.3	Funciones de penalización.....	116
4.6.4.4	Forma de aplicar el operador “selección”.....	117
4.6.4.5	Criterio de parada en la mejora local con FB.....	117
4.6.4.6	Elitismo.....	118
4.6.4.7	Criterio de parada.....	118
4.7	Método de Suppapatnarm para la optimización multiobjetivo mediante la Cristalización Simulada.....	118
4.8	Evaluación de heurísticas.....	121
4.9	Programa para el cálculo y optimización de pórticos planos.....	122
5	Resultados de la optimización económica de un pórtico por diferentes procedimientos heurísticos.....	125
5.1	Introducción.....	127
5.2	Estrategia de Saltos Múltiples Aleatorios.....	128

5.3	Gradiente First Best.....	130
5.4	Cristalización simulada.....	133
5.5	Aceptación por Umbrales.....	135
5.6	Algoritmos Genéticos.....	138
5.7	Justificación del número de ensayos realizados con cada heurística.....	140
5.8	Comparación de los resultados. conclusiones.....	141
6	Estudio paramétrico con pórticos de varias alturas.....	145
6.1	Optimización de pórticos de dos vanos y dos, cuatro, seis y ocho alturas. ..	147
6.1.1	Introducción.....	147
6.1.2	Pórtico de dos vanos y dos alturas. Problema $P_{2v2h-C_{EST}}$	147
6.1.3	Pórtico de dos vanos y seis alturas. Problema $P_{2v6h-C_{EST}}$	149
6.1.4	Pórtico de dos vanos y ocho alturas. $P_{2v8h.1-C_{EST}}$	151
6.2	Análisis de las heurísticas que proporcionan las estructuras óptimas.....	154
6.3	Análisis de los resultados de las estructuras optimizadas.....	156
6.3.1	Vigas.....	156
6.3.2	Pilares.....	160
6.3.3	Estructura.....	164
6.3.4	Comparación con los resultados obtenidos o empleados por otros autores.....	165
6.4	Análisis del coste de las estructuras optimizadas.....	166
7	Resultados adicionales de optimización económica.....	171
7.1	Introducción.....	173
7.2	Resultados.....	174
7.2.1	Tiempos y costes.....	174
7.2.2	Características de las vigas de las estructuras óptimas para los pórticos de los problemas $P_{2v8h.3-C_{EST}}$ y $P_{2v8h.4-C_{EST}}$. Reglas de predimensionado.....	175
7.2.3	Características de los pilares de las estructuras óptimas.....	177
7.3	Análisis de los resultados.....	179
7.3.1	Tiempos y costes.....	179
7.3.2	Reglas de predimensionamiento.....	180
7.4	Conclusiones.....	182
8	Optimización multiobjetivo.....	183
8.1	Introducción.....	185
8.2	Resultados numéricos.....	186

8.2.1	Introducción.....	186
8.2.2	Coste frente a facilidad constructiva.	187
8.2.3	Coste frente a sostenibilidad ambiental	189
8.2.4	Optimización simultanea de coste económico, facilidad constructiva y sostenibilidad ambiental.....	190
8.2.5	Coste frente a seguridad.....	191
8.2.6	Estudio de sensibilidad.....	192
8.3	Conclusiones.	194
9	Conclusiones y futuras líneas de investigación.....	195
9.1	Conclusiones.	197
9.2	Futuras líneas de investigación.	202
9.2.1	Métodos heurísticos y funciones objetivo.....	202
9.2.2	Modelos de cálculo adoptados.....	203
9.2.3	Tipología estructural y acciones.....	203
9.2.4	Difusión y aplicabilidad de los resultados.....	204
9.2.5	Otros aspectos.	204

Apéndices:

Apéndice 1. Valores de las variables.....	227
Apéndice 2. Mediciones del pórtico tipo.	251
Apéndice 3. Combinación de acciones.	259
Apéndice 4. Planos de las soluciones optimizadas.	263