

# ÍNDICE

---

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación.....	1
1.1.1 Clasificación de las redes de distribución de agua	
1.1.2 Estados de carga	
1.2 Necesidad de la tesis.....	7
1.3 Objetivos.....	9
1.4 Estructura de la tesis.....	10
2. ESTADO DEL ARTE EN LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....	13
2.1 Introducción al diseño de redes de agua.....	13
2.2 Fundamentos de diseño.....	14
2.2.1 Ecuaciones y variables de naturaleza hidráulica	
2.2.2 Variables de tipo económico	
2.3 Técnicas de diseño.....	21
2.3.1 Técnicas de tipo funcional	
2.3.1.1 Aplicación de criterios de velocidad admisible	
2.3.1.2 Aplicación del criterio de pendiente uniforme	
2.3.1.3 Dimensionado de redes malladas	

2.3.2 Técnicas de diseño económico	
2.3.2.1 Programación lineal	
2.3.2.2 Programación no lineal	
2.3.2.3 Programación dinámica	
2.3.2.4 Técnicas heurísticas	
2.3.2.4.1 Algoritmos Genéticos (AG)	
2.3.2.4.2 Simulated Annealing (SA)	
2.3.2.4.3 Particle Swarm Optimization (PSO)	
2.3.2.4.4 Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA)	
2.3.2.4.5 Harmony Search (HS)	
3. MODELOS HEURÍSTICOS DE OPTIMIZACIÓN.....	47
3.1 Introducción.....	47
3.2 Modelo de optimización Algoritmo Pseudogenético (APG).....	50
3.2.1 Operadores genéticos	
3.2.1.1 Proceso de reproducción	
3.2.1.2 Proceso de cruce	
3.2.1.3 Proceso de mutación	
3.3 Modelo de optimización Harmony Search (HS).....	60
3.3.1 Operadores HS	
3.4 Modelo Particle Swarm Optimization modificado (PSO).....	64
3.4.1 Operadores PSO	
3.4.1.1 Población del algoritmo (Nº de partículas)	
3.4.1.2 Velocidad máxima ( $V_{lim}$ )	

3.4.1.3 Constantes de aceleración ( $C_1$ y $C_2$ )	
3.4.1.4 Factor de inercia ( $w$ )	
3.4.1.5 Probabilidad de despiste ( $P_{\text{desp}}$ )	
3.5 Modelo de optimización Simulated Annealing (SA).....	71
3.5.1 Parámetros de optimización	
3.5.1.1 Temperatura (T)	
3.5.1.2 Velocidad de enfriamiento	
3.6 Modelo de optimización Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA)..	76
3.6.1 Operadores algoritmo SFL	
3.6.1.1 Parámetros relativos a la población del algoritmo (m y n)	
3.6.1.2 Parámetros relativos a la naturaleza de los saltos evolutivos (N, Q y C)	
4. CASOS DE ESTUDIO Y RESULTADOS.....	83
4.1 Introducción.....	83
4.2 Red de Hanoi.....	84
4.3 Red de Nueva York.....	89
4.4 Red R-9 de Joao Pessoa.....	94
4.5 Red de Go-Yang.....	99
5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SOLUCIONES.....	103
5.1 Introducción.....	103
5.2 Análisis de parámetros.....	104
5.2.1 Ajuste de parámetros Algoritmo Pseudogenético (APG)	
5.2.1.1 Red de Hanoi	

5.2.1.2 Red de Nueva York

5.2.1.3 Red R-9 de Joao Pessoa

5.2.1.4 Red de Go-Yang

5.2.2 Ajuste de parámetros Algoritmo PSO modificado

5.2.2.1 Red de Hanoi

5.2.2.2 Red de Nueva York

5.2.2.3 Red R-9 de Joao Pessoa

5.2.2.4 Red de Go-Yang

5.2.3 Ajuste de parámetros Harmony Search

5.2.3.1 Red de Hanoi

5.2.3.2 Red de Nueva York

5.2.3.3 Red R-9 de Joao Pessoa

5.2.3.4 Red de Go-Yang

5.2.4 Ajuste de parámetros Algoritmo SFL

5.2.4.1 Red de Hanoi

5.2.4.2 Red de Nueva York

5.2.4.3 Red R-9 de Joao Pessoa

5.2.4.4 Red de Go-Yang

5.3 Análisis de población del algoritmo..... 175

5.3.1 Ajuste de población Algoritmo Pseudogenético

5.3.1.1 Red de Hanoi

5.3.1.2 Red de Nueva York

5.3.1.3 Red R-9 de Joao Pessoa

5.3.1.4 Red de Go-Yang

5.3.2 Ajuste de población del algoritmo PSO modificado

5.3.2.1 Red de Hanoi

5.3.2.2 Red de Nueva York

5.3.2.3 Red R-9 de Joao Pessoa

5.3.2.4 Red de Go-Yang

5.3.3 Ajuste de población del algoritmo HS

5.3.3.1 Red de Hanoi

5.3.3.2 Red de Nueva York

5.3.3.3 Red R-9 de Joao Pessoa

5.3.3.4 Red de Go-Yang

5.3.4 Ajuste de población del algoritmo SFL

5.3.4.1 Red de Hanoi

5.3.4.2 Red de Nueva York

5.3.4.3 Red R-9 de Joao Pessoa

5.3.4.4 Red de Go-Yang

5.4 Análisis de la velocidad de cálculo en los modelos de optimización desarrollados..... 221

5.4.1 Influencia de los parámetros en la velocidad de cálculo del APG

5.4.2 Influencia de los parámetros en la velocidad de cálculo del algoritmo PSO modificado

5.4.3 Influencia de los parámetros en la velocidad de cálculo del algoritmo HS

5.4.4 Influencia de los parámetros en la velocidad de cálculo del algoritmo SFL

5.5 Resumen de resultados.....	249
5.5.1 Análisis de parámetros	
5.5.2 Análisis del tamaño de población	
5.5.3 Análisis de velocidad del algoritmo	
<b>6. EFICIENCIA DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN.....</b>	<b>255</b>
6.1 Introducción.....	255
6.2 Eficiencia de los modelos de optimización en la red de Hanoi.....	257
6.2.1 Algoritmo Pseudogenético	
6.2.2 Algoritmo PSO modificado	
6.2.3 Algoritmo HS	
6.2.4 Algoritmo SFL	
6.3 Eficiencia de los modelos de optimización en la red de Nueva York.....	273
6.3.1 Algoritmo Pseudogenético	
6.3.2 Algoritmo PSO modificado	
6.3.3 Algoritmo HS	
6.3.4 Algoritmo SFL	
6.4 Eficiencia de los modelos de optimización en la red R-9 de Joao Pessoa.....	288
6.4.1 Algoritmo Pseudogenético	
6.4.2 Algoritmo PSO modificado	
6.4.3 Algoritmo HS	
6.4.4 Algoritmo SFL	

6.5 Eficiencia de los modelos de optimización en la red de Go-Yang....	304
6.5.1 Algoritmo Pseudogenético	
6.5.2 Algoritmo PSO modificado	
6.5.3 Algoritmo HS	
6.5.4 Algoritmo SFL	
6.6 Aplicaciones basadas en el análisis de eficiencia.....	319
6.6.1. Aplicación a la ampliación de una red de trazado real	
6.6.2 Aplicación a la fiabilidad de una red de distribución	
6.6.2.1 Red de Hanoi	
6.6.2.2 Red de Nueva York	
6.6.2.3 Red R-9 de Joao Pessoa	
6.6.2.4 Red de Go-Yang	
7. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS.....	341
7.1 Conclusiones.....	341
7.1.1 Algoritmo Pseudogenético (APG)	
7.1.2 Algoritmo PSO	
7.1.3 Algoritmo SFL	
7.1.4 Algoritmo HS	
7.2 Desarrollos futuros.....	358
BIBLIOGRAFÍA.....	363
ANEXO. CONCLUSIONS AND FUTURE DEVELOPMENTS.....	371
ANEXO. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	391