

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes generales	2
1.1.1. Supuestos en Ingeniería	2
1.1.2. Motivación	2
1.1.3. Hipótesis	4
1.2. Objetivos y alcances	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos específicos	5
1.2.3. Alcances	5
1.3. Estado del arte	6
1.3.1. Análisis de sensibilidad	6
1.3.2. Métricas aplicadas para cuantificar el efecto de supuestos	7
1.3.3. Optimización	9
1.3.3.1. Optimización en Ingeniería de Procesos	9
1.3.3.2. Supuestos en Optimización	10
1.3.3.3. Análisis de sensibilidad en optimización	10
2. Caso de estudio: Redes de agua	14
2.1. Introducción	14
2.2. Optimización de redes de distribución de agua	16
3. Metodología	18
3.1. Algoritmo referencial	18
3.2. Determinación del rango de estabilidad	20
3.3. Cálculo del índice de estabilidad de parámetros	20
3.4. Recursos computacionales e implementación	21
3.5. Validación del algoritmo	22
4. Diagnóstico del algoritmo referencial	23
4.1. Ejemplo ilustrativo 1	24
4.1.1. Rango de estabilidad	25
4.1.2. Efecto del cambio de parámetros en las restricciones	27
4.1.3. Reflexiones parciales	31
4.2. Ejemplo ilustrativo 2	32
4.2.1. Planteamiento	32
4.2.1.1. Superestructura	32
4.2.1.2. Conjuntos	34
4.2.1.3. Parámetros	34

4.2.1.4.	Variables	34
4.2.1.5.	Restricciones	34
4.2.1.6.	Funciones objetivo	35
4.2.2.	Resultados del modelo de optimización	35
4.2.3.	Rango de estabilidad	36
4.2.4.	Configuraciones óptimas de la red en los extremos del rango de estabilidad	37
4.2.5.	Reflexiones parciales	39
4.3.	Ejemplo ilustrativo 3	40
4.3.1.	Planteamiento	40
4.3.1.1.	Superestructura	40
4.3.1.2.	Conjuntos	41
4.3.1.3.	Parámetros	41
4.3.1.4.	Variables	41
4.3.1.5.	Restricciones	42
4.3.1.6.	Función objetivo	42
4.3.1.7.	Ecuaciones adicionales	42
4.3.2.	Resultados del modelo de optimización	43
4.3.3.	Rango de estabilidad	43
4.3.4.	Configuraciones óptimas de la red en los extremos del rango de estabilidad	46
4.3.5.	Reflexiones parciales	47
4.4.	Reflexiones de los resultados preliminares	48
5.	Creación del nuevo algoritmo	50
5.1.	Características del nuevo algoritmo	50
5.2.	Descripción de las mejoras propuestas	53
5.2.1.	Iteraciones	53
5.2.1.1.	Funcionamiento iterativo	53
5.2.1.2.	Variables de interés	54
5.2.1.3.	Información previa de los parámetros	54
5.2.1.4.	Tiempo límite por iteración	54
5.2.2.	Adivinanza inicial	56
5.2.2.1.	Optimización de parámetros	56
5.2.3.	Finalización	59
5.2.3.1.	Índice de estabilidad	59
5.3.	Reflexiones de las ideas propuestas	60
5.4.	Algoritmo propuesto	61
6.	Comparación de resultados del algoritmo propuesto y el referencial	63
6.1.	Optimización de parámetros	63
6.2.	Determinación del rango de estabilidad	64
6.3.	Índice de estabilidad	66
6.4.	Discusiones	68
7.	Validación del algoritmo propuesto	69
7.1.	Ejemplo ilustrativo 4: Red de agua de Santiago	69
7.1.1.	Planteamiento	70
7.1.1.1.	Superestructura	70
7.1.1.2.	Parámetros	72

7.1.1.3. Variables	72
7.1.1.4. Restricciones	73
7.1.1.5. Funciones objetivo	74
7.1.2. Resultados del modelo de optimización	74
7.1.3. Rango de estabilidad	75
7.1.4. Índice de estabilidad	76
7.1.5. Reflexiones parciales	76
7.2. Validación	77
7.3. Reflexiones del algoritmo y la validación	80
8. Conclusión	83
Glosario	86
Bibliografía	87
Anexos	96
Anexo A. Situación hídrica de Chile frente al Cambio Climático	96
Anexo B. Antecedentes generales sobre optimización	99
B.1. Optimización matemática	99
B.2. Indicadores de sustentabilidad	101
B.3. Indicadores de sustentabilidad del agua	101
Anexo C. Ejemplo ilustrativo 1	103
C.1. Formulación	103
C.2. Solución óptima	103
C.3. Rango de estabilidad	104
C.3.1. Parámetro a	104
C.3.2. Parámetro b	106
C.4. Efecto del tiempo de resolución	108
C.4.1. Parámetro a	108
C.4.2. Parámetro b	109
C.5. Análisis de inecuaciones	110
C.6. Optimización de parámetros	113
C.7. Rango de estabilidad (algoritmo propuesto)	114
C.7.1. Parámetro a	114
C.7.2. Parámetro b	116
C.8. Índice de estabilidad	118
Anexo D. Ejemplo ilustrativo 2	119
D.1. Formulación	119
D.1.1. Conjuntos	119
D.1.2. Parámetros	119
D.1.3. Variables	120
D.1.4. Restricciones	120
D.1.5. Funciones objetivo	122
D.1.6. Supuestos del modelo	122

D.2.	Solución óptima	124
D.3.	Rango de estabilidad	125
D.3.1.	Parámetro D_{P_1}	125
D.3.2.	Parámetro D_{P_2}	128
D.3.3.	Parámetro $Cost_{T_1}$	131
D.3.4.	Parámetro $Cost_{T_2}$	134
D.4.	Efecto del tiempo de resolución	137
D.4.1.	Parámetro D_{P_1}	137
D.4.2.	Parámetro D_{P_2}	138
D.4.3.	Parámetro $Cost_{T_1}$	139
D.4.4.	Parámetro $Cost_{T_2}$	140
D.5.	Análisis de inecuaciones	141
D.6.	Optimización de parámetros	145
D.7.	Rango de estabilidad (algoritmo propuesto)	147
D.7.1.	Parámetro D_{P_1}	147
D.7.2.	Parámetro D_{P_2}	149
D.7.3.	Parámetro $Cost_{T_1}$	151
D.7.4.	Parámetro $Cost_{T_2}$	153
D.8.	Índice de estabilidad	155
Anexo E. Ejemplo ilustrativo 3		156
E.1.	Formulación	156
E.1.1.	Conjuntos	156
E.1.2.	Parámetros	156
E.1.3.	Variables	159
E.1.4.	Restricciones	160
E.1.5.	Función objetivo	164
E.1.6.	Ecuaciones adicionales	164
E.2.	Solución óptima	167
E.3.	Rango de estabilidad	170
E.3.1.	Parámetro $FPU_{P_1}^{in}$	170
E.3.2.	Parámetro $FPU_{P_2}^{in}$	172
E.3.3.	Parámetro r_{T_3}	175
E.3.4.	Parámetro IC_{T_1}	177
E.3.5.	Parámetro IC_{T_2}	180
E.3.6.	Parámetro IC_{T_3}	182
E.4.	Efecto del tiempo de resolución	184
E.4.1.	Parámetro $FPU_{P_1}^{in}$	184
E.4.2.	Parámetro $FPU_{P_2}^{in}$	187
E.4.3.	Parámetro r_{T_3}	190
E.4.4.	Parámetro IC_{T_1}	193
E.4.5.	Parámetro IC_{T_2}	196
E.4.6.	Parámetro IC_{T_3}	199
E.5.	Análisis de inecuaciones	202
E.6.	Optimización de parámetros	203
E.7.	Rango de estabilidad (algoritmo propuesto)	205
E.7.1.	Parámetro $FPU_{P_1}^{in}$	205

E.7.2.	Parámetro $FPU_{P_2}^{in}$	208
E.7.3.	Parámetro r_{T_3}	210
E.7.4.	Parámetro IC_{T_1}	212
E.7.5.	Parámetro IC_{T_2}	214
E.7.6.	Parámetro IC_{T_3}	216
E.8.	Índice de estabilidad	218
Anexo F. Ejemplo ilustrativo 4		219
F.1.	Formulación	219
F.1.1.	Conjuntos	219
F.1.1.1.	Subconjuntos	220
F.1.1.1.1	Sub-subconjuntos	220
F.1.1.1.2	Sub-sub-subconjuntos	221
F.1.1.2.	Otros tipos de conjuntos no mencionados previamente	222
F.1.1.3.	Sub-índices generales	222
F.1.1.4.	Sub-índices de plantas de tratamiento	223
F.1.2.	Parámetros	224
F.1.3.	Variables	225
F.1.4.	Restricciones	225
F.1.5.	Funciones objetivo	231
F.2.	Análisis de la formulación	232
F.2.1.	Características del problema	232
F.2.2.	Simplificaciones para la implementación del algoritmo	233
F.2.3.	Resumen del nuevo problema	234
F.2.4.	Parámetros de interés	234
F.3.	Solución óptima	235
F.4.	Optimización de parámetros	236
F.5.	Rango de estabilidad (algoritmo propuesto)	237
F.5.1.	Parámetro $DM_{\{RC,NW\}}$	237
F.5.2.	Parámetro $DM_{\{AC,SE\}}$	239
F.5.3.	Parámetro $DM_{\{IC,SE\}}$	241
F.5.4.	Parámetro E	243
F.5.5.	Parámetro M	245
F.6.	Índice de estabilidad	246
F.7.	Validación del algoritmo	247
F.7.1.	Parámetro $DM_{\{RC,NW\}}$	247
F.7.2.	Parámetro $DM_{\{AC,SE\}}$	248
F.7.3.	Parámetro $DM_{\{IC,SE\}}$	249
F.7.4.	Parámetro E	250
F.7.5.	Parámetro M	251
Anexo G. Publicación		252