

## TABLA DE CONTENIDOS

	página
<b>Dedicatoria</b>	<b>I</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>II</b>
<b>Tabla de Contenidos</b>	<b>III</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>VI</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>VIII</b>
<b>Resumen</b>	<b>IX</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>10</b>
1.1. Contexto del proyecto . . . . .	10
1.2. Presentación del problema . . . . .	11
1.3. Objetivos . . . . .	11
1.4. Propuesta de solución . . . . .	12
1.5. Alcances . . . . .	13
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>15</b>
2.1. Metodología de desarrollo . . . . .	15
2.2. Metodología de evaluación . . . . .	16
2.3. Herramientas para el desarrollo del software . . . . .	17
2.3.1. Lenguaje de programación Java . . . . .	17
2.3.2. Patrones de diseño . . . . .	19
2.3.3. Epanet Programming Toolkit . . . . .	20
2.4. Hidráulica hurbana . . . . .	21
2.4.1. Conceptos de básicos de hidráulica . . . . .	21
2.4.2. Red de distribución de agua . . . . .	21
2.5. Optimización . . . . .	23
2.5.1. Optimización monoobjetivo . . . . .	24
2.5.2. Optimización multiobjetivo . . . . .	25

2.6.	Heurística . . . . .	26
2.7.	Metaheurística . . . . .	26
2.8.	Algoritmos Evolutivos . . . . .	27
2.8.1.	Conceptos Generales . . . . .	27
2.8.2.	Algoritmo Genético . . . . .	30
2.8.3.	Algoritmo NSGAI ( <i>Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II</i> ) . . . . .	30
2.9.	Problemas de optimización en RDA . . . . .	37
2.9.1.	<i>Pipe Optimizing</i> . . . . .	37
2.9.2.	<i>Pumping Schedule</i> . . . . .	38
2.10.	Trabajo relacionado . . . . .	41
<b>3.</b>	<b>Metodología de desarrollo</b>	<b>44</b>
<b>4.</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>48</b>
4.1.	Concepción del proyecto . . . . .	48
4.2.	Funcionalidades . . . . .	49
4.3.	Planificación . . . . .	49
4.4.	Requisitos . . . . .	51
4.5.	Diseño . . . . .	53
4.5.1.	Detalles de implementación . . . . .	61
4.6.	Implementación . . . . .	65
4.7.	Pruebas . . . . .	72
<b>5.</b>	<b>Evaluación de la solución</b>	<b>77</b>
5.1.	Metodología de evaluación . . . . .	77
5.2.	Diseño del estudio de caso . . . . .	77
5.2.1.	Elección del caso . . . . .	78
5.2.2.	Objetivos de la investigación . . . . .	78
5.2.3.	Características a evaluar . . . . .	78
5.2.4.	Protocolo para conducir el estudio de caso . . . . .	79
5.2.5.	Unidad de análisis . . . . .	79
5.3.	Consideraciones preliminares . . . . .	79
5.4.	Recolección de datos . . . . .	80
5.5.	Análisis de datos . . . . .	81

5.5.1. Funcionalidad . . . . .	82
5.5.2. Usabilidad . . . . .	83
5.5.3. Utilidad . . . . .	83
5.5.4. Utilidad del manual de usuario . . . . .	85
5.6. Conclusiones del estudio . . . . .	86
<b>6. Conclusiones Y Trabajos Futuros</b>	<b>87</b>
6.1. Conclusiones . . . . .	87
6.2. Trabajo futuro . . . . .	88
<b>Bibliografía</b>	<b>90</b>
<b>Anexos</b>	
<b>A: Documento de especificación de requisitos</b>	<b>95</b>
<b>B: Documento de diseño</b>	<b>159</b>
<b>C: Manual de usuario</b>	<b>205</b>
<b>D: Documento de casos de prueba</b>	<b>229</b>
<b>E: Encuesta para la evaluación de la aplicación</b>	<b>279</b>
<b>F: Respuestas de la encuesta aplicada para evaluar la aplicación</b>	<b>289</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	página
2.1. Metodología iterativa e incremental . . . . .	16
2.2. Componentes físicos de un sistema de distribución de agua . . . . .	22
2.3. Gráfica objetivo versus generación para un problema . . . . .	24
2.4. Ejemplo de dominancia y Óptimo de Pareto . . . . .	25
2.5. Ejemplo frente de Pareto . . . . .	26
2.6. Cruzamiento en un punto . . . . .	29
2.7. Mutación aleatoria . . . . .	29
2.8. Pseudocódigo Algoritmo Evolutivo . . . . .	30
2.9. Pseudocódigo de la función de remplazo utilizada en el algoritmo NS- GAI . . . . .	31
2.10. Procedimiento NSGAI . . . . .	32
2.11. Frentes no dominados . . . . .	33
2.12. Pseudocódigo de la función de ordenamiento utilizada en NSGAI . .	34
2.13. Cálculo de la densidad de estimación al rededor de la solución $i$ . . .	35
2.14. Pseudocódigo de la función de asignación de densidad . . . . .	36
2.15. Representación de la solución del problema monoobjetivo <i>Pipe Opti- mizing</i> . . . . .	38
2.16. Representación de la solución problema multiobjetivo <i>Pumping Schedule</i>	41
4.1. Arquitectura física monolítica . . . . .	55
4.2. Arquitectura lógica Modelo-Vista-Controlador . . . . .	56
4.3. Diagrama de clases de la abstracción de la red resumido . . . . .	57
4.4. Diagrama de clases modulo metaheurística. . . . .	58
4.5. Código del método <i>runSingleStep</i> utilizado con GA y NSGAI . . . . .	59
4.6. Diagrama de clases para la simulación hidráulica . . . . .	61
4.7. Interfaz de clase <i>Registrable</i> . . . . .	62
4.8. Diagrama de actividades de la aplicación . . . . .	64
4.9. Ventana principal de la aplicación donde se visualiza la red . . . . .	67
4.10. Ventana de descripción del problema. . . . .	67
4.11. Ventana de configuración del problema. . . . .	68
4.12. Ventana de configuración de parámetros del operador <i>UniformSelection</i>	68

4.13. Ventana del retroalimentación mostrada durante la ejecución . . . . .	69
4.14. Ventana de resultados generada cuando termina la ejecución para el problema monoobjetivo Pipe Optimizing . . . . .	69
4.15. Ventana de simulación hidráulica utilizando los valores del archivo de red . . . . .	70
4.16. Uso de anotaciones en la clase que hereda <i>Registrable</i> para construir la interfaz de configuración del problema . . . . .	71
5.1. Gráfico circular de los resultados de la evaluación de funcionalidad de la aplicación . . . . .	82
5.2. Gráfico circular de los resultados de la evaluación de utilidad de la aplicación . . . . .	84
5.3. Gráfico circular de los resultados de la evaluación de la utilidad del manual de usuario . . . . .	85

## ÍNDICE DE TABLAS

	página
4.1. Planificación de las iteraciones . . . . .	50
4.2. Actividades y cambios de la fase de requisitos durante cada iteración	51
4.3. Especificación del requisito de usuario RU004. . . . .	52
4.4. Especificación del requisito de usuario RU002. . . . .	52
4.5. Especificación del requisito de usuario RU020. . . . .	53
4.6. Actividades y cambios en la fase de diseño durante cada iteración . .	54
4.7. Actividades fase de implementación . . . . .	65
4.8. Especificación caso de prueba manual MT001 . . . . .	73
4.9. Especificación caso de prueba manual MT002 . . . . .	73
4.10. Especificación caso de prueba manual MT003 . . . . .	74
4.11. Especificación caso de prueba manual MT013 . . . . .	74
4.12. Especificación caso de prueba manual MT014 . . . . .	75
4.13. Especificación caso de prueba manual MT015 . . . . .	75
4.14. Especificación caso de prueba manual MT016 . . . . .	76
5.1. Resultados de la evaluación de la funcionalidad . . . . .	82
5.2. Escala de rangos de <i>SUS Score</i> . . . . .	83
5.3. Resultados de la evaluación de la utilidad . . . . .	84
5.4. Resultados de la evaluación de la utilidad del manual de usuario . . .	86