

Índice General

AGRADECIMIENTOS	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
Resumen	VI
Abstract	VIII
Resum.....	X
Índice General	XII
Lista de figuras.....	XVI
Lista de tablas	XVIII
Lista de abreviaturas	XIX
Capítulo 1. Introducción	22
1.1. INTRODUCCIÓN	22
1.2. MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.3. OBJETIVOS	25
1.3.1. Objetivo General.....	25
1.3.2. Objetivos específicos	26
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	26
1.5. ANTECEDENTES.....	28
1.5.1. Introducción a los antecedentes	28
1.5.2. Monitorización y gestión de sistemas de distribución de agua	29
1.5.2.1. Evolución histórica y necesidad de la monitorización en redes de agua	29
1.5.2.2. Métodos tradicionales de monitoreo y sus limitaciones	31
1.5.2.3. Tecnologías para la monitorización y control en sistemas de distribución de agua potable	32
1.5.3. Digitalización, modelado hidráulico y Digital Twins en sistemas de distribución de agua potable	34
1.5.4. Detección de anomalías y estimación del estado en redes de agua.....	37

1.5.5.	Inteligencia artificial aplicada a Redes de Agua	45
1.5.6.	Brechas de investigación y contribución del enfoque propuesto	49
1.6.	ESTRUCTURA DE LA TESIS	51
Capítulo 2. Un gemelo digital de un sistema de distribución de agua mediante el uso de redes convolucionales de grafos para la estimación del estado basada en la velocidad de la bomba		54
2.1.	ABSTRACT	55
2.2.	INTRODUCTION	55
2.3.	MATERIALS AND METHODS.....	58
2.3.1.	Temporal-Graph Convolutional Neural Networks	59
2.3.2.	Evaluation Parameters	60
2.3.3.	Pressure and Flow Calculation from the Estimated Relative Speed	61
2.4.	CASE STUDIES	62
2.4.1.	Network 1: Patios Network-Villa del Rosario	62
2.4.2.	Network 2: C-Town Network	63
2.4.3.	Data Set Generation for T-GCN Application	63
2.5.	RESULTS	65
2.5.1.	T-GCN Evaluation for Pump Speed Estimation	65
2.5.2.	Estimation of Pressure and Flowrate Using Estimated Pump Speeds	70
2.6.	CONCLUSIONS.....	73
Capítulo 3. Digitalización de los sistemas de distribución de agua en ciudades pequeñas, una herramienta para la verificación y el análisis hidráulico: un estudio de caso de Pamplona, Colombia		75
3.1.	ABSTRACT	76
3.2.	INTRODUCTION	76
3.3.	MATERIALS AND METHODS.....	80
3.3.1.	Analysis of Existing Information	82
3.3.2.	Conceptualization of the Hydraulic Model	83
3.3.3.	Drone Assistance	84

3.3.4.	Consumption Analysis and Demand Pattern.....	86
3.3.5.	Hydraulic Model, Hydraulic Analysis, and Non-Revenue Water Basic Index	88
3.3.6.	Study Location.....	88
3.4.	RESULTS	89
3.4.1.	Existing Data and Conceptualization of the Hydraulic Model in Pamplona	89
3.4.2.	Drone Assistance	93
3.4.3.	Consumption Analysis and Demand Pattern.....	94
3.4.4.	Building of the Model for Hydraulic Analysis	95
3.5.	DISCUSSION.....	99
3.6.	CONCLUSIONS.....	100
Capítulo 4. Evaluación de los impactos de fallos en los sistemas de monitorización en modelos de estimación de estado en tiempo real basados en datos utilizando redes neuronales de grafos convolucionales y redes de memoria larga a corto plazo para redes de distribución de agua.....		102
4.1.	ABSTRACT	103
4.2.	INTRODUCTION	103
4.3.	MATERIALS AND METHODS.....	107
4.3.1.	Graph Creation and GCN-LSTM Model Architecture	108
4.3.1.1.	Graph Convolutional Network.....	109
4.3.1.2.	Long Short-Term Memory	110
4.3.1.3.	GCN-LSTM Model.....	111
4.3.2.	Experimental Design and Performance Evaluation Metrics	111
4.3.3.	Assessing the Impacts of Failures	112
4.4.	CASE SETTINGS AND AVAILABLE DATA.....	113
4.4.1.	Data Generation	113
4.4.2.	Case Studies	115
4.5.	RESULTS	116
4.5.1.	Time Series Generated by the Sensors.....	116
4.5.2.	State Estimation in Response to Leakage	121

4.5.3. Sensor Failure Simulation Assessment Results	127
4.6. DISCUSSION	137
4.7. CONCLUSIONS	138
Capítulo 5. Discusión.....	141
5.1. DISCUSIÓN GENERAL.....	141
5.2. DISCUSIÓN DEL CAPÍTULO 2.....	144
5.3. DISCUSIÓN DEL CAPÍTULO 3.....	146
5.4. DISCUSIÓN DEL CAPÍTULO 4.....	148
Capítulo 6. Conclusiones y líneas futuras.....	151
6.1. CONCLUSIONES	151
6.1.1. Conclusiones sobre la metodología de estimación de estado.....	152
6.1.2. Conclusiones sobre la detección de anomalías.....	153
6.1.3. Conclusiones sobre la viabilidad y aplicabilidad de gemelos digitales	155
6.1.4. Conclusiones sobre la aplicación en casos de estudio y su evaluación en términos de mejoras operativas	156
6.1.5. Conclusiones generales.....	157
6.2. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	158
Referencias.....	161