

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Capítulo I</b> .....	29
<b>Introducción y objetivos</b> .....	29
I.1. Introducción .....	31
I.2. Objetivo general .....	40
I.3. Objetivos específicos .....	41
<b>Capítulo II</b> .....	43
<b>Marco teórico</b> .....	43
II.1. Introducción .....	45
II.2. Sistemas de distribución de agua .....	46
II.2.1. Red de distribución de agua .....	46
II.2.2. Tensiones Mecánicas sobre las tuberías .....	48
II.2.3. Fugas .....	49
II.2.4. Análisis de fiabilidad del sistema .....	53
II.3. Minería de datos (Data Mining) .....	57
II.3.1. El Proceso de KDD .....	58
II.3.1.1. Representación del conocimiento .....	61
II.3.1.2. El modelo de procesos CRISP-DM .....	66
II.3.1.3. Reducción de Datos .....	72
II.3.1.4. Modelos Básicos de Minería de Datos .....	75
II.3.1.5. Evaluación e Interpretación .....	77
II.3.1.6. Construcción de multclasificadores .....	80
II.3.2. Inteligencia artificial .....	81
II.3.3. Técnicas de minería de datos .....	81
II.3.3.1. Técnicas estadísticas .....	82
II.3.3.2. Algoritmos Genéticos .....	83
II.3.3.3. Particle Swarm Optimization (PSO) .....	93
II.3.3.4. Lógica Fuzzy (Borrosa o Difusa) .....	97
II.3.3.5. Conjuntos aproximados (Rough Sets) .....	107
II.3.3.6. Redes Neuronales Artificiales .....	120
II.3.3.7. Árboles de decisión .....	132
II.3.3.8. Métodos gráficos .....	142
II.3.3.9. Reglas de decisión .....	148
II.3.3.10. Reglas de asociación .....	149
II.3.3.11. Métodos de agrupamiento .....	150
II.3.3.12. Técnicas de visualización .....	151
II.4. Notas finales .....	153
<b>Capítulo III</b> .....	155
<b>Antecedentes y estado del arte</b> .....	155
III.1. Introducción .....	157
III.2. Estado del arte .....	158
III.3. Contribuciones propias .....	194
III.4. Notas Finales .....	194
<b>Capítulo IV</b> .....	197
<b>Aplicación práctica</b> .....	197
IV.1. Introducción .....	199
IV.2. Descripción de la zona de estudio .....	201
IV.2.1. Ubicación Geográfica .....	202
IV.2.2. Localización General del municipio de Calarcá .....	204
IV.2.3. Geología Y Geomorfología .....	205
IV.2.4. Climatología .....	205

IV.2.4.1.	Precipitación .....	207
IV.2.4.2.	Temperatura .....	208
IV.2.4.3.	Humedad relativa .....	209
IV.2.4.4.	Brillo solar.....	210
IV.2.4.5.	Vientos .....	210
IV.2.5.	Hidrografía .....	211
IV.2.5.1.	Red de Drenaje .....	211
IV.2.5.2.	Usos del Recurso Hídrico.....	211
IV.2.5.3.	Cuencas Hidrográficas .....	211
IV.3.	Descripción de la información .....	221
IV.3.1.	Generalidades del abastecimiento de Calarcá.....	221
IV.3.2.	Peticiones, Quejas y Reclamos PQR's .....	225
IV.3.2.1.	Definiciones .....	227
IV.3.2.2.	Descripción de la base de datos .....	228
IV.4.	Dificultades.....	244
<b>Capítulo V</b>	.....	<b>247</b>
<b>Resultados y discusión</b>	.....	<b>247</b>
V.1.	Introducción .....	249
V.2.	Manejo de la información.....	249
V.3.	Selección de datos .....	251
V.4.	Modelado.....	267
V.4.1.	Soluciones del modelado .....	270
V.4.1.1.	Prototipo 1 .....	270
V.4.1.2.	Prototipo 2 .....	274
V.4.1.3.	Prototipo 3.....	276
V.4.2.	Discusión.....	280
V.4.2.1.	Prototipo 1 .....	281
V.4.2.2.	Prototipo 2.....	290
V.4.2.3.	Prototipo 3.....	291
V.5.	Aplicación a la gestión del abastecimiento.....	299
V.6.	Recomendaciones .....	302
<b>Capítulo VI</b>	.....	<b>305</b>
<b>Conclusiones y desarrollos futuros</b>	.....	<b>305</b>
VI.1.	Conclusiones generales .....	307
VI.2.	Conclusiones específicas.....	309
VI.3.	Conclusiones de recomendaciones de gestión .....	311
VI.4.	Desarrollos futuros .....	312
<b>Capítulo VII</b>	.....	<b>315</b>
<b>Bibliografía</b>	.....	<b>315</b>
<b>Anexos</b>	.....	<b>331</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura II.1.</b>	Diferentes tipos de tensión soportados por una tubería.....	48
<b>Figura II.2.</b>	Pasos del KDD.....	59
<b>Figura II.3.</b>	Escenario típico que representa la intervención humana en el proceso de aprendizaje.....	60
<b>Figura II.4.</b>	Ejemplos de tipos de datos (a) Continuos (b) Ordinales (c) nominales (d) estructura de árbol.....	62
<b>Figura II.5.</b>	Diferentes modelos de granulación de la información (a) numérica (b) intervalo (c) borrosa (d) aproximada.....	63
<b>Figura II.6.</b>	Efecto de la granulación en un sistema basado en reglas .....	65
<b>Figura II.7.</b>	Modelo de procesos CRISP-DM.....	67
<b>Figura II.8.</b>	Ejemplo de programación genética para descubrimiento de reglas.....	86
<b>Figura II.9.</b>	Cruzamiento de un punto (one-point crossover) .....	91
<b>Figura II.10.</b>	Mecanismos de mutación en cadenas binarias .....	92
<b>Figura II.11.</b>	Funciones de Pertenencia Trapezoidal, Gaussiana y Exponencial.....	103
<b>Figura II.12.</b>	Modelo de neurona artificial. ....	126
<b>Figura II.13.</b>	Topología de redes neuronales sin ciclos y cíclica.....	128
<b>Figura II.14.</b>	Un árbol de decisión corta el espacio en cajas. ....	133
<b>Figura II.15.</b>	Sobreaajuste o Superajuste (Overfitting) .....	140
<b>Figura II.16.</b>	Red Bayesiana.....	143
<b>Figura II.17.</b>	Diagrama de influencia para tomar la decisión de una actividad de ocio .....	146
<b>Figura IV.1.</b>	Colombia en Sudamérica y ubicación del departamento del Quindío en Colombia.....	202
<b>Figura IV.2.</b>	Municipios del Departamento del Quindío.....	203
<b>Figura IV.3.</b>	División política del Municipio de Calarcá.....	204
<b>Figura IV.4.</b>	Localización estación La Bella .....	206
<b>Figura IV.5.</b>	Precipitaciones Estación La bella.....	208
<b>Figura IV.6.</b>	Temperaturas Estación La bella .....	209
<b>Figura IV.7.</b>	Distribución anual de la Humedad Relativa en la Estación La Bella....	209
<b>Figura IV.8.</b>	Distribución mensual del Brillo Solar en la Estación La Bella .....	210
<b>Figura IV.9.</b>	Red de drenaje en el municipio de Calarcá .....	212
<b>Figura IV.10.</b>	Plano de riesgo en el Municipio de Calarcá.....	226
<b>Figura IV.11.</b>	Esquema de una acometida típica. ....	227
<b>Figura IV.12.</b>	Formato de un PQR.....	229
<b>Figura IV.13.</b>	Reportes PQR's para el año 2006 .....	230
<b>Figura IV.14.</b>	Número de reportes PQR's y Precipitación mensual .....	230
<b>Figura IV.15.</b>	Tipos de Daños Reportados .....	231
<b>Figura IV.16.</b>	Relación de tipos de daños reportados en cada mes.....	232
<b>Figura IV.17.</b>	Distribución de los reclamos en el día.....	233
<b>Figura IV.18.</b>	Daños por red.....	233
<b>Figura IV.19.</b>	Distribución de daños por diámetros .....	234
<b>Figura IV.20.</b>	Distribución de materiales .....	234
<b>Figura IV.21.</b>	Tiempos de reparación .....	235
<b>Figura IV.22.</b>	Reparación de daños.....	235
<b>Figura IV.23.</b>	Conformación de cuadrillas de trabajo.....	236
<b>Figura IV.24.</b>	Ubicación de los PQR's en las zonas de riesgo por fenómenos naturales .....	237
<b>Figura IV.25.</b>	Patrón diario de consumo de agua en el municipio de Calarcá .....	238
<b>Figura IV.26.</b>	Ubicación de los puntos medidores de presión en la red .....	238

<b>Figura IV.27.</b>	Gráficos de las presiones horarias en la red .....	242
<b>Figura V.1.</b>	Diagrama de puntos de las variables Tipo de daño, Diámetro en el PQR, Material en el PQR, Corrección de daño.....	252
<b>Figura V.2.</b>	Relación entre el tipo de daño y los diámetros de los reportes PQR's .....	253
<b>Figura V.3.</b>	Diagrama de puntos de variables Tipo de daño, Temperatura, Humedad relativa y Brillo solar en la estación La Bella.....	253
<b>Figura V.4.</b>	Relación entre el tipo de daño y la temperatura en la estación la Bella ...	254
<b>Figura V.5.</b>	Relación entre el tipo de daño y la humedad relativa en la estación La Bella .....	254
<b>Figura V.6.</b>	Relación entre el tipo de daño y el brillo solar en la estación La Bella .....	255
<b>Figura V.7.</b>	Relación entre el tipo de daño y la precipitación en la estación La Bella..	256
<b>Figura V.8.</b>	Diagrama de puntos de variables Tipo de daño, Precipitación en las estaciones La Bella, Jardín, Quebradanegra .....	256
<b>Figura V.9.</b>	Diagrama de puntos de variables Tipo de daño, Material, Diámetro, Longitud del tramo y Rugosidad en el modelo hidráulico .....	257
<b>Figura V.10.</b>	Relación entre el tipo de daño y la longitud de los tramos en la red .....	257
<b>Figura V.11.</b>	Relación entre el tipo de daño y la rugosidad del material en la red .....	258
<b>Figura V.12.</b>	Diagrama de puntos de variables Tipo de daño, Caudales horarios en el modelo hidráulico .....	259
<b>Figura V.13.</b>	Diagrama de puntos de variables Tipo de daño, Caudal y Pérdida media del modelo hidráulico, Presión media en el PQR.....	259
<b>Figura V.14.</b>	Relación entre el tipo de daño y el caudal medio en la red .....	260
<b>Figura V.15.</b>	Relación entre el tipo de daño y la presión media en los PQR's.....	260
<b>Figura V.16.</b>	Relación entre el tipo de daño y la pérdida media en la red .....	261
<b>Figura V.17.</b>	Diagrama de puntos de variables Tipo de daño, Presiones horarias en el PQR del modelo hidráulico.....	261
<b>Figura V.18.</b>	Diagrama de puntos de variables utilizadas en los prototipos desarrollados .....	262
<b>Figura V.19.</b>	Relación entre el diámetro y el material en los registros PQR's.....	263
<b>Figura V.20.</b>	Relación entre el tipo de daño y el material reportado en el PQR .....	264
<b>Figura V.21.</b>	Relación entre el tipo de daño y el material de la red .....	265
<b>Figura V.22.</b>	Relación entre el Tipo de daño y la Presión media diaria en PQR's ....	266
<b>Figura V.23.</b>	Distribución Tipo de Daño según el nivel de riesgo.....	266
<b>Figura V.24.</b>	Fuerza de relaciones entre diferentes variables .....	267
<b>Figura V.25.</b>	Distribución de los materiales reportados en los PQR's como entrada al modelo C&RT presentado en el Anexo 2A.....	282
<b>Figura V.26.</b>	Resultado de la distribución de los materiales reportados con el modelo C&RT presentado en el Anexo 2A.....	282
<b>Figura V.27.</b>	Distribución de las cuadrillas de trabajo como dato de entrada al modelo C&RT presentado en el Anexo 2A.....	283
<b>Figura V.28.</b>	Distribución de las cuadrillas de trabajo resultantes del modelo C&RT presentado en el Anexo 2A.....	283
<b>Figura V.29.</b>	Distribución de materiales reportados de acuerdo al modelo C&RT presentado en el Anexo 2C.....	284
<b>Figura V.30.</b>	Distribución de cuadrillas resultantes de acuerdo al modelo C&RT presentado en el Anexo 2C.....	285

<b>Figura V.31.</b>	Distribución de materiales reportados correspondiente al modelo C&RT resultante del Anexo 2D.....	285
<b>Figura V.32.</b>	Distribución de las cuadrillas de trabajo correspondiente al modelo C&RT resultante del Anexo 2D.....	286
<b>Figura V.33.</b>	Distribución de la variable material reportado entrante al modelo presentado en el Anexo 2E.....	287
<b>Figura V.34.</b>	Distribución de la variable material reportado resultante del modelo presentado en el Anexo 2E.....	287
<b>Figura V.35.</b>	Distribución de la variable se corrigió daño entrante al modelo presentado en el Anexo 2E.....	288
<b>Figura V.36.</b>	Distribución de la variable se corrigió daño resultante del modelo presentado en el Anexo 2E.....	288
<b>Figura V.37.</b>	Distribución de la variable cuadrilla de trabajadores entrante al modelo presentado en el Anexo 2E.....	289
<b>Figura V.38.</b>	Distribución de la variable cuadrilla de trabajadores resultante del modelo presentado en el Anexo 2E.....	290
<b>Figura V.39.</b>	Distribución de los conjuntos de entrenamiento y comprobación para el modelo mostrado en el Anexo 2G.....	294
<b>Figura V.40.</b>	Distribución de la variable material reportado resultante del modelo presentado en el Anexo 2G.....	295
<b>Figura V.41.</b>	Distribución de la variable se corrigió daño resultante del modelo presentado en el Anexo 2G.....	295
<b>Figura V.42.</b>	Distribución de la variable nivel de riesgo resultante del modelo presentado en el Anexo 2G.....	296
<b>Figura V.43.</b>	Distribución de la variable material en la red resultante del modelo presentado en el Anexo 2G.....	296
<b>Figura V.44.</b>	Distribución de la variable cuadrilla de trabajadores resultante del modelo presentado en el Anexo 2G.....	296
<b>Figura V.45.</b>	Distribución de los conjuntos de entrenamiento y comprobación para el modelo mostrado en el Anexo 2H.....	297
<b>Figura V.46.</b>	Distribución de la variable material reportado resultante del modelo presentado en el Anexo 2H.....	298
<b>Figura V.47.</b>	Distribución de la variable se corrigió daño resultante del modelo presentado en el Anexo 2H.....	298
<b>Figura V.48.</b>	Distribución de la variable cuadrilla de trabajadores resultante del modelo presentado en el Anexo 2H.....	299
<b>Figura V.49.</b>	Distribución de la variable material en la red resultante del modelo presentado en el Anexo 2H.....	299



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla IV.1.</b>	Localización de la Estación Meteorológica La Bella .....	206
<b>Tabla IV.2.</b>	Clasificación del Clima en Calarcá .....	207
<b>Tabla IV.3.</b>	Características de los rangos de pendientes del río Santo Domingo	216
<b>Tabla IV.4.</b>	Puntos de toma de presión en la red.....	239
<b>Tabla IV.5.</b>	Diferencia de presiones entre el promedio del modelo hidráulico y las medidas en la red en m.c.a. ....	243
<b>Tabla V.1.</b>	Criterios para la selección de una herramienta de minería de datos.....	269
<b>Tabla V.2.</b>	Resumen de cada uno de los diferentes modelos entrenados y tiempo de entrenamiento para en prototipo 1.....	272
<b>Tabla V.3.</b>	Resumen de configuración y resultados de los modelos entrenados en el prototipo 2 .....	275
<b>Tabla V.4.</b>	Resultados de los modelos después de Kohonen en el prototipo 2 .....	276
<b>Tabla V.5.</b>	Diferentes configuraciones de modelos RBFN en el prototipo 2 .....	276
<b>Tabla V.6.</b>	Porcentajes de clasificaciones correctas para el prototipo 3 .....	277
<b>Tabla V.7.</b>	Clasificaciones correctas para diferentes métodos de ANN en el prototipo 3.....	278
<b>Tabla V.8.</b>	Tiempo de entrenamiento, porcentaje de clasificaciones y número de neuronas para los diferentes modelos entrenados en el prototipo 3 .....	292