UNIVERSIDAD DEL AZUAY

ESCUELA DE POSGRADOS

Evaluación y propuesta de redistribución del sistema de agua potable de la parroquia de El Valle, cantón Cuenca.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

Magíster en Hidrosanitaria

Autora:

Ing. María Gabriela Pérez Jaramillo.

Cuenca – Ecuador

2026

Contenido

AGRADECIMIENTO ix
DEDICATORIA x
RESUMEN xi
ABSTRACT xii
1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1
1.1. Antecedentes 2
1.2. Justificación 3
1.3. Pregunta de investigación 3
1.4. Objetivos 4
1.4.1. Objetivo General 4
1.4.2. Objetivos Específicos 4
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 5
2.1. Definiciones Generales 5
2.1.1. Agua Potable 5
2.1.2. Contaminación 5
2.1.3. Contaminante 5
2.1.4. Calidad física 6
2.1.5. Límite máximo tolerable 6
2.1.6. Límite máximo permisible 6
2.1.7. Sistema de abastecimiento de Agua Potable. 6
2.1.8. Período de diseño 6
2.1.9. Vida útil 6
2.1.10. Dotación media actual 7
2.1.11. Dotación media futura 7
2.1.12. Caudal medio anual 7
2.1.13. Caudal máximo diario 8
2.1.14. Caudal máximo horario 8
2.1.15. Nivel de servicio 8
2.1.16. Detección de fugas 8
2.1.17. Pérdida de agua potable 8
2.1.18. Pérdidas físicas 9
2.1.19. Pérdidas comerciales 9

2.1.20. Fugas 9
2.1.21. Factor de mayoración máximo diario 9
2.1.22. Factor de mayoración máximo horario 9
2.1.23. Tanque de almacenamiento 10
2.1.24. Red de distribución 10
2.1.25. Red Abierta 10
2.1.26. Red Cerrada 10
2.1.27. Red Mixta 10
2.1.28. Unidad de agua 11
2.1.29. Conexión domiciliaria 11
2.1.30. Usuario 11
2.1.31. Abonado 11
2.1.32. Tarifa referencial de consumo 11
2.1.33. Macromedición 11
2.1.34. Micromedición 12
2.1.35. Índice de agua no contabilizada 12
2.1.36. Catastro de redes 12
2.1.37. Sectorización de redes 12
2.1.38. Modelación hidráulica 13
2.1.39. Calibración de un modelo 13
2.1.40. Validación de un modelo 13
2.1.41. Software de modelación 13
2.1.42. Software WaterGEMS 13
2.1.43. Esqueletización de la red 14
2.1.44. Tubería 14
2.1.45. Nodos 14
2.1.46. Hidrantes 14
2.1.47. Válvula de control 14
2.1.48. Válvula de operación 14
2.1.49. Válvula de purga 14
2.1.50. Válvula reductora de presión 15
2.1.51. Válvula de aire 15
2.1.52. Válvula de bola 15

2.1.53. Válvula compuerta 15
2.1.54. Válvula mariposa 15
2.2. Ecuaciones Generales 15
2.2.1. Fluido 15
2.2.2. Flujo uniforme 16
2.2.3. Flujo no uniforme 16
2.2.4. Flujo estacionario 16
2.2.5. Flujo transitorio 17
2.2.6. Números característicos 17
2.2.7. Número de Reynolds 17
2.2.8. Ecuación de Bernoulli 17
2.2.9. Ecuación de la continuidad (Ley de conservación de masa) 18
2.2.10. Ecuación de Darcy–Weisbach 18
2.2.11. Ecuación de Hazen-Williams 19
2.2.12. Gradiente hidráulico 19
2.2.13. Relación entre Línea de Gradiente Hidráulico (Hydraulic Grade Line HGL) y presión 20
2.3. Estado del arte 21
3. CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA 25
3.1. Recopilación de información y descripción del sector 26
3.1.1. Parámetros para la evaluación operativa de la red 36
3.1.2. Redistribución de usuarios propuesta por ETAPA EP 38
3.2. Evaluación Operativa de la red 40
3.3. Evaluación operativa del estado actual de la red 41
3.3.1. Evaluación de velocidades 41
3.3.2. Evaluación de pérdidas de carga 44
3.3.3. Evaluación de presiones 47
3.3.4. Evaluación general del estado actual de la red (escenario 2025) 49
3.4. Evaluación operativa de la red para el año 2050 50
3.4.1. Evaluación de velocidades año 2050 50
3.4.2. Evaluación de pérdida de carga año 2050 53
3.4.3. Evaluación de presiones año 2050 55
3.5. Comparación de los resultados de evaluación operativa de la red 57

3.6. Transición hacia la propuesta de optimización del sistema 60

4. CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA HASTA EL AÑO 2050 61

4.1. Enfoque de la propuesta hidráulica 61

4.2. Criterios de diseño adoptados 61

4.3. Propuesta de modificación de diámetros 62

4.4. Incorporación de nuevas tuberías 66

4.5. Implementación de válvulas de control de presión 68

4.6. Evaluación del sistema optimizado al año 2050 71

4.7. Conclusión de la propuesta 73

Conclusiones 75

Recomendaciones 76

Referencias 77

Índice de Figuras

Figura 1. Sectores de análisis en la parroquia rural del Valle 27
Figura 2. Diámetro de las tuberías y presiones en los nodos existentes, sector Castilla Cruz 29
Figura 3. Diámetro de las tuberías y presiones en los nodos existentes, sector San Francisco..... 29
Figura 4. Diámetro de las tuberías y presiones en los nodos existentes, sector El censo..... 30
Figura 5. Delimitación de áreas de distribución sector Castilla Cruz (escenario actual y propuesto) 39
Figura 6. Delimitación de áreas de distribución sector San Francisco (escenario actual y propuesto) 39
Figura 7. Delimitación de áreas de distribución sector El Censo (escenario actual y propuesto).... 39
Figura 8. Velocidades en la red año 2025 del sector Castilla Cruz..... 43
Figura 9. Velocidades en la red año 2025 del sector San Francisco 43
Figura 10. Velocidades en la red año 2025 del sector El Censo 44
Figura 11. Pérdidas de carga en la red año 2025 del sector Castilla Cruz 45
Figura 12. Pérdidas de carga en la red año 2025 del sector San Francisco..... 46
Figura 13. Pérdidas de carga en la red año 2025 del sector El Censo..... 46
Figura 14. Variación de presiones dinámicas en la red año 2025 sector Castilla Cruz..... 48
Figura 15. Variación de presiones dinámicas en la red año 2025 sector San Francisco 48
Figura 16. Variación de presiones dinámicas en la red año 2025 sector El Censo 49
Figura 17. Velocidades en la red año 2050, sector Castilla Cruz..... 51
Figura 18. Velocidades en la red año 2050, sector San Francisco 52
Figura 19. Velocidades en la red año 2050, sector El Censo 52
Figura 20. Pérdidas de carga en la red año 2050, sector Castilla Cruz 53
Figura 21. Pérdidas de carga en la red año 2050, sector San Francisco..... 54
Figura 22. Pérdidas de carga en la red año 2050, sector El Censo..... 54
Figura 23. Variación de presiones en la red año 2050, sector Castilla Cruz..... 55
Figura 24. Variación de presiones en la red año 2050, sector San Francisco 56
Figura 25. Variación de presiones en la red año 2050, sector El Censo 56
Figura 26. Red optimizada – Sector Castilla Cruz con nuevas tuberías (2050)..... 66
Figura 27. Red optimizada – Sector San Francisco con nuevas tuberías (2050) 67
Figura 28. Red optimizada – Sector El Censo con nuevas tuberías (2050) 67
Figura 29. Ubicación de válvulas PRV – Modelo 2025, Castilla Cruz..... 68
Figura 30. Ubicación de válvulas PRV – Modelo optimizado 2050, Castilla Cruz..... 69
Figura 31. Ubicación de válvulas PRV – Modelo 2025, San Francisco 69

Figura 32. Ubicación de válvulas PRV – Modelo optimizado 2050, San Francisco 70
Figura 33. Ubicación de válvulas PRV – Modelo 2025, El Censo 70
Figura 34. Ubicación de válvulas PRV – Modelo optimizado 2050, El Censo 71
Figura 35. Pérdidas de carga y Presiones dinámicas – Modelo optimizado 2050, Castilla Cruz 72
Figura 36. Pérdidas de carga y Presiones dinámicas – Modelo optimizado 2050, San Francisco... 72
Figura 37. Pérdidas de carga y Presiones dinámicas – Modelo optimizado 2050, El Censo..... 73

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen estudios realizados 23
Tabla 2. Datos generales de los subsectores de la parroquia del Valle 27
Tabla 3. Descripción de redes existentes 28
Tabla 4. Valores de caudal por sector, estado actual año 2025 30
Tabla 5. Valor de rugosidad, coeficiente C de Hazen - Williams 36
Tabla 6. Factores utilizados por Etapa EP 37
Tabla 7. Proyección ETAPA – Sector Castilla Cruz 37
Tabla 8. Proyección ETAPA – Sector San Francisco 37
Tabla 9. Proyección ETAPA – Sector El Censo 38
Tabla 10. Distribución actual de usuarios y propuesta 38
Tabla 11. Comparación de los resultados de evaluación operativa de la red 58
Tabla 12. Distribución de diámetros de tuberías – Sector Castilla Cruz (2025 vs 2050) 63
Tabla 13. Distribución de diámetros de tuberías – Sector San Francisco (2025 vs 2050) 64
Tabla 14. Distribución de diámetros de tuberías – Sector El Censo (2025 vs 2050) 65

AGRADECIMIENTO

A la Universidad del Azuay y a su escuela de posgrados, por brindarme la oportunidad de especializarme; a ETAPA EP, por la información técnica facilitada para este estudio; y a mi director de tesis por su guía y apoyo.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza para alcanzar esta meta; a mis padres, a mis hermanas, a mi sobrina, y a Esteban, quienes siempre me apoyan y siembran en mí amor y perseverancia para cumplir mis objetivos.

RESUMEN

Título: Evaluación y propuesta de redistribución del sistema de agua potable de la parroquia de El Valle, cantón Cuenca.

Autora: Ing. María Gabriela Pérez Jaramillo.

El presente trabajo de investigación evalúa el comportamiento hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable en la parroquia rural El Valle, cantón Cuenca, analizando los sectores alimentados por los tanques Castilla Cruz, San Francisco y El Censo. El crecimiento poblacional progresivo y la topografía irregular de la zona han generado desequilibrios hidráulicos con respecto al diseño original y las fases en las que se construyó la red, evidenciando problemas de falta de capacidad y nudos con presiones dinámicas fuera de lo recomendable.

Mediante el uso del software especializado WaterGEMS, se construyó y simuló el modelo hidráulico del sistema para el escenario actual, evaluado al año 2025, y se proyectó un escenario futuro al año 2050, proponiéndose una redistribución de las áreas de servicio de los tres centros de reserva y reforzando las líneas principales de distribución. Adicionalmente se propone la implementación de Válvulas Reductoras de Presión en puntos estratégicos para controlar las presiones elevadas. La simulación del modelo optimizado al año 2050 mostró una mejora sustancial en el desempeño hidráulico, logrando estabilizar las presiones dentro de los rangos admisibles para el final del período de evaluación.

Palabras clave: Agua potable, modelación hidráulica, WaterGEMS, sectorización, presiones dinámicas, pérdidas hidráulicas de carga.

ABSTRACT

Title: Evaluation and redistribution proposal for the drinking water system of El Valle parish, Cuenca canton.

Author: Eng. María Gabriela Pérez Jaramillo.

This research evaluates the hydraulic performance of the drinking water supply system in the rural parish of El Valle, in the canton of Cuenca, focusing on the sectors served by the Castilla Cruz, San Francisco, and El Censo storage tanks. Progressive population growth and the area's irregular topography have created hydraulic imbalances relative to the original design and the phased construction of the network, resulting in insufficient capacity and nodes with dynamic pressures outside of recommended ranges.

Using the specialized software WaterGEMS, a hydraulic model of the system was developed and simulated for current conditions (evaluated up to 2025) as well as for a projected future scenario (up to 2050). The study proposes a redistribution of the service areas for the three storage facilities, along with the reinforcement of the main distribution lines. Additionally, the installation of pressure-reducing valves at strategic locations is proposed to manage high-pressure levels. Simulation of the optimized model for the year 2050 demonstrated a substantial improvement in hydraulic performance, successfully stabilizing pressures within acceptable ranges by the end of the evaluation period.

Keywords: Drinking water, hydraulic modeling, WaterGEMS, sectorization, dynamic pressure, hydraulic head loss.



Dr. Josue Larriva Vásquez.

Tutor