

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

### “EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO EN EL SECTOR DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY”

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Civil


#### **Autores:**

Mateo Nicolás Frutos Mosquera

Julián Andrés Pasato Chimbo

#### **Director:**

Esteban Remigio Sánchez Cordero

ORCID:  0000-0002-8206-386X

Cuenca, Ecuador

2023-06-01

### Resumen

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento hidráulico de la red de alcantarillado existente en el sector colindante con la Universidad del Azuay. El estudio se lleva a cabo en base a los principales parámetros de diseño de una red de alcantarillado. Para la representación correcta del sistema se elabora un modelo haciendo uso del programa SWMM 5.1, el cual permite considerar las variables necesarias para la simulación de los eventos de precipitación registrados y las tormentas de diseño para un periodo de retorno especificado. La eficiencia de la red de alcantarillado se analiza en base a los valores permitidos por la normativa. Los resultados de la simulación de los eventos para la condición actual del sistema, evidencian un funcionamiento ineficiente con anegación en varios tramos del colector principal. Por ende, se adopta como solución la alternativa de aumentar los diámetros y adicionar un aliviadero lateral diseñado por métodos empíricos. De esta manera se consigue el desempeño óptimo de la red y la obtención de una base sobre la que se puede incorporar futuros estudios relacionados a la naturaleza del río, permeabilidad del terreno y el diseño detallado del aliviadero.

*Palabras clave:* eficiencia, alcantarillado, aliviadero, parámetros, swmm

### Abstract

This paper assesses the hydraulic performance of the combined sewerage network in the sector adjacent to the University of Azuay. The study is carried out on the basis of the main design parameters of a sewerage network. For the correct representation of the system, a numeric model is developed using the SWMM 5.1 program, which allows us to consider the variables necessary for the simulation of registered precipitation events and design storms for a specified return period. The efficiency of the sewerage network is analyzed based on the values allowed by the regulations. The results of the simulation of the events for the current condition of the system show an inefficient operation of the system with flooding in several sections of the main collector. Therefore, is adopted as a solution the alternative of increasing diameters and adding a lateral spillway designed by empirical methods. In this way the optimal performance of the network is achieved, and obtaining a basis on which future studies can be incorporated related to the nature of the river, the permeability of the land and the detailed design of the spillway.

*Keywords:* efficiency, sewerage, spillway, parameters, swmm

## Índice de contenidos

|  |    |
|--|----|
| Resumen .....  | 2  |
| Abstract .....   | 3  |
| Índice de contenidos .....                                     | 4  |
| Índice de Figuras.....   | 7  |
| Índice de Tablas .....   | 10 |
| Índice de Anexos.....  | 12 |
| Dedicatoria.....   | 15 |
| Agradecimientos .....  | 17 |
| 1. Introducción .....  | 18 |
| 1.1. Antecedentes y Justificación.....                         | 18 |
| 1.2. Objetivos.....  | 19 |
| 1.2.1. Objetivo General .....                                  | 19 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos .....                             | 19 |
| 1.3. Alcance.....  | 19 |
| 1.4. Estado del Arte.....                                      | 20 |
| 2. Marco Teórico.....  | 22 |
| 2.1. Sistemas de alcantarillado .....                          | 22 |
| 2.1.1. Tipos de alcantarillado .....                           | 22 |
| 2.1.2. Componentes de un sistema de alcantarillado .....       | 23 |
| 2.2. Evaluación de sistemas existentes de alcantarillado ..... | 26 |
| 2.3. Normativa vigente sobre sistemas de alcantarillado .....  | 27 |
| 2.4. Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado .....   | 27 |
| 2.4.1. Periodo de diseño.....                                  | 27 |
| 2.4.2. Población .....   | 27 |
| 2.4.3. Coeficiente de Retorno .....                            | 29 |
| 2.4.4. Coeficiente de mayoración.....                          | 29 |
| 2.4.5. Dotación.....   | 30 |
| 2.4.6. Aguas residuales .....                                  | 30 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.5.   | Aguas pluviales .....   | 33 |
| 2.5.1. | Periodo de retorno.....   | 33 |
| 2.5.2. | Áreas de drenaje .....  | 34 |
| 2.5.3. | Hidrogramas de diseño.....  | 35 |
| 2.5.4. | Curvas de intensidad-duración-frecuencia.....                                   | 35 |
| 2.5.5. | Tormenta de diseño .....  | 36 |
| 2.6.   | Valores máximos y mínimos .....   | 38 |
| 2.6.1. | Diámetro interno mínimo.....  | 38 |
| 2.6.2. | Velocidad mínima .....  | 38 |
| 2.6.3. | Velocidad máxima .....  | 39 |
| 2.6.4. | Pendiente mínima.....   | 40 |
| 2.6.5. | Pendiente máxima.....   | 41 |
| 2.6.6. | Profundidad hidráulica máxima .....   | 41 |
| 2.6.7. | Profundidad mínima a la cota clave .....  | 41 |
| 2.6.8. | Profundidad máxima a la cota de la clave de la tubería .....                    | 41 |
| 2.7.   | Elementos de captación .....  | 41 |
| 2.8.   | Descripción del software EPA SWMM 5.0 .....                                     | 43 |
| 3.     | Modelación de la situación actual del sistema de alcantarillado combinado ..... | 47 |
| 3.1.   | Topografía y catastro de la zona de estudio .....                               | 47 |
| 3.2.   | Delimitación de áreas de aporte (Subcuencas) .....                              | 48 |
| 3.2.1. | Áreas de aporte para aguas pluviales.....                                       | 49 |
| 3.2.2. | Áreas de aporte para aguas residuales .....                                     | 51 |
| 3.3.   | Determinación de los caudales sanitarios .....                                  | 51 |
| 3.4.   | Población de diseño .....   | 52 |
| 3.5.   | Eventos de precipitación simulados .....  | 53 |
| 3.6.   | Eficiencia de los elementos de captación .....                                  | 58 |
| 3.7.   | Modelo en SWMM de la situación actual de la red de alcantarillado .....         | 59 |
| 3.7.1. | Pluviómetro .....   | 59 |

- 3.7.2. Subcuencas ..... 60
- 3.7.3. Construcción de la red de alcantarillado ..... 61
- 3.7.4. Simulación del caudal sanitario ..... 64
- 3.7.5. Simulación de los eventos de 2017 y 2020 ..... 65
- 4. Análisis de alternativas para el mejoramiento del sistema de alcantarillado combinado  
67
- 4.1. Resultados de las alternativas de mejoramiento ..... 68
  - 4.1.1. Escenario 1: Evento del 10/03/2017 para el año 2023 (30 minutos) ..... 68
  - 4.1.2. Escenario 2: Evento del 25/01/2020 para el año 2023 (60 minutos) ..... 71
  - 4.1.3. Escenario 3: Evento del 10/03/2017 para el año 2040 (30 minutos) ..... 74
  - 4.1.4. Escenario 4: Evento del 25/01/2020 para el año 2040 (60 minutos) ..... 77
- 4.2. Comparativa entre las dos propuestas de mejora ..... 81
- 5. Validación de la propuesta de mejora ..... 84
  - 5.1. Evento de precipitación del 10/03/2017 (30 minutos) ..... 84
  - 5.2. Tormenta de diseño para 30 minutos ..... 87
  - 5.3. Evento de precipitación del 25/01/2020 (60 minutos) ..... 90
  - 5.4. Tormenta de diseño para 60 minutos ..... 93
  - 5.5. Comparativa entre la situación actual y la alternativa propuesta ..... 96
- 6. Conclusiones y recomendaciones ..... 99
- 7. Referencias ..... 102
- 8. Anexos ..... 104

**Índice de Figuras**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Esquema de un sistema de alcantarillado combinado (izquierda) y separado (derecha). (Salud Pública de México, 2012).....                           | 23 |
| Figura 2. Tuberías de hormigón simple. (Ecuconductos, 2014).....   | 24 |
| Figura 3. Esquema de un pozo de inspección. (Parra, 2015).....   | 24 |
| Figura 4. Cámara de caída rápida. (López Cualla, 2003).....  | 25 |
| Figura 5. Sifón invertido. (Rosario, 2015).....  | 25 |
| Figura 6. Relación entre la probabilidad de ocurrencia de un evento, el periodo de retorno asociado al diseño de una obra y su vida útil. (EMAAP, 2009)..... | 34 |
| Figura 7. Curvas IDF para distintos tiempos de retorno. (Maza, 2008),.....   | 36 |
| Figura 8. Método de los bloques alternos. (EMAAP, 2009).....   | 37 |
| Figura 9. Método Chicago. (EMAAP, 2009).....   | 38 |
| Figura 10. Componentes físicos empleados en el modelo. (Rossman, 2005, p. 37).....   | 44 |
| Figura 11. Representación del modelo no lineal de las subcuencas. (Rossman, 2005, p. 59).....  | 45 |
| Figura 12. Visualización de una onda cinemática. (Fattorelli, 2011, p. 392).....   | 47 |
| Figura 13. Catastro de la zona de estudio. Obtenido de Google Satélite.....  | 48 |
| Figura 14. Área de estudio. Obtenido de Google Satélite.....   | 49 |
| Figura 15. Ubicación de los sumideros presentes en la zona de estudio. Obtenido de Google Satélite.....  | 50 |
| Figura 16. Subcuencas trazadas en el área de estudio. Obtenido de Google Satélite.....   | 50 |
| Figura 17. Áreas de aporte para caudales residuales. (Elaboración propia).....   | 51 |
| Figura 18. Hietograma para un evento de 30 minutos. ....   | 54 |
| Figura 19. Hietograma para un evento de 30 minutos. ....   | 55 |
| Figura 20. Hietograma para un evento de 30 minutos. ....   | 56 |
| Figura 21. Hietograma para un evento de 1 hora. ....   | 58 |
| Figura 22. Reja: Modelo TANGO D4. (Catálogo digital de Benito.com).....  | 59 |
| Figura 23. Configuración del pluviómetro.....  | 59 |
| Figura 24. Serie temporal.....   | 60 |

Figura 25. Gráfico de la serie temporal ..... 60

Figura 26. Configuración de las subcuencas ..... 61

Figura 27. Configuración de los nodos normales/Pozos de revisión ..... 61

Figura 28. Ingreso del caudal sanitario ..... 62

Figura 29. Configuración de los divisores/rejas ..... 62

Figura 30. Datos para la curva de eficiencia..... 63

Figura 31. Configuración de los conductos/tuberías ..... 63

Figura 32. Red de alcantarillado combinada modelada. Obtenido de Google Satélite ..... 64

Figura 33. Capacidad en los tramos 15 y 16 para el evento del 10/03/2017 ..... 66

Figura 34. Capacidad en los tramos 15 y 16 para el evento del 25/01/2020..... 66

Figura 35. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2023). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)..... 69

Figura 36. Comparativa de la Velocidad en la red de alcantarillado (2023). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)..... 70

Figura 37. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2023). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)..... 71

Figura 38. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2023). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)..... 72

Figura 39. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2023). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)..... 73

Figura 40. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2023). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)..... 74

Figura 41. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)..... 75

Figura 42. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)..... 76

Figura 43. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)..... 77

Figura 44. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)..... 78



Figura 45. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)..... 79

Figura 46. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)..... 80

Figura 47. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)..... 85

Figura 48. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)..... 86

Figura 49. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)..... 87

Figura 50. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Tormenta de diseño de 30 minutos. .... 88

Figura 51. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Tormenta de diseño de 30 minutos. .... 89

Figura 52. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Tormenta de diseño de 30 minutos. .... 90

Figura 53. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)..... 91

Figura 54. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)..... 92

Figura 55. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)..... 93

Figura 56. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Tormenta de diseño de 60 minutos. .... 94

Figura 57. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Tormenta de diseño de 60 minutos. .... 95

Figura 58. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Tormenta de diseño de 60 minutos. .... 96

## Índice de Tablas

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabla 1.  | Valores de coeficientes de retorno. (EMAAP, 2009, p. 30).....   | 29 |
| Tabla 2.  | Valores de coeficientes de retorno. (INEN, 1992, p. 42) .....   | 30 |
| Tabla 3.  | Contribución industrial en base al nivel de complejidad. (EMAAP, 2009) .....                                      | 31 |
| Tabla 4.  | Contribución de ilícitas en base al nivel de complejidad. (EMAAP, 2009).....                                      | 32 |
| Tabla 5.  | Valores típicos del caudal por infiltración en función de la longitud. (López Cualla, 2003)                       | 32 |
| Tabla 6.  | Valores típicos del caudal por infiltración en función del área. (EMAAP, 2009)..                                  | 32 |
| Tabla 7.  | Períodos de retorno para diferentes ocupaciones del área. (EMAAP, 2009) .....                                     | 34 |
| Tabla 8.  | Métodos para el cálculo de tormentas de proyecto (Balbastre, 2018) .....  | 37 |
| Tabla 9.  | Velocidad máxima para diferentes materiales. (EMAAP, 2009).....   | 40 |
| Tabla 10. | Pendiente mínima en función de la velocidad mínima permisible. (EMAAP, 2009)                                      | 40 |
| Tabla 11. | Población estimada para el año 2023 mediante el método aritmético, geométrico y exponencial .....                 | 52 |
| Tabla 12. | Población estimada para el año 2023 mediante el método de mínimos cuadrados                                       | 52 |
| Tabla 13. | Población estimada para el año 2040 mediante el método aritmético, geométrico y exponencial .....                 | 52 |
| Tabla 14. | Población estimada para el año 2023 mediante el método de mínimos cuadrados                                       | 53 |
| Tabla 15. | Valores de volumen e intensidad de precipitación por cada registro de medición. (Luna & Terán, 2021, p. 29).....  | 54 |
| Tabla 16. | Valores de volumen e intensidad de precipitación por cada registro de medición. (Luna & Terán, 2021, p. 30) ..... | 55 |
| Tabla 17. | Ecuaciones de intensidad, duración y frecuencia para la estación M0067. (Luna & Terán, 2021, p. 31).....          | 56 |
| Tabla 18. | Valores de hietograma para un evento de 30 minutos. (Luna & Terán, 2021, p. 31)                                   | 56 |
| Tabla 19. | Valores de hietograma para un evento de 1 hora. (Luna & Terán, 2021, p. 32) .                                     | 57 |
| Tabla 20. | Caudales, velocidades y capacidades máximas para el caudal sanitario .....  | 64 |

Tabla 21. Caudales, velocidades y capacidades máximas obtenidas para los eventos del 10/03/2017 y 25/01/2020 ..... 65

Tabla 22. Escenarios de simulación..... 68

Tabla 23. Comparación de la capacidad del colector principal para la población de 2023 entre la situación actual y las mejoras propuestas..... 81

Tabla 24. Comparación de la velocidad del flujo en el colector principal para la población de 2023 entre la situación actual y las mejoras propuestas ..... 81

Tabla 25. Comparación de la capacidad del colector principal para la población de 2040 entre la situación actual y las mejoras propuestas..... 82

Tabla 26. Comparación de la velocidad del flujo en el colector principal para la población de 2040 entre la situación actual y las mejoras propuestas ..... 83

Tabla 27. Comparación de la capacidad del colector principal para los eventos de 2017 y 2020 entre la situación actual y la alternativa propuesta..... 97

Tabla 28. Comparación de la velocidad del flujo en el colector principal para los eventos de 2017 y 2020 entre la situación actual y la alternativa propuesta ..... 97

Tabla 29. Comparación de la capacidad del colector principal para la tormenta de diseño entre la situación actual y la alternativa propuesta ..... 98

Tabla 30. Comparación de la velocidad del flujo en el colector principal para la tormenta de diseño entre la situación actual y la alternativa propuesta ..... 99

## Índice de Anexos

|  |     |
|--|-----|
| Anexo A: Áreas de aporte pluvial / Subcuencas .....  | 104 |
| Anexo A.1. Áreas de aporte pluvial / subcuencas .....  | 109 |
| Anexo B: Áreas de aporte residual .....  | 109 |
| Anexo B.1. Áreas de aporte para el cálculo del Caudal Sanitario .....                                | 111 |
| Anexo C: Caudales sanitarios.....  | 112 |
| Anexo C.1. Caudales Sanitarios para la población de cada año. ....                                   | 113 |
| Anexo D: Resultados de los escenarios planteados para la situación actual y las opciones 1 y 2. .... | 113 |
| Anexo D.1. Resultados del escenario 1 en el colector principal. ....                                 | 113 |
| Anexo D.2. Resultados del escenario 1 en los colectores de aporte .....                              | 116 |
| Anexo D.3. Resultados del escenario 2 en el colector principal. ....                                 | 117 |
| Anexo D.4. Resultados del escenario 2 en los colectores de aporte .....                              | 120 |
| Anexo D.5. Resultados del escenario 3 en el colector principal. ....                                 | 120 |
| Anexo D.6. Resultados del escenario 3 en los colectores de aporte .....                              | 123 |
| Anexo D.7. Resultados del escenario 4 en el colector principal. ....                                 | 123 |
| Anexo D.8. Resultados del escenario 4 en los colectores de aporte .....                              | 126 |
| Anexo E: Resultados de los escenarios planteados para la situación actual y la propuesta .....       | 127 |
| Anexo E.1. Resultados del evento del 10/03/2017 para el colector principal. ....                     | 127 |
| Anexo E.2. Resultados del evento del 10/03/2017 para los colectores de aporte .....                  | 130 |
| Anexo E.3. Resultados del evento del 25/01/2020 para el colector principal. ....                     | 131 |
| Anexo E.4. Resultados del evento del 25/01/2020 para los colectores de aporte .....                  | 133 |
| Anexo E.5. Resultados de la tormenta de diseño de 30 minutos para el colector principal. ....        | 134 |
| Anexo E.6. Resultados de la tormenta de diseño de 30 minutos para los colectores de aporte .....     | 137 |
| Anexo E.7. Resultados de la tormenta de diseño de 60 minutos para el colector principal. ....        | 137 |

|   |     |
|---|-----|
| Anexo E.8. Resultados de la tormenta de diseño de 60 minutos para los colectores de aporte .....            | 140 |
| Anexo F: Pre dimensionamiento del vertedero lateral / aliviadero .....                                      | 141 |
| Anexo F.1. Vista en planta para el vertedero lateral.....   | 142 |
| Anexo F.2. Sección del canal para el vertedero lateral. ....  | 142 |
| Anexo F.3. Vista lateral del pre dimensionamiento del vertedero lateral. ....                               | 142 |
| Anexo G: Resultados y mapas de la simulación con las eficiencias de las rejas actuales en la zona. ....     | 143 |
| Anexo G.1. Resultados para el evento del 10/03/2017 con las rejas actuales en el colector principal .....   | 143 |
| Anexo G.2. Resultados para el evento del 10/03/2017 con las rejas actuales en los colectores de aporte..... | 144 |
| Anexo G.3. Resultados para el evento del 25/01/2020 con las rejas actuales en el colector principal .....   | 144 |
| Anexo G.4. Resultados para el evento del 25/01/2020 con las rejas actuales en los colectores de aporte..... | 145 |
| Anexo G.5. Resultados para el evento del 10/03/2017 con las rejas actuales .....                            | 146 |
| Anexo G.6. Resultados para el evento del 25/01/2020 con las rejas actuales .....                            | 147 |
| Anexo H: Mapas de riesgo .....  | 148 |
| Anexo H.1. Mapa de capacidades para la situación actual: Evento del 10/03/2017 – Minuto 20 .....            | 148 |
| Anexo H.2. Mapa de velocidades para la situación actual: Evento del 10/03/2017 – Minuto 20 .....            | 149 |
| Anexo H.3. Mapa de capacidades para la situación actual: Evento del 25/01/2020 – Minuto 50 .....            | 150 |
| Anexo H.4. Mapa de velocidades para la situación actual: Evento del 25/01/2020 – Minuto 50 .....            | 151 |
| Anexo H.5. Mapa de capacidades para la situación actual: Tormenta de diseño de 30 minutos – Minuto 25 ..... | 152 |
| Anexo H.6. Mapa de velocidades para la situación actual: Tormenta de diseño de 30 minutos – Minuto 25 ..... | 153 |

|  |     |
|--|-----|
| Anexo H.7. Mapa de capacidades para la situación actual: Tormenta de diseño de 60 minutos – Minuto 40 .....    | 154 |
| Anexo H.8. Mapa de velocidades para la situación actual: Tormenta de diseño de 60 minutos – Minuto 40 .....    | 155 |
| Anexo H.9. Mapa de capacidades para la propuesta aplicada: Evento del 10/03/2017 – Minuto 20 .....             | 156 |
| Anexo H.10. Mapa de velocidades para la propuesta aplicada: Evento del 10/03/2017 – Minuto 20 .....            | 157 |
| Anexo H.11. Mapa de capacidades para la propuesta aplicada: Evento del 25/01/2020 – Minuto 50 .....            | 158 |
| Anexo H.12. Mapa de velocidades para la propuesta aplicada: Evento del 25/01/2020 – Minuto 50 .....            | 159 |
| Anexo H.13. Mapa de capacidades para la propuesta aplicada: Tormenta de diseño de 30 minutos – Minuto 25 ..... | 160 |
| Anexo H.14. Mapa de velocidades para la propuesta aplicada: Tormenta de diseño de 30 minutos – Minuto 25 ..... | 161 |
| Anexo H.15. Mapa de capacidades para la propuesta aplicada: Tormenta de diseño de 60 minutos – Minuto 40 ..... | 162 |
| Anexo H.16. Mapa de velocidades para la propuesta aplicada: Tormenta de diseño de 60 minutos – Minuto 40 ..... | 163 |

## Dedicatoria

A mi madre, Mérida, por apoyarme en todo momento a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis hermanos, por sus ánimos y buenos deseos.

A mis amigos del colegio, Maithe, Nathalie, Charlie y Ariana, quienes han sido un apoyo gigante no solo en mis estudios si no en la vida en general.

A mis amigos de la universidad, que han hecho de esta carrera, una de las mejores etapas de mi vida. A todos ustedes les agradezco por su compañía y apoyo a lo largo de estos años y por haberme ayudado a llegar a la meta.

***Mateo Nicolás Frutos Mosquera***

## Dedicatoria

A mis padres, Gladys y Julián, que me apoyaron, protegieron, y llevaron por el camino del bien, enseñándome a afrontar las dificultades. Me enseñaron a ser la persona que soy, los buenos principios, valores y ganas de salir adelante, de los debo a ellos.

A mis hermanas Estefanía y Érika, por estar siempre a mi lado, batallando juntos.

A toda mi familia que siempre han confiado en mí, a mis primos, abuelitos y tíos por nunca dejarme solo. Realmente me ayudaron a conocer mi potencial.

A todos, gracias por ser parte de este largo y duro camino, el camino de cumplir mis metas.

***Julián Andrés Pasato Chimbo***



## Agradecimientos

En primer lugar, dar las gracias a Dios por permitirnos tener una excelente experiencia dentro de la Facultad de Ingeniería. Agradecemos a la Universidad de Cuenca por todo lo aprendido a lo largo de nuestra formación académica.

Al Ingeniero Esteban Sánchez, por ser nuestro director y habernos brindado su apoyo y conocimiento en todo el trayecto de este trabajo. Sin sus enseñanzas y consejos este trabajo no hubiera sido posible.

De igual manera a los docentes, quienes nos han transmitido sus conocimientos a lo largo de la carrera.

A nuestros amigos y compañeros universitarios, por compartir tantas experiencias y haber hecho el camino más ameno.

Finalmente, dar gracias a nuestras familias, los motores de nuestra vida, quienes siempre estuvieron a nuestro lado, a todos ellos, gracias por creer en nosotros.

## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes y Justificación

A medida que avanza el crecimiento urbano en las ciudades, aumentan las superficies impermeables y, por lo tanto, aumenta el volumen de escorrentía, por lo que la optimización de los sistemas de drenaje superficial y alcantarillado es fundamental. Dentro de una urbe, la red de alcantarillado se encarga de transportar de forma rápida y segura tanto las aguas pluviales como las residuales evitando problemas relacionados con eventos de precipitación. Cuando se trata de un sistema combinado, dichos problemas cobran mayor importancia, debido a que durante una tormenta se puede llegar a generar capacidades en las tuberías mayores a las permitidas llevando así a la superficie el agua residual presente en la red, poniendo en peligro la salud y el bienestar de los usuarios, por lo que es fundamental contar con un correcto diseño, buen control durante la construcción y su respectivo mantenimiento a fin de que la red cumpla su función.

El alcantarillado combinado transporta aguas de origen pluvial y residual en un solo sistema considerando a la red de drenaje natural de la ciudad la cual se constituye por quebradas y ríos, este tipo de sistema presenta gran complejidad de análisis por lo que la solución técnica más eficiente para evaluar este sistema es el uso de simulación hidráulica, la cual permite manejar el flujo de la red en todos los escenarios posibles (EMAAP, 2009).

La velocidad del flujo de agua es el parámetro más importante en el diseño de las redes de alcantarillado, su velocidad mínima (0,6 m/s) asegura la autolimpieza de los sólidos depositados en periodos de bajo caudal y la velocidad máxima asegura el buen estado de las tuberías, este valor depende del material utilizado, pero en general no deberá tomar un valor real mayor a 5 m/s (EMAAP, 2009). A la hora de diseñar también se deben observar otros parámetros como el diámetro, la pendiente y la profundidad, además de conocer ciertos criterios técnicos de diseño y construcción, como ejemplo de su trabajo (Mina & Vásquez, 2016) determinan que la red de alcantarillado puede cumplir con los parámetros de diseño mencionados, pero esto no garantiza el correcto funcionamiento del sistema, ya que pueden ocurrir fallos técnicos y estructurales en la red, como pozos de revisión demasiado cercanos y cambios de diámetro de mayor a menor, lo cual no está permitido por las normativas, ocasionando problemas de inundación.

Peñañiel (2022) concluyó en su trabajo que el mal diseño del sistema de alcantarillado puede hacer que la red funcione bajo presión e incluso supere su capacidad a tubo lleno, destaca específicamente las velocidades mínimas y máximas del sistema, debido a que el incumplimiento de las mismas con la normativa puede ocasionar daños en la red y posibles inundaciones. Como se indica en Lastra & Guainilla (2022), es importante realizar una

evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales, que pueda identificar las condiciones actuales de operación del sistema y, si se observan problemas de eficiencia hidráulica, pueda plantear soluciones para mitigar dichos problemas.

En la ciudad de Cuenca, se tiene el caso del sector de la Universidad del Azuay, en donde Luna & Terán (2021) determinaron que, durante eventos de precipitación, los calados y velocidades del flujo por las calles presentaban valores muy altos debido a las pendientes de las calles y a la baja eficiencia hidráulica de los elementos de captación, para lo cual propusieron un diseño óptimo considerando únicamente la escorrentía superficial. Asimismo, recomiendan en su trabajo la evaluación del sistema de alcantarillado combinado presente a fin de tener un trabajo más completo de la zona de estudio.

En síntesis, es necesario realizar el análisis y evaluación del comportamiento hidráulico del sistema de alcantarillado combinado correspondiente al sector de la Universidad del Azuay, a fin de determinar soluciones y alternativas en el diseño que permitan reducir el riesgo generado durante eventos de precipitación, dicha evaluación se realizará mediante el uso de la herramienta computacional SWMM obteniendo a su vez un modelo del lugar de estudio el cual servirá también como base de futuros estudios en la zona o zonas similares.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Evaluar el comportamiento hidráulico del sistema de alcantarillado en el sector de la Universidad del Azuay.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Recolectar la información respecto al catastro actual de la zona a fin de poder construir el modelo en el software.
- Analizar la eficiencia hidráulica del sistema de alcantarillado en el sector de la Universidad del Azuay.
- Plantear alternativas de diseño basadas en los criterios de riesgo establecidos a través de los valores máximos de parámetros significativos del flujo (calado y velocidad).

## **1.3. Alcance**

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar y validar el desempeño hidráulico del sistema de alcantarillado combinado existente en la zona colindante a la Universidad del Azuay desde la calle Las Garzas hasta la avenida Gapal debido a los problemas de inundación observados durante eventos de precipitación de gran intensidad. De ser necesario, sugerir alternativas al diseño para un mejor desempeño hidráulico de la red. Si bien las inundaciones pueden ser causadas por rejas de captación ineficaces, también pueden ser causadas por sistemas de

alcantarillado inadecuados. Existen varias limitaciones en el trabajo, la primera es la falta de datos correspondientes a eventos de precipitación, ya que las mediciones no son continuas en el tiempo, por lo que falta la información de varios días, evitando así la simulación de todos los eventos ocurridos.

Otro de los inconvenientes está directamente relacionado con el sistema de alcantarillado, ya que la información brindada por ETAPA acerca del catastro carece de toda la información necesaria, por ejemplo, cotas faltantes y tramos sin información, por lo que el modelo construido no considera todas las calles pertenecientes a la zona de estudio, pero si toma en cuenta la gran mayoría de la misma.

Cabe mencionar que el estudio realizado considera el agua de lluvia que ingresa al sistema mediante los elementos de captación, el agua residual de la zona de estudio, y las áreas aportantes al modelo completamente impermeables. Para poder realizar un análisis más completo del área de estudio y una mejor representación de la realidad, futuros estudios deberán tener en cuenta la permeabilidad del terreno y la infiltración generada, así como la existencia del río.

#### **1.4. Estado del Arte**

La tendencia del desplazamiento poblacional de zonas rurales a zonas urbanas provoca la urbanización de las cuencas hidrográficas, modificando su respuesta hidrológica a eventos de precipitación específicos. Esto conlleva a la alteración de las redes de drenajes, viéndose la necesidad de contar con colectores y zonas impermeables para drenar el área de la manera más eficiente posible y prevenir los efectos negativos de la urbanización. Por lo tanto, tener aguas que se infiltren o tarden más en llegar a la red de drenaje, provocará una reducción de los tamaños de los conductos de alcantarillado como nos menciona Gómez (2007).

El modelo de gestión de aguas pluviales SWMM desarrollado por primera vez en 1969 de la “United States Environmental Protection Agency” es utilizado en todo el mundo para la correcta planificación, análisis y diseño relacionado con eventos pluviales y sistemas de drenaje, apoyando los objetivos de gestión de aguas pluviales locales para prevenir inundaciones y deterioro de cuerpos de agua receptores. Con la metodología de la aproximación por onda cinemática, que implica la conservación de masa y momento, se puede estudiar el proceso de transformación lluvia – escorrentía el cual debe ser comprobado si describe lo suficiente de la realidad. SWMM es un modelo en constante actualización y es uno de los más conocidos y utilizados en la actualidad para hidrología urbana. (Rossman & Huber, 2016)

El Laboratorio de Hidráulica de la E.T.S de Ingenieros de Caminos de Barcelona permitió realizar varios ensayos de flujo en una calle para rejas e imbornales comunes de Barcelona llegando a una serie de conclusiones como:

- Para comparar el comportamiento hidráulico entre diferentes situaciones es necesario incluir la eficiencia  $E$  de captación que es la relación entre el caudal interceptado y que el que pasa por la calle.
- También, la eficiencia de una reja depende del caudal de paso y de las pendientes transversales y longitudinales de la calle, ya que la pendiente longitudinal tiene gran influencia sobre la eficiencia de captación hasta valores del 2 al 4 %.
- Las rejas se comportan similar para caudales bajos y diferentes para caudales altos. Para pendientes longitudinales bajas el patrón de flujo es bidimensional y para pendientes longitudinales altas el patrón es unidimensional. (Gómez, 2007)

El desarrollo del trabajo de Luna & Terán (2021) está centrado solamente en los eventos pluviales y escorrentía superficial donde se manifiesta que en futuros estudios se debe considerar la presencia del río y el diseño interno de la red de alcantarillado de la zona de la Universidad del Azuay en la Av. 24 de Mayo y sus calles de aporte. Nos proporciona la ecuación de ajuste potencial de la geometría de la reja que nos permitió tener las eficiencias de las rejas sin tener que ensayarlas. Además, de este trabajo se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Baja eficiencia hidráulica, irregularidad geométrica y falta de homogeneidad espacial en los elementos de captación.
- Zona crítica de inundación cercana al redondel de la Av. 24 de Mayo con la Av. Gapal donde el agua alcanza calados considerables.
- Velocidades críticas en algunos sectores, especialmente las calles que se incorporan a la Av. 24 de Mayo debido a sus altas pendientes y pocos elementos de captación.
- Eventos críticos ocurren frecuentemente con duraciones de 30 minutos o 1 hora.
- Sumideros presentan deficiencias en lo que respecta a su diseño, las rejas carecen de un alineamiento técnico normalizado, falta de criterio en cuanto a su ubicación y disposición. Claro ejemplo en la calle “Las Garzas” que es molesto para los transeúntes.
- Una solución para la eficiencia de los sumideros es reemplazar las rejas actuales por elementos normados, especialmente el empleo de la reja TANGO D4.
- Para reducir la inundación recomiendan redistribuir los sumideros en las calles de aporte de forma uniforme aproximadamente 50 metros entre cada uno. Además, incorporar sumideros en las calles que carecen de las mismas.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Sistemas de alcantarillado

Un sistema de alcantarillado consiste en un conjunto de redes de tuberías y obras complementarias necesarias para recibir, transportar y evacuar tanto aguas residuales como aguas lluvia. Con el pasar del tiempo los métodos de diseño y construcción de las redes de alcantarillado han ido evolucionando con el fin de brindar un mejor servicio a la población. (SIAPA, 2014, p. 2)

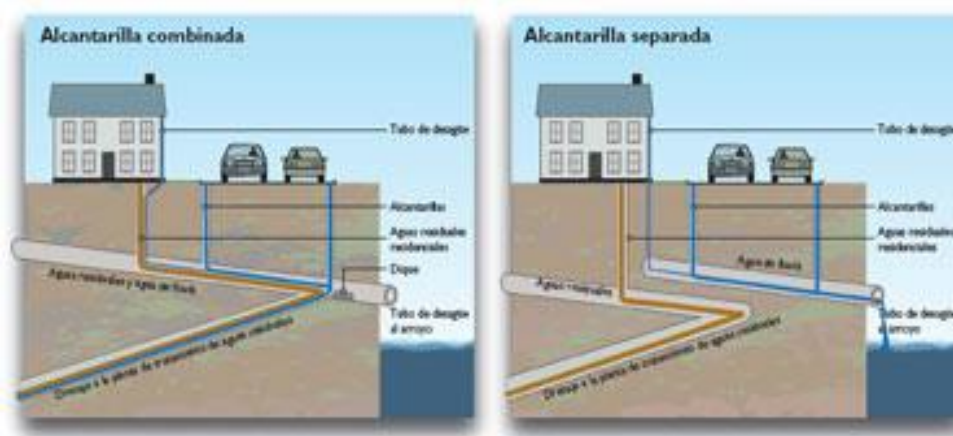
#### 2.1.1. Tipos de alcantarillado

Las redes de alcantarillado se clasifican en base al tipo de agua que transporta. Se tienen entonces los siguientes tipos:

- a) **Alcantarillado sanitario:** Sistema diseñado para recolectar las aguas residuales domésticas e industriales. (CONAGUA, 2009, p. 5)
- b) **Alcantarillado pluvial:** Sistema de evacuación de la escorrentía superficial generada por la lluvia. (CONAGUA, 2009, p. 5)
- c) **Alcantarillado unitario o combinado:** Sistema capaz de recibir los aportes de aguas de lluvia y aguas negras de casas y edificios desde el comienzo de la red hasta el punto final de recolección. (Arocha R, 1983, p. 2)
- d) **Alcantarillado semi-Combinado:** Se denomina así al sistema que transporta el 100% de las aguas residuales y un porcentaje menor al 100% del agua de lluvia a fin de no colapsar la red de alcantarillado. (SIAPA, 2014, p. 2)

En la figura 1 se presentan los esquemas de un sistema de alcantarillado combinado y separado respectivamente.

Figura 1. Esquema de un sistema de alcantarillado combinado (izquierda) y separado (derecha). (Salud Pública de México, 2012)



La elección del tipo de alcantarillado a usar depende de varios factores como la topografía del terreno, el tamaño de la red, el presupuesto entre otros. Un sistema de alcantarillado combinado presenta una solución económica en un principio, pero cuando llega la hora de tratar las aguas residuales representa un problema aún mayor en cuestiones económicas y ecológicas, por esta razón se recomienda que siempre que sea posible se trabaje con sistemas separados. (López Cualla, 2003, p. 266)

### 2.1.2. Componentes de un sistema de alcantarillado

Un sistema de alcantarillado está compuesto de varios elementos y estructuras hidráulicas tales como, tuberías, pozos de inspección, cámaras de caída, aliviaderos, vertederos, sifones, rejas, sumideros y descargas.

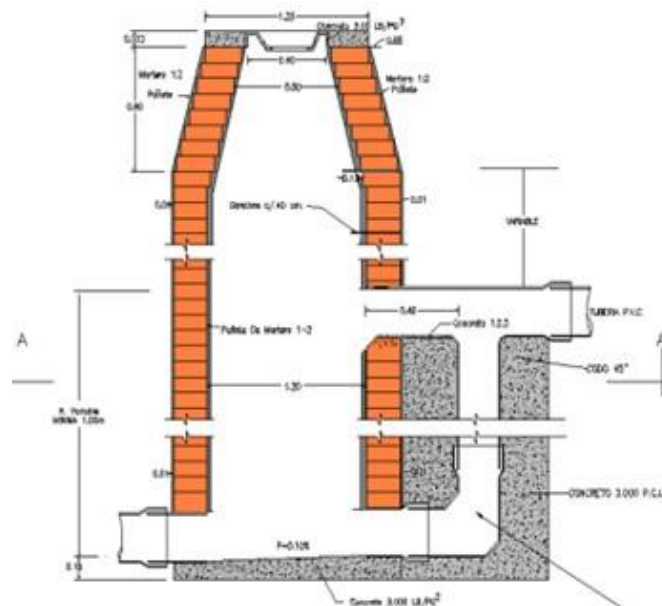
- a) **Tuberías:** Son elementos encargados de transportar el agua a través de la red de alcantarillado, las mismas se pueden encontrar en diferentes materiales y diámetros con el fin de satisfacer la necesidad de cada proyecto. En sistemas de alcantarillado combinado comúnmente se utilizan tuberías de hormigón simple, mismas que se observan en la figura 2.

Figura 2. Tuberías de hormigón simple. (Ecuacductos, 2014)



b) **Pozos de inspección:** Son estructuras construidas principalmente de ladrillo y concreto, diseñadas para permitir la ventilación, el acceso y el mantenimiento de los colectores de alcantarillado. (EAAB, 2005, p. 3). El esquema de un pozo de inspección se puede ver en la figura 3.

Figura 3. Esquema de un pozo de inspección. (Parra, 2015)

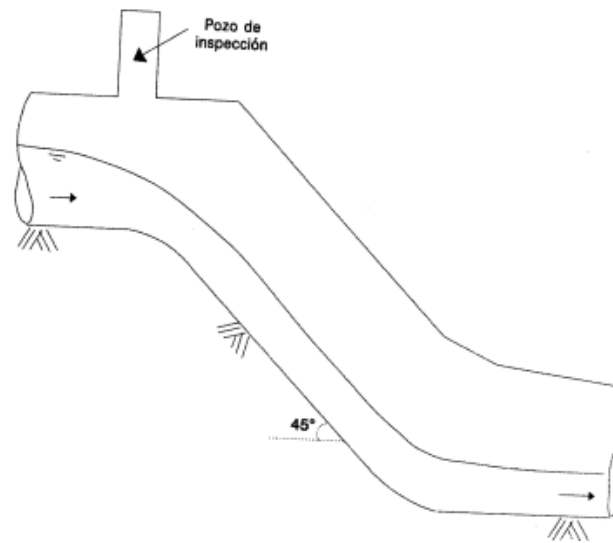


Las tapas de ingreso a los pozos de inspección deben tener forma circular, estar hechas de hierro fundido y aseguradas mediante pernos. (INEN, 1992)

c) **Cámaras de caída:** Consiste en una tubería colocada antes de la llegada a un pozo de inspección, la misma que se utiliza para corregir la pendiente, evitando exceder su valor máximo. (López Cualla, 2003, p. 275). La figura 4 presenta el esquema de una cámara de caída.

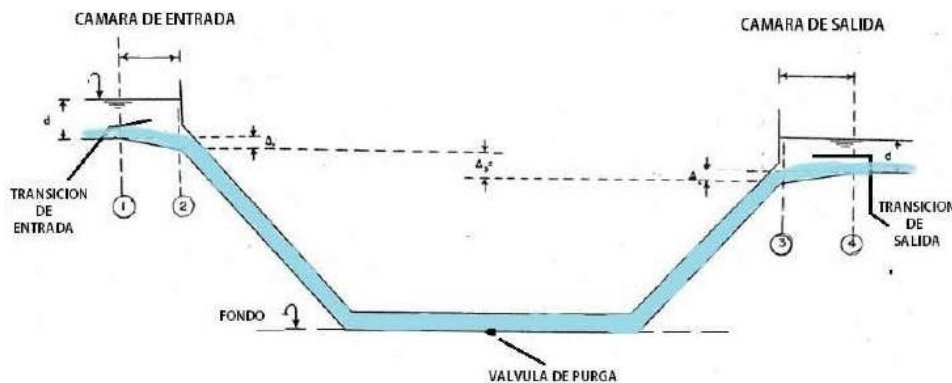


Figura 4. Cámara de caída rápida. (López Cualla, 2003)



- d) **Aliviaderos:** Es una estructura hidráulica para el vertido, controlado o no, de caudales extremos provenientes de grandes crecidas, que pueden ser menores o iguales a los máximos probables evaluados para el proyecto. (Sandoval, 2018, p. 281)
- e) **Sifones:** Se trata de un conducto a presión por gravedad, situado íntegramente arriba de la línea piezométrica. Existen también los sifones invertidos los cuales tienen forma de "U" y funciona siempre con el punto de entrada por encima del punto de salida. (EMAAP, 2009, p. 13). Un ejemplo de sifón se muestra en la figura 5.

Figura 5. Sifón invertido. (Rosario, 2015)



- f) **Rejas y sumideros:** Son elementos encargados de captar el agua de la escorrentía superficial que corren por las cunetas de las calzadas y transportar dicha agua al sistema de alcantarillado. (EMAAP, 2009, p. 13)
- g) **Descargas:** Son estructuras que permiten la libre entrega de las aguas de un sistema de alcantarillado hacia un cuerpo receptor. (EMAAP, 2009, p. 8)

## 2.2. Evaluación de sistemas existentes de alcantarillado

Para realizar la evaluación de la eficiencia hidráulica del sistema de alcantarillado existente, se requiere toda la información necesaria, por ejemplo, un catastro detallado del área a evaluar. Los principales datos requeridos incluyen las cotas y profundidades de los pozos de inspección, diámetros y longitudes de tuberías, lugares donde existan estructuras especiales como aliviaderos, sifones, etc. En caso de no disponer de toda la información antes mencionada, es necesario realizar mediciones en campo para completar los datos faltantes. Una vez que se cuente con toda la información, se procede a evaluar los criterios de diseño adecuados para los sistemas de alcantarillado, como el caudal de diseño, teniendo en cuenta las aguas residuales y pluviales que ingresan al sistema gracias a los elementos de captación como rejillas y sumideros; De igual manera se debe evaluar la conexión de dichos elementos a fin de evitar la emanación de gases malolientes.

La evaluación del sistema de alcantarillado se divide en la evaluación hidráulica y la evaluación en campo de la red.

La evaluación en campo consta de cinco etapas básicas: investigación física, investigación de los caudales incontrolados, limpieza, inspección interna e informe final. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 241)

- **Investigación física:** Consiste en realizar una inspección en superficie de la zona de evaluación con el objetivo de determinar el estado general de tapas de inspección, rejillas, sumideros, etc.
- **Investigación de los caudales incontrolados:** En caso de tener sistemas separados se requiere comprobar la existencia de conexiones entre ambas redes, para esto se introduce humo en las alcantarillas o se inundan artificialmente a fin de observar posibles entradas de agua.
- **Limpieza preparatoria:** Este paso se debe realizar siempre que sea necesario, las alcantarillas deben estar limpias para evitar posibles averías en los equipos utilizados para la inspección.
- **Inspección interna:** Las inspecciones se realizan mediante el uso de equipos de televisión de circuito cerrado permitiendo tomar fotografías y grabar videos del interior de las alcantarillas.
- **Informe final:** Una vez se realizan los pasos anteriores se procede a realizar un informe resumiendo todos los resultados observados para poder determinar las medidas que se tomarán.

### **2.3. Normativa vigente sobre sistemas de alcantarillado**

La normativa vigente en el país es la impuesta por el Instituto Ecuatoriano de Normalización dentro del Código de Práctica Ecuatoriano Parte 9, el mismo se divide en dos partes: la primera usada para poblaciones mayores a 1000 habitantes y la segunda, centrada en las zonas rurales.

La presente investigación hará uso del Código Ecuatoriano de la Construcción: Normas para el estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. (CPE INEN 5 Parte 9-1, 1992)

Para la ciudad de Cuenca, la entidad a cargo de la regulación de la red de alcantarillado es ETAPA EP, que lamentablemente no cuenta con una normativa, por lo que se utilizará las normas expuestas por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable (EMAAP), entidad reguladora en la capital del país.

### **2.4. Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado**

Como es habitual en el diseño de estructuras civiles, existen valores máximos y mínimos que deben ser acatados a fin de que el sistema diseñado funcione de manera óptima.

#### **2.4.1. Periodo de diseño**

El periodo de diseño se encarga de fijar las condiciones básicas del proyecto que dependen de la demanda de servicio, la programación de inversiones, la factibilidad de ampliaciones y la tasa de crecimiento poblacional, el tiempo mínimo de proyección para sistemas de alcantarillado residual o combinado debe ser de 30 años. (EMAAP, 2009, p. 27)

#### **2.4.2. Población**

La población es parte fundamental del diseño de una red de alcantarillado, ya que su capacidad estará directamente relacionada con el número de habitantes existente y futuro de la zona de estudio. La población utilizada debe corresponder a la proyectada al final del periodo de diseño, sin olvidar que debe estimarse la población futura cada 5 años hasta cumplir con el periodo impuesto. (EMAAP, 2009, p. 27)

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca (2015), la densidad poblacional correspondiente a la ciudad es de 47,01 habitantes por hectárea, la más alta de la provincia.

Existen varias metodologías para la proyección de población, López Cualla (2003) presenta los más generalizados:

- **Comparación Gráfica**

La población estudiada se compara gráficamente con tres poblaciones con determinadas características. El método asume que después de exceder los límites de la población base, la población estudiada tendrá la misma tasa de crecimiento que las otras tres poblaciones.

- **Crecimiento lineal**

Si el crecimiento de la población es constante e independiente del tamaño, entonces crece linealmente. Muy pocas poblaciones presentan este tipo de crecimiento.

$$P_f = P_{uc} + k_a(T_f - T_{uc})$$

$$k_a = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}}$$

Donde:

$P_f$ : Población proyectada

$T_f$ : Año de la proyección

$k_a$ : Pendiente de la recta

$P_{uc}$ : Población de último censo

$T_{uc}$ : Año del último censo

$P_{ci}$ : Población del censo inicial

$T_{ci}$ : Año del censo inicial

- **Crecimiento Geométrico**

Cuando una población crece en proporción a su tamaño, será geométrica y se tendrá que:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\frac{1}{T_{uc}-T_{ci}}} - 1$$

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

- **Crecimiento logarítmico**

Cuando el crecimiento es de manera exponencial, se requiere el conocimiento de al menos tres censos, ya que al evaluar un  $k'$  promedio se necesita un mínimo de dos valores de  $k$  donde:

$$k = \frac{\ln(P_{cp}) - \ln(P_{ca})}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Los subíndices  $cp$  y  $ca$  corresponden a censo posterior y censo anterior respectivamente.

$$P_f = P_{ci}(e)^{k'(T_f - T_{ci})}$$

- **Métodos Estadísticos**

Se puede emplear estadística para ajustar valores históricos a la ecuación de regresión lineal, exponencial, potencial o logarítmica. Como se indica:

- Regresión Lineal

$$y = a + bx$$

- Exponencial

$$y = ae^{bx}$$

- Potencial

$$y = ax^b$$

- Logarítmica

$$y = a + b \ln x$$

### 2.4.3. Coeficiente de Retorno

No toda el agua abastecida en un domicilio es consumida y devuelta a la red de alcantarillado para diversos fines, tales como: riego, limpieza, cocina entre otros. Este coeficiente establece el porcentaje del agua consumida que es devuelta al alcantarillado. Se establece que estadísticamente fluctúa entre el 65% y 85%. (López Cualla, 2003, p. 390). La EMAAP (2009) establece que se considerará constante durante todo el periodo de diseño y para toda el área servida. Los coeficientes recomendados por la EMAAP se muestran en la tabla 1.

*Tabla 1. Valores de coeficientes de retorno. (EMAAP, 2009, p. 30)*

#### Coeficientes de retorno de aguas servidas domésticas

| Nivel de complejidad del sistema | Coeficientes de retorno |
|----------------------------------|-------------------------|
| Bajo y medio                     | 0.7-0.8                 |
| Medio y alto                     | 0.8-0.85                |

### 2.4.4. Coeficiente de mayoración

Si no se dispone de valores históricos de medidas de caudal, se debe contemplar el caudal máximo horario, a través de un factor empírico de mayoración de caudal medio diario. Este factor según López Cualla (2003) se obtiene a través de ecuaciones que son inversamente proporcionales al número de habitantes servidos.

- Ecuación de Babbit:

$$M = \frac{5}{p^{0.2}}$$

- Ecuación de Harmon:

$$M = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

En función de la población futura de la zona Arocha R. (1983) establece un valor del factor de mayoración máximo de 3 para hasta 20000 habitantes.

### 2.4.5. Dotación

El INEN (1992) define como la cantidad de agua consumida por una persona diariamente, expresado en términos de litro por habitante por día. A falta de datos se puede utilizar la información expuesta en la tabla 2.

*Tabla 2. Valores de coeficientes de retorno. (INEN, 1992, p. 42)*

| Población (habitantes) | Clima    | Dotación media futura (L/hab/día) |
|------------------------|----------|-----------------------------------|
| Hasta 5000             | Frío     | 120-150                           |
|                        | Templado | 130-160                           |
|                        | Cálido   | 170-200                           |
| 5000 a 50000           | Frío     | 180-200                           |
|                        | Templado | 190-220                           |
|                        | Cálido   | 200-230                           |
| Más de 50000           | Frío     | >200                              |
|                        | Templado | >220                              |
|                        | Cálido   | >230                              |

### 2.4.6. Aguas residuales

El caudal generado por las aguas negras debe tomar en cuenta las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales. (EMAAP, 2009, p. 27)

#### 2.4.6.1. Domésticas

Las principales fuentes de agua residual doméstica se generan en las zonas urbanas e industriales, así como en las instalaciones públicas y recreativas. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 66)

El aporte medio diario de aguas residuales domésticas viene dado por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{CR * C * D * A}{86400}$$

Donde:

**Q:** Caudal de aguas residuales domésticas (l/s)

**CR:** Coeficiente de retorno

**C:** Dotación (l/hab/día)

**D:** Densidad poblacional (hab/ha)

**A:** Área de drenaje de la zona (ha)

(López Cualla, 2003, p. 293)

### 2.4.6.2. Industrial

El aporte industrial debe evaluarse caso por caso, ya que dependiendo de la zona y tamaño de las industrias presentes pueden existir valores mayores o menores, dicho aporte viene dado en litros por segundo y por hectárea dependiendo directamente del área de aporte. (López Cualla, 2003, p. 295)

Para industrias pequeñas situadas en zonas residenciales, se pueden utilizar los aportes presentados en la tabla 3.

*Tabla 3. Contribución industrial en base al nivel de complejidad. (EMAAP, 2009)*

| <b>Contribución Industrial</b>          |   |
|---|---|
| <b>Nivel de complejidad del sistema</b> | <b>Contribución industrial (l/s/ha)</b> |
| Bajo                                    | 0.4                                     |
| Medio                                   | 0.6                                     |
| Medio alto                              | 0.6                                     |
| Alto                                    | 1.0 – 1.5                               |

### 2.4.6.3. Comercial

En zonas de uso exclusivamente comercial se debe realizar un estudio detallado en base a los consumos diarios per cápita, densidades de población en dichas zonas y coeficientes de retorno mayores que los del aporte doméstico. (EMAAP, 2009, p. 31)

### 2.4.6.4. Institucional

Al igual que el aporte de aguas industriales, para el institucional se deberá tener en cuenta cada caso en particular en base a la información relacionada a los consumos. (EMAAP, 2009, p. 32)

### 2.4.6.5. Ilícitas

Este aporte se genera debido a conexiones incorrectas y clandestinas dentro de la red. (López Cualla, 2003, p. 296)

El caudal de aguas ilícitas que ingresa al sistema se determina mediante mediciones en la propia red, pero para los casos en que no se cuente con la información suficiente se puede utilizar la tabla 4 propuesta por la EMAAP.

Tabla 4. Contribución de ilícitas en base al nivel de complejidad. (EMAAP, 2009)

**Aportes máximos por conexiones erradas con sistema  
pluvial**

| Nivel de complejidad del sistema | Aporte (l/s/ha) |
|----------------------------------|-----------------|
| Bajo y medio                     | 0.2-2           |
| Medio alto y alto                | 0.1-1           |

### 2.4.6.6. Infiltración

El aporte por infiltración se basa en las características de permeabilidad del suelo donde se establecerá la red, dicho aporte puede expresarse en función de la longitud de la tubería o del área de aporte. (López Cualla, 2003, p. 296)

Existen varios valores de referencia para el caudal por infiltración, en las tablas 5 y 6 se presentan lo más comunes.

Tabla 5. Valores típicos del caudal por infiltración en función de la longitud. (López Cualla, 2003)

| Condiciones                   | Infiltración (l/s/km) |       |      |
|-------------------------------|-----------------------|-------|------|
|                               | Alta                  | Media | Baja |
| Tuberías existentes           | 4.0                   | 3.0   | 2.0  |
| Tuberías nuevas con unión de: |                       |       |      |
| Cemento                       | 3.0                   | 2.0   | 1.0  |
| Caucho                        | 1.5                   | 1.0   | 0.5  |

Tabla 6. Valores típicos del caudal por infiltración en función del área. (EMAAP, 2009)

| Nivel de complejidad del sistema | Infiltración alta (l/s/ha) | Infiltración media (l/s/ha) | Infiltración baja (l/s/ha) |
|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Bajo y medio                     | 0.1-0.3                    | 0.1-0.3                     | 0.05-0.2                   |
| Medio alto y alto                | 0.15-0.4                   | 0.1-0.3                     | 0.05-0.2                   |

### 2.4.6.7. Caudal de diseño

Una vez obtenidos los valores de todos los aportes residuales, el caudal de diseño puede definirse como la suma de los aportes individuales, teniendo en cuenta la mayoración del caudal doméstico, resultando la siguiente expresión:



$$Qd: M * Q + Qind + Qc + Qili + Qinf$$

Donde:

**Qd:** Caudal de diseño (l/s)

**M:** Coeficiente de mayoración

**Q:** Caudal doméstico (l/s)

**Qind:** Caudal industrial (l/s)

**Qc:** Caudal comercial (l/s)

**Qili:** Caudal ilícitas (l/s)

**Q inf:** Caudal Infiltración (l/s)

## 2.5. Aguas pluviales

La red de drenaje de aguas pluviales se puede dividir en dos grupos: la red de macro drenaje y la red de micro drenaje. La primera corresponde al conjunto de obras destinadas a salvaguardar la vida de las personas y evitar daños económicos para la recurrencia de diseño adoptada, mientras que la micro red se compone por los conductos y obras conexas construidas por el hombre, esta red se puede subdividir en drenaje subterráneo y superficial. (EMAAP, 2009, p. 65)

### 2.5.1. Periodo de retorno

El periodo de retorno corresponde al intervalo de tiempo medio durante el cual se puede igualar o superar un evento hidrológico, dicho periodo se calcula como la inversa de la probabilidad de excedencia anual. (EMAAP, 2009, p. 65)

Con base en lo anterior, es importante determinar la amenaza de que el periodo de retorno sea superado al menos una vez en n años. Esto se representa mediante la siguiente expresión:

$$A = 1 - (1 - p)^n = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^n$$

Donde:

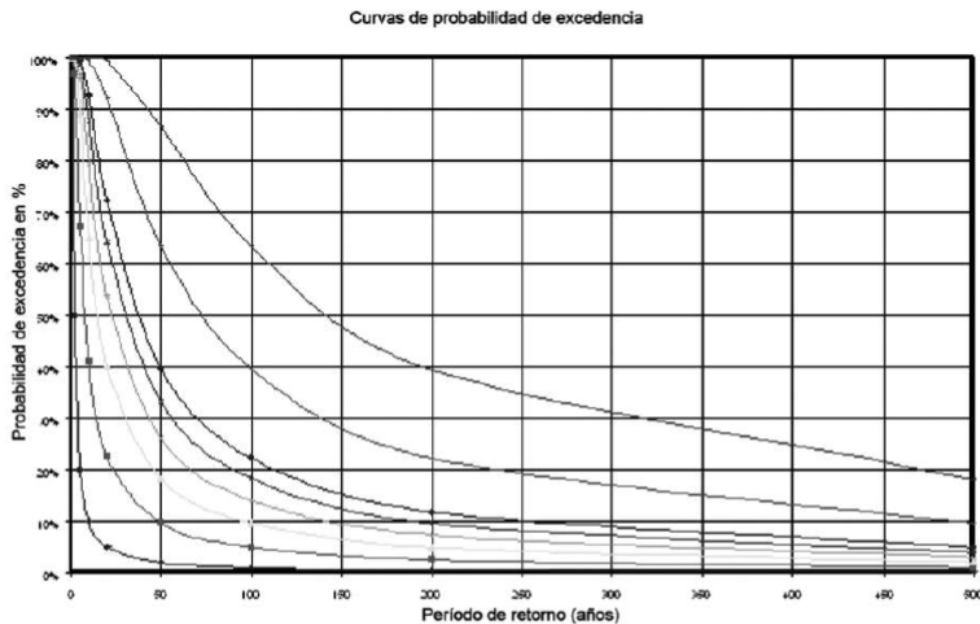
**A:** Amenaza de que el evento sea igualado o superado.

**n:** Vida útil o económica del proyecto. (años)

**Tr:** Periodo de retorno. (años)

Analizando la ecuación presentada se puede concluir que la probabilidad de excedencia disminuye cuando el periodo de retorno aumenta, esto se puede ver con mayor claridad en la gráfica presentada en la figura 7.

Figura 6. Relación entre la probabilidad de ocurrencia de un evento, el periodo de retorno asociado al diseño de una obra y su vida útil. (EMAAP, 2009)



Para seleccionar el periodo de retorno para un proyecto de alcantarillado la EMAAP recomienda valores para distintos tipos de ocupación, los mismos se observan en la tabla 7.

Tabla 7. Períodos de retorno para diferentes ocupaciones del área. (EMAAP, 2009)

**Períodos de retorno para diferentes ocupaciones del área**

| Tipo de Obra  | Tipo de ocupación del área de influencia de la obra | Tr (años) |
|---------------|---|-----------|
| Micro drenaje | Residencial   | 5         |
| Micro drenaje | Comercial   | 5         |
| Micro drenaje | Área con edificios de servicio público              | 5         |
| Micro drenaje | Aeropuertos   | 10        |
| Micro drenaje | Áreas comerciales y vías de tránsito intenso        | 10-25     |
| Micro drenaje | Áreas comerciales y residenciales                   | 25        |
| Micro drenaje | Áreas de importancia específica                     | 50-100    |

**2.5.2. Áreas de drenaje**

El área de drenaje corresponde a la superficie geográfica encerrada por los límites de aporte de escorrentía pluvial. (EMAAP, 2009, p. 71)

Para obtener cada área de drenaje se procede trazando diagonales o bisectrices por las manzanas y planimetrando las áreas correspondientes a cada tubería. En caso de que exista

una cuenca que aporte gran cantidad de agua, se deben diseñar canales interceptores para evitar un diámetro de tubería demasiado grande. (López Cualla, 2003, p. 312)

### 2.5.3. Hidrogramas de diseño

El hidrograma de diseño se construye a partir del período de retorno seleccionado. A partir del hidrograma, se calcula el volumen y los caudales de diseño y en base a estos, se determina el grado de protección correspondiente a la estructura.

La probabilidad de excedencia y el riesgo comúnmente se determinan en base de registros pluviométricos, asimismo a partir de dichos registros se obtiene la tormenta de diseño el cuál corresponde al evento crítico. (EMAAP, 2009, p. 71)

### 2.5.4. Curvas de intensidad-duración-frecuencia

Las curvas IDF representan la naturaleza hidrológica de un sitio, teniendo en cuenta los registros pluviométricos correspondientes. Se requiere información continua y prolongada para la correcta construcción de curvas IDF. Como su nombre lo indica, las curvas se determinan en base de la intensidad la cual según Chow (1994) se define como la tasa temporal de precipitación mediante la siguiente expresión:

$$I = \frac{P}{Td}$$

Donde

**I:** Intensidad de lluvia (mm/hora)

**P:** Profundidad de lluvia (mm)

**Td:** Duración (hora)

En base en la ecuación expuesta se puede concluir que la intensidad disminuye a medida que la duración aumenta, por otro lado, si la duración es corta, la intensidad aumenta su magnitud.

La intensidad de la lluvia está directamente relacionada con la duración y la frecuencia de precipitación. La frecuencia varía en función de la zona de estudio, y puede oscilar entre 3 y 100 años. (López Cualla, 2003, p. 312)

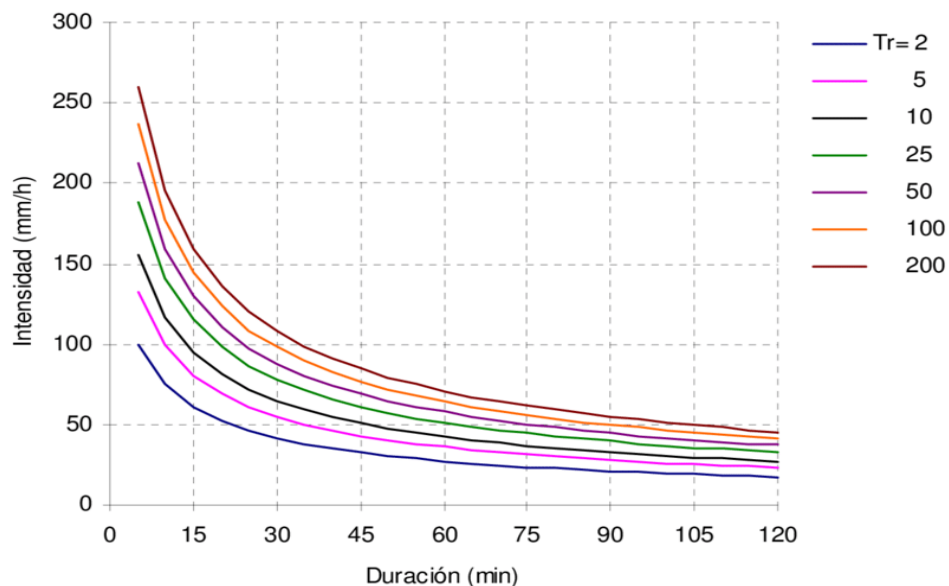
Por otro lado, la duración depende de las características físicas de la cuenca, y puede oscilar entre 5 y 360 minutos. (EMAAP, 2009, p. 32)

La construcción de las curvas IDF se puede realizar usando varias metodologías, una de ellas es la resumida por Gómez (2007), la misma se describe a continuación:

- i. Reunir los datos correspondientes a todas las precipitaciones a lo largo de un amplio periodo de tiempo, es importante que los intervalos de registro sean de al menos 10 minutos.
- ii. Ordenar los datos recolectados en base a los diferentes intervalos de tiempo.
- iii. Determinar para cada año la serie de intensidades medias máximas.
- iv. Utilizar una distribución de extremos para determinar las intensidades medias máximas anuales para cada periodo de retorno.
- v. Una vez se realicen los pasos anteriores se procede a definir la familia de curvas IDF del sitio de estudio.

Como último paso, se puede considerar la obtención de la ecuación para cada curva IDF a fin de poder determinar rápidamente valores de intensidad. La figura 7 muestra las curvas IDF para diferentes períodos de retorno.

Figura 7. Curvas IDF para distintos tiempos de retorno. (Maza, 2008),



### 2.5.5. Tormenta de diseño

El término “tormenta de diseño” se refiere a un evento de lluvia histórico o artificial usado para diseñar un sistema de drenaje, asumiendo que, si el sistema está diseñado para soportar la lluvia de diseño, podrá funcionar normalmente durante eventos similares o menores. La manera más común de representar una tormenta de diseño es mediante hietogramas, ya que no solo es importante el caudal máximo generado si no también el cómo se distribuyen los volúmenes de esorrentía. (Aranda, 2009, p. 19)

Hay varios métodos disponibles para determinar la tormenta de diseño, que se enumeran en la Tabla 8.

Tabla 8. Métodos para el cálculo de tormentas de proyecto (Balbastre, 2018)

| Tormenta de diseño                 | Autor                       | Año  |
|------------------------------------|-----------------------------|------|
| Chicago                            | Keifer y Chu                | 1957 |
| Rectangular/bloque                 | Water Enviroment Federation | 1970 |
| Sifalda                            | Sifalda                     | 1973 |
| Doble Triángulo                    | Desbordes                   | 1978 |
| Triangular                         | Yen y Chow                  | 1980 |
| Lineal/Exponencial                 | Watt et. Al                 | 1986 |
| Frequency Based Hypothetical Storm | USACE                       | 2000 |

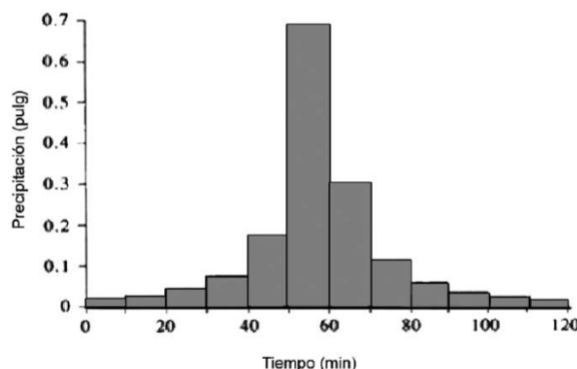
La tormenta de diseño utilizada en este trabajo se determinó mediante el método Chicago, el mismo se describe a continuación.

### 2.5.5.1. Método de los bloques alternos / Chicago

El método se basa en determinar la intensidad y la altura de precipitación a partir de una curva IDF para cada una de las duraciones, las cuales deben corresponder a intervalos de tiempo sucesivos. Los incrementos de precipitación deben ordenarse de manera que la intensidad máxima ocurra a mitad del tiempo de retorno seleccionado, esto se representa como el bloque más alto ubicado en el centro, para el resto de bloques correspondientes a las demás intensidades se los ordena de forma descendente alternando entre derecha e izquierda obteniendo así el hidrograma de diseño. (EMAAP, 2009, p. 76)

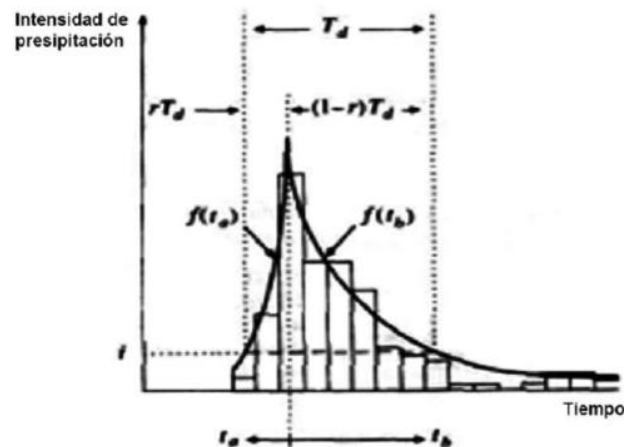
La Figura 8 muestra un ejemplo de hidrograma obtenido mediante el método de bloques alternos.

Figura 8. Método de los bloques alternos. (EMAAP, 2009)



El método Chicago es una variante del método de bloques alternos, donde la principal diferencia es que se considera que la intensidad varía continuamente como se observa en la figura 9.

Figura 9. Método Chicago. (EMAAP, 2009)



## 2.6. Valores máximos y mínimos

Al igual que en todo proyecto de ingeniería, existen valores máximos y mínimos que deben ser respetados para evitar riesgos asociados con la operación de la estructura. Los valores a considerar han sido definidos por diversos autores, y sobre todo por la normativa vigente correspondiente al lugar de estudio. A continuación, se presentan los parámetros pertenecientes al diseño de un sistema de alcantarillado.

### 2.6.1. Diámetro interno mínimo

Cualquier proyecto de alcantarillado cuenta con un valor mínimo que deben tener las tuberías, el cual depende del tipo de alcantarillado que se tenga, Metcalf & Eddy (1995) advierte contra el uso de tuberías de diámetro menor a 200 mm en redes sanitarias, y a 300 mm en sistemas pluviales, mientras que la normativa presentada por la SENAGUA (2012) recomienda un valor mínimo de 200 mm para alcantarillado sanitario y de 250 mm para la red pluvial.

En este estudio, se tiene un sistema de alcantarillado combinado para el cual se recomienda considerar como diámetro interno mínimo el perteneciente al alcantarillado pluvial (300-400 mm).

### 2.6.2. Velocidad mínima

Es importante determinar un valor mínimo para la velocidad, ya que, si el flujo viaja muy lento por las tuberías, existe un mayor riesgo de que los sólidos transportados se depositen en el fondo provocando obstrucciones en la red. Respecto al parámetro de velocidad mínima, la mayoría de autores coinciden en que no se deberá tener velocidades menores a 0.6 m/s en la red de alcantarillado sanitario.

Varios estudios han demostrado que una velocidad de 0.3 m/s es suficiente para evitar la deposición de sólidos, aun así, se recomienda un valor medio mínimo de 0.75 m/s para mayor seguridad. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 122)

En el caso de sistemas pluviales y combinados, el valor mínimo sigue siendo de 0.6 m/s, teniendo en cuenta la altura del tirante de agua, se recomienda un valor mínimo de 5 cm para grandes pendientes y un valor de 7 cm para pendientes normales. (EMAAP, 2009, p. 40)

Respecto a la velocidad mínima, existe otro criterio basado en el esfuerzo tractivo, dicho criterio establece que en casos donde no se pueda alcanzar una velocidad igual o mayor a 0.6 m/s, basta con que el esfuerzo cortante sea de al menos  $1 \text{ N/m}^2$  (1 Pa) para garantizar la autolimpieza. El esfuerzo cortante se determina mediante la siguiente expresión:

$$\tau = \gamma * Rh * S$$

Donde

$\tau$ : Esfuerzo cortante ( $\text{kg/m}^2$ )

$\gamma$ : Peso específico del agua ( $\text{kg/m}^3$ )

$Rh$ : Radio hidráulico (m)

$S$ : Pendiente (m/m)

(EMAAP, 2009, p. 40)

### 2.6.3. Velocidad máxima

La velocidad máxima en aguas residuales depende directamente del daño que pueden sufrir las tuberías debido a la acción corrosiva del material en suspensión, por esta razón los valores no deberán superar los 3 m/s. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 122)

La velocidad máxima permisible en un proyecto de alcantarillado depende netamente del material usado en las tuberías y de su capacidad de resistir la abrasión. Por esta razón, se debe determinar la velocidad máxima para cada material, pero en general el valor máximo real no debe ser mayor a 5 m/s. (EMAAP, 2009, p. 40)

En sistemas de alcantarillado pluvial, las velocidades máximas son mayores porque no se considera el material suspendido presente en las aguas residuales, pero para un sistema combinado, por seguridad, se considera como valor máximo los 5 m/s expuestos anteriormente. En la tabla 9 se pueden observar diferentes velocidades para varios tipos de material.

Tabla 9. Velocidad máxima para diferentes materiales. (EMAAP, 2009)

| Material de la tubería   | Velocidad máxima (m/s) |
|--|------------------------|
| Tubería de hormigón simple hasta 60 cm. de diámetro.                           | 4.5                    |
| Tubería de hormigón armado de 60 cm. de diámetro o mayores.                    | 6.0                    |
| Hormigón armado en obra para grandes conducciones 210/240 kg/cm <sup>2</sup> . | 6.0 – 6.5              |
| Hormigón armado en obra 280/350 kg/cm <sup>2</sup> . Grandes conducciones.     | 7.0 – 7.5              |
| PEAD, PVC, PRFV.   | 7.5                    |
| Acero  | 9.0 o mayor            |
| Hierro dúctil o fundido  | 9.0 o mayor            |

#### 2.6.4. Pendiente mínima

Definir la pendiente mínima de un sistema de alcantarillado depende de la topografía del terreno, pues es conveniente que las tuberías y el terreno tengan pendientes similares para evitar excavaciones excesivas. En el caso de terrenos llanos, se deben utilizar pendientes que permitan un aumento gradual del caudal, teniendo siempre en cuenta la profundidad de excavación. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 123)

Metcalf & Eddy (1995) proponen una serie de pendientes mínimas en función del diámetro y de la velocidad mínima en sistemas de alcantarillado (0.6 m/s), las cuales se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Pendiente mínima en función de la velocidad mínima permisible. (EMAAP, 2009)

| Diámetro (mm) | Pendiente (m/m) |           |
|---------------|-----------------|-----------|
|               | n = 0.013       | n = 0.015 |
| 200           | 0.0033          | 0.0044    |
| 250           | 0.0025          | 0.0033    |
| 300           | 0.0019          | 0.0026    |
| 375           | 0.0014          | 0.0019    |
| 450           | 0.0011          | 0.0015    |
| 525           | 0.0009          | 0.0012    |
| 600           | 0.0008          | 0.0010    |
| 675           | 0.0007          | 0.0009    |
| 750           | 0.0006          | 0.0008    |
| 900           | 0.0004          | 0.0006    |

Por otro lado, la EMAAP propone una pendiente mínima general de 0.5% verificando siempre el cumplimiento de la velocidad mínima.



### **2.6.5. Pendiente máxima**

Así como la pendiente mínima debe garantizar la velocidad mínima, la pendiente máxima debe asegurar que las velocidades en la red no superen la máxima permitida, en el caso de que la pendiente del terreno no permita respetar la velocidad máxima se deberán construir estructuras especiales para la reducción de la velocidad. (EMAAP, 2009, p. 100)

### **2.6.6. Profundidad hidráulica máxima**

La normativa establece que la profundidad hidráulica para el caudal de diseño tanto para aguas residuales y pluviales debe encontrarse entre el 70% y 85% del diámetro real de la tubería. (EMAAP, 2009, p. 41)

### **2.6.7. Profundidad mínima a la cota clave**

Se debe considerar un relleno mínimo de 1.2 metros sobre las tuberías para asegurar su integridad frente al esfuerzo generado por el tráfico vehicular. (SENAGUA, 2012, p. 356)

### **2.6.8. Profundidad máxima a la cota de la clave de la tubería**

La profundidad máxima dependerá de la resistividad del material de las tuberías, pero generalmente no se deben utilizar profundidades superiores a 5 metros a menos que sea estrictamente necesario y la naturaleza geotécnica del terreno lo permita. (EMAAP, 2009, p. 41)

## **2.7. Elementos de captación**

Uno de los principales problemas dentro de problema general del drenaje urbano es introducir el agua a la red de drenaje para que el agua no circule de manera descontrolada por las calles de la ciudad.

Son las estructuras destinadas a captar las aguas de escorrentía superficial para que ingresen al colector de la red de alcantarillado ya sea pluvial o combinado. El agua de lluvia que no se pierde por evaporación o filtración se recolecta por las cunetas y se llevan al sistema de alcantarillado a través de imbornales o sumideros que pueden tener rejillas de captación. Los imbornales descargan directamente las aguas lluvia a la red, mientras que los sumideros interceptan las basuras y sedimentos de las calles. Deben ser ubicados de manera que no afecte al tráfico ni a los peatones. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 181)

Desde la perspectiva del rendimiento hidráulico, un tipo de elemento de captación puede ser más adecuado que otro. Se ha demostrado que los elementos de entrada de rejilla funcionan bien en amplias gamas de pendientes, con su capacidad que disminuye a medida que aumenta la pendiente de la cuneta, pero esta pérdida de capacidad no es tan grande como en las entradas de aceras. (Haestad Methods, 2003, p. 378)

Dadas las dimensiones del elemento de captación, el rendimiento depende de varios factores, como la profundidad y velocidad de flujo en su aproximación, las pendientes longitudinales y transversales de la calzada y el coeficiente de rugosidad de Manning. El rendimiento también depende si está en una depresión o en una pendiente continua, donde los elementos de captación que se encuentran en un punto de hundimiento, se deben diseñar para capturar toda la descarga que se aproximan a ellas, mientras que las entradas en pendientes continuas pueden diseñarse para captar todo o parte del flujo. (Haestad Methods, 2003, p. 379)

La eficiencia se define como la relación entre la descarga interceptada por la entrada y el total de descarga que se aproxima a la entrada.

Según experiencias de otros países se tanteó un ajuste donde el ancho de la mitad de la calle sea distinto a 3 metros y se propone una relación generalizada de ajuste potencial según Gómez & Russo (2010) del tipo:

$$E' = A(k \frac{Q_{calle}}{y})^{-B}$$

Donde  $k$  corresponde a un coeficiente que depende de la configuración de la calle. Y se determinan de acuerdo a la “Tabla 3: Valores del coeficiente  $k$  de acuerdo al ancho de media calzada” del libro de Hidrología Urbana. (Gómez, 2007, p. 142)

Además, es posible extender este análisis a rejillas que no se han podido ensayar en laboratorio buscando correlaciones entre los parámetros A y B, base del ajuste potencial, en donde Luna & Terán (2021) proponen la siguiente ecuación:

$$A = \frac{1.988 * A_g^{0.403}}{p^{0.19} * (n_t + 1)^{0.088} * (n_l + 1)^{0.012} * (n_d + 1)^{0.082}}$$

$$B = 1.346 * \frac{L^{0.179}}{W^{0.394}}$$

Donde:

$A_g$ : Área mínima de la rejilla que contiene por completo el área vacía (m<sup>2</sup>)

$p$ : Porcentaje de área vacía respecto del área total de la rejilla (%)

$n_t$ : Número de barras transversales

$n_l$ : Número de barras longitudinales

$n_d$ : Número de barras diagonales

$L$ : Longitud de la rejilla (cm)

$W$ : Ancho de rejilla (cm)

Y de esa manera el caudal captado por la rejilla se puede aproximar por una ecuación tipo orificio:

$$Q = C_d \in A_T \sqrt{2gE}$$

Donde:

$\epsilon$ : Fracción de huecos

$A_T$ : Área total de la reja (m<sup>2</sup>)

$E$ : Energía del flujo circulante (m)

$g$ : gravedad (m<sup>2</sup>/s)

## 2.8. Descripción del software EPA SWMM 5.0

El modelo de gestión de aguas pluviales SWMM creado por la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA), es un modelo dinámico que calcula principalmente la cantidad y calidad de escorrentía en áreas urbanas. (Peng et al., 2020, p. 415). Actualmente se ha modernizado tanto su interfaz de usuario como la estructura del modelo. Las dos partes principales de SWMM son el motor computacional escrito en C/C++ con aproximadamente 45500 líneas de código y su interfaz de usuario escrita con Delphi.XE2.

La variedad de usuarios de SWMM incluyen ingenieros, hidrólogos y especialistas en gestión de recursos hídricos interesados en la planificación, análisis y diseño relacionado con escorrentía de aguas pluviales, alcantarillados combinados y sanitarios, entre otros sistemas de drenaje en áreas urbanas. Se han realizado miles de análisis alrededor del mundo utilizando este software para: predecir el desbordamiento del alcantarillado combinado, modelar el rendimiento de los techos verdes, simular el desbordamiento del alcantarillado combinado en centros urbanos. A pesar de estas adopciones, el desarrollo y mantenimiento continúan garantizando la calidad de los resultados. (Peng et al., 2020, p. 418)

Las aplicaciones típicas según Rossman & Simon (2022) desde su aparición son:

- Diseño y dimensionamiento de componentes de la red de drenaje para evitar inundaciones
- Diseño de estructuras de retención y accesorios para el control de inundación y calidad de las aguas
- Delimitación de zonas de inundación en barrancos y cauces naturales
- Diseño de estrategias de control de la red para minimizar el número de descargas de sistemas unitarios

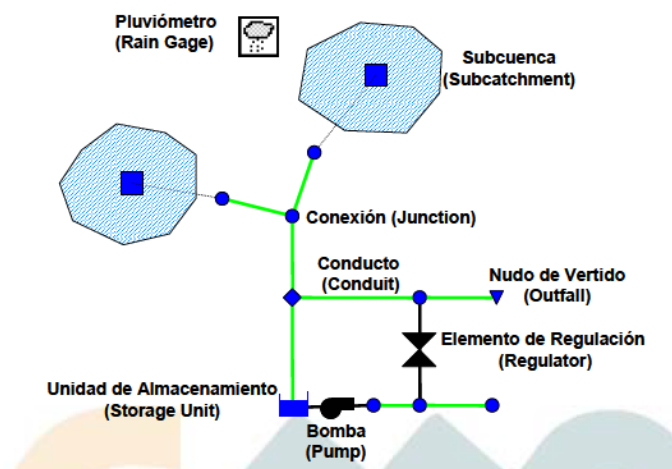
Es necesario comprender cómo SWMM considera un sistema de drenaje, los diferentes elementos que participan y su relación entre los diferentes elementos del sistema de drenaje. Representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una colección de elementos y serie de flujos (objetos) dentro de módulos o capas. (Rossman & Simon, 2022, p. 50). Los módulos son los siguientes:

- Módulo atmosférico: Se analiza a lluvia caída y los contaminantes depositados en la superficie. Se representa con *Rain Gage*

- Módulo de superficie de Suelo: Se representa a través de uno o más objetos tipo cuenca *Subcatchment*. Reciben la precipitación y generan flujos de salida.
- Módulo de aguas subterráneas: Recibe la infiltración y transfiere una parte como flujo de entrada para el siguiente módulo de transporte. Con el objeto *Aquifers*.
- El módulo de transporte: Una red con elementos de transporte y unidades de almacenamiento y tratamiento que transporta el agua hacia los nudos de vertido o PTAR. Se modelan con objetos *Nudos y líneas*.

No es necesario que todos los módulos descritos estén en el modelo hecho en SWMM, en la figura 10 se puede ver un esquema con los componentes físicos empleados por el modelo.

Figura 10. Componentes físicos empleados en el modelo. (Rossman, 2005, p. 37)

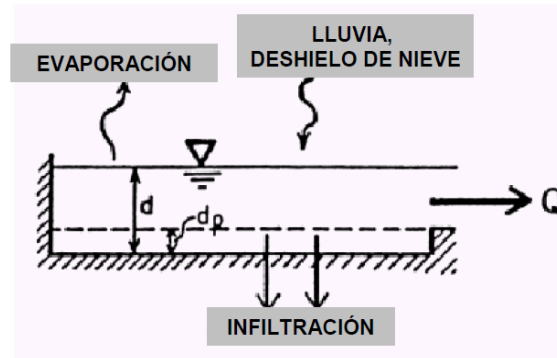


El programa SWMM al ser modelo hidrológico-hidráulico en su formulación emplea los principios de conservación de masa, energía y cantidad de movimiento siempre que sea posible en un análisis sobre intervalos de tiempos discretos para calcular caudales, velocidades, calados y otras variables de interés. Rossman (2005) describe los procesos físicos que producen la escorrentía:

- **Escorrentía Superficial**

Cada una de las subcuencas se trata como depósito no lineal y los aportes de caudal proviene la precipitación y de cualquier otra subcuenca situada aguas arriba. Se produce cuando la profundidad del agua en este depósito excede el valor del máximo almacenamiento en depresión  $dp$ , este caudal se obtiene por la ecuación de Manning. El calado de agua cambia constantemente en cada instante. El almacenamiento en depresión  $dp$  es el máximo almacenamiento en superficie debido a la inundación del terreno, mojado superficial y caudales interceptados en irregularidades. Esto se puede ver en la figura 11.

Figura 11. Representación del modelo no lineal de las subcuencas. (Rossman, 2005, p. 59)



SWMM permite seleccionar tres modelos de infiltración diferentes, como: la ecuación de Horton, el método de Green-Ampt y el método del número de Curva.

Luna & Terán (2021) indican que existen distintos tipos de terrenos dentro de una misma subcuenca, y el software permite asumir ciertas áreas permeables y otras impermeables con diferentes características de infiltración, como se encuentra comúnmente en áreas urbanas sin capacidad de almacenamiento.

Para la conservación de la masa del cambio de altura por unidad de tiempo, tenemos la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q$$

Donde:

*i*: Tasa de precipitación

*e*: Tasa de evaporación

*f*: Tasa de infiltración

*q*: Caudal de escorrentía

- **Modelo hidráulico de tránsito:**

Rossman & Simon (2022) muestran que el transporte de agua de cualquiera de los conductos representados en SWMM se rige por ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento para el flujo gradualmente variado como para el flujo transitorio (ecuaciones de Saint Venant), se puede elegir entre:

- El flujo uniforme: La forma más simple de representar el comportamiento del agua en los conductos. Se asume que el incremento de tiempo es uniforme. Solo puede utilizarse para sistemas ramificados.
- La onda cinemática: Resuelve la ecuación de continuidad junto a la ecuación simplificada de movimiento de cada una de las conducciones. Se requiere que la pendiente de superficie libre de agua sea igual a la pendiente de fondo. El caudal está

determinado por la ecuación de Manning. Esto permite que el caudal como el área varíen de forma espacial y temporal. Es una alternativa precisa y eficiente para tiempos de simulación largos.

- La onda dinámica: Resuelve las ecuaciones completas unidimensionales de Saint Venant y por tanto genera los resultados más precisos. Puede aplicarse para cualquier tipo de red de saneamiento, incluso en el caso que se contenga nudos con múltiples divisiones de flujo o incluso mallas en su trazado.

En nuestro caso, nos centraremos en la onda cinemática, ya que es el modelo hidráulico que se utilizará para el transporte de agua en este trabajo.

Las ecuaciones de Saint-Venant tienen varias formas simplificadas, las cuales definen un modelo de tránsito distribuido unidimensional despreciando flujo lateral. El modelo distribuido más simple es el modelo de la onda cinemática, que ignora la aceleración local, aceleración convectiva, término de fuerza de presión en la ecuación de momentum. (Chow, 1994, p. 291)

$$-\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial y}{\partial x} + S_o = S_f$$

Cuando la inercia y la presión no son importantes, el flujo está dominado por ondas cinemáticas debido a que la gravedad y la fricción están balanceadas para que el flujo no se acelere significativamente.

Entonces tendríamos para momentum:

$$S_o = S_f$$

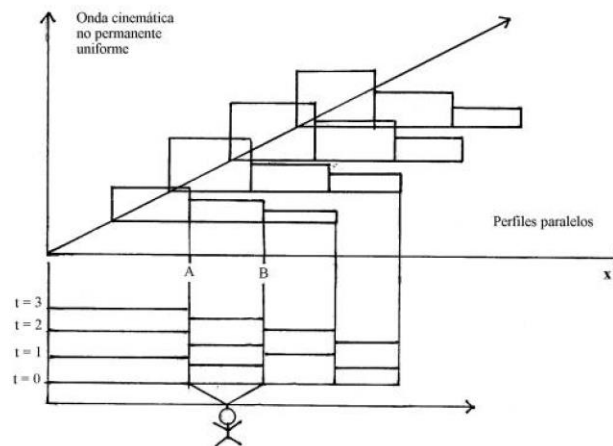
Según Chow (1994), Lighthill y Whitham (1955) ilustraron que el perfil de onda puede deducirse combinando la ecuación de Chezy con la ecuación de momentum para producir la ecuación de caudal.

$$Q = CA \sqrt{RS_f}$$

$$Q = CA \sqrt{R \left( S_o - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial y}{\partial x} \right)}$$

Donde C es el coeficiente de Chezy y R es el radio hidráulico,  $S_o$  es la pendiente del canal  $S_f$  la pendiente de la línea de energía. La representación gráfica de una onda cinemática se puede observar en la figura 12.

Figura 12. Visualización de una onda cinemática. (Fattorelli, 2011, p. 392)



La solución de onda cinemática es función de la distancia  $x$  y del tiempo  $t$ . Puede obtenerse numéricamente utilizando métodos numéricos generales o analíticamente, en algunos casos resolviendo las ecuaciones características simultáneamente. Según Fattorelli (2011), los métodos hidrológicos o hidráulicos de onda cinemática fallan cuando las pendientes son muy bajas.

### 3. Modelación de la situación actual del sistema de alcantarillado combinado

#### 3.1. Topografía y catastro de la zona de estudio

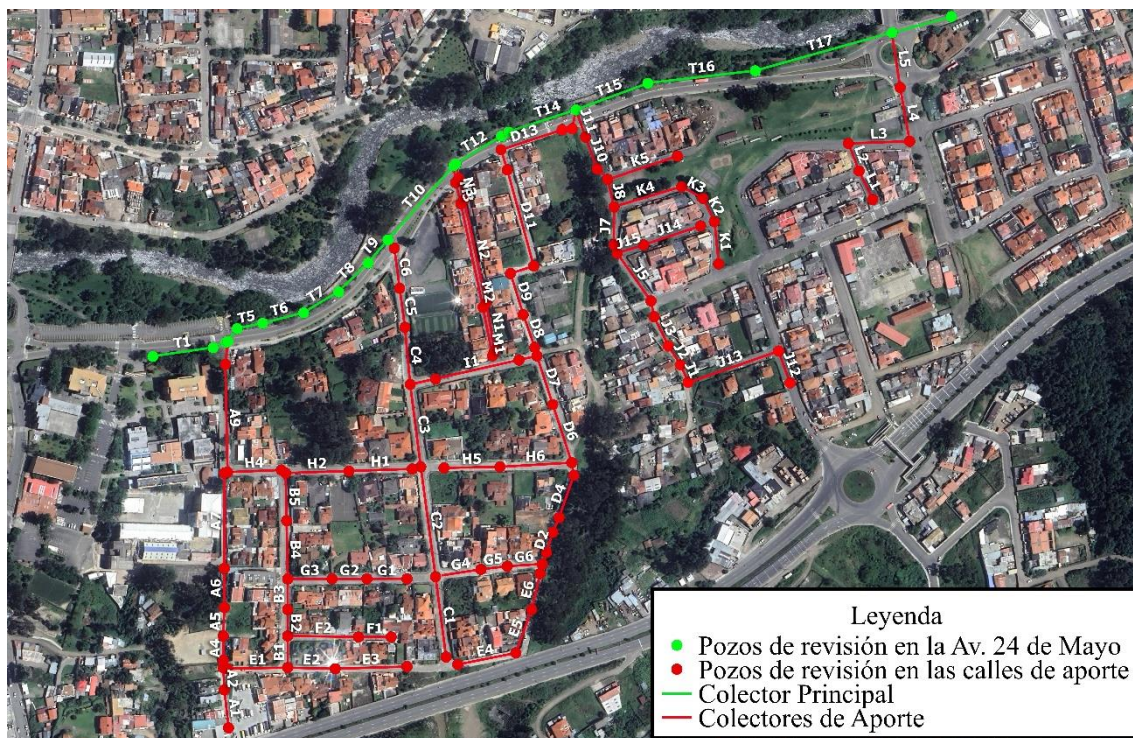
La topografía representa un elemento fundamental en el diseño de cualquier obra civil y, en el caso de los sistemas de alcantarillado, la topografía del lugar de estudio determinará las pendientes y la velocidad del flujo en los colectores. Por tanto, los perfiles topográficos determinarán la complejidad del proyecto, en casos donde las pendientes naturales del terreno sean suaves, las excavaciones deben ser mayores para cumplir con las pendientes mínimas de los colectores, mientras que en pendientes pronunciadas es necesario verificar que las velocidades no excedan los límites establecidos para el proyecto.

Por lo tanto, se requiere obligatoriamente una topografía completa de la zona de estudio para diseñar adecuadamente un sistema de alcantarillado. De igual manera es importante conocer los diferentes usos del suelo del área de interés, los coeficientes de rugosidad correspondientes a calles y veredas, la permeabilidad del terreno, entre otros. Cuanta más información esté disponible, mejor será el diseño y evaluación de un sistema de alcantarillado. La zona abarcada en el presente estudio se halla limitada por la calle Las Garzas, la avenida Gapal, la autopista Cuenca-Azogues y la avenida 24 de Mayo. Dentro del área mencionada, el uso del suelo es en su mayoría residencial y en parte comercial, especialmente la avenida 24 de Mayo, además de esto todas las calles usadas en el modelo se encuentran

pavimentadas y cuentan con aceras de hormigón. En la evaluación, tanto las calles como veredas se consideraron totalmente impermeables dejando a un lado el efecto de la infiltración.

La topografía y catastro del terreno fue brindada por la empresa municipal ETAPA EP junto con el catastro pertinente, aun así, la topografía obtenida estaba incompleta, por lo que fue necesario tomar los puntos de interés faltantes en el sitio de estudio. La topografía del área se caracteriza generalmente por presentar pendientes fuertes en calles secundarias y pendientes más suaves en calles principales. El catastro, por su parte, cuenta con las profundidades de excavación y los diámetros correspondientes a cada tubería, asimismo presenta información acerca de los materiales de construcción teniendo que la totalidad de la red se encuentra construida con hormigón simple. En la figura 13 se presenta el catastro correspondiente a la zona de estudio.

*Figura 13. Catastro de la zona de estudio. Obtenido de Google Satélite*



### 3.2. Delimitación de áreas de aporte (Subcuencas)

La delimitación de las áreas de aporte o subcuencas fueron trazadas tomando en cuenta los límites de la zona de estudio, siendo estos la Autopista Cuenca-Azogues como límite superior, la Avenida 24 de Mayo como límite inferior y la calle Las Garzas y la Avenida Gapal como márgenes laterales.

Dado que el sistema de alcantarillado presente en la zona corresponde a un sistema combinado, se deben considerar las subcuencas para el agua generada por la escorrentía



superficial debido a los eventos de precipitación y las áreas de aporte correspondientes a las aguas residuales. La delimitación de las áreas para aguas pluviales y residuales se realizan mediante diferentes criterios, como se describe a continuación.

### 3.2.1. Áreas de aporte para aguas pluviales

El trazado de las subcuencas para aguas pluviales se realiza en función de las calles y veredas pavimentadas y los sumideros presentes en las mismas. Cada subcuenca representa el área existente de calle y vereda entre dos sumideros. Según este criterio, existen 132 subcuencas presentes en las calles de aporte, y 26 ubicadas en la Av. 24 de Mayo.

El área de estudio de 25.22 hectáreas, la ubicación actual de los sumideros y las subcuencas trazadas se observan en las figuras 14, 15 y 16 respectivamente.

*Figura 14. Área de estudio. Obtenido de Google Satélite*



Figura 15. Ubicación de los sumideros presentes en la zona de estudio. Obtenido de Google Satélite

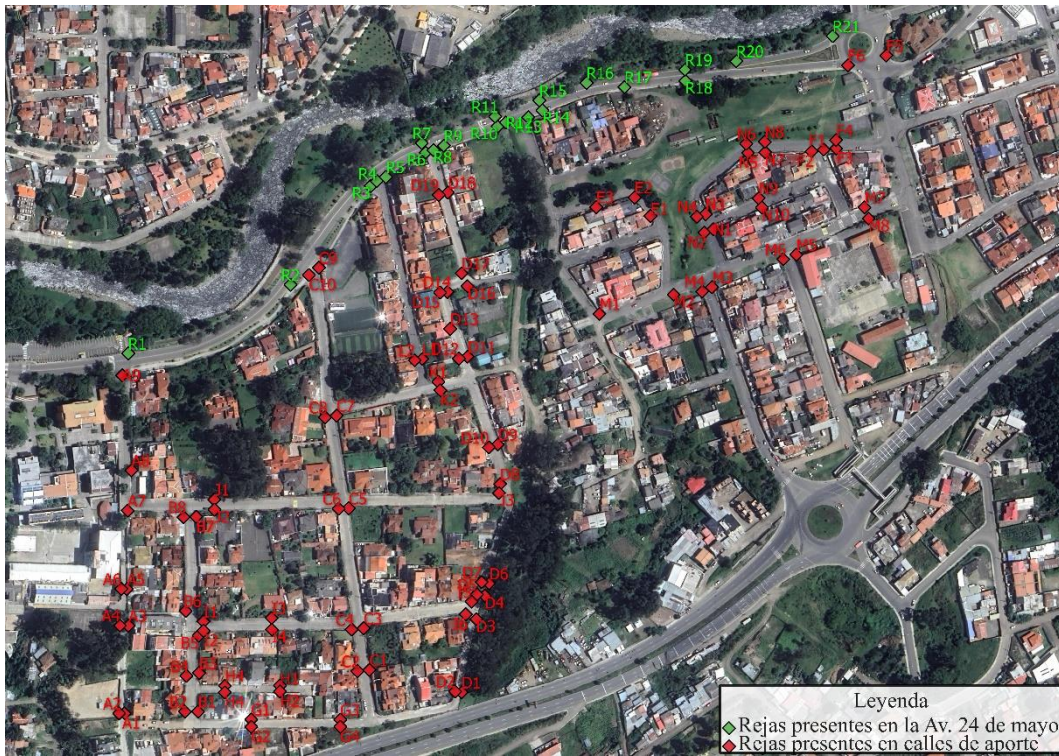
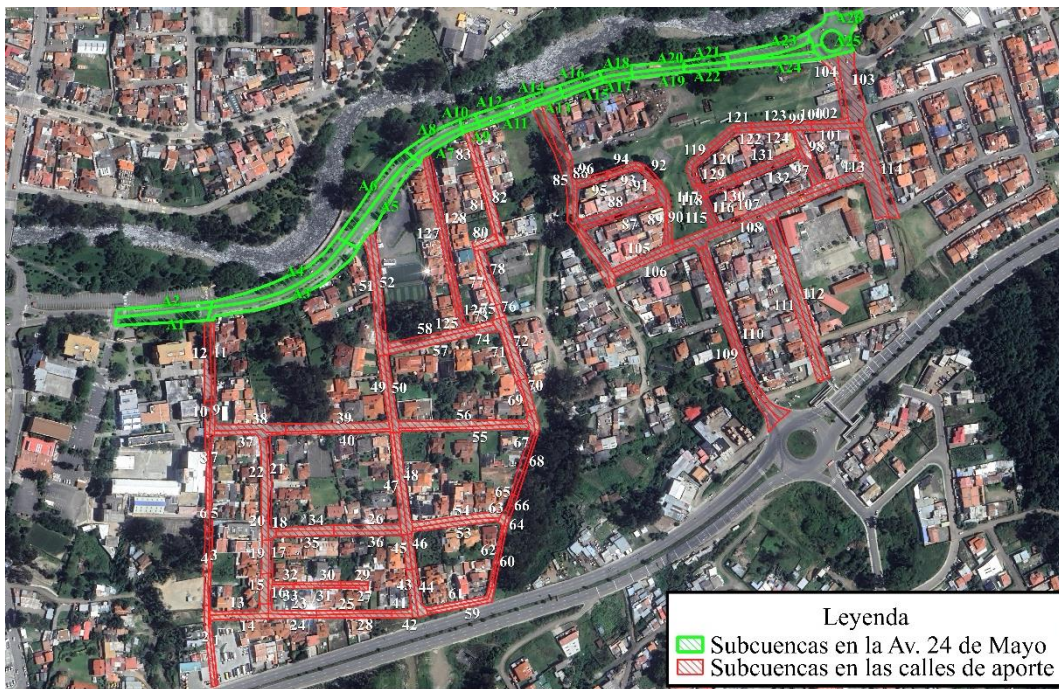


Figura 16. Subcuencas trazadas en el área de estudio. Obtenido de Google Satélite

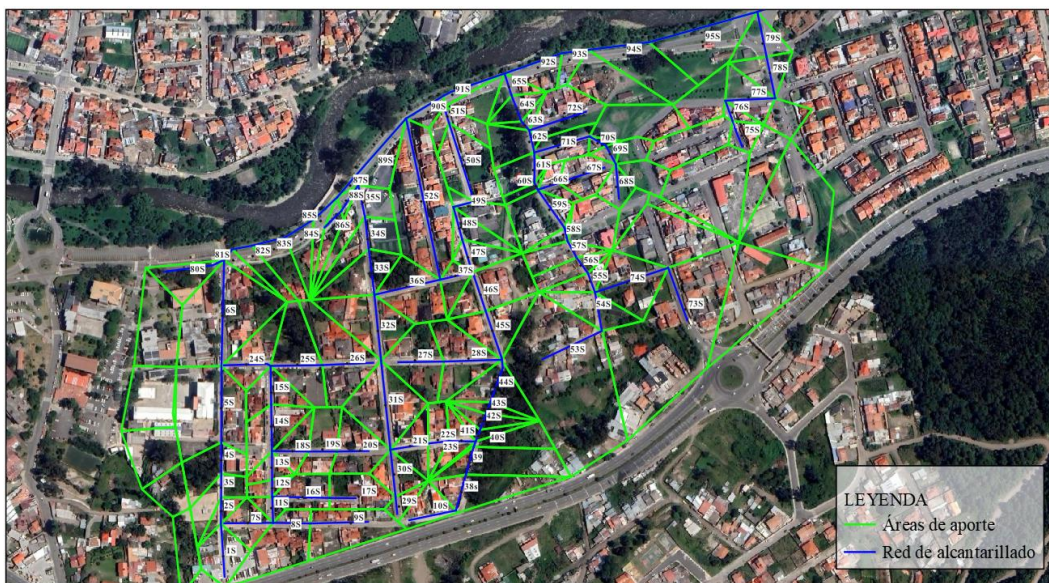


Asimismo, el valor del área correspondiente a cada subcuena se encuentra en el apartado de Anexos de este documento.

### 3.2.2. Áreas de aporte para aguas residuales

Para determinar las áreas tributarias a cada colector según Arocha R. (1983), la forma más práctica de encontrar los caudales para el diseño de cada tramo y colector es dividir el total en función de su área. Se toma en cuenta el diseño de los colectores y se asignan áreas proporcionales que tiene este diseño. Un rectángulo se puede dividir trazando una paralela al lado mayor y por la mitad del lado menor para luego trazar las bisectrices de los ángulos para repartir las áreas en los cuatro lados. Este método de las bisectrices fue la forma más empleada para este trabajo, ya que la irregularidad de la red no permitió tener figuras con formas regulares. Las áreas trazadas se muestran en la figura 17.

Figura 17. Áreas de aporte para caudales residuales. (Elaboración propia)



### 3.3. Determinación de los caudales sanitarios

La cantidad de aguas residuales en un sistema de recolección sanitario incluyen aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales.

En base a la complejidad del sistema, el clima local y la población, la estimación de la dotación neta per cápita se estima en 220 l/cápita/día.

En base a la densidad poblacional expuesta en el PDOT de la ciudad de Cuenca, se encontró la población utilizada para estimar los coeficientes de mayoración según las diferentes ecuaciones encontradas en la bibliografía.

Una vez determinado el coeficiente de mayoración utilizando las ecuaciones de Harman, Babbit y Arocha, se calculó el promedio de los tres resultados dando el valor de 1.73.

Como sugiere Metcalf, se asume un coeficiente de retorno del 70% consistente con las recomendaciones de la EMAAP.

Dado que no existe industrias en esta zona, este caudal se considera nulo, es decir, un aporte de 0 l/s.

El caudal medio de aguas residuales para un colector con un área de drenaje se determina en base a lo explicado en el punto 2.4.6. Los caudales sanitarios actuales y futuros se presentan en el apartado de anexos de este documento.

### 3.4. Población de diseño

La población de diseño se estima en base a los censos realizados en 1990, 2001 y 2010, obteniendo la población actual, de igual manera se proyecta la población para el año 2040. Las estimaciones se realizan utilizando los métodos descritos en el apartado 2.4.2. en función de tres criterios: tasa de crecimiento en 1990-2001, 2001-2010 y 1990-2010 utilizando al final el promedio de los valores obtenidos. Las poblaciones estimadas hasta el año 2040 se presentan en las tablas 11, 12, 13 y 14.

*Tabla 11. Población estimada para el año 2023 mediante el método aritmético, geométrico y exponencial*

| Criterio       | Población 2023    |                   |                    | Unidades   |
|----------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|
|                | Método Aritmético | Método geométrico | Método Exponencial |            |
| Tasa 1990-2001 | 1535              | 1800              | 1800               | Habitantes |
| Tasa 2001-2010 | 1467              | 1536              | 1536               | Habitantes |
| Tasa 1990-2010 | 1504              | 1676              | 1676               | Habitantes |

*Tabla 12. Población estimada para el año 2023 mediante el método de mínimos cuadrados*

| Ajuste      | Población |            |
|-------------|-----------|------------|
|             | 2023      | Unidades   |
| Lineal      | 1522      | Habitantes |
| Exponencial | 1758      | Habitantes |
| Logarítmico | 1514      | Habitantes |

*Tabla 13. Población estimada para el año 2040 mediante el método aritmético, geométrico y exponencial*

| Criterio | Población 2040    |                   |                    |
|----------|-------------------|-------------------|--------------------|
|          | Método Aritmético | Método geométrico | Método Exponencial |

|                       |      |      |      |            |
|-----------------------|------|------|------|------------|
| <b>Tasa 1990-2001</b> | 1991 | 3106 | 3106 | Habitantes |
| <b>Tasa 2001-2010</b> | 1833 | 2152 | 2152 | Habitantes |
| <b>Tasa 1990-2010</b> | 1920 | 2633 | 2633 | Habitantes |

Tabla 14. Población estimada para el año 2023 mediante el método de mínimos cuadrados

| Población   |      |            |
|-------------|------|------------|
| Ajuste      | 2040 | Unidades   |
| Lineal      | 1939 | Habitantes |
| Exponencial | 2772 | Habitantes |
| Logarítmico | 1924 | Habitantes |

La población promedio actual es de 1661 personas con una densidad poblacional de 63,88 hab/ha y la población estimada en 2040 es de 2347 personas con una densidad de población de 93,07 hab/ha.

### 3.5. Eventos de precipitación simulados

En su trabajo Luna & Terán (2021), mencionan que se seleccionaron dos eventos que causaron problemas de inundaciones para calibrar el modelo y evaluar la condición actual del drenaje. Estos eventos obtenidos a partir de datos proporcionados por la Empresa Municipal de Telefonía, Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Cuenca (ETAPA EP) de la estación de Ucubamba. Los datos fueron de precipitación con intervalos de tiempo de cinco minutos recopilados desde 2017.

Para cumplir estándares como PDISBA y el proyecto RESCCUE, también mencionan que las simulaciones se realizaron ante un evento con periodo de retorno de 10 años, obtenidos a partir de las curvas IDF obtenido del *Estudio de Lluvias Intensas* del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Su trabajo incluye los siguientes eventos:

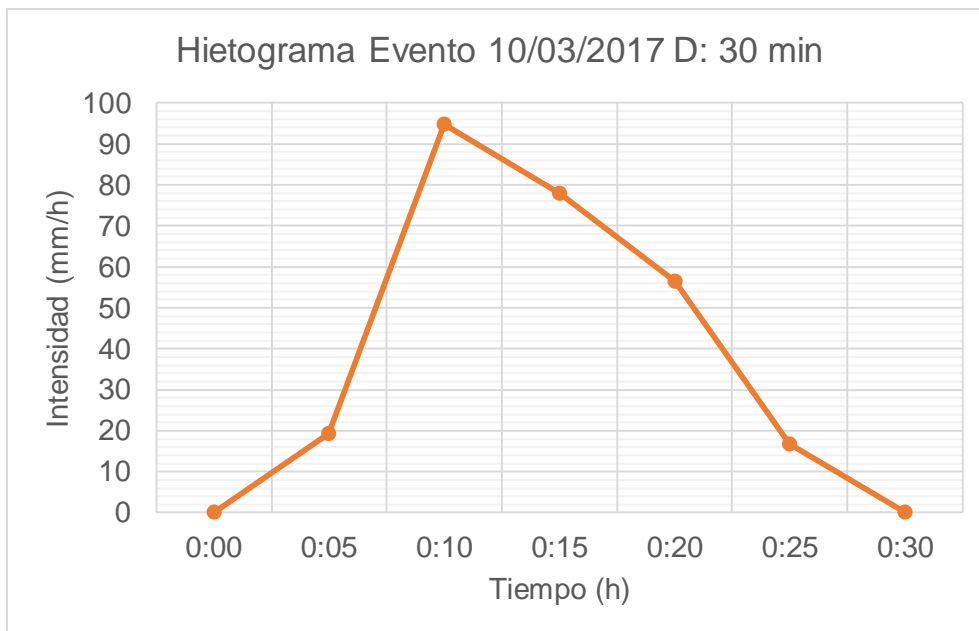
#### A. Evento del 10/03/2017

Es un evento corto con duración de 30 minutos, en la tabla 15 se muestran los valores de volumen e intensidad correspondientes. De igual manera en la figura 18 se puede ver el hidrograma perteneciente al evento.

Tabla 15. Valores de volumen e intensidad de precipitación por cada registro de medición. (Luna & Terán, 2021, p. 29)

| Tiempo | Volumen (mm) | Intensidad (mm/h) |
|--------|--------------|-------------------|
| 0:00   | 0            | 0                 |
| 0:05   | 1.6          | 19.2              |
| 0:10   | 7.9          | 94.8              |
| 0:15   | 6.5          | 78                |
| 0:20   | 4.7          | 56.4              |
| 0:25   | 1.4          | 16.8              |
| 0:30   | 0            | 0                 |

Figura 18. Hietograma para un evento de 30 minutos.



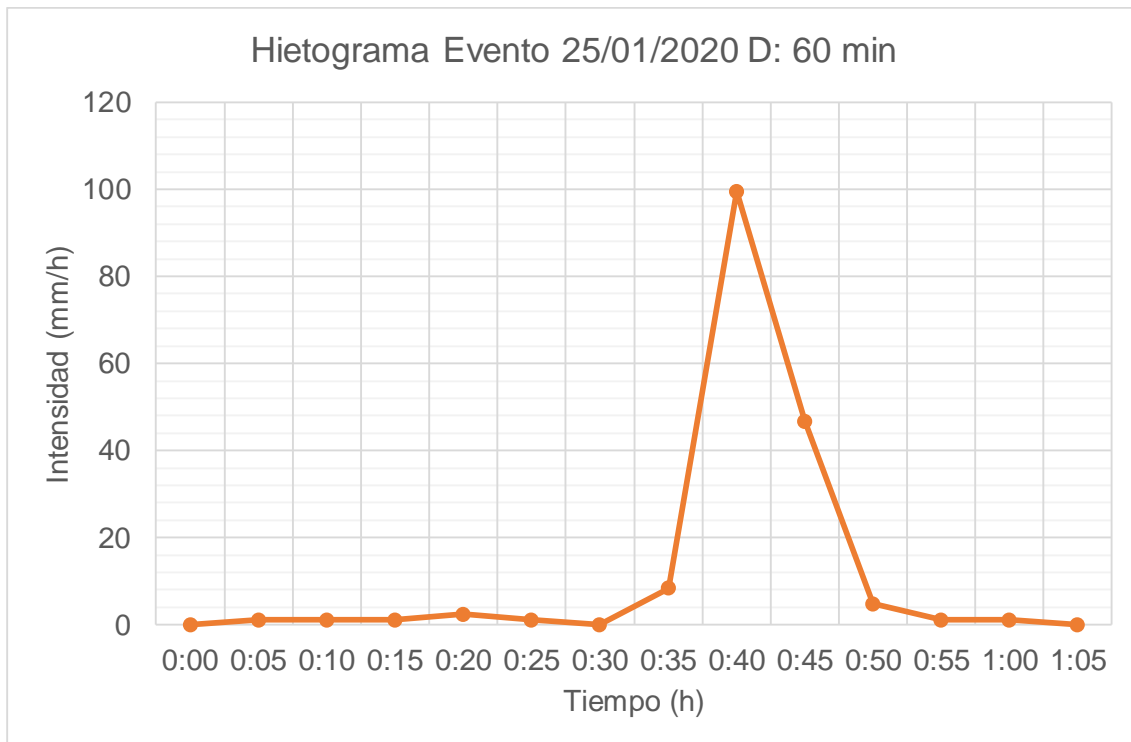
**B. Evento del 25/01/2020**

Evento con duración aproximada de una hora. La Autopista Cuenca-Azogues y Av. de las Américas (Sector Hospital del Río), como varios tramos de la Av. 24 de Mayo presentaron problemas de acumulación de agua. La información respectiva se muestra en la tabla 16. Asimismo, el hidrograma del evento se puede observar en la figura 19.

Tabla 16. Valores de volumen e intensidad de precipitación por cada registro de medición. (Luna & Terán, 2021, p. 30)

| Tiempo | Volumen (mm) | Intensidad (mm/h) |
|--------|--------------|-------------------|
| 0:00   | 0            | 0                 |
| 0:05   | 0.1          | 1.2               |
| 0:10   | 0.1          | 1.2               |
| 0:15   | 0.1          | 1.2               |
| 0:20   | 0.2          | 2.4               |
| 0:25   | 0.1          | 1.2               |
| 0:30   | 0            | 0                 |
| 0:35   | 0.7          | 8.4               |
| 0:40   | 8.3          | 99.6              |
| 0:45   | 3.9          | 46.8              |
| 0:50   | 0.4          | 4.8               |
| 0:55   | 0.1          | 1.2               |
| 1:00   | 0.1          | 1.2               |
| 1:05   | 0            | 0                 |

Figura 19. Hietograma para un evento de 30 minutos.



### C. Lluvia de diseño con periodo de retorno de 10 años obtenidas de las curvas IDF

En su trabajo Luna & Terán (2021) utilizaron curvas IDF obtenidas a partir de dos estaciones meteorológicas de la ciudad de Cuenca y, dada su cercanía al sitio de estudio, se usó la estación Cuenca Aeropuerto con código (M0067). Las ecuaciones utilizadas se presentan a continuación en la tabla 17.

Tabla 17. Ecuaciones de intensidad, duración y frecuencia para la estación M0067. (Luna & Terán, 2021, p. 31)

| Intervalo de tiempo | Ecuaciones                               | Unidad |
|---------------------|--|--------|
| 5-60 min            | $I = 201.93 * T^{0.1845} * t^{-0.4926}$  | mm/h   |
| 60-1440 min         | $I = 1052.78 * T^{0.1767} * t^{-0.8921}$ | mm/h   |

Se menciona que, al aplicar el modelo de bloques alternados para el cálculo de tormenta de diseño, se obtienen los hietogramas de eventos con duraciones de 30 minutos y una hora para un periodo de retorno de 10 años en ambos casos. Los mismos se muestran en las figuras 20 y 21 respectivamente.

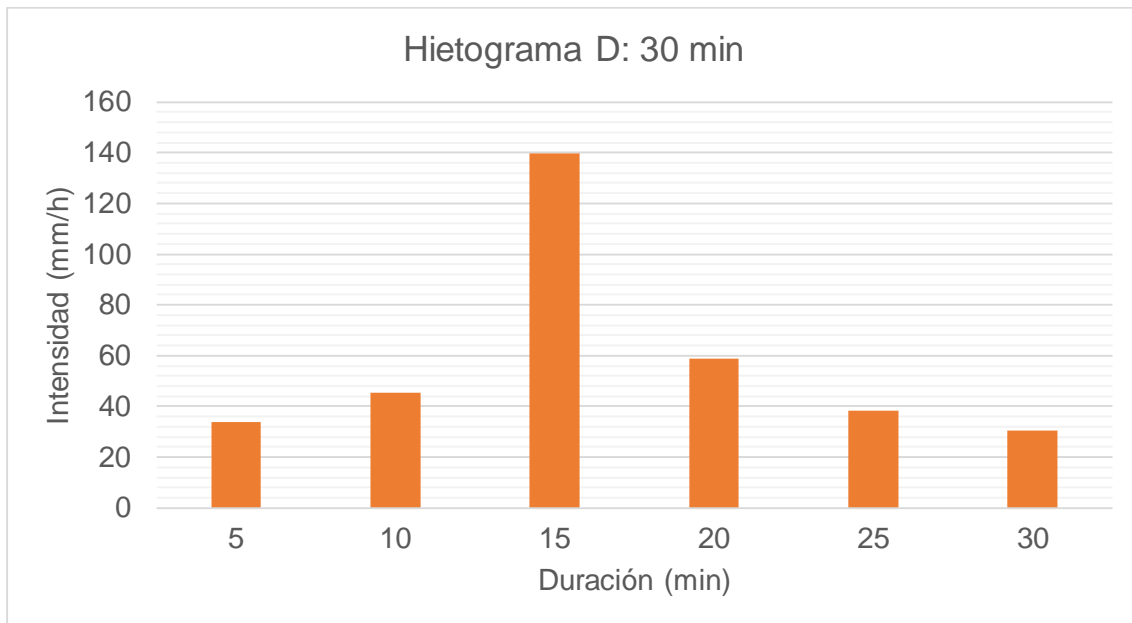
- Evento de 30 minutos:

Tabla 18. Valores de hietograma para un evento de 30 minutos. (Luna & Terán, 2021, p. 31)

| Tiempo      | Intensidad (mm/h) |
|-------------|-------------------|
| <b>0:05</b> | 33.855            |
| <b>0:10</b> | 45.381            |
| <b>0:15</b> | 139.762           |
| <b>0:20</b> | 58.908            |
| <b>0:25</b> | 38.355            |
| <b>0:30</b> | 30.653            |

Figura 20. Hietograma para un evento de 30 minutos.



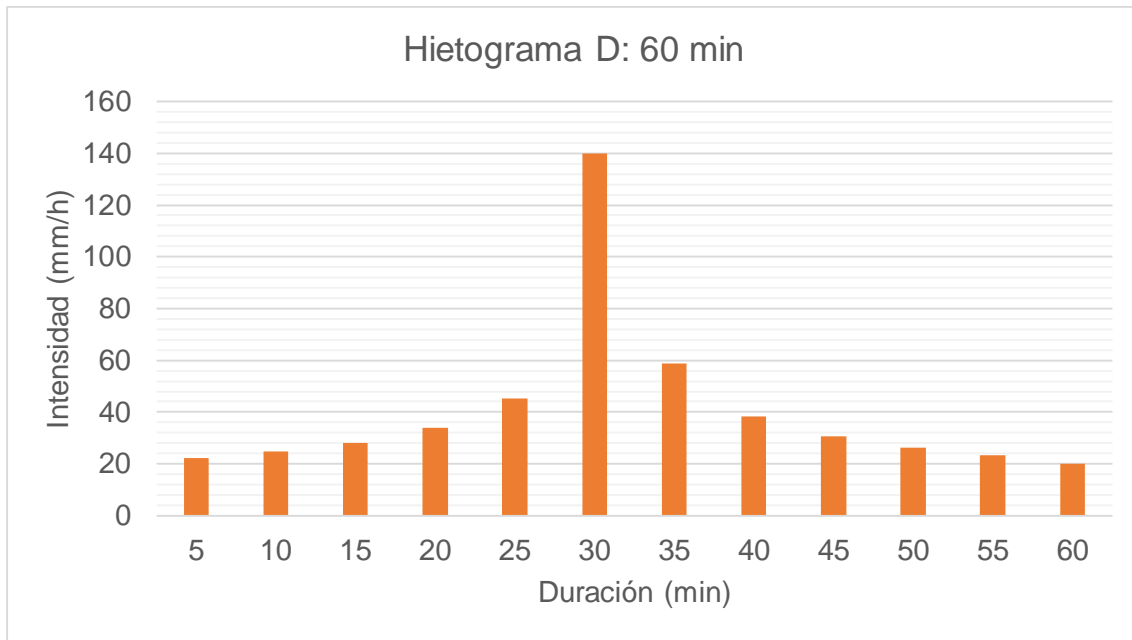


- Evento de 1 hora:

Tabla 19. Valores de hietograma para un evento de 1 hora. (Luna & Terán, 2021, p. 32)

| Tiempo | Intensidad (mm/h) |
|--------|-------------------|
| 0:05   | 22.275            |
| 0:10   | 24.722            |
| 0:15   | 28.224            |
| 0:20   | 33.855            |
| 0:25   | 45.381            |
| 0:30   | 139.762           |
| 0:35   | 58.908            |
| 0:40   | 38.355            |
| 0:45   | 30.653            |
| 0:50   | 26.298            |
| 0:55   | 23.402            |
| 1:00   | 20.125            |

Figura 21. Hietograma para un evento de 1 hora.



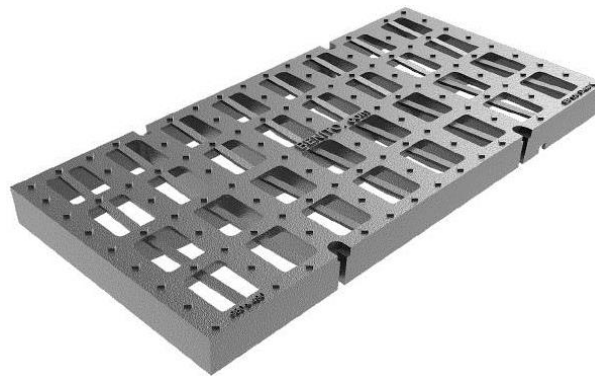
### 3.6. Eficiencia de los elementos de captación

El agua de lluvia que ingresa a la red de alcantarillado combinado depende directamente de la eficiencia de rejillas y sumideros, esta eficiencia depende del tipo de rejilla que se tenga en la zona de estudio.

En el presente estudio, los elementos de captación se componen de varillas de acero que varían desde los 20 y 25 mm de diámetro con un tamaño promedio de 70 x 40 cm. La eficiencia puede verse afectada por otros elementos, como la obstrucción de los elementos de captación por la presencia de hojas, piedras, basura, entre otros. Cabe mencionar que cuanto más eficaz sea una rejilla, mayor será el agua que ingrese al sistema de alcantarillado, por lo que es fundamental complementar un drenaje superficial que no represente riesgos con un sistema de alcantarillado que pueda transportar de manera segura el agua de lluvia entrante.

Para la construcción del modelo se considerará la eficiencia de las rejillas actuales y de las rejillas del tipo TANGO D4 propuesta como alternativa por Luna & Terán (2021) en su trabajo. Un ejemplo de este tipo de rejillas se muestra en la figura 22.

Figura 22. Reja: Modelo TANGO D4. (Catálogo digital de Benito.com)



**3.7. Modelo en SWMM de la situación actual de la red de alcantarillado**

Para comenzar a modelar la red de alcantarillado combinado, se requiere configurar todos los parámetros necesarios a fin de representar la realidad de manera fiable. Los parámetros más importantes son las unidades de caudal, la forma de la sección de los colectores, el modelo hidráulico de transporte y la ecuación de fuerzas a utilizar en el modelo.

**3.7.1. Pluviómetro**

Una vez se tienen configurados los parámetros iniciales del proyecto, se procede a construir la red en base al modelo conceptual utilizado por SWMM expuesto en el manual de usuario. El modelo presenta un conjunto de módulos que deben ser configurados, comenzando con el módulo atmosférico, desde el cual se ingresan los diferentes eventos de precipitación. Para agregarlos, se usó el objeto Rain Gage o Pluviómetro representado por el icono en forma de nube en la barra de herramientas de SWMM. Los parámetros obligatorios a configurar en el pluviómetro son: el formato de lluvia, el intervalo de tiempo, el evento a simular y las unidades correspondientes al estudio como se muestra en la figura 23.

Figura 23. Configuración del pluviómetro

| Rain Gage EVENTO1 |            |
|-------------------|------------|
| Property          | Value      |
| Name              | EVENTO1    |
| X-Coordinate      | 722175     |
| Y-Coordinate      | 9677381    |
| Description       |            |
| Tag               |            |
| Rain Format       | VOLUME     |
| Time Interval     | 0:05       |
| Snow Catch Factor | 0          |
| Data Source       | TIMESERIES |
| TIME SERIES:      |            |
| - Series Name     | EVENTO2017 |
| DATA FILE:        |            |
| - File Name       | *          |
| - Station ID      | *          |
| - Rain Units      | MM         |

SWMM proporciona tres formatos de precipitación diferentes: Intensidad, volumen y acumulativa. Este estudio utiliza un formato de volumen para los eventos registrados en 2017 y 2020, por otro lado, para las tormentas de diseño, la simulación se realizó en términos de la intensidad.

Figura 24. Serie temporal

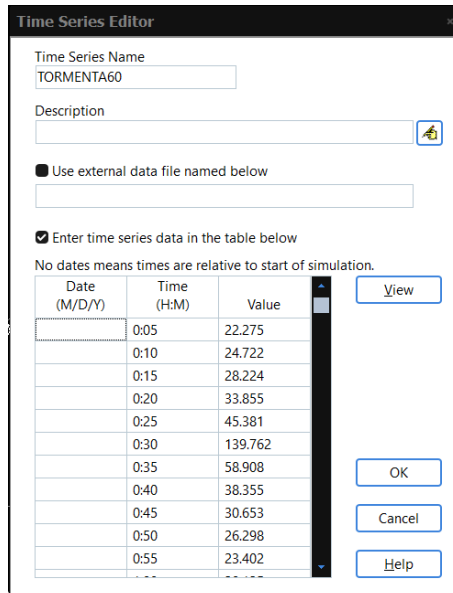
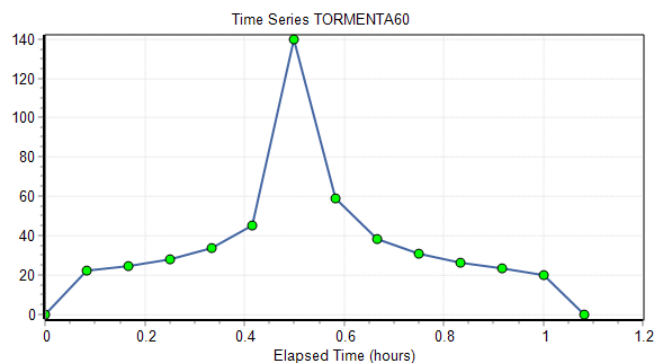


Figura 25. Gráfico de la serie temporal



### 3.7.2. Subcuencas

A continuación, se define el módulo de superficie del suelo, donde se deben trazar las diferentes subcuencas de aporte mediante el uso del objeto *Subcatchment*, las mismas que fueron definidas en el apartado 3.2.6. Dentro de la configuración de la subcuenca se deberán establecer los parámetros principales del proyecto incluyendo el pluviómetro asignado, la permeabilidad del terreno, la pendiente de la cuenca, la anchura del flujo en superficie, el área de la cuenca entre otros. La configuración del módulo se puede apreciar en la figura 26.

Figura 26. Configuración de las subcuencas

| Property        | Value   |
|-----------------|---------|
| Description     |         |
| Tag             |         |
| Rain Gage       | EVENTO1 |
| Outlet          | 1       |
| Area            | 0.023   |
| Width           | 4.09    |
| % Slope         | 13.28   |
| % Imperv        | 100     |
| N-Imperv        | 0.014   |
| N-Perv          | 0.1     |
| Dstore-Imperv   | 0.05    |
| Dstore-Perv     | 0.05    |
| %Zero-Imperv    | 25      |
| Subarea Routing | OUTLET  |

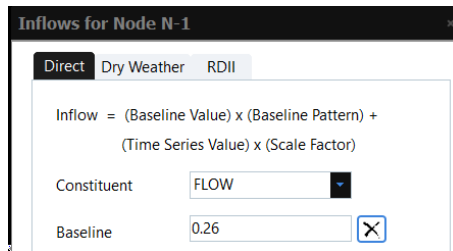
**3.7.3. Construcción de la red de alcantarillado**

El último módulo es el módulo de transporte, que corresponde a todos los elementos pertenecientes a la red, como canales, tuberías, bombas, unidades de almacenamiento, entre otros. En este módulo, SWMM proporciona los objetos *Junction Node*, *Outfall Node*, *Divider Node* y *Conduit Link* que se utilizan en el modelo correspondiente al estudio actual. Los nodos comunes representan a los pozos de revisión. Para ello, el software requiere la altura y la profundidad de la tubería en relación con el suelo. Además, debido a que el alcantarillado es de tipo combinado, es necesario ingresar el valor del caudal de aguas residuales correspondiente a las áreas de aporte de cada nodo. Este proceso se evidencia en las figuras 27 y 28.

Figura 27. Configuración de los nodos normales/Pozos de revisión

| Property        | Value |
|-----------------|-------|
| Description     |       |
| Tag             |       |
| Inflows         | YES   |
| Treatment       | NO    |
| Invert El.      | 2549  |
| Max. Depth      | 1.7   |
| Initial Depth   | 0     |
| Surcharge Depth | 0     |
| Ponded Area     | 0     |

Figura 28. Ingreso del caudal sanitario



Por su parte, los Nodos Divisores o Dividers se usaron para representar las rejas y sumideros de la zona, debido a que su función, como su nombre lo indica, es dividir el flujo de agua en dos partes, en este caso, una parte del agua ingresa a la red de alcantarillado y la otra sigue su flujo por la calle, para determinar qué cantidad de caudal entra por las rejas se hace uso de una tabla de eficiencias determinadas en base a la sección transversal de la calzada, los coeficientes de la reja y la pendiente longitudinal de la calle. La configuración de las rejas y la introducción de las eficiencias se muestran en las figuras 29 y 30 respectivamente.

Figura 29. Configuración de los divisores/rejas

| Divider 1       |         |
|-----------------|---------|
| Property        | Value   |
| Inflows         | NO      |
| Treatment       | NO      |
| Invert El.      | 2543.61 |
| Max. Depth      | 0       |
| Initial Depth   | 0       |
| Surcharge Depth | 0       |
| Ponded Area     | 0       |
| Diverted Link   | T-120   |
| Type            | TABULAR |
| Cutoff Divider  |         |
| Cutoff Flow     | 0       |
| Tabular Divider |         |
| Curve Name      | Garzas  |
| Weir Divider    |         |
| Min. Flow       | 0       |
| Max. Depth      | 0       |
| Coefficient     | 0       |

Figura 30. Datos para la curva de eficiencia

|    | Inflow (LPS) | Outflow (LPS) |
|----|--------------|---------------|
| 1  | 3.74         | 2.91          |
| 2  | 6.08         | 3.86          |
| 3  | 9.17         | 4.90          |
| 4  | 13.10        | 6.02          |
| 5  | 17.93        | 7.23          |
| 6  | 23.75        | 8.50          |
| 7  | 30.62        | 9.85          |
| 8  | 38.62        | 11.27         |
| 9  | 47.81        | 12.76         |
| 10 | 58.25        | 14.30         |
| 11 | 70.02        | 15.91         |

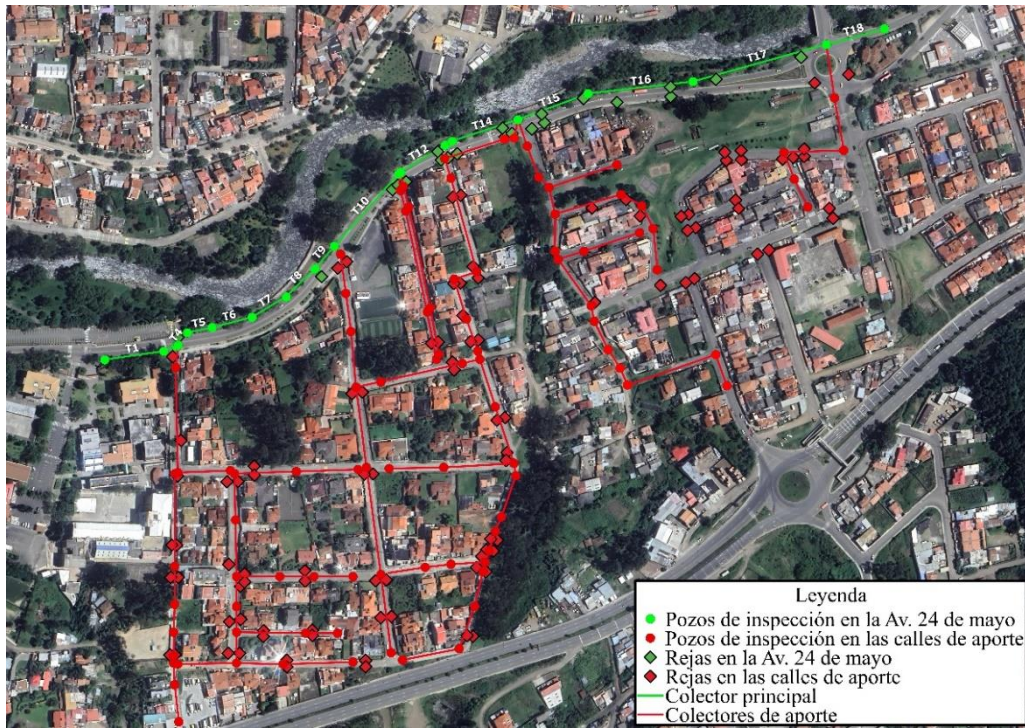
Finalmente, las tuberías se trazan mediante el uso del objeto *Conduit Link*, que permite conectar dos nodos usando un canal o una tubería dependiendo de lo que se desee. En este caso, la sección de tuberías presente en la zona es circular y de hormigón simple, los otros dos parámetros obligatorios son la longitud y el coeficiente de rugosidad como se observa en la figura 31.

Figura 31. Configuración de los conductos/tuberías

| Property          | Value    |
|-------------------|----------|
| Description       |          |
| Tag               |          |
| Shape             | CIRCULAR |
| Max. Depth        | 0.2      |
| Length            | 36.96    |
| Roughness         | 0.014    |
| Inlet Offset      | 0        |
| Outlet Offset     | 0        |
| Initial Flow      | 0        |
| Maximum Flow      | 0        |
| Entry Loss Coeff. | 0        |
| Exit Loss Coeff.  | 0        |
| Avg. Loss Coeff.  | 0        |
| Seepage Loss Rate | 0        |
| Flap Gate         | NO       |
| Culvert Code      |          |

En la figura 32, se muestra un mapa de la red de alcantarillado actual donde se puede observar la ubicación de los pozos de revisión y tuberías que conforman el sistema combinado.

Figura 32. Red de alcantarillado combinado modelada. Obtenido de Google Satélite



### 3.7.4. Simulación del caudal sanitario

Una vez que se tiene el modelo completo, se simuló el funcionamiento de la red solo para el caudal sanitario para verificar las velocidades y capacidades del sistema en épocas de sequía. En la tabla 20 se pueden observar los resultados obtenidos para los caudales sanitarios correspondientes a la población de 2023.

Tabla 20. Caudales, velocidades y capacidades máximas para el caudal sanitario

| Tramo | J (%) | D (mm) | Q (l/s) | V (m/s) | Y/D  | $\tau$ (Pa) |
|-------|-------|--------|---------|---------|------|-------------|
| T1    | 1.40% | 300    | 0.37    | 0.31    | 0.01 | 0.27        |
| T2    | 2.32% | 300    | 0.37    | 0.37    | 0.01 | 0.44        |
| T3    | 1.31% | 600    | 0.37    | 0.27    | 0.01 | 0.50        |
| T4    | 2.78% | 600    | 7.09    | 0.99    | 0.03 | 3.24        |
| T5    | 3.14% | 600    | 7.22    | 1.04    | 0.02 | 2.47        |
| T6    | 3.47% | 600    | 7.39    | 1.08    | 0.02 | 2.73        |
| T7    | 5.36% | 600    | 7.56    | 1.26    | 0.02 | 4.22        |
| T8    | 1.04% | 600    | 7.81    | 0.72    | 0.04 | 1.60        |
| T9    | 0.68% | 500    | 7.94    | 0.82    | 0.05 | 1.09        |
| T10   | 2.56% | 600    | 14.52   | 1.2     | 0.04 | 3.93        |



|     |       |     |       |      |      |       |
|-----|-------|-----|-------|------|------|-------|
| T11 | 4.00% | 600 | 15.64 | 1.43 | 0.09 | 13.52 |
| T12 | 9.53% | 600 | 15.64 | 1.92 | 0.03 | 11.12 |
| T13 | 1.18% | 600 | 15.78 | 0.93 | 0.06 | 2.69  |
| T14 | 0.74% | 600 | 15.78 | 0.8  | 0.07 | 1.97  |
| T15 | 0.56% | 600 | 21.14 | 0.78 | 0.10 | 2.09  |
| T16 | 0.20% | 600 | 21.65 | 0.55 | 0.14 | 1.03  |
| T17 | 0.45% | 600 | 22.19 | 0.74 | 0.11 | 1.84  |
| T18 | 0.45% | 600 | 23.07 | 1.06 | 0.08 | 3.68  |

En base a los valores obtenidos, se puede concluir que en los tramos 1, 2 y 3 no se cumplen las condiciones de autolimpieza, debido a que las velocidades son inferiores a 0.6 m/s y la fuerza de tracción no alcanza el valor mínimo de 1 Pa. Así mismo, en el tramo 16 la velocidad es inferior al valor mínimo permisible.

### 3.7.5. Simulación de los eventos de 2017 y 2020

Una vez modelado el estado actual de la red de alcantarillado, se pueden simular los eventos deseados, en este caso se simularon dos eventos pertenecientes al año 2017 y 2020. Las velocidades, caudales y capacidades obtenidas para cada tubería del colector principal se presentan en la tabla 21.

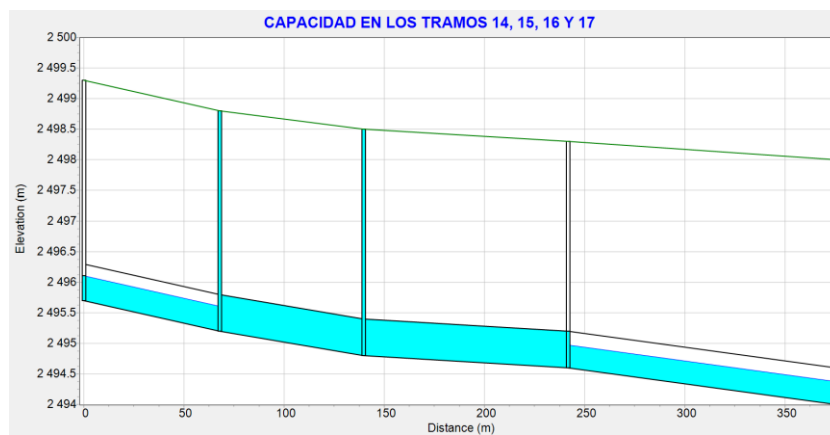
Tabla 21. Caudales, velocidades y capacidades máximas obtenidas para los eventos del 10/03/2017 y 25/01/2020

| Tramo | J (%) | D (mm) | Q (l/s) | Evento 2017 |      | Evento 2020 |         |      |
|-------|-------|--------|---------|-------------|------|-------------|---------|------|
|       |       |        |         | V (m/s)     | Y/D  | Q (l/s)     | V (m/s) | Y/D  |
| T1    | 1.40% | 300    | 0.37    | 0.31        | 0.04 | 0.37        | 0.31    | 0.04 |
| T2    | 2.32% | 300    | 0.37    | 0.37        | 0.03 | 0.37        | 0.37    | 0.03 |
| T3    | 1.31% | 600    | 0.37    | 0.27        | 0.02 | 0.37        | 0.27    | 0.02 |
| T4    | 2.78% | 600    | 161.04  | 2.5         | 0.28 | 158.84      | 2.49    | 0.28 |
| T5    | 3.14% | 600    | 173.5   | 2.67        | 0.28 | 170.19      | 2.66    | 0.28 |
| T6    | 3.47% | 600    | 173.75  | 2.77        | 0.27 | 170.24      | 2.75    | 0.27 |
| T7    | 5.36% | 600    | 173.68  | 3.24        | 0.24 | 170.63      | 3.22    | 0.24 |
| T8    | 1.04% | 600    | 173.67  | 1.8         | 0.37 | 170.08      | 1.79    | 0.37 |
| T9    | 0.68% | 500    | 190.73  | 2.03        | 0.48 | 184.79      | 2.01    | 0.43 |
| T10   | 2.56% | 600    | 337.62  | 2.99        | 0.42 | 324.21      | 2.96    | 0.41 |
| T11   | 4.00% | 600    | 351.07  | 3.56        | 0.38 | 336.43      | 3.51    | 0.37 |

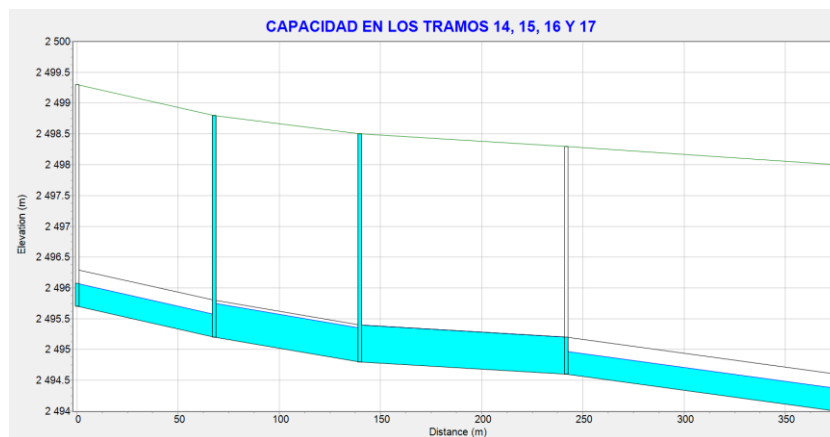
|            |       |     |        |      |      |        |      |      |
|------------|-------|-----|--------|------|------|--------|------|------|
| <b>T12</b> | 9.71% | 600 | 371.28 | 4.94 | 0.31 | 353.18 | 4.87 | 0.3  |
| <b>T13</b> | 1.18% | 600 | 386.13 | 2.31 | 0.57 | 367.01 | 2.29 | 0.55 |
| <b>T14</b> | 0.74% | 600 | 388.01 | 1.93 | 0.67 | 367.82 | 1.92 | 0.65 |
| <b>T15</b> | 0.56% | 600 | 455.51 | 1.76 | 1    | 447.13 | 1.77 | 0.93 |
| <b>T16</b> | 0.20% | 600 | 272.68 | 1.11 | 1    | 271.30 | 1.12 | 1    |
| <b>T17</b> | 0.45% | 600 | 271.68 | 1.53 | 0.62 | 269.80 | 1.54 | 0.62 |
| <b>T18</b> | 0.45% | 600 | 363.35 | 2.3  | 0.55 | 348.23 | 2.28 | 0.53 |

En los resultados obtenidos se pueden observar varios problemas, en primer lugar, no se respeta la pendiente mínima de 0.5% en los tramos 16, 17 y 18, por otro lado, como se observa en las figuras 33 y 34, la capacidad supera a la permitida (0.85) en los tramos 15 y 16 llegando incluso a saturar la red provocando que las tuberías trabajen a presión y que el agua salga a la superficie, poniendo en riesgo a la población. Los valores de velocidad y capacidad correspondientes a los tramos de aporte, así como los mapas de riesgo para las eficiencias de las rejillas actuales se muestran en los anexos del presente trabajo.

*Figura 33. Capacidad en los tramos 15 y 16 para el evento del 10/03/2017*



*Figura 34. Capacidad en los tramos 15 y 16 para el evento del 25/01/2020*



#### 4. Análisis de alternativas para el mejoramiento del sistema de alcantarillado combinado

Una vez analizados los resultados se concluye que es necesario realizar mejoras en la red de alcantarillado para optimizar su funcionamiento hidráulico. La primera mejora realizada fue aumentar las pendientes los tramos 1, 2 y 3 con el propósito de alcanzar el valor de velocidad y fuerza tractiva mínima, esto se realiza a fin de asegurar la autolimpieza de la red en épocas de sequía.

Una vez realizada la primera mejora, se contemplan dos opciones para optimizar la red en épocas de lluvia y evitar colapsos del sistema.

- **Opción 1**

Como solución al colapso de la red en los tramos 15 y 16, se propone un aumento en el diámetro de las tuberías a partir del tramo 11. El problema con esta opción es el costo que conllevaría la misma, porque al aumentar el diámetro de un tramo, también se requiere cambiar el diámetro de todas las tuberías siguientes.

- **Opción 2**

Como segunda opción, se propone la construcción de un aliviadero lateral ubicado en el tramo 12 el cual evacuará un caudal de 320 l/s a fin de reducir el caudal transportado por la red y evitar su colapso. El diseño del aliviadero se realiza siguiendo el método de Di Marchi, el cual se muestra en la sección de anexos de este documento junto con el esquema del aliviadero. Una vez planteadas las soluciones, se procede a simular diferentes escenarios para comprobar la validez de las mejoras. Los escenarios se plantean en función de las siguientes variantes: Caudal sanitario correspondiente a los años 2023 y 2040, los eventos de precipitación de los años 2017 y 2020 y la condición del sistema, el cual podrá estar en la condición actual y mejorada mediante las opciones planteadas. Teniendo así, cuatro escenarios con 3 variantes cada uno, dando un total de 12 simulaciones las cuales se presentan en la tabla 22, a partir de las cuales se obtendrán capacidades y velocidades de la red de alcantarillado. Todas las simulaciones realizadas tendrán en cuenta la eficiencia de las rejillas TANGOD4 propuestas por Luna & Terán (2022).

Tabla 22. Escenarios de simulación

|                    | Caudal sanitario | Precipitación     | Situación del sistema |
|--------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
|                    |                  |                   | Actual                |
| <b>Escenario 1</b> | Año 2023         | Evento 10/03/2017 | Opción 1              |
|                    |                  |                   | Opción 2              |
|                    |                  |                   | Actual                |
| <b>Escenario 2</b> | Año 2023         | Evento 25/01/2020 | Opción 1              |
|                    |                  |                   | Opción 2              |
|                    |                  |                   | Actual                |
| <b>Escenario 3</b> | Año 2040         | Evento 10/03/2017 | Opción 1              |
|                    |                  |                   | Opción 2              |
|                    |                  |                   | Actual                |
| <b>Escenario 4</b> | Año 2040         | Evento 25/01/2020 | Opción 1              |
|                    |                  |                   | Opción 2              |

#### 4.1. Resultados de las alternativas de mejoramiento

El análisis de los resultados obtenidos para las opciones planteadas se realiza evaluando la red entera, con especial énfasis en el colector principal presente en la Avenida 24 de mayo. Los principales valores evaluados corresponden a la velocidad y capacidad de cada conducto, asegurando que las opciones propuestas permitan que la red de alcantarillado funcione correctamente.

##### 4.1.1. Escenario 1: Evento del 10/03/2017 para el año 2023 (30 minutos)

En las condiciones actuales, la simulación del escenario 1 alcanza su punto crítico en el minuto 20 del evento de precipitación, alcanzando capacidades superiores a 0.85 en los tramos 14, 15 y 16, en estos dos últimos llegan al 100% de la capacidad, provocando que el sistema trabaje a presión, de igual manera debido a esto se llegan a inundar hasta 3 pozos. Al aplicar las mejoras propuestas, se puede observar en las figuras 35, 36 y 37 que el sistema no se satura y funciona de manera óptima.

Figura 35. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2023). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)

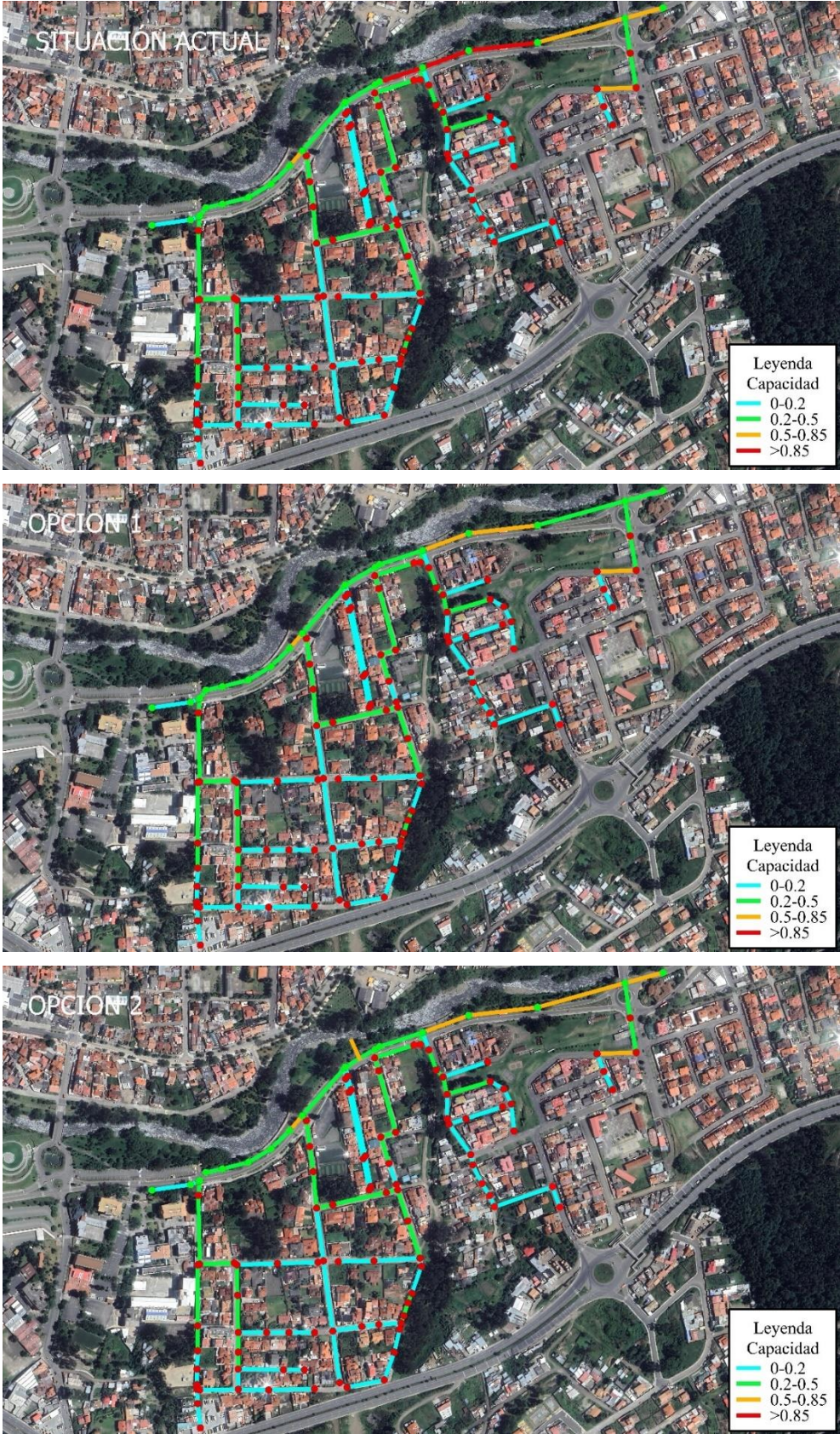


Figura 36. Comparativa de la Velocidad en la red de alcantarillado (2023). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)

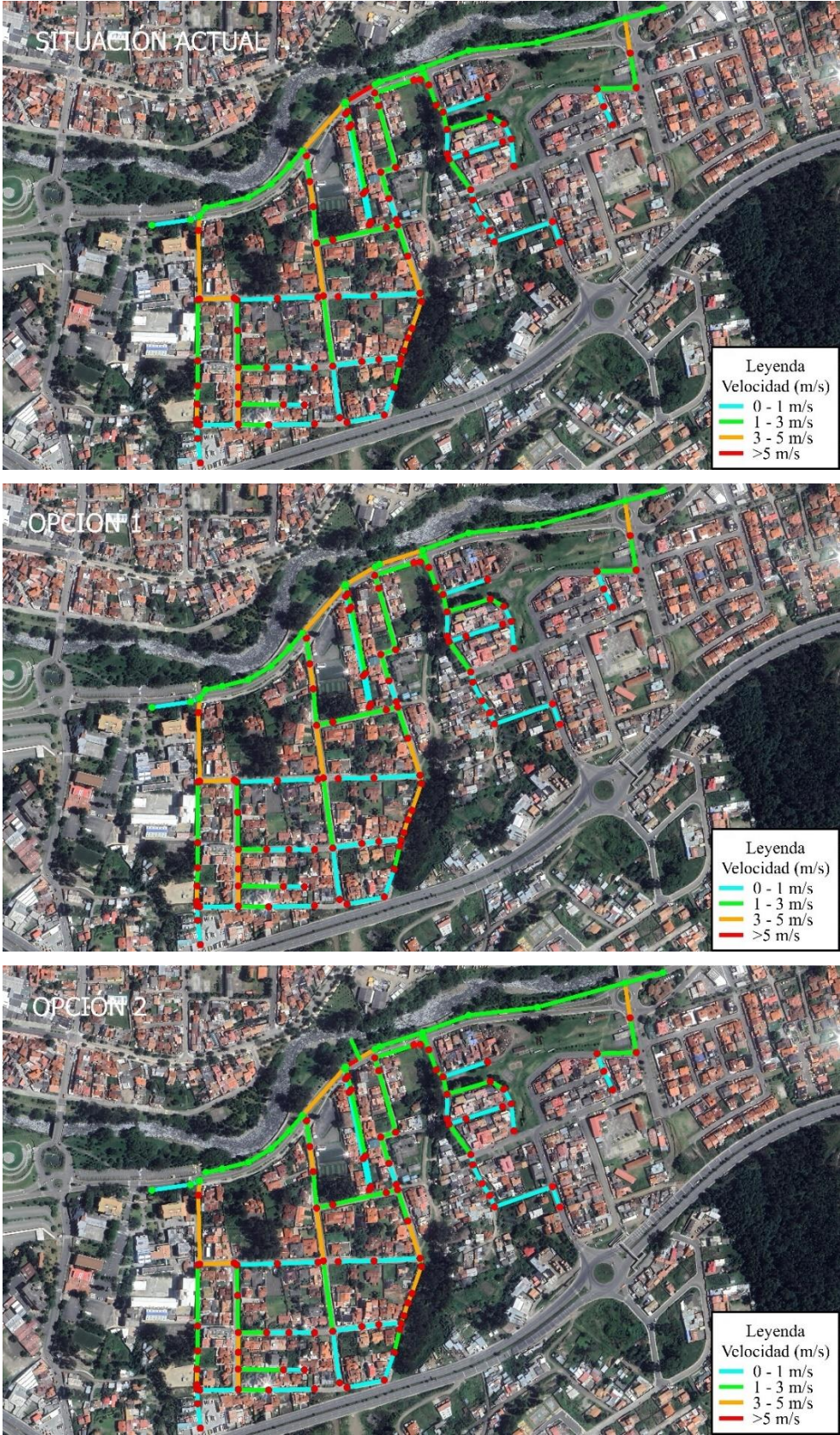
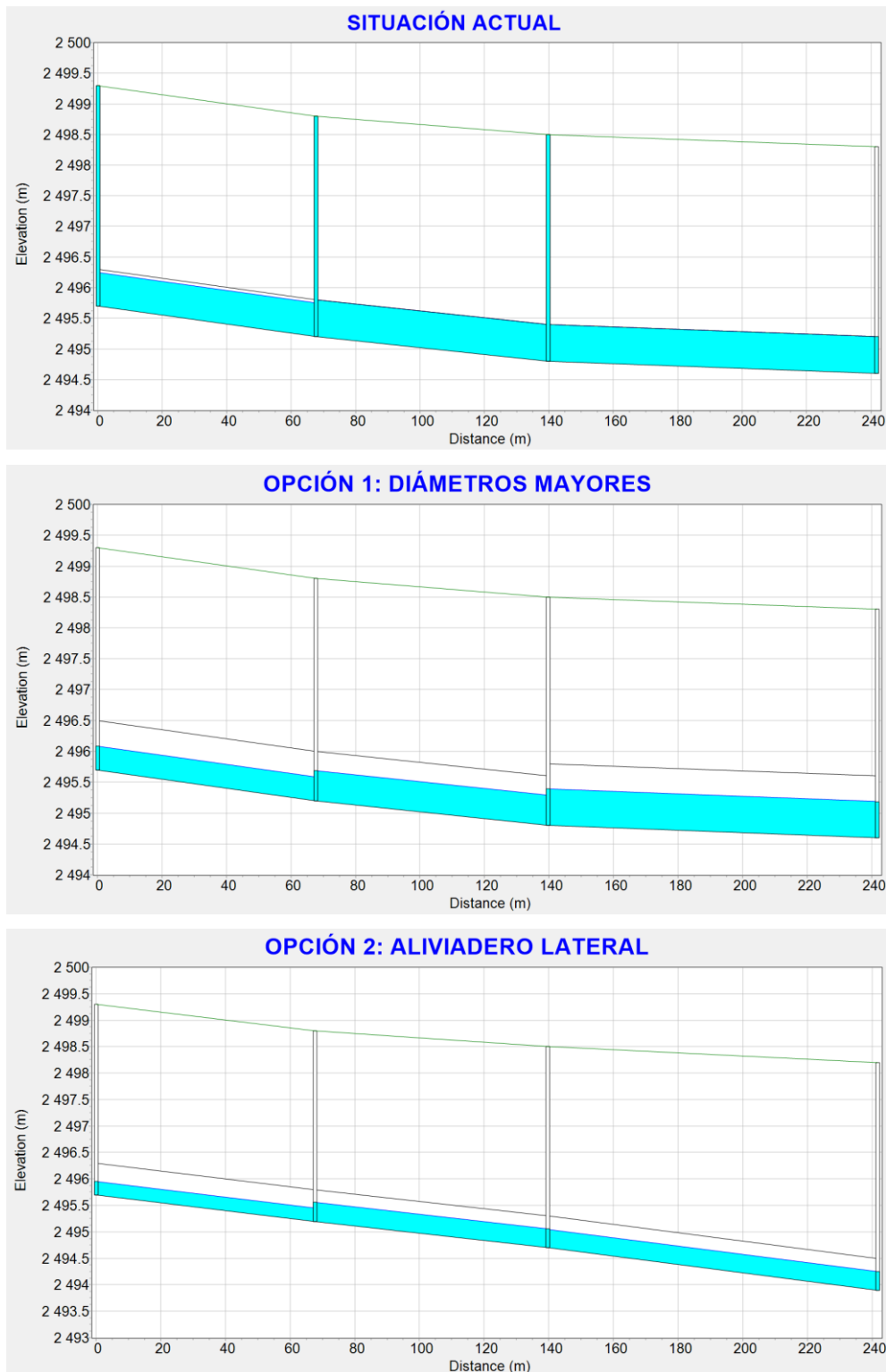


Figura 37. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2023). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)



#### 4.1.2. Escenario 2: Evento del 25/01/2020 para el año 2023 (60 minutos)

Durante este evento, los tramos 15 y 16 se saturaron, causando la inundación de dos pozos de revisión como se observa en las figuras 38, 39 y 40.

Figura 38. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2023). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)

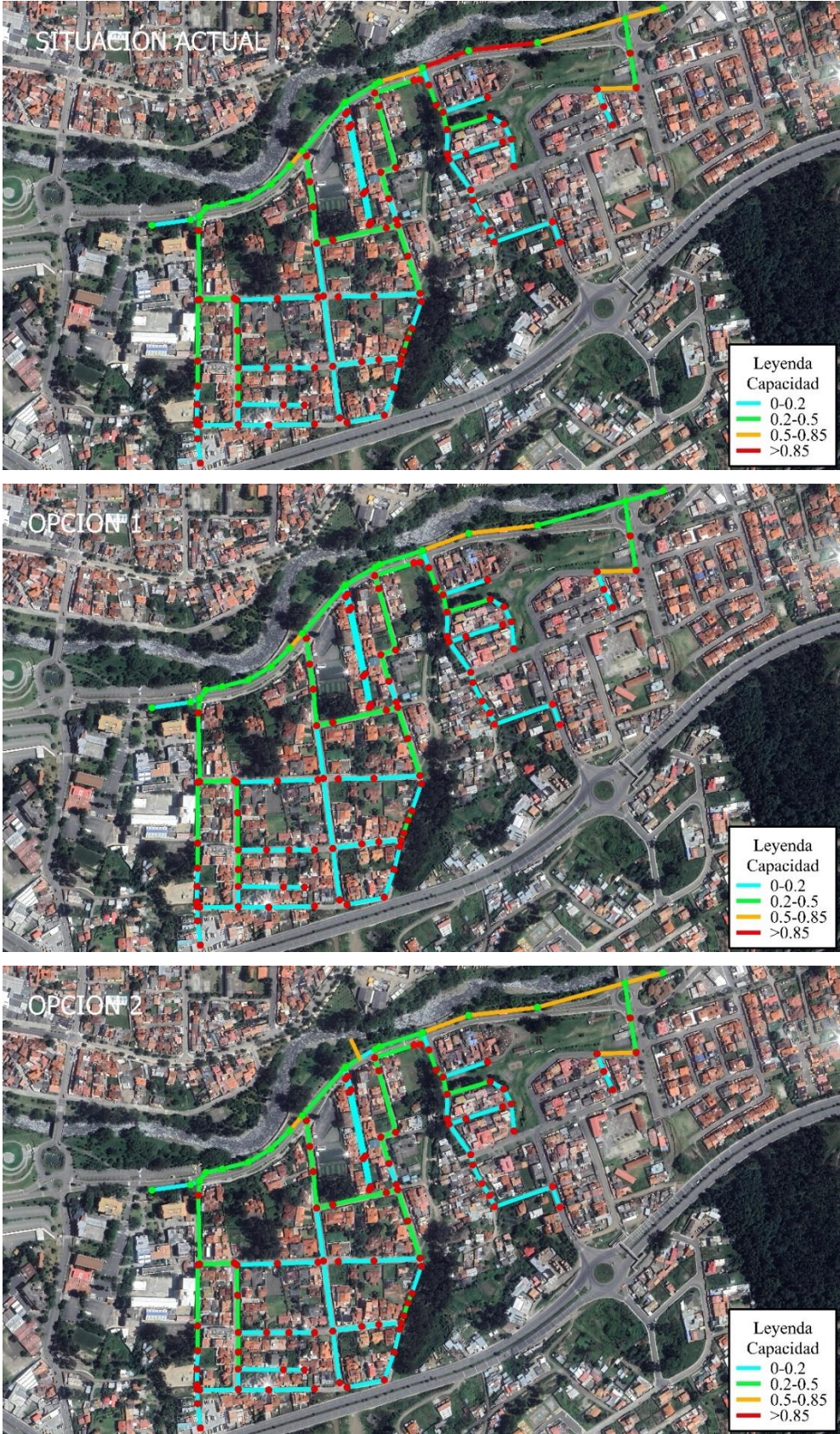




Figura 39. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2023). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)

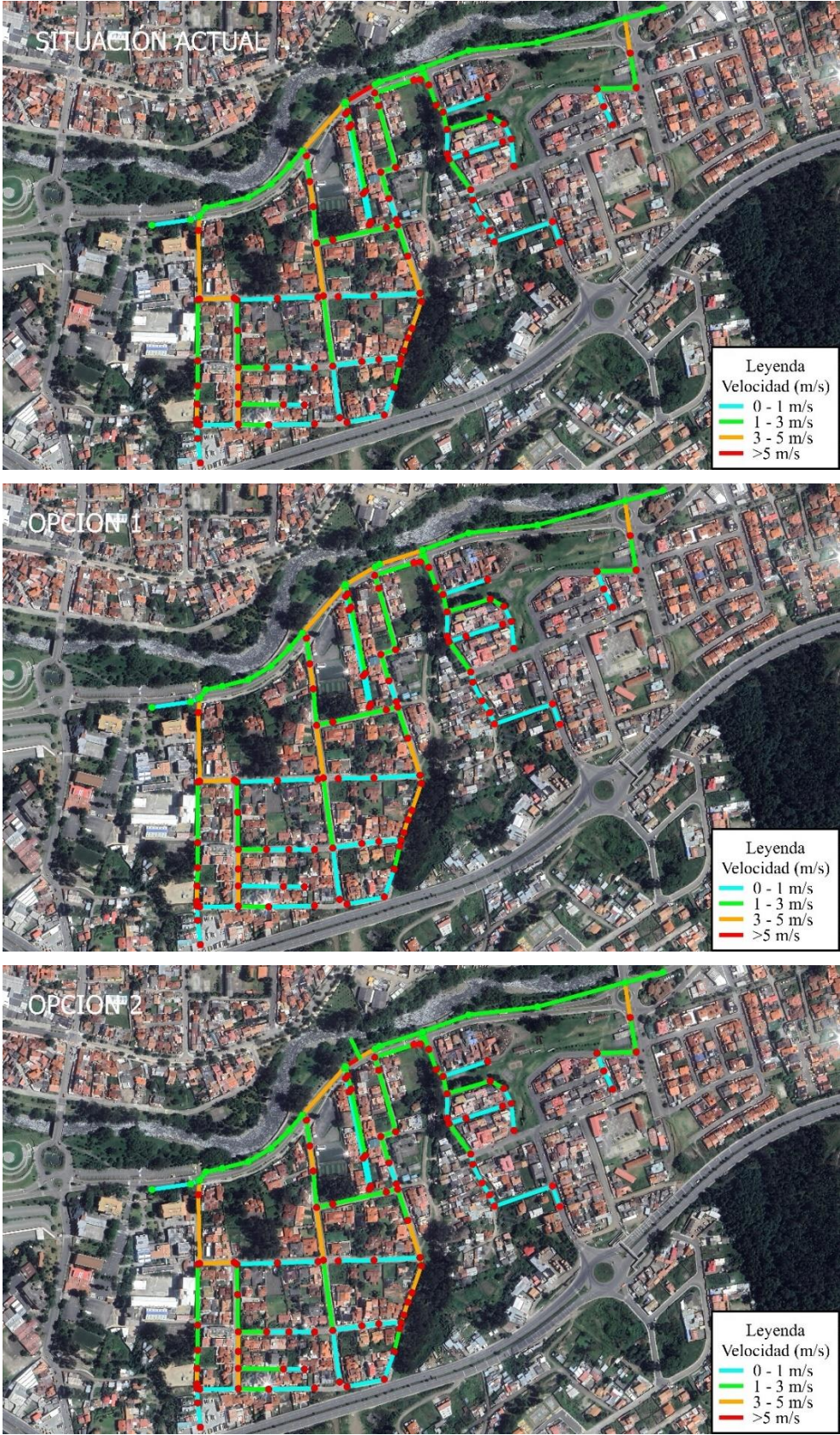
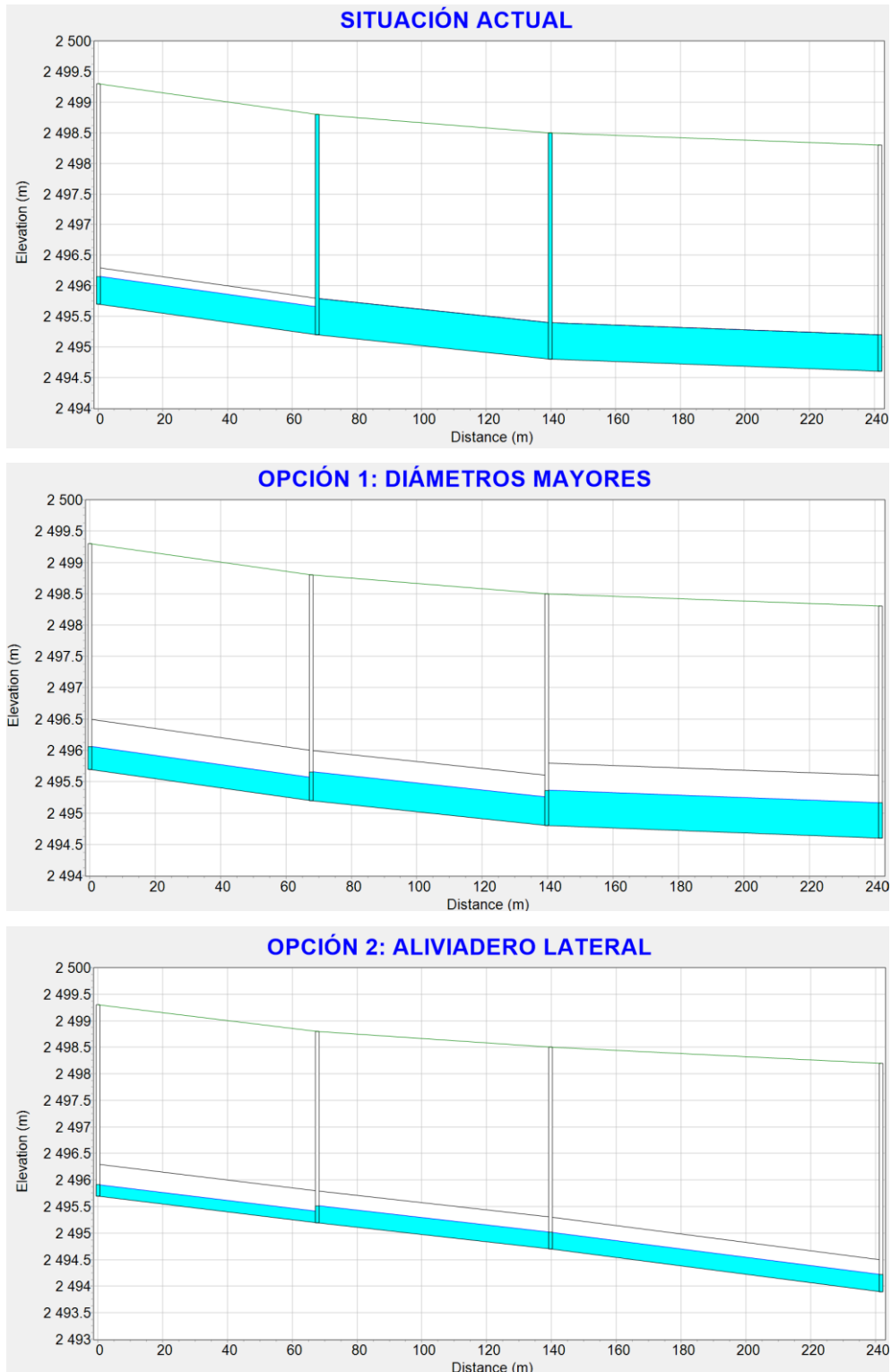


Figura 40. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2023). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)



### 4.1.3. Escenario 3: Evento del 10/03/2017 para el año 2040 (30 minutos)

Al alcanzar el minuto 20, los tramos 14,15 y 16 superan la capacidad máxima permitida, causando la inundación de 3 pozos.

Figura 41. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)

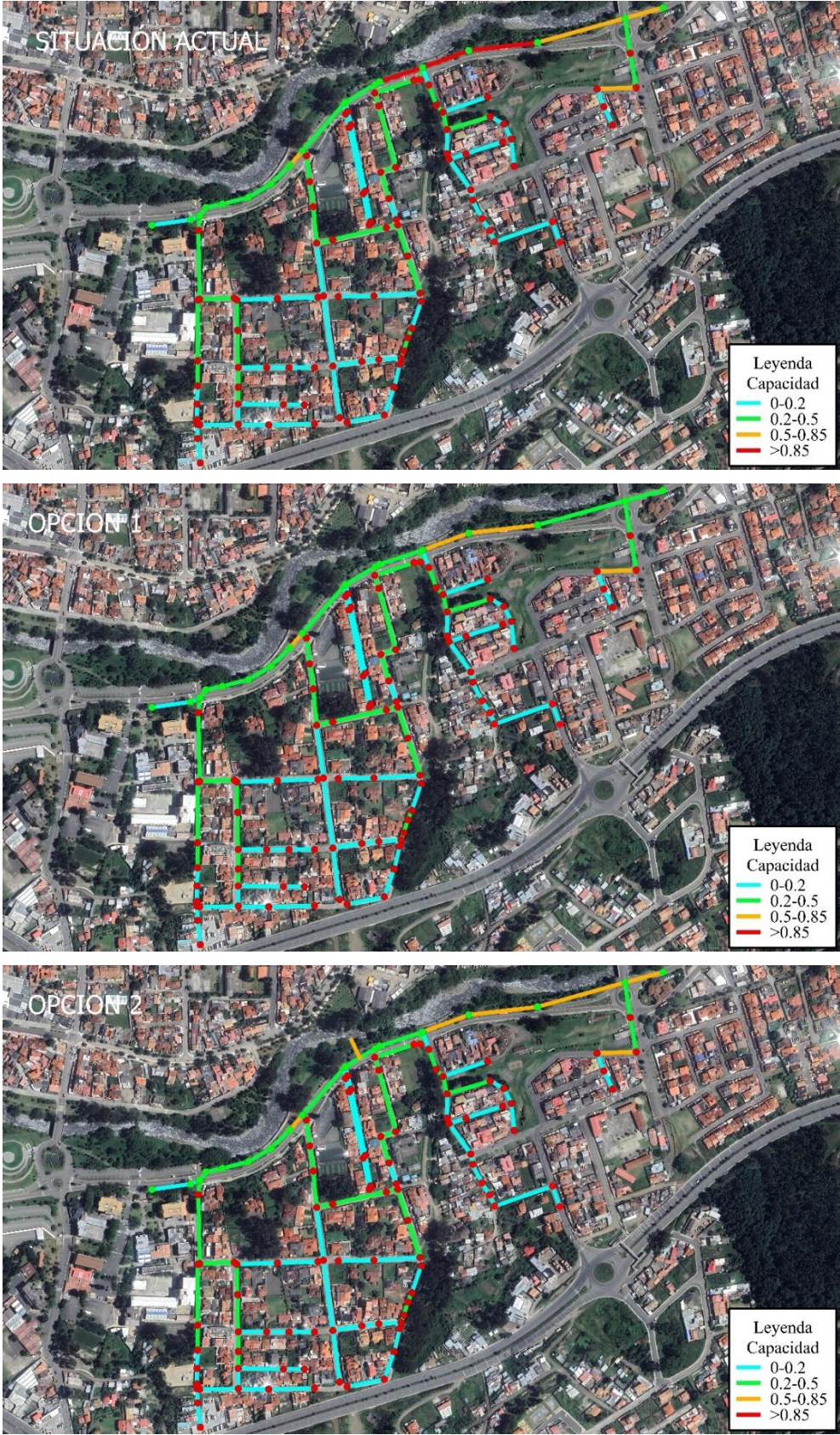


Figura 42. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)

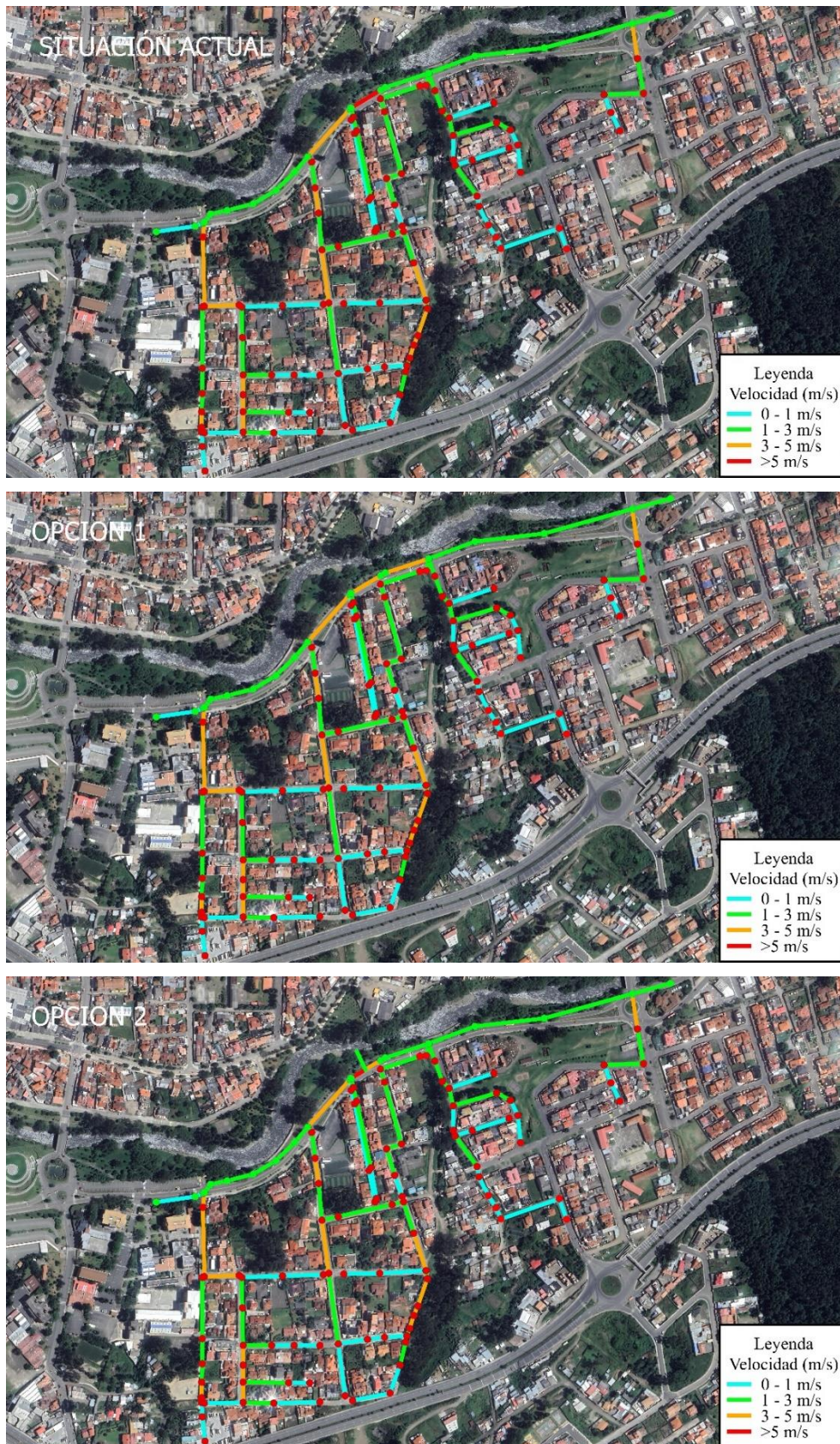
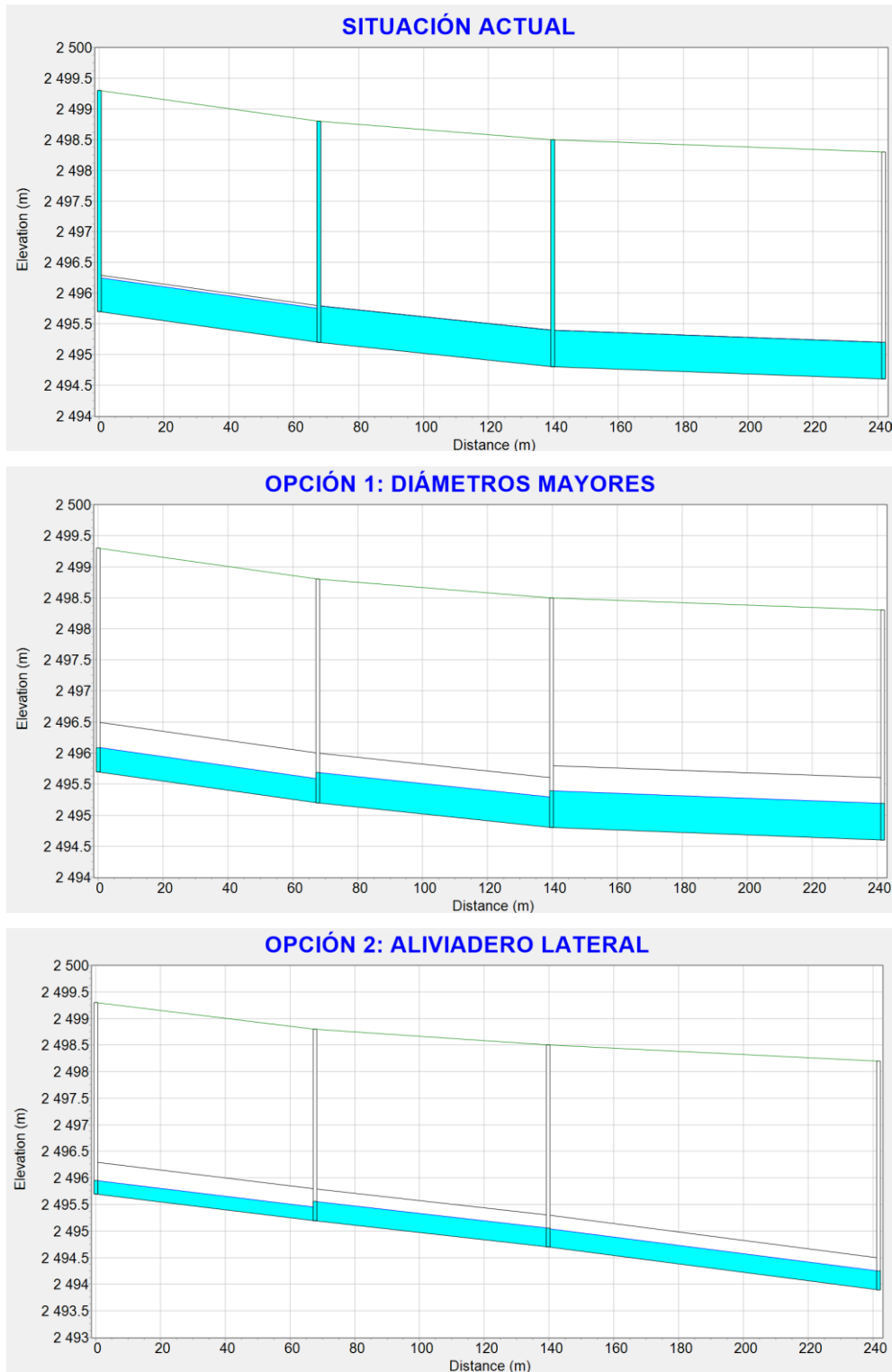


Figura 43. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)



#### 4.1.4. Escenario 4: Evento del 25/01/2020 para el año 2040 (60 minutos)

En el cuarto escenario, el punto crítico llega en el minuto 50, momento en el cual se saturan los tramos 15 y 16, inundando hasta 2 pozos de inspección.

Figura 44. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)

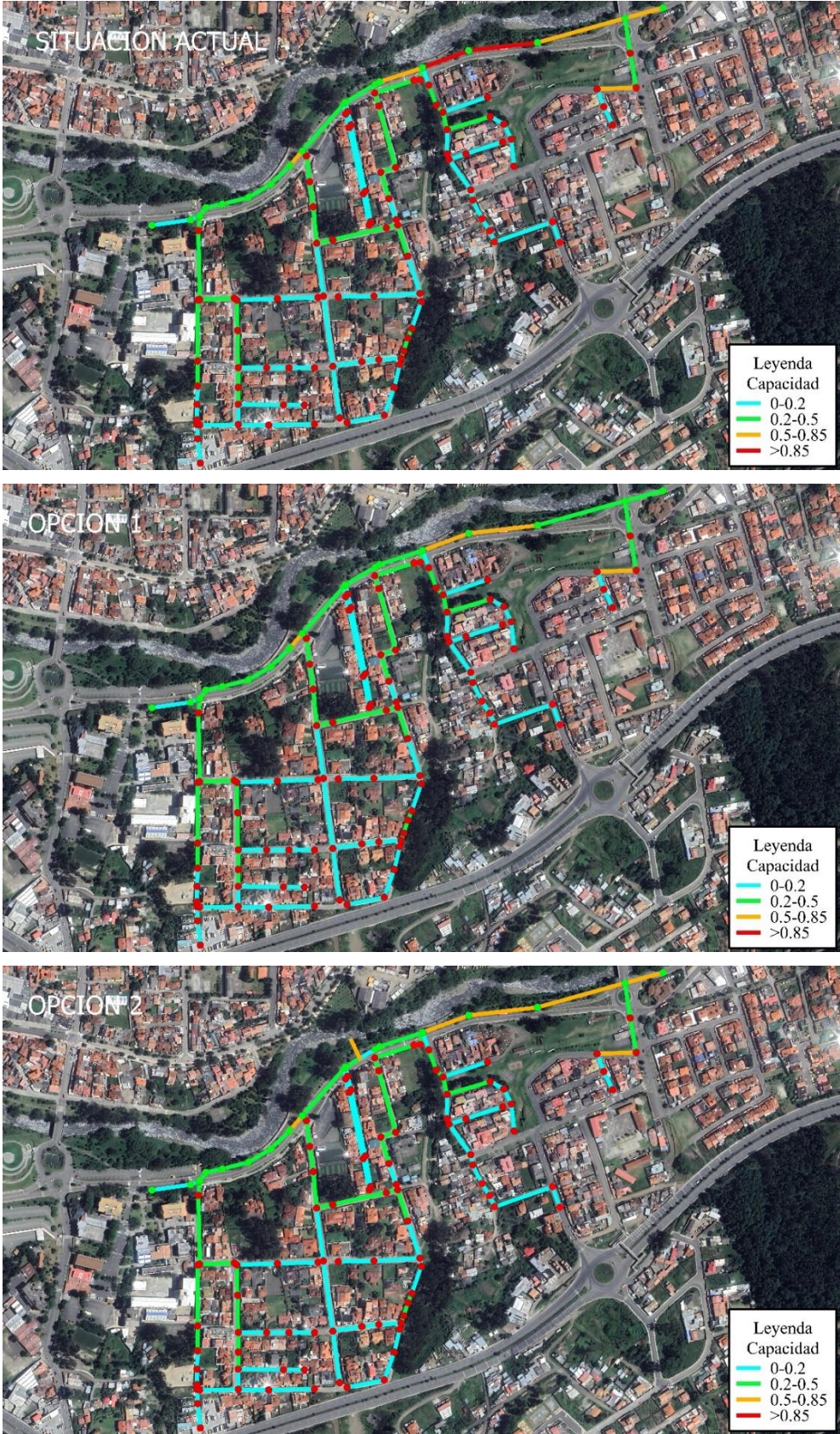


Figura 45. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)

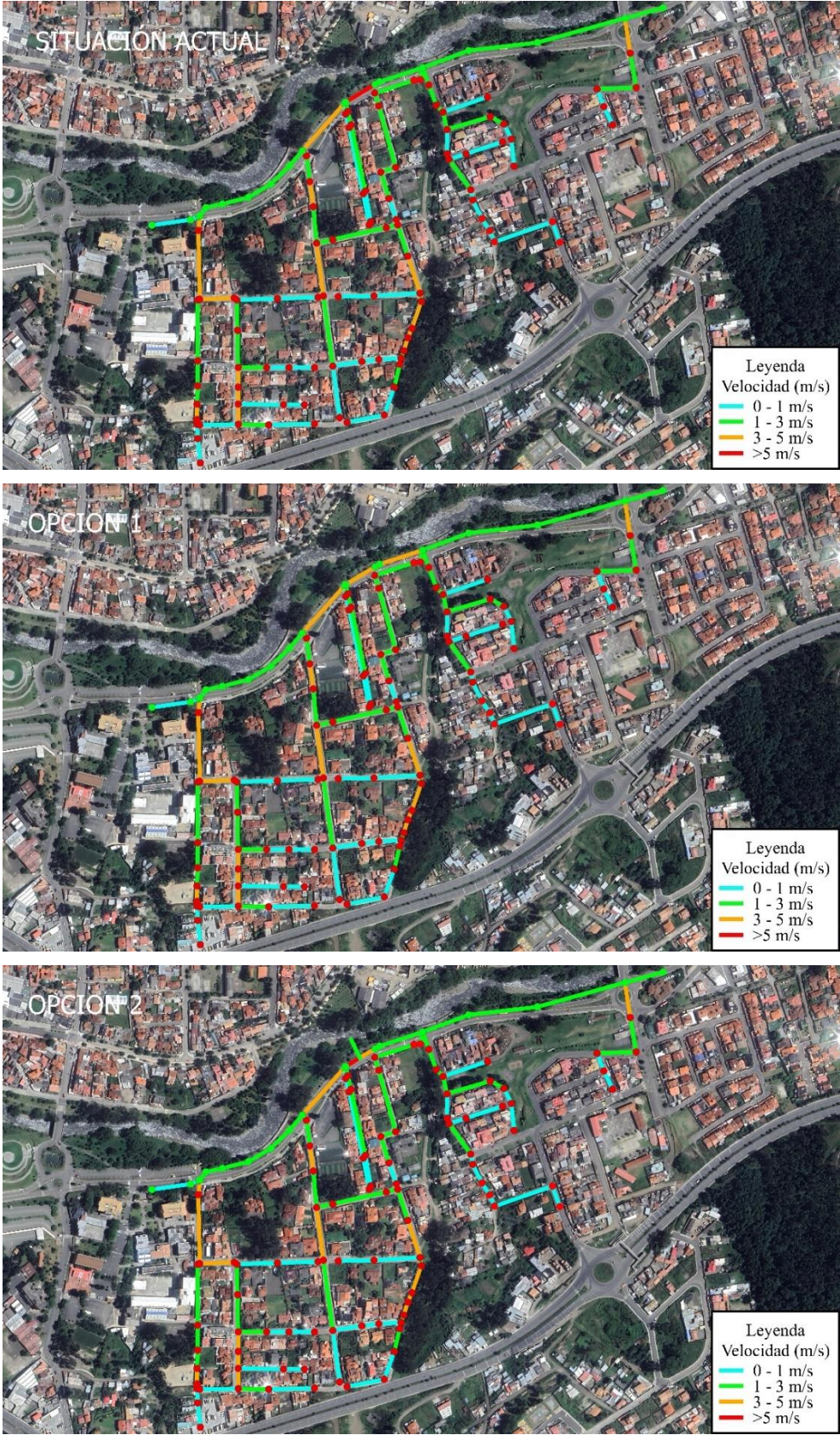
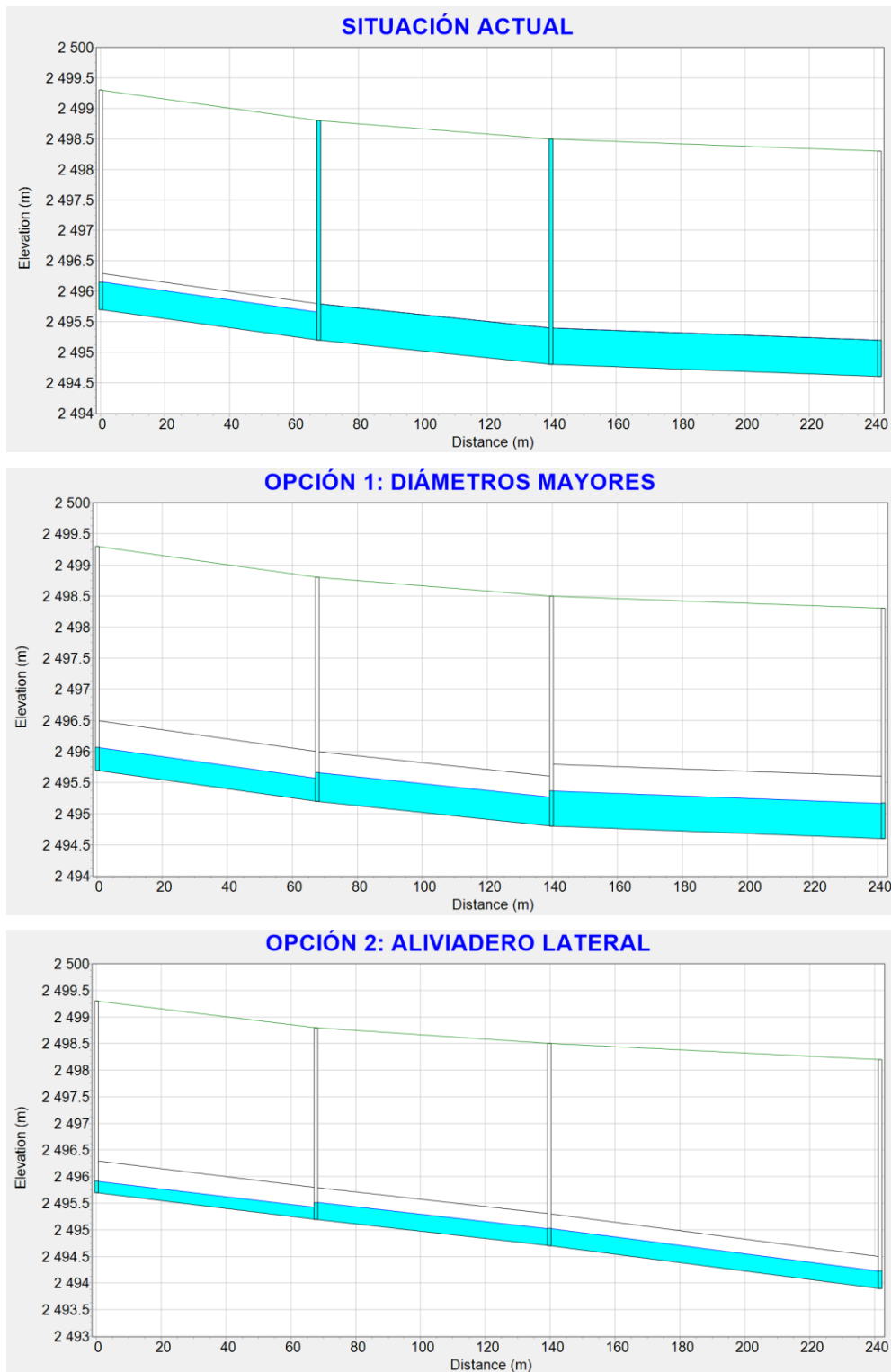


Figura 46. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)





## 4.2. Comparativa entre las dos propuestas de mejora

En las tablas 23, 24, 25 y 26 se pueden observar los resultados obtenidos en el colector de la Av. 24 de Mayo para cada escenario. Asimismo, los valores correspondientes a las calles de aporte se pueden encontrar en los anexos del presente trabajo.

Tabla 23. Comparación de la capacidad del colector principal para la población de 2023 entre la situación actual y las mejoras propuestas

| Tramo | Evento 10/03/2017 |          |          | Evento 25/01/2020 |          |          |
|-------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|       | Actual            | Opción 1 | Opción 2 | Actual            | Opción 1 | Opción 2 |
| T1    | 0.03              | 0.03     | 0.03     | 0.03              | 0.03     | 0.03     |
| T2    | 0.03              | 0.03     | 0.03     | 0.03              | 0.03     | 0.03     |
| T3    | 0.01              | 0.01     | 0.01     | 0.01              | 0.01     | 0.01     |
| T4    | 0.43              | 0.43     | 0.43     | 0.43              | 0.43     | 0.43     |
| T5    | 0.36              | 0.36     | 0.36     | 0.36              | 0.36     | 0.36     |
| T6    | 0.39              | 0.39     | 0.39     | 0.39              | 0.39     | 0.39     |
| T7    | 0.32              | 0.32     | 0.32     | 0.32              | 0.32     | 0.32     |
| T8    | 0.43              | 0.43     | 0.43     | 0.43              | 0.43     | 0.43     |
| T9    | 0.51              | 0.51     | 0.51     | 0.51              | 0.51     | 0.51     |
| T10   | 0.49              | 0.49     | 0.49     | 0.48              | 0.48     | 0.48     |
| T11   | 0.44              | 0.35     | 0.44     | 0.43              | 0.35     | 0.43     |
| T12   | 0.36              | 0.24     | 0.36     | 0.35              | 0.24     | 0.35     |
| T13   | 0.68              | 0.42     | 0.37     | 0.66              | 0.42     | 0.35     |
| T14   | 0.92              | 0.49     | 0.42     | 0.8               | 0.47     | 0.4      |
| T15   | 1                 | 0.61     | 0.59     | 1                 | 0.59     | 0.55     |
| T16   | 1                 | 0.59     | 0.59     | 1                 | 0.57     | 0.54     |
| T17   | 0.63              | 0.47     | 0.59     | 0.65              | 0.45     | 0.53     |
| T18   | 0.57              | 0.39     | 0.62     | 0.54              | 0.37     | 0.55     |

Tabla 24. Comparación de la velocidad del flujo en el colector principal para la población de 2023 entre la situación actual y las mejoras propuestas

| Tramo | Evento 10/03/2017 |          |          | Evento 25/01/2020 |          |          |
|-------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|       | Actual            | Opción 1 | Opción 2 | Actual            | Opción 1 | Opción 2 |
| T1    | 0.5               | 0.5      | 0.5      | 0.5               | 0.5      | 0.5      |
| T2    | 0.5               | 0.5      | 0.5      | 0.5               | 0.5      | 0.5      |
| T3    | 0.36              | 0.36     | 0.36     | 0.36              | 0.36     | 0.36     |

|     |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| T4  | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| T5  | 2.49 | 2.49 | 2.49 | 2.48 | 2.48 | 2.48 |
| T6  | 2.2  | 2.2  | 2.2  | 2.19 | 2.19 | 2.19 |
| T7  | 2.94 | 2.94 | 2.94 | 2.93 | 2.93 | 2.93 |
| T8  | 1.93 | 1.93 | 1.93 | 1.93 | 1.93 | 1.93 |
| T9  | 1.68 | 1.68 | 1.68 | 1.67 | 1.67 | 1.67 |
| T10 | 3.21 | 3.21 | 3.21 | 3.18 | 3.18 | 3.18 |
| T11 | 3.81 | 3.78 | 3.81 | 3.78 | 3.74 | 3.78 |
| T12 | 5.31 | 5.36 | 5.32 | 5.25 | 5.34 | 5.26 |
| T13 | 2.44 | 2.47 | 1.9  | 2.42 | 2.44 | 1.85 |
| T14 | 2.02 | 2.08 | 1.61 | 2    | 2.06 | 1.57 |
| T15 | 1.83 | 1.97 | 1.8  | 1.82 | 1.95 | 1.76 |
| T16 | 1.11 | 1.35 | 1.91 | 1.13 | 1.34 | 1.87 |
| T17 | 1.53 | 1.86 | 2.04 | 1.54 | 1.83 | 2.01 |
| T18 | 2.34 | 2.8  | 2.64 | 2.32 | 2.73 | 2.55 |

Tabla 25. Comparación de la capacidad del colector principal para la población de 2040 entre la situación actual y las mejoras propuestas

| Tramo | Evento 10/03/2017 |          |          | Evento 25/01/2020 |          |          |
|-------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|       | Capacidad (Y/D)   |          |          | Capacidad (Y/D)   |          |          |
|       | Actual            | Opción 1 | Opción 2 | Actual            | Opción 1 | Opción 2 |
| T1    | 0.03              | 0.03     | 0.03     | 0.03              | 0.03     | 0.03     |
| T2    | 0.03              | 0.03     | 0.03     | 0.03              | 0.03     | 0.03     |
| T3    | 0.01              | 0.01     | 0.01     | 0.01              | 0.01     | 0.01     |
| T4    | 0.43              | 0.43     | 0.43     | 0.43              | 0.43     | 0.38     |
| T5    | 0.36              | 0.36     | 0.36     | 0.36              | 0.36     | 0.27     |
| T6    | 0.39              | 0.39     | 0.39     | 0.39              | 0.39     | 0.32     |
| T7    | 0.32              | 0.32     | 0.32     | 0.32              | 0.32     | 0.22     |
| T8    | 0.43              | 0.43     | 0.43     | 0.43              | 0.43     | 0.38     |
| T9    | 0.29              | 0.51     | 0.51     | 0.55              | 0.51     | 0.51     |
| T10   | 0.49              | 0.49     | 0.49     | 0.48              | 0.48     | 0.47     |
| T11   | 0.44              | 0.35     | 0.44     | 0.43              | 0.35     | 0.39     |
| T12   | 0.36              | 0.24     | 0.36     | 0.35              | 0.24     | 0.27     |
| T13   | 0.68              | 0.43     | 0.37     | 0.67              | 0.42     | 0.27     |
| T14   | 0.92              | 0.49     | 0.43     | 0.81              | 0.48     | 0.33     |
| T15   | 1                 | 0.61     | 0.6      | 1                 | 0.59     | 0.59     |

|     |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| T16 | 1    | 0.59 | 0.59 | 1    | 0.57 | 0.58 |
| T17 | 0.63 | 0.47 | 0.59 | 0.62 | 0.45 | 0.56 |
| T18 | 0.57 | 0.39 | 0.62 | 0.55 | 0.37 | 0.6  |

Tabla 26. Comparación de la velocidad del flujo en el colector principal para la población de 2040 entre la situación actual y las mejoras propuestas

| Tramo | Evento 10/03/2017 |          |          | Evento 25/01/2020 |          |          |
|-------|-------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
|       | Actual            | Opción 1 | Opción 2 | Actual            | Opción 1 | Opción 2 |
| T1    | 0.5               | 0.5      | 0.5      | 0.51              | 0.51     | 0.5      |
| T2    | 0.5               | 0.5      | 0.5      | 0.52              | 0.52     | 0.5      |
| T3    | 0.38              | 0.36     | 0.36     | 0.38              | 0.38     | 0.36     |
| T4    | 1.85              | 1.85     | 1.85     | 1.84              | 1.84     | 1.84     |
| T5    | 2.49              | 2.49     | 2.49     | 2.48              | 2.48     | 2.48     |
| T6    | 2.2               | 2.2      | 2.2      | 2.19              | 2.19     | 2.19     |
| T7    | 2.94              | 2.94     | 2.94     | 2.93              | 2.93     | 2.93     |
| T8    | 1.93              | 1.93     | 1.93     | 1.92              | 1.92     | 1.92     |
| T9    | 2.16              | 1.68     | 1.68     | 2.15              | 1.67     | 1.67     |
| T10   | 3.21              | 3.21     | 3.21     | 3.19              | 3.19     | 3.19     |
| T11   | 3.81              | 3.78     | 3.82     | 3.78              | 3.75     | 3.78     |
| T12   | 5.31              | 5.36     | 5.33     | 5.26              | 5.35     | 5.27     |
| T13   | 2.44              | 2.47     | 1.91     | 2.43              | 2.44     | 1.85     |
| T14   | 2.02              | 2.08     | 1.62     | 2                 | 2.06     | 1.59     |
| T15   | 1.82              | 1.97     | 1.8      | 1.82              | 1.95     | 1.77     |
| T16   | 1.12              | 1.35     | 1.91     | 1.13              | 1.34     | 1.88     |
| T17   | 1.53              | 1.86     | 2.05     | 1.54              | 1.83     | 2.01     |
| T18   | 2.34              | 2.8      | 2.64     | 2.32              | 2.73     | 2.56     |

## 5. Validación de la propuesta de mejora

Al simular los eventos con las opciones propuestas, se observa una clara mejora en el desempeño hidráulico de la red, sin embargo, ambas opciones presentan desventajas considerables, en primer lugar no resulta económicamente factible aumentar el diámetro hasta 1 metro, y para la implementación del aliviadero se complica el diseño del mismo debido al caudal tan alto que se debe evacuar, otro factor importante es el impacto ambiental en el río que provoca la presencia de aguas residuales en el caudal evacuado.

Teniendo en cuenta las desventajas mencionadas, para solucionar el problema de colapso en la red de alcantarillado se plantea una tercera opción, que es una combinación de las opciones 1 y 2, pero a diferencia de estas, el caudal evacuado al río será solamente de 220 litros por segundo y los diámetros se aumentarán de 600 mm a 700 mm a partir del tramo 11, esta solución permite un mejor diseño del aliviadero, menor impacto ambiental y menor costo respecto a los diámetros del colector principal. Una vez planteada la propuesta final, se validará simulando los eventos de 2017 y 2020, evaluando así también el comportamiento de la red para la tormenta de diseño propuesta por Luna & Terán (2022) y presentada en el apartado 3.5 de este documento. Las simulaciones se realizarán teniendo en cuenta la población proyectada para el año 2040.

### 5.1. Evento de precipitación del 10/03/2017 (30 minutos)

Como ya se observó, el punto crítico de este evento se alcanza en el minuto 20, cuando colapsan los tramos 14, 15 y 16, generando inundaciones en la Av. 24 de Mayo. En las figuras 47, 48 y 49 se pueden apreciar los resultados obtenidos para la situación actual de la red y, la propuesta planteada demuestra que la red ya no colapsa en los tramos conflictivos, el valor máximo de capacidad alcanzado en el colector principal es de 0.64 en el tramo 8 conduciendo un caudal de 583.7 litros por segundo, el único problema de la propuesta es que en la primera parte del tramo 12 alcanza una velocidad de 5.25 m/s justo antes del aliviadero, lo que supera la máxima permitida, y aun así el valor excede por muy poco al permitido (5 m/s), así mismo presenta una capacidad de tubería de 0.29, por lo que el sistema no se encuentra en riesgo. Los valores de capacidad y velocidad del colector principal se presentan en las tablas 27 y 28.

Figura 47. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)

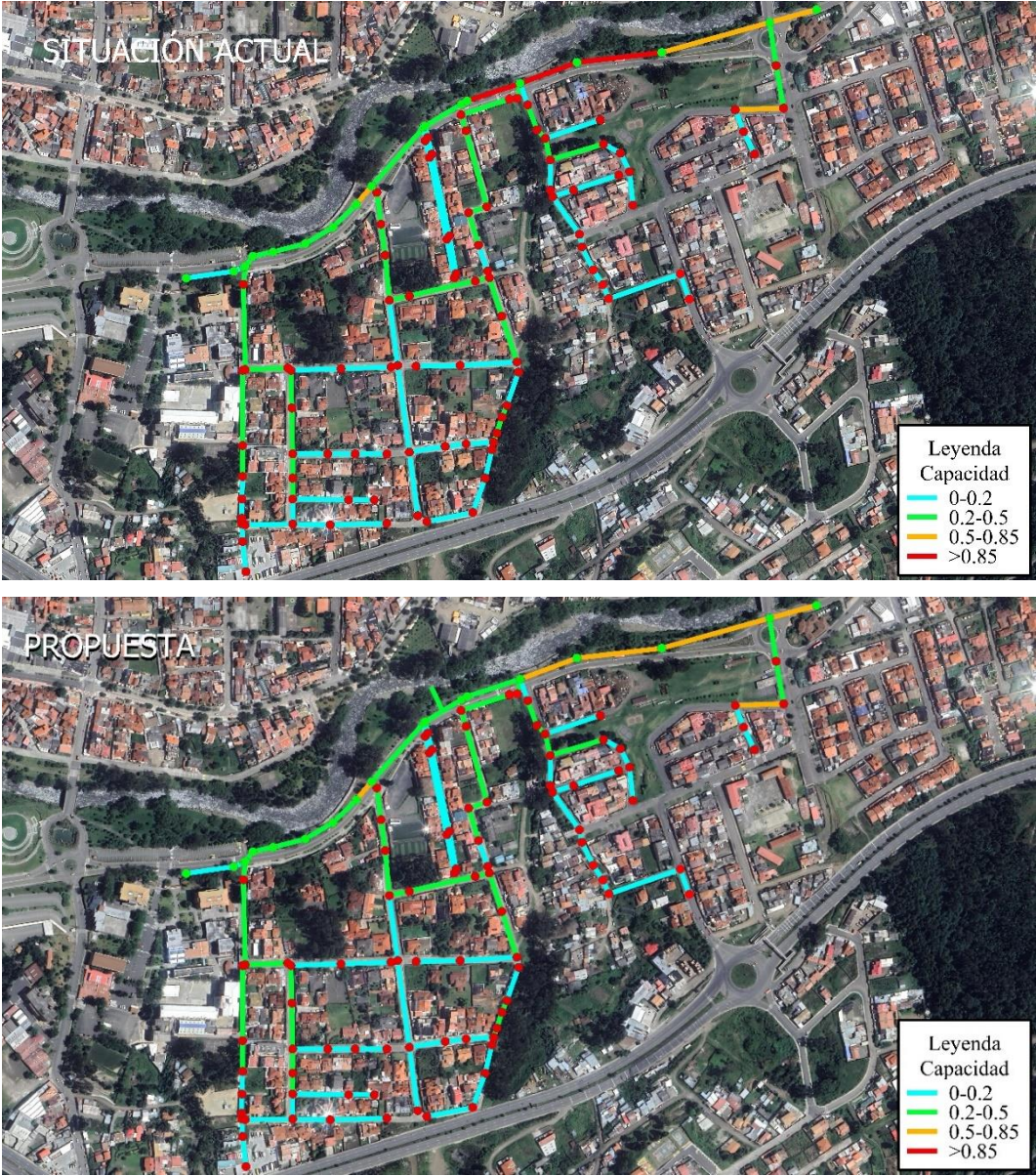


Figura 48. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)

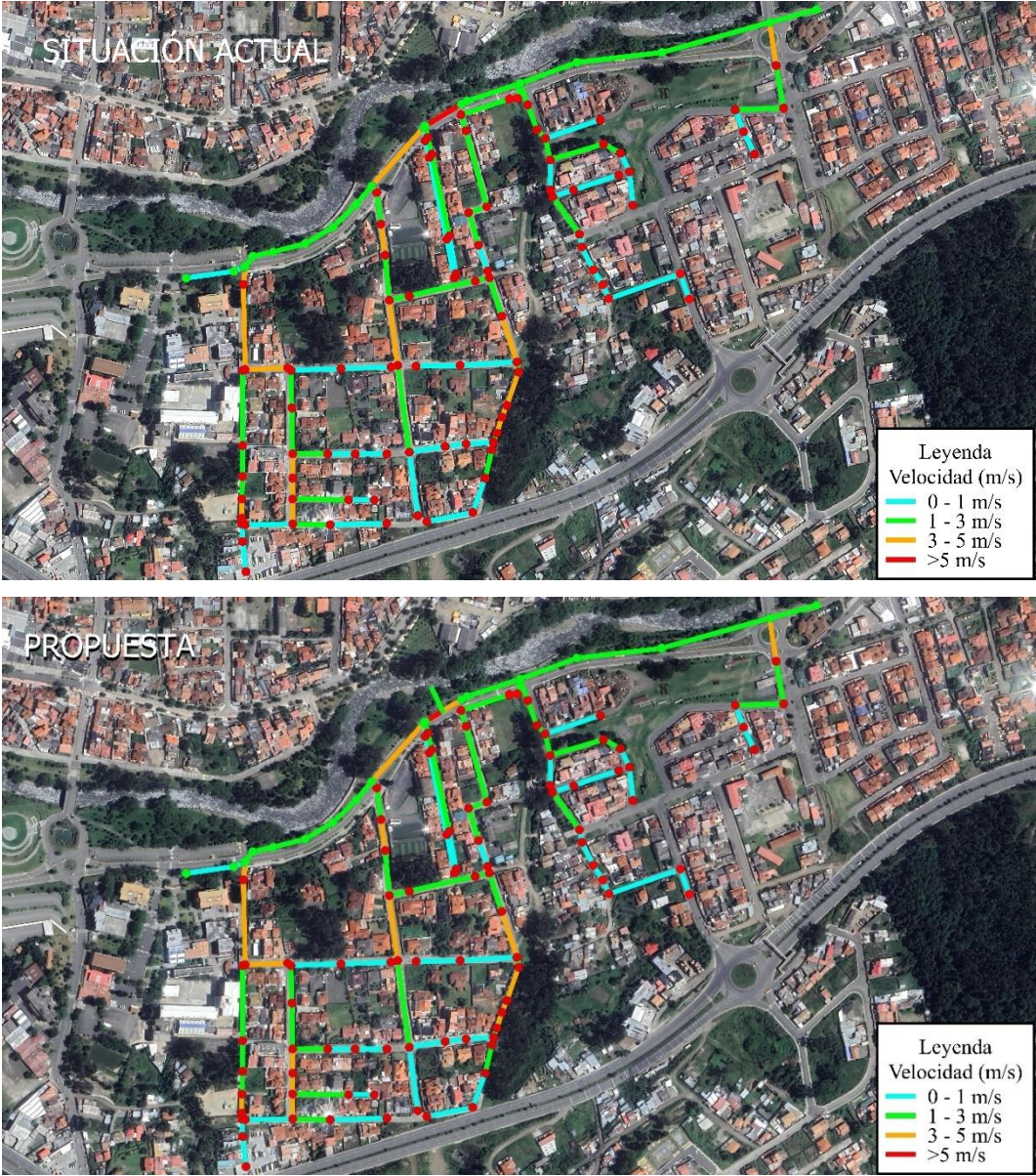
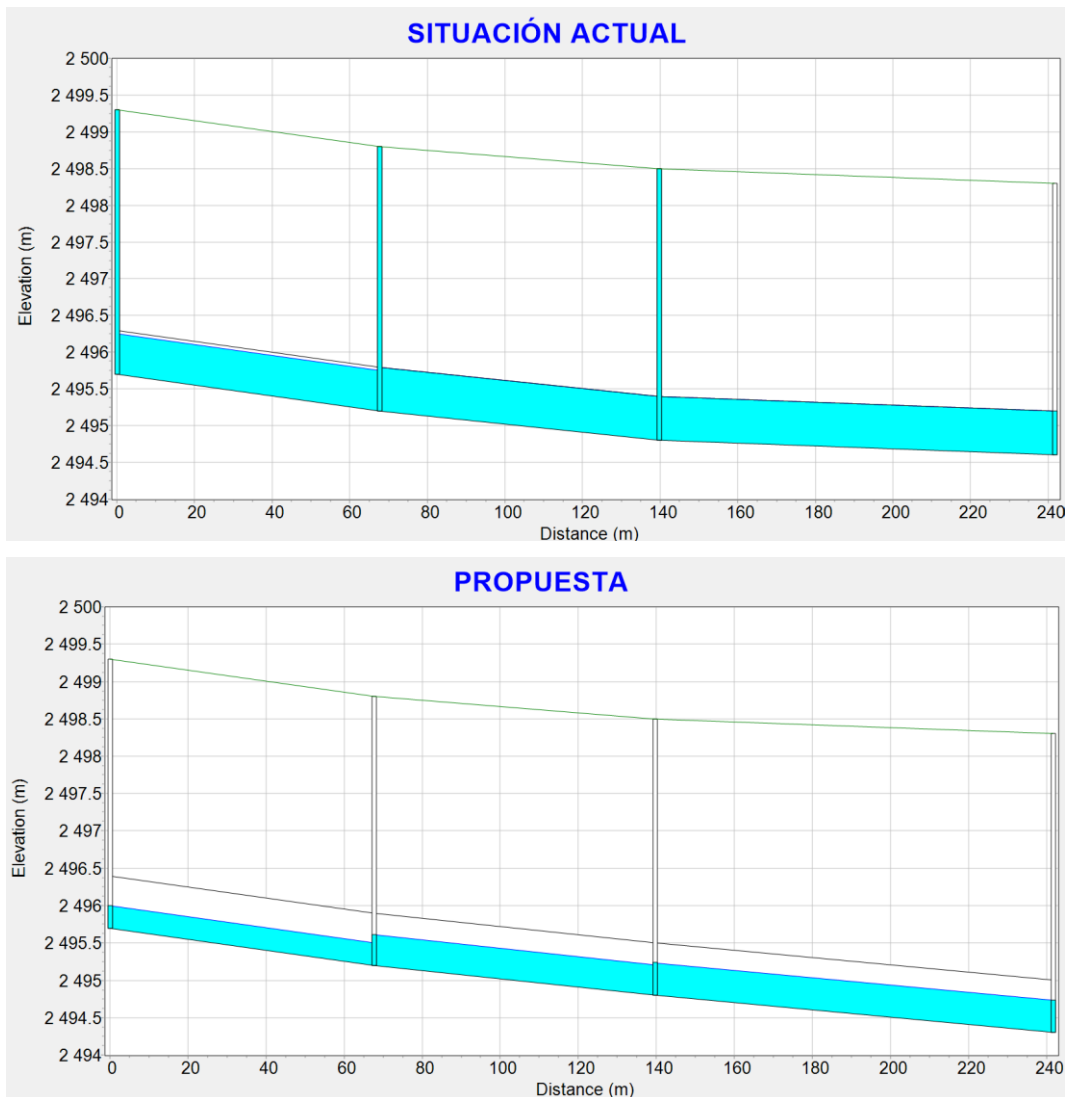


Figura 49. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Evento del 10/03/2017 (30 minutos)



## 5.2. Tormenta de diseño para 30 minutos

Para la tormenta de diseño con un periodo de retorno de 10 años, el comportamiento de la red funciona de manera similar a los eventos simulados de 2017 y 2020, asimismo la propuesta funciona de manera óptima para la simulación de 30 minutos de la lluvia de diseño. Los resultados se visualizan gráficamente en las figuras 50, 51 y 52. Los valores de capacidad y velocidad en el colector principal también se muestran en las tablas 29 y 30.

Figura 50. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Tormenta de diseño de 30 minutos.

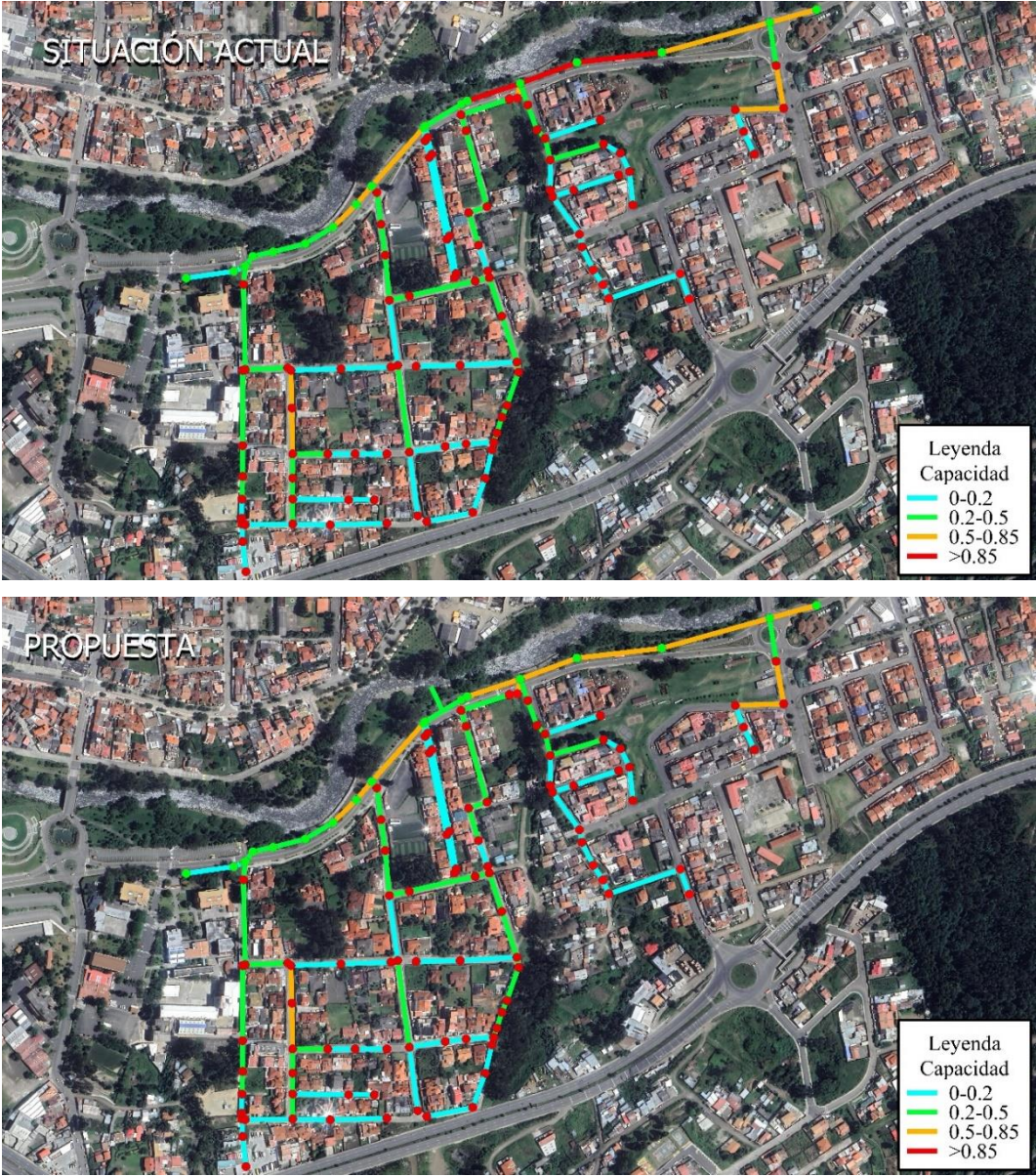




Figura 51. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Tormenta de diseño de 30 minutos.

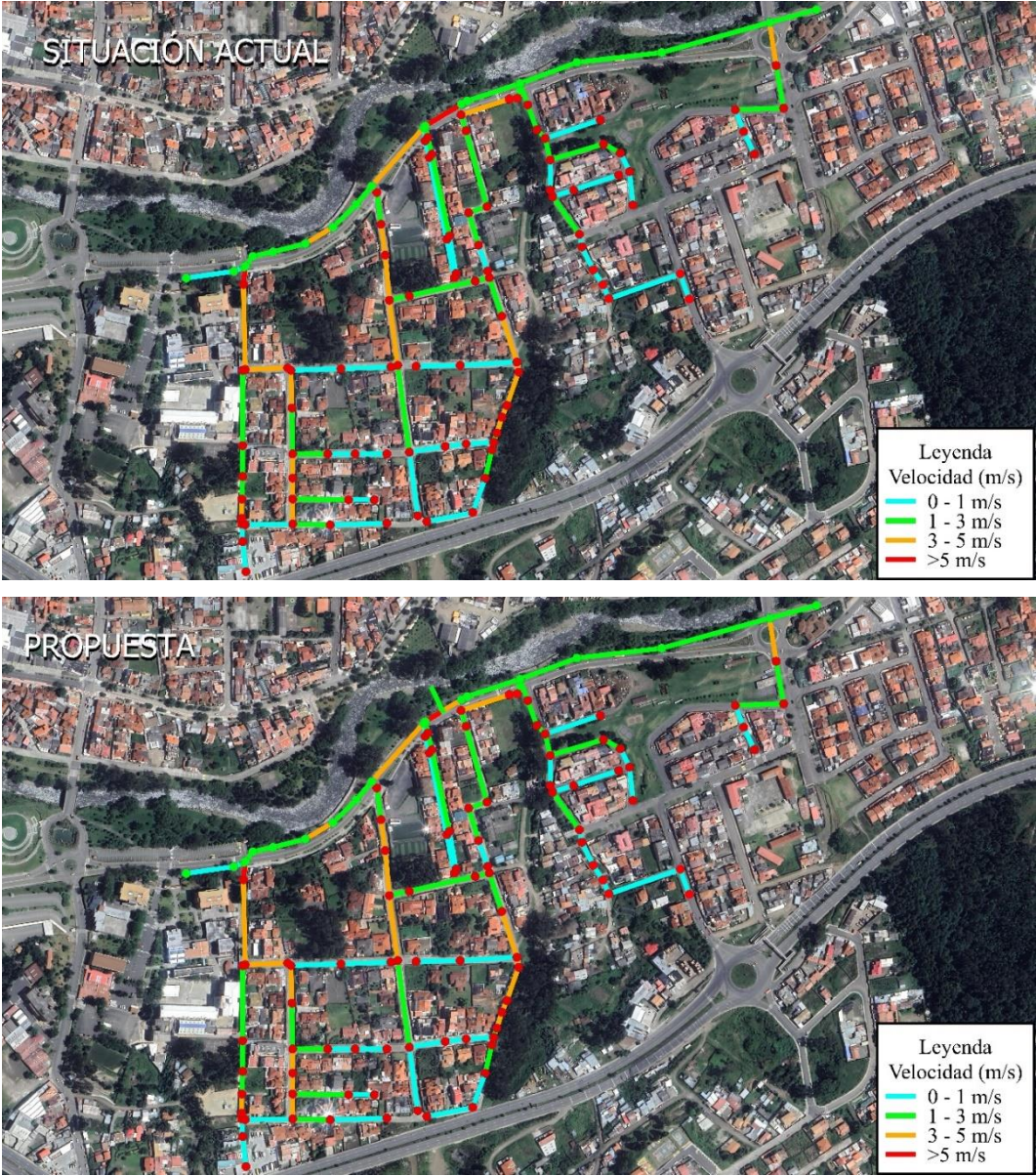
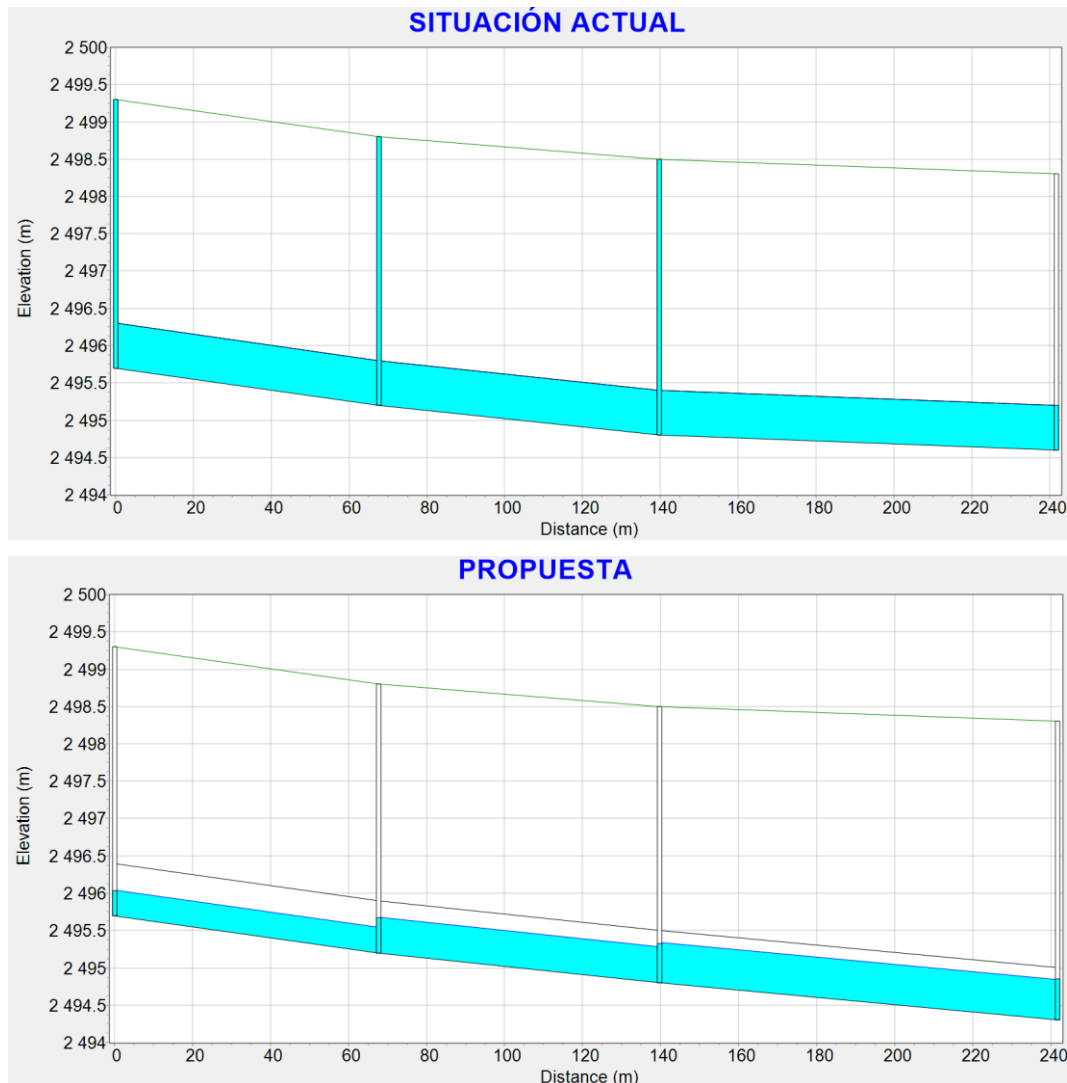


Figura 52. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Tormenta de diseño de 30 minutos.



### 5.3. Evento de precipitación del 25/01/2020 (60 minutos)

De igual manera, se observan mejoras en la red al aplicar la propuesta, sobre todo en el momento crítico correspondiente al minuto 50, donde colapsan los tramos 15 y 16, en las figuras 53, 54 y 55 se puede observar la comparativa entre ambas situaciones, teniendo como resultados de la solución planteada, una capacidad máxima en el colector principal de 0.58 en el tramo 18 y, una velocidad de 5.2 justo antes del aliviadero, al igual que para el evento de 2017 esta velocidad supera al valor máximo permisible pero no representa ningún riesgo para el funcionamiento de la red. Asimismo, los valores de velocidad y capacidad se presentan en las tablas 27 y 28.

Figura 53. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)

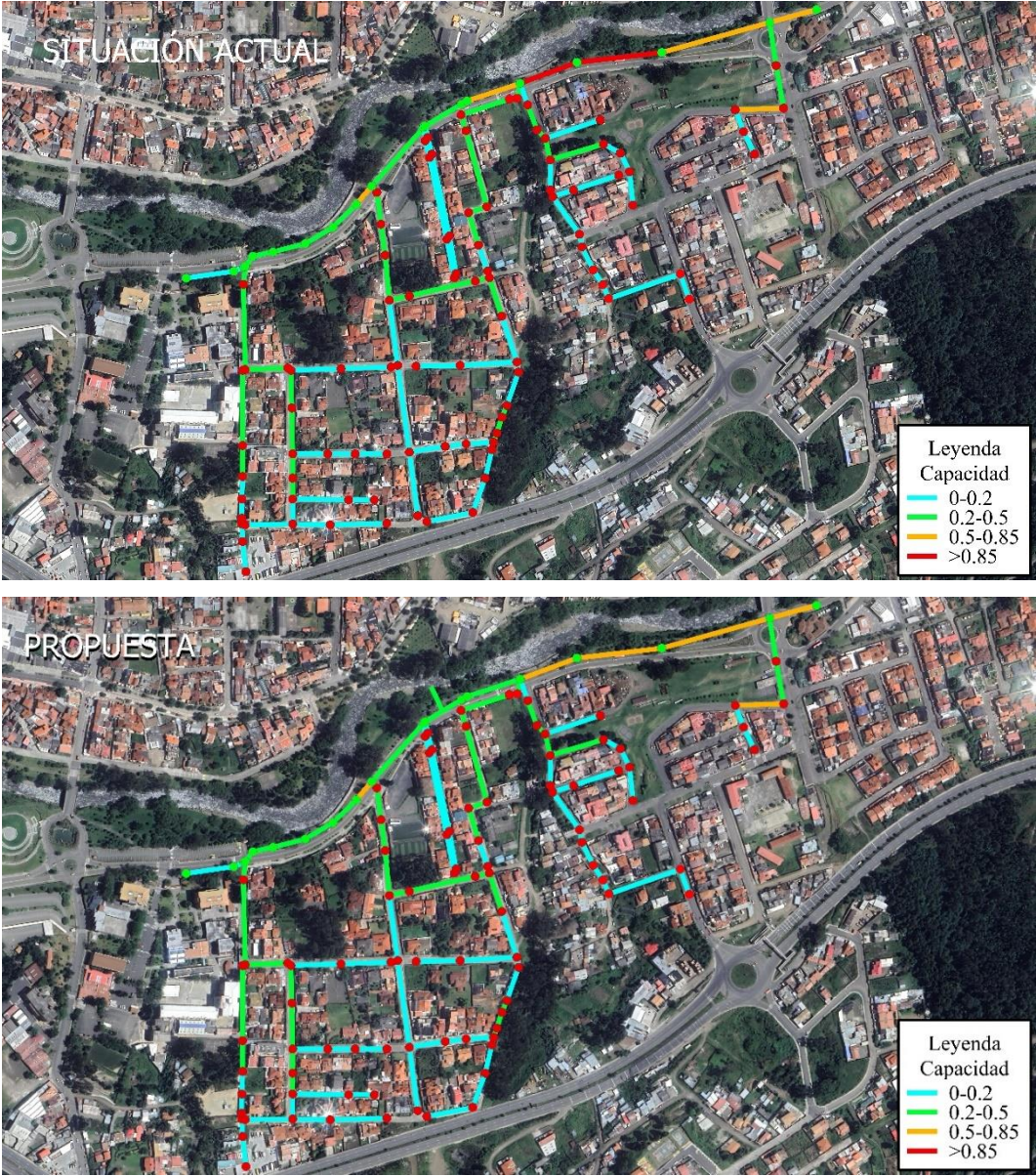


Figura 54. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)

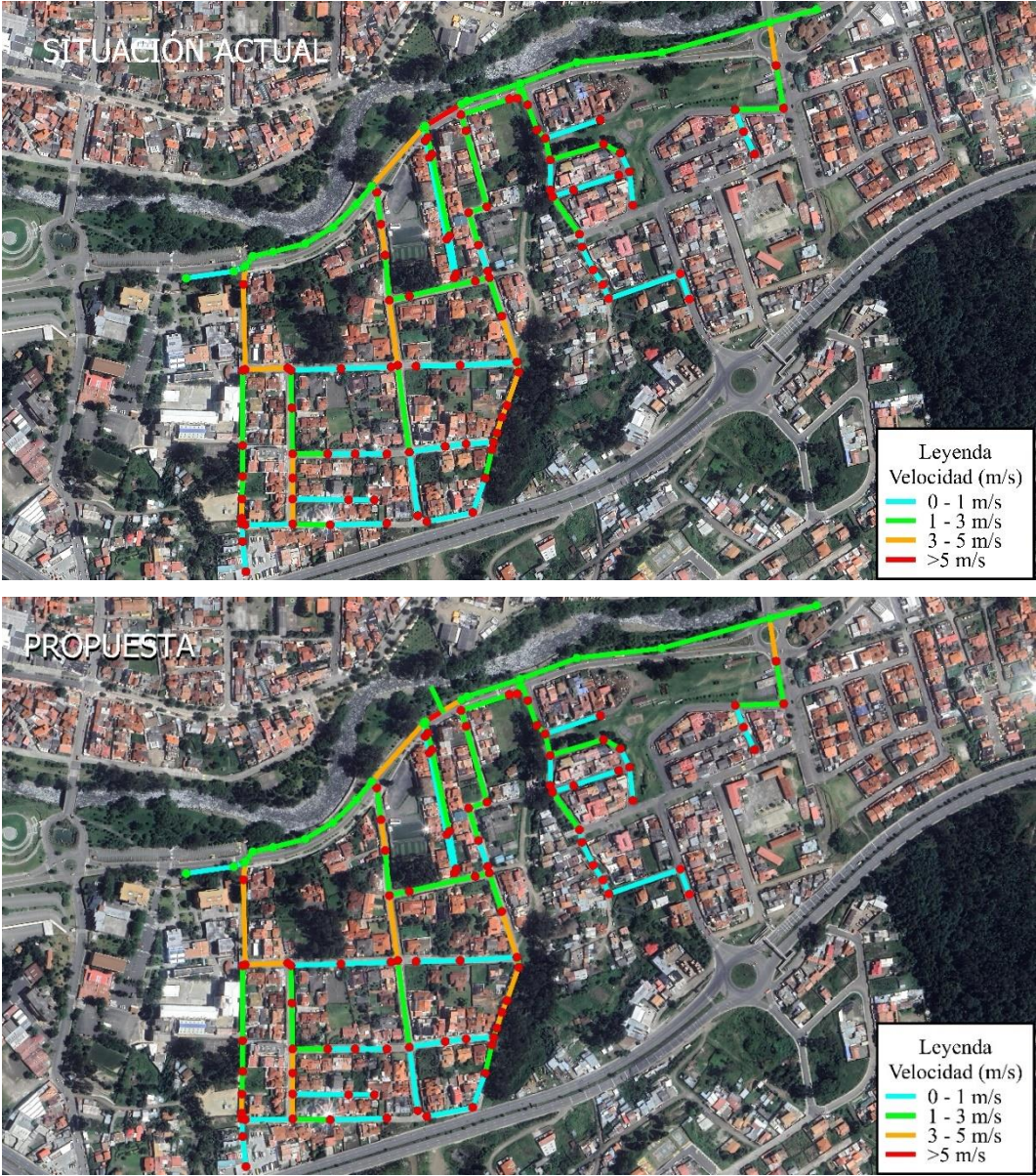
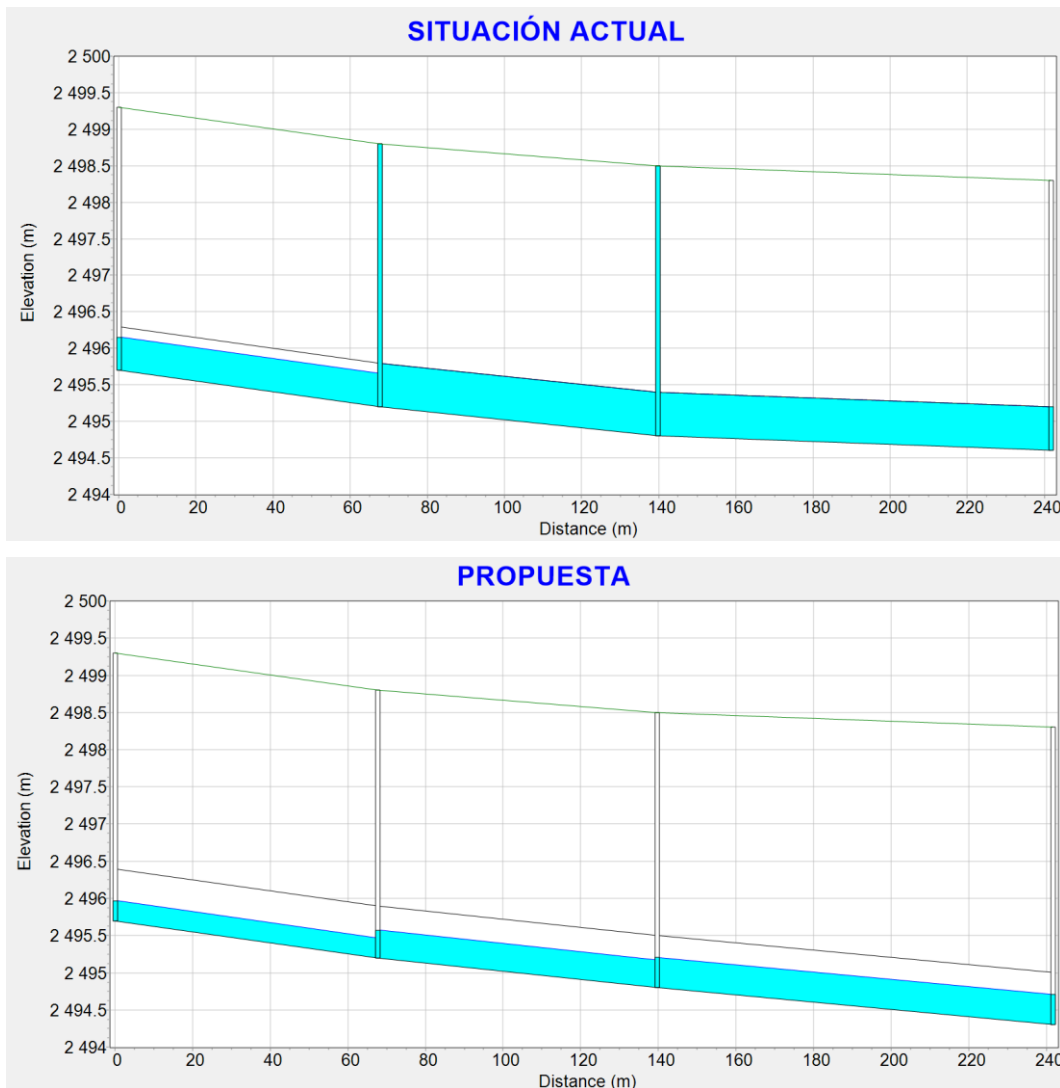


Figura 55. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Evento del 25/01/2020 (60 minutos)



#### 5.4. Tormenta de diseño para 60 minutos

Durante la tormenta de diseño de 60 minutos, la red se saturó en los tramos 14, 15 y 16, similar a lo ocurrido para el evento del 25/01/2020, pero con un caudal superior, llegando a circular hasta 635.76 litros por segundo, antes de que los tramos mencionados colapsen. En las figuras 56 y 57 se puede observar la mejoría tras la aplicación de la propuesta, de igual manera en la figura 58 se muestran los perfiles de flujo antes y después de aplicar la mejora. Los valores correspondientes a capacidad y velocidad se presentan en las tablas 29 y 30.

Figura 56. Comparativa de la Capacidad de la red de alcantarillado (2040). Tormenta de diseño de 60 minutos.

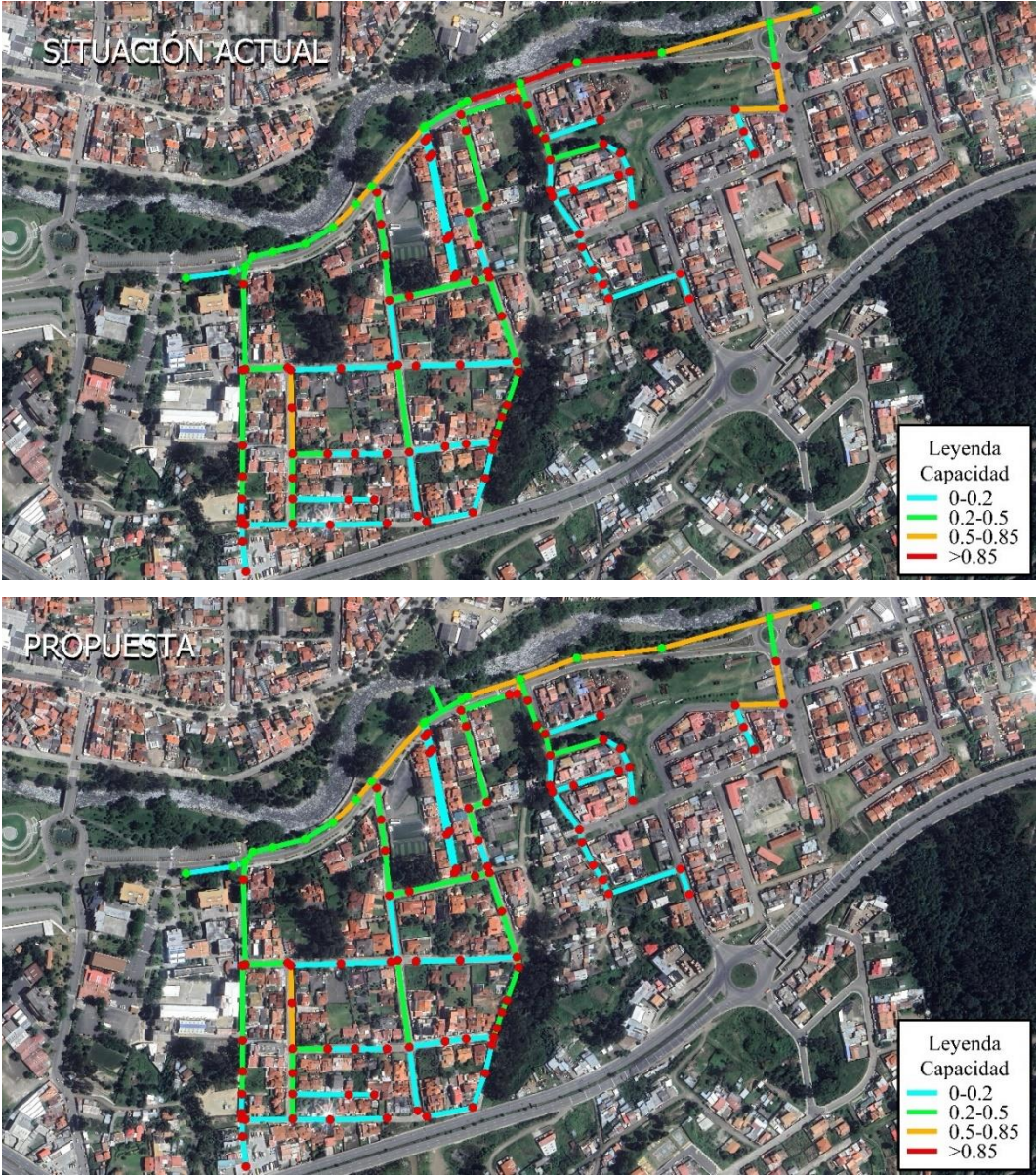


Figura 57. Comparativa de la Velocidad de la red de alcantarillado (2040). Tormenta de diseño de 60 minutos.

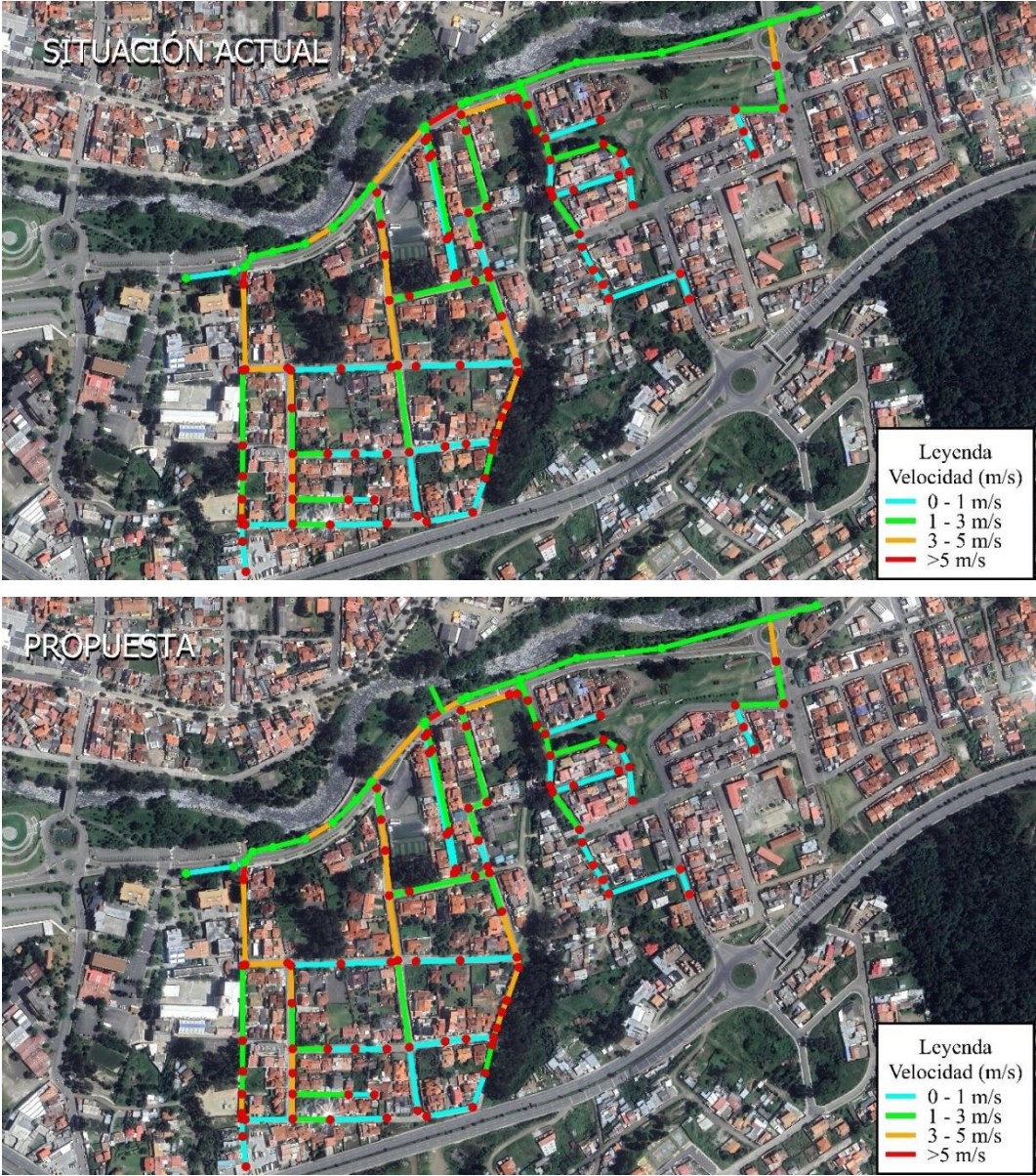
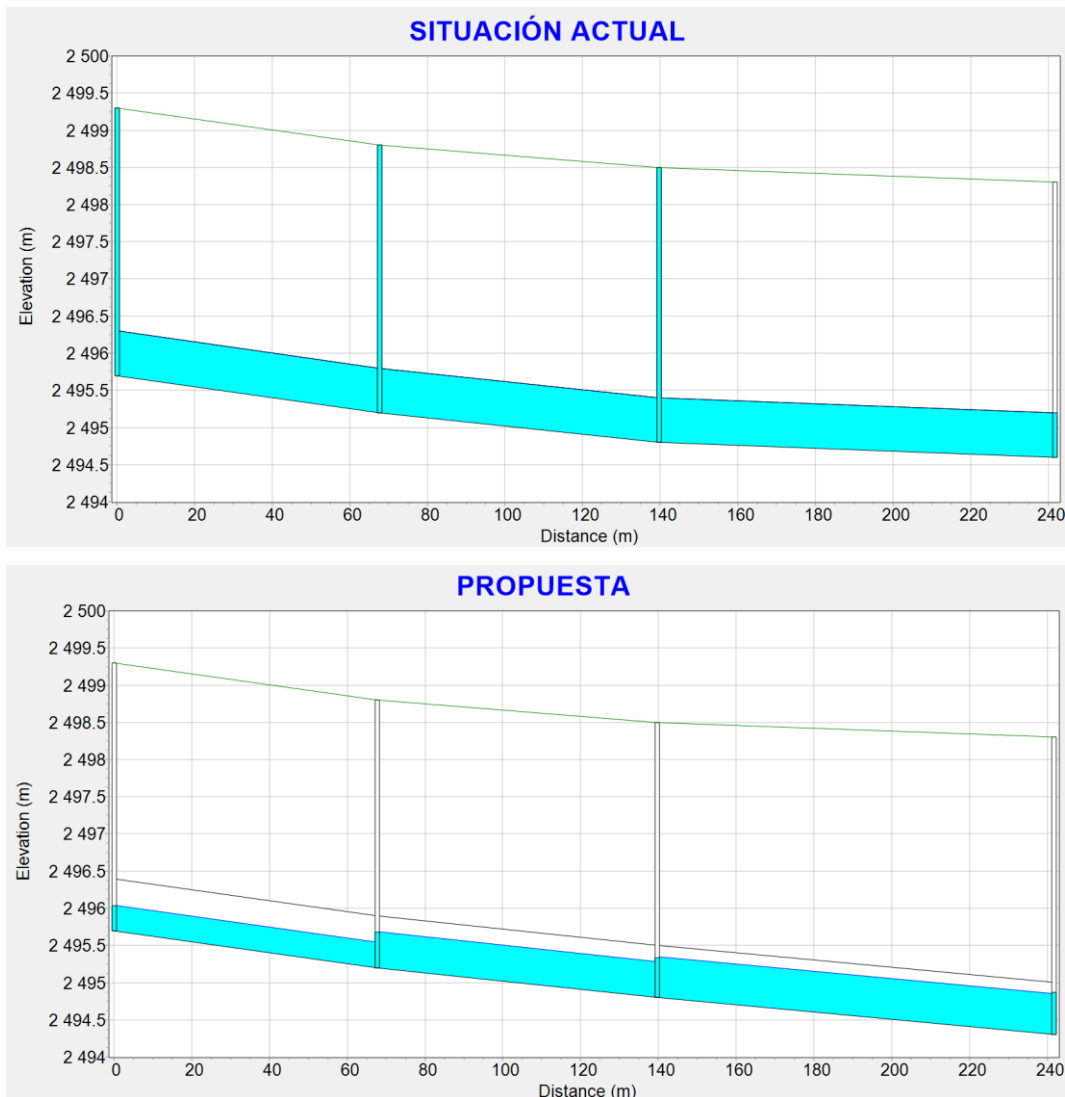


Figura 58. Comparativa de los perfiles de flujo en los tramos 14,15 y 16 (2040). Tormenta de diseño de 60 minutos.



### 5.5. Comparativa entre la situación actual y la alternativa propuesta

En base a los mapas presentados, se observa una clara mejora en el funcionamiento de la red mediante la aplicación de la propuesta. Los valores correspondientes al colector principal para cada situación se presentan en la siguiente tabla. Los valores correspondientes a toda la red incluyendo los tramos de aporte se presentan en el apartado de anexos de este documento.



Tabla 27. Comparación de la capacidad del colector principal para los eventos de 2017 y 2020 entre la situación actual y la alternativa propuesta

| Tramo | Evento del 10/03/2017 |           | Evento del 25/01/2020 |           |
|-------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
|       | Capacidad (Y/D)       |           | Capacidad (Y/D)       |           |
|       | Actual                | Propuesta | Actual                | Propuesta |
| T1    | 0.03                  | 0.03      | 0.03                  | 0.03      |
| T2    | 0.03                  | 0.03      | 0.03                  | 0.03      |
| T3    | 0.01                  | 0.01      | 0.01                  | 0.01      |
| T4    | 0.43                  | 0.43      | 0.43                  | 0.43      |
| T5    | 0.36                  | 0.36      | 0.36                  | 0.36      |
| T6    | 0.39                  | 0.39      | 0.39                  | 0.39      |
| T7    | 0.32                  | 0.32      | 0.32                  | 0.32      |
| T8    | 0.43                  | 0.43      | 0.43                  | 0.43      |
| T9    | 0.29                  | 0.51      | 0.55                  | 0.51      |
| T10   | 0.49                  | 0.49      | 0.48                  | 0.48      |
| T11   | 0.44                  | 0.35      | 0.43                  | 0.35      |
| T12   | 0.36                  | 0.29      | 0.35                  | 0.28      |
| T12-1 |                       | 0.21      |                       | 0.21      |
| T13   | 0.68                  | 0.38      | 0.67                  | 0.36      |
| T14   | 0.92                  | 0.43      | 0.81                  | 0.41      |
| T15   | 1                     | 0.59      | 1                     | 0.55      |
| T16   | 1                     | 0.63      | 1                     | 0.59      |
| T17   | 0.63                  | 0.6       | 0.62                  | 0.56      |
| T18   | 0.57                  | 0.64      | 0.55                  | 0.58      |

Tabla 28. Comparación de la velocidad del flujo en el colector principal para los eventos de 2017 y 2020 entre la situación actual y la alternativa propuesta

| Tramo | Evento del 10/03/2017 |           | Evento del 25/01/2020 |           |
|-------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
|       | Velocidad (m/s)       |           | Velocidad (m/s)       |           |
|       | Actual                | Propuesta | Actual                | Propuesta |
| T1    | 0.5                   | 0.51      | 0.51                  | 0.51      |
| T2    | 0.5                   | 0.52      | 0.52                  | 0.52      |
| T3    | 0.38                  | 0.38      | 0.38                  | 0.38      |
| T4    | 1.85                  | 1.85      | 1.84                  | 1.85      |
| T5    | 2.49                  | 2.49      | 2.48                  | 2.48      |
| T6    | 2.2                   | 2.2       | 2.19                  | 2.19      |

|       |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|
| T7    | 2.94 | 2.94 | 2.93 | 2.93 |
| T8    | 1.93 | 1.93 | 1.92 | 1.93 |
| T9    | 2.16 | 1.68 | 2.15 | 1.67 |
| T10   | 3.21 | 3.21 | 3.19 | 3.19 |
| T11   | 3.81 | 3.78 | 3.78 | 3.75 |
| T12   | 5.31 | 5.25 | 5.26 | 5.2  |
| T12-1 |      | 4.4  |      | 4.31 |
| T13   | 2.44 | 2.13 | 2.43 | 2.09 |
| T14   | 2.02 | 1.8  | 2    | 1.77 |
| T15   | 1.82 | 1.78 | 1.82 | 1.75 |
| T16   | 1.12 | 1.71 | 1.13 | 1.69 |
| T17   | 1.53 | 1.87 | 1.54 | 1.85 |
| T18   | 2.34 | 2.26 | 2.32 | 2.2  |

Tabla 29. Comparación de la capacidad del colector principal para la tormenta de diseño entre la situación actual y la alternativa propuesta

| Tramo | Tormenta de 30 minutos |           | Tormenta de 60 minutos |           |
|-------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|
|       | Capacidad (Y/D)        |           | Capacidad (Y/D)        |           |
|       | Actual                 | Propuesta | Actual                 | Propuesta |
| T1    | 0.03                   | 0.03      | 0.03                   | 0.03      |
| T2    | 0.03                   | 0.03      | 0.03                   | 0.03      |
| T3    | 0.01                   | 0.01      | 0.01                   | 0.01      |
| T4    | 0.5                    | 0.5       | 0.5                    | 0.5       |
| T5    | 0.42                   | 0.42      | 0.42                   | 0.42      |
| T6    | 0.46                   | 0.46      | 0.46                   | 0.46      |
| T7    | 0.37                   | 0.37      | 0.37                   | 0.37      |
| T8    | 0.5                    | 0.51      | 0.51                   | 0.51      |
| T9    | 0.67                   | 0.6       | 0.67                   | 0.6       |
| T10   | 0.57                   | 0.57      | 0.57                   | 0.57      |
| T11   | 0.51                   | 0.4       | 0.51                   | 0.4       |
| T12   | 0.41                   | 0.33      | 0.41                   | 0.33      |
| T12-1 |                        | 0.26      |                        | 0.26      |
| T13   | 1                      | 0.47      | 1                      | 0.47      |
| T14   | 1                      | 0.54      | 1                      | 0.54      |
| T15   | 1                      | 0.74      | 1                      | 0.75      |
| T16   | 1                      | 0.8       | 1                      | 0.84      |

|     |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|
| T17 | 0.64 | 0.75 | 0.64 | 0.77 |
| T18 | 0.63 | 0.77 | 0.63 | 0.79 |

Tabla 30. Comparación de la velocidad del flujo en el colector principal para la tormenta de diseño entre la situación actual y la alternativa propuesta

| Tramo | Tormenta de 30 minutos |           | Tormenta de 60 minutos |           |
|-------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|
|       | Actual                 | Propuesta | Actual                 | Propuesta |
| T1    | 0.51                   | 0.51      | 0.51                   | 0.51      |
| T2    | 0.52                   | 0.52      | 0.52                   | 0.52      |
| T3    | 0.38                   | 0.38      | 0.38                   | 0.38      |
| T4    | 1.98                   | 1.98      | 1.99                   | 1.98      |
| T5    | 2.68                   | 2.68      | 2.68                   | 2.68      |
| T6    | 2.36                   | 2.36      | 2.37                   | 2.36      |
| T7    | 3.17                   | 3.17      | 3.17                   | 3.17      |
| T8    | 2.07                   | 2.07      | 2.08                   | 2.07      |
| T9    | 2.28                   | 1.78      | 2.28                   | 1.79      |
| T10   | 3.41                   | 3.42      | 3.42                   | 3.42      |
| T11   | 4.06                   | 4.04      | 4.07                   | 4.05      |
| T12   | 5.67                   | 5.63      | 5.68                   | 5.64      |
| T12-1 |                        | 4.95      |                        | 4.97      |
| T13   | 2.51                   | 2.36      | 2.51                   | 2.37      |
| T14   | 2.08                   | 2         | 2.08                   | 2         |
| T15   | 1.77                   | 1.91      | 1.76                   | 1.91      |
| T16   | 1.13                   | 1.84      | 1.08                   | 1.84      |
| T17   | 1.54                   | 2.02      | 1.52                   | 2.03      |
| T18   | 2.43                   | 2.37      | 2.43                   | 2.38      |

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Al evaluar la situación actual de la red de alcantarillado perteneciente al sector de la Universidad del Azuay mediante el modelo construido en SWMM, se observó el comportamiento del sistema durante eventos de precipitación. Los principales problemas identificados están relacionados con la baja eficiencia hidráulica de la red de alcantarillado, lo que genera capacidades superiores a la permitida en los tramos presentes en la Av. 24 de Mayo, entre las calles Las Golondrinas y Av. Gapal, donde se tiene flujo a presión, provocando inundaciones, alterando el tránsito vehicular y peatonal en la zona.

En lo que respecta a la información del catastro obtenida, se tienen pendientes altas, sobre todo en las calles de aporte debido a la topografía del terreno. Por otro lado, se observaron situaciones donde las tuberías pasan de un diámetro mayor a uno menor en la dirección del flujo, afectando la eficiencia hidráulica de la red. También se notó la falta de información catastral de la zona delimitada por las calles Cajabamba, Manuel Alejandro Niveló Zúñiga, Av. Gapal y la Autopista Cuenca-Azogues. Además, la pendiente de los últimos tres tramos del colector principal es inferior a la mínima permitida. Debido a la carencia de medidores en la zona o cercanos a ella el caudal obtenido mediante el modelo no puede ser comprobado.

La eficiencia hidráulica es analizada técnicamente en base a los parámetros establecidos por la norma, permitiendo conocer el comportamiento actual de la red, a fin de plantear alternativas de mejora en caso de ser necesario. Para el evento de precipitación más crítico registrado (2017), se tiene que, antes de los tramos inundados, el caudal transportado en la red es de 513.77 l/s, pero debido a la saturación de las tuberías, el agua fluye hacia las calles, reduciendo el caudal del colector hasta un valor de 389.23 l/s al momento de salida.

Respecto a las velocidades de la red, en el tramo 12 comprendido entre las calles los Chugos y las Golondrinas, se tiene una velocidad de 5.31 m/s la cual es mayor a la velocidad máxima permisible, debido a la pendiente alta del tramo y al caudal transportado. Sin embargo, dicha velocidad no representa un riesgo para el sistema, por tratarse de un caso puntual. Respecto a la velocidad mínima que debe existir en el sistema para asegurar la autolimpieza, se tiene que en los tres primeros tramos del colector principal no se genera la velocidad suficiente para evitar el depósito de sedimentos en las tuberías, de igual forma la fuerza tractiva no alcanza el valor de 1 Pa.

Es necesario plantear alternativas en el diseño para mejorar la eficiencia de la red y evitar inundaciones. La primera propuesta plantea el aumento del diámetro de las tuberías ubicadas en la Av. 24 de Mayo, entre calle Los Chugos y Av. Gapal, pasando de un diámetro original de 600 mm hasta llegar a los 1000 mm, esta alternativa soluciona los problemas relacionados a la capacidad y velocidad en la red, permitiendo su correcto funcionamiento dentro de los parámetros reglamentarios. Sin embargo, esta solución puede representar un costo significativo, debido a que se deben reemplazar todas las tuberías contiguas, y tomar en cuenta los costos constructivos.

Como segunda alternativa, se propone la construcción de un aliviadero lateral que evacúe parte del caudal transportado al río. El aliviadero se ubica a mitad del tramo presente en la Av. 24 de Mayo, entre los Chugos y las Golondrinas, el mismo descarga al río un caudal de 320 l/s durante eventos de precipitación, disminuyendo así el caudal transportado en la red de alcantarillado mejorando el desempeño de la misma. Esta alternativa representa un problema para el ecosistema fluvial debido a la presencia de aguas negras en el agua

evacuada. Para futuros trabajos, si se adopta esta solución, se deberá realizar un estudio detallado sobre la naturaleza del río para comprender el impacto del caudal evacuado sobre el mismo.

Considerando las desventajas de las dos primeras alternativas, se propone una tercera solución que combina las anteriores, la cual consiste en colocar un aliviadero en la misma ubicación anterior, evacuando 220 l/s y aumentando los diámetros de las tuberías a partir de los tramos presentes en la Av. 24 de Mayo entre los Chugos y la Av. Gapal, alcanzando un valor de 700 mm. De esta forma, se solucionan los problemas de las alternativas anteriores, reduciendo el impacto ambiental sobre el río, facilitando el diseño del aliviadero y disminuyendo los costos relacionados al cambio de diámetros en la red. Además, esta alternativa mejora el desempeño de la red para todos los eventos simulados, incluyendo la tormenta de diseño planteada por Luna & Terán (2022) para un tiempo de retorno de 10 años. Los resultados obtenidos nos proporcionan una base sólida que permite analizar fundamentos de diseño de redes de alcantarillado y mejorar su dimensionamiento en futuros proyectos o rehabilitaciones de zonas conflictivas. Para mejorar los modelos hidrológicos urbanos e hidráulicos, se deben realizar mediciones in situ sobre la red a rehabilitar durante un periodo de tiempo para poder calibrarlo y ser validados con la realidad, permitiendo tener alternativas para nuevas secciones, pendientes, obras hidráulicas complementarias o de captación.

El modelo construido en el presente trabajo no tiene en cuenta los efectos del Río Yanuncay, adyacente a la Av. 24 de Mayo en caso de desbordamiento, por lo que, la solución propuesta para la ampliación y mejora de la red fueron realizadas teniendo en cuenta únicamente las precipitaciones registradas. Por otro lado, para elegir la solución más económica que cumpla con los criterios técnicos establecidos, es necesario realizar un análisis profundo de la tecnología y relaciones socioeconómicas. Asimismo, para futuros trabajos se recomienda realizar un diseño detallado del aliviadero, ya que en el presente trabajo se utilizó el método de Di Marchi, que es un proceso empírico que puede conllevar errores en el dimensionamiento. De igual forma, como ya se mencionó en párrafos anteriores es necesario complementar este trabajo con un estudio acerca del impacto ambiental del agua evacuada al Río Yanuncay.

## 7. Referencias

- Aranda, R. (2009). *Simulación Continua de Lluvias para el Diseño de Sistemas de Drenaje Urbano* [Pontificia Universidad Católica del Chile]. <https://snia.mop.gob.cl/sad/MET-5621.pdf>
- Arocha R, S. (1983). *Cloacas y Drenajes* (Ediciones Vega).
- Balbastre, R. (2018). *Análisis Comparativo de Metodologías de Cálculo de Tormentas de Diseño para su Aplicación en Hidrología Urbana* [Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/100090/BALBASTRE%20-%20An%20a1lisis%20comparativo%20de%20metodolog%20de%20c%20a1culo%20de%20tormentas%20de%20dise%20para%20su%20aplica....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill.
- CONAGUA. (2009). *Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento: Alcantarillado Sanitario*. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgapds-29.pdf>
- EAAB. (2005). *Construcción Alcantarillado, Diseño Alcantarillado*. <http://www.cytarcillasyprefabricados.com/wp-content/uploads/2017/02/Norma-Tecnica-Empresa-de-Acueducto-y-Alcantarillado.pdf>
- EMAAP. (2009). *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q*.
- Fattorelli, S. (2011). *Diseño Hidrológico* (Segunda).
- Gómez, M. (2007). *Hidrología Urbana*.
- Gómez, M., & Russo, B. (2010). *Methodology to estimate hydraulic efficiency of drain inlets. Water Management*.
- Haestad Methods. (2003). *Stormwater Conveyance Modeling and Design*.
- INEN. (1992). *Código Ecuatoriano de la construcción. C.E.C. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*.
- Lastra, S., & Guainilla, A. (2022). *Evaluación y diagnóstico del funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado combinado de las Facultades de Jurisprudencia, Filosofía, Ciencias Económicas y Centro de Física de la Universidad Central del Ecuador, mediante el modelo numérico EPA SWMM 5.0*. [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/27707>
- López Cualla, R. A. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Luna, P., & Terán, D. (2021). *Análisis el comportamiento hidráulico de elementos de drenaje superficial en la ciudad de Cuenca-Sector Universidad del Azuay mediante el uso del programa SWMM*. Universidad de Cuenca.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales Redes de Alcantarillado y Bombeo*. McGraw-Hill.
- Mina, A., & Vásquez, D. (2016). *Catastro técnico y modelación hidráulica de la red de alcantarillado combinado de la parroquia Nono del Distrito Metropolitano de Quito con SWMM (Versión 5.1.010)* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12285/TESIS%20CATASTRO%20TECNICO%20Y%20MODELACION%20HIDRAULICA%20DE%20NONO%20CON%20SWMM%20REVISADO%20TODOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peng, Z., Lin, X., & Niu, N. (2020). Unit Tests of Scientific Software: A Study on SWMM. En V. V. Krzhizhanovskaya, G. Závodszy, M. H. Lees, J. J. Dongarra, P. M. A. Sloat, S. Brissos, & J. Teixeira (Eds.), *Computational Science – ICCS 2020* (Vol. 12143, pp. 413-427). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50436-6\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50436-6_30)
- Peñañiel, M. (2022). *Evaluación y Rediseño del Sistema de Alcantarillado Combinado y Tratamiento de las Aguas Servidas para el Barrio la Florida, Parroquia Sangolquí, Cantón Rumiñahui, Provincia Pichincha* [Universidad de las Fuerzas Armadas]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/28521>
- Rossmann. (2005). *Manual del Usuario SWMM Modelo de Gestión de Aguas Pluviales VE*.
- Rossmann, L., & Huber, W. (2016). *Storm Water Management Model*.
- Rossmann, L., & Simon, M. (2022). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2*. <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- Sandoval, W. (2018). *Diseño de Obras Hidrotécnicas: Aliviaderos*. [https://www.researchgate.net/publication/326561046\\_Capitulo\\_7\\_Aliviaderos](https://www.researchgate.net/publication/326561046_Capitulo_7_Aliviaderos)
- SENAGUA. (2012). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. <https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/norma-co-10-7-602-poblacion-mayor-a-1000-habitantes.pdf>
- SIAPA. (2014). *Lineamientos Técnicos para Factibilidades: Alcantarillado Sanitario*. [https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo\\_3.\\_alcantarillado\\_sanitario.pdf](https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_sanitario.pdf)

## 8. Anexos

## Anexo A: Áreas de aporte pluvial / Subcuencas

| LAS GARZAS                  |           |           |           | 27              | 95.45     | 7.22%     | 2         |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| ID                          | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) | LAS GAVIOTAS    |           |           |           |
| 1                           | 279.06    | 13.28%    | 4.09      | ID              | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
| 2                           | 205.75    | 13.28%    | 2.57      | 26              | 456.19    | 9.30%     | 6.8       |
| 3                           | 326.16    | 20.48%    | 4.41      | 34              | 369.44    | 6.31%     | 6.5       |
| 4                           | 273.27    | 20.48%    | 3.64      | 35              | 325.85    | 6.31%     | 5         |
| 5                           | 121.92    | 10.10%    | 3.83      | 36              | 341.9     | 9.30%     | 5         |
| 6                           | 107.64    | 10.10%    | 3.79      | 53              | 444.99    | 3.58%     | 5.22      |
| 7                           | 244.25    | 8.57%     | 3.32      | 54              | 405.5     | 3.58%     | 3.77      |
| 8                           | 212.37    | 8.57%     | 3         | LOS CISNES      |           |           |           |
| 9                           | 106.48    | 6.93%     | 3.73      | ID              | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
| 10                          | 132.38    | 6.93%     | 4.16      | 37              | 290.32    | 6.66%     | 4.6       |
| 11                          | 339.12    | 4.21%     | 4.19      | 38              | 424.18    | 6.41%     | 5.5       |
| 12                          | 320.12    | 4.21%     | 3.87      | 39              | 662.5     | 4.37%     | 6.4       |
| LAS PALOMAS Y LOS JILGUEROS |           |           |           | 40              | 422.02    | 4.37%     | 3.8       |
| ID                          | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) | 55              | 307.82    | 4.69%     | 4.03      |
| 13                          | 219.52    | 0.70%     | 3.57      | 56              | 733.44    | 4.69%     | 4.03      |
| 14                          | 222.68    | 0.70%     | 3.18      | LOS CANARIOS    |           |           |           |
| 23                          | 166.03    | 4.09%     | 3.4       | ID              | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
| 24                          | 252.7     | 4.09%     | 4.74      | 43              | 165.33    | 8.53%     | 3.6       |
| 25                          | 302.75    | 0.44%     | 3.62      | 44              | 181.4     | 8.53%     | 4.34      |
| 28                          | 256.96    | 0.44%     | 3.56      | 45              | 156.6     | 8.53%     | 3.76      |
| 41                          | 44.86     | 0.44%     | 2.33      | 46              | 166       | 8.53%     | 4.56      |
| 42                          | 50.48     | 0.44%     | 2.51      | 47              | 486.2     | 8.57%     | 4.53      |
| DEL CHIROTE                 |           |           |           | 48              | 559.31    | 8.57%     | 5         |
| ID                          | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) | 49              | 355.64    | 14.00%    | 4         |
| 15                          | 206.53    | 17.92%    | 6.67      | 50              | 333.79    | 14.00%    | 3.95      |
| 16                          | 156.54    | 19.69%    | 4.87      | 51              | 682.73    | 5.40%     | 2.51      |
| 17                          | 235.41    | 19.69%    | 7         | 52              | 1011.52   | 5.40%     | 4.96      |
| 18                          | 72.62     | 18.81%    | 4.7       | LOS GORRIONES   |           |           |           |
| 19                          | 84.45     | 4.70%     | 4.7       | ID              | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
| 20                          | 150.24    | 11.76%    | 7         | 73              | 103.68    | 0.08%     | 3.84      |
| 21                          | 444.87    | 5.11%     | 5.21      | 74              | 70.65     | 0.08%     | 3.84      |
| 22                          | 550.38    | 5.11%     | 7.22      | LAS GOLONDRINAS |           |           |           |
| C DEL RETORNO               |           |           |           | ID              | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
| ID                          | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) | 59              | 437.27    | 0.93%     | 4.87      |
| 27                          | 95.45     | 7.22%     | 2         | 60              | 267.97    | 7.05%     | 3.36      |
| 29                          | 137.47    | 7.22%     | 4.64      | 61              | 266.25    | 0.93%     | 5.37      |
| 30                          | 172.74    | 5.31%     | 3.86      | 62              | 224.56    | 7.05%     | 3.7       |
| 31                          | 145.97    | 5.31%     | 2.84      | 63              | 90.65     | 13.96%    | 5.22      |



|    |        |        |      |
|----|--------|--------|------|
| 64 | 104.72 | 13.96% | 5.6  |
| 65 | 25.64  | 0.88%  | 2.7  |
| 66 | 51.89  | 0.88%  | 4.72 |
| 67 | 319.1  | 14.13% | 3.07 |
| 68 | 381.6  | 14.13% | 3.83 |
| 69 | 88.51  | 8.28%  | 2.59 |
| 70 | 191.52 | 8.28%  | 5.27 |
| 71 | 221.83 | 8.82%  | 2.57 |
| 72 | 435.01 | 8.82%  | 5.93 |
| 75 | 80.55  | 7.11%  | 3    |
| 76 | 98.81  | 7.11%  | 3.7  |
| 77 | 101.08 | 4.24%  | 3.13 |
| 78 | 109.2  | 4.24%  | 3.45 |
| 79 | 134.49 | 0.16%  | 6.7  |
| 80 | 98.93  | 0.16%  | 4.79 |
| 81 | 393.92 | 4.05%  | 4.72 |
| 82 | 237.64 | 4.05%  | 2    |
| 83 | 157.12 | 11.12% | 3.9  |
| 84 | 112.42 | 11.12% | 2.68 |

### LOS CHUGOS

| ID  | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| 127 | 64.93     | 6.56%     | 3.44      |
| 128 | 86.76     | 6.56%     | 3.44      |
| 129 | 535.1     | 6.54%     | 3.86      |
| 130 | 650.82    | 6.54%     | 3.86      |

### MANOEL ALEJANDRO NIVELÓ ZUNIGA

| ID | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|----|-----------|-----------|-----------|
| 85 | 1590.17   | 4.41%     | 10.6      |
| 86 | 1782.94   | 4.41%     | 10.6      |

### PACAYBAMBA

| ID | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|----|-----------|-----------|-----------|
| 87 | 388.6     | 3.47%     | 6         |
| 88 | 558.32    | 3.47%     | 6         |

### JOAN TENECELA

| ID | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|----|-----------|-----------|-----------|
| 89 | 234.83    | 5.53%     | 4.38      |
| 90 | 339.41    | 5.53%     | 4.38      |
| 91 | 80.27     | 4.37%     | 4.7       |
| 92 | 115.01    | 4.37%     | 4.7       |
| 93 | 127.93    | 2.10%     | 3.82      |
| 94 | 133.19    | 2.10%     | 3.82      |
| 95 | 102.86    | 0.67%     | 4.23      |
| 96 | 132.29    | 0.67%     | 4.23      |

### MOLLOBAMBA

| ID  | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| 109 | 1115.23   | 9.30%     | 5.29      |
| 110 | 1115.23   | 9.30%     | 5.29      |

### GUAYLLABAMBA

| ID | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|----|-----------|-----------|-----------|
| 97 | 295.18    | 5.29%     | 7.5       |
| 98 | 541.64    | 5.29%     | 7.5       |

### TUMIPAMBA

| ID  | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| 99  | 133.76    | 0.78%     | 3.92      |
| 100 | 42.13     | 0.78%     | 3.92      |
| 101 | 1675.1    | 5.39%     | 10.25     |
| 102 | 573.73    | 5.39%     | 10.25     |
| 115 | 165       | 8.00%     | 4.62      |
| 116 | 165       | 8.00%     | 4.62      |
| 117 | 70.13     | 8.00%     | 4.61      |
| 118 | 70.13     | 8.00%     | 4.61      |
| 119 | 412.21    | 5.55%     | 4.61      |
| 120 | 412.21    | 5.55%     | 4.61      |
| 121 | 90        | 1.00%     | 4.61      |
| 122 | 90        | 1.00%     | 4.61      |
| 123 | 170.16    | 1.00%     | 4.61      |
| 124 | 170.16    | 1.00%     | 4.61      |

### AVE GAPAL

| ID  | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| 103 | 573.73    | 5.39%     | 10.25     |
| 104 | 1675.1    | 5.39%     | 10.25     |
| 113 | 980.17    | 8.00%     | 8.5       |
| 114 | 980.17    | 8.00%     | 8.5       |

### CAJABAMBA

| ID  | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| 105 | 345.11    | 1.00%     | 5.17      |
| 106 | 345.11    | 1.00%     | 5.17      |
| 107 | 880.05    | 14.40%    | 4.09      |
| 108 | 880.05    | 14.40%    | 4.09      |

### CHUGCHILAN

| ID  | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| 111 | 1032.16   | 9.16%     | 5.96      |
| 112 | 1032.16   | 9.16%     | 5.96      |

### CAPULISPAMBA

| ID  | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| 129 | 235.02    | 2.77%     | 5.06      |

|     |        |       |      |
|-----|--------|-------|------|
| 130 | 235.02 | 2.77% | 5.06 |
| 131 | 70.13  | 2.89% | 5.06 |
| 132 | 70.13  | 2.89% | 4.61 |

**AV 24 DE MAYO**

| ID  | Área (m2) | Pendiente | Ancho (m) |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| A1  | 261.45    | 1.21%     | 1.28      |
| A2  | 1076.78   | 1.21%     | 11.38     |
| A3  | 810.46    | 2.55%     | 4.75      |
| A4  | 810.46    | 2.55%     | 4.75      |
| A5  | 500.12    | 4.06%     | 4.67      |
| A6  | 500.12    | 4.06%     | 4.67      |
| A7  | 250       | 5.56%     | 4.55      |
| A8  | 250       | 5.56%     | 4.55      |
| A9  | 80.16     | 4.71%     | 4.56      |
| A10 | 80.16     | 4.71%     | 4.56      |
| A11 | 221.98    | 0.74%     | 4.48      |
| A12 | 221.98    | 0.74%     | 4.48      |
| A13 | 111.49    | 0.58%     | 4.33      |
| A14 | 111.49    | 0.58%     | 4.33      |
| A15 | 65.375    | 0.42%     | 4.4       |
| A16 | 65.375    | 0.42%     | 4.4       |
| A17 | 186.685   | 0.42%     | 4.15      |
| A18 | 186.685   | 0.42%     | 4.15      |
| A19 | 133.93    | 0.31%     | 4.28      |
| A20 | 133.93    | 0.31%     | 4.28      |
| A21 | 459.3     | 0.21%     | 5.1       |
| A22 | 459.3     | 0.21%     | 5.1       |
| A23 | 641.46    | 0.22%     | 6.68      |
| A24 | 641.46    | 0.22%     | 6.68      |

*Anexo A.1. Áreas de aporte pluvial / subcuencas*

**Anexo B: Áreas de aporte residual**

**LAS GARZAS**

| ID | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
|----|-----------|-----------|---------------|
| 1  | 2663.08   | 0.266     | 11.90%        |
| 2  | 891.82    | 0.089     | 22.51%        |
| 3  | 2190.44   | 0.219     | 19.06%        |
| 4  | 2990.91   | 0.299     | 11.62%        |
| 5  | 7788.44   | 0.779     | 8.79%         |
| 6  | 9610.95   | 0.961     | 7.47%         |

**LAS PALOMAS Y LOS JILGUEROS**

| ID | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
|----|-----------|-----------|---------------|
|----|-----------|-----------|---------------|

|    |         |       |        |
|----|---------|-------|--------|
| 7  | 1926.99 | 0.193 | 1.74%  |
| 8  | 4500.54 | 0.450 | -7.96% |
| 9  | 4469.40 | 0.447 | -1.03% |
| 10 | 1869.56 | 0.187 | 1.19%  |

**DEL CHIROTE**

| ID | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
|----|-----------|-----------|---------------|
| 11 | 691.90    | 0.069     | 16.40%        |
| 12 | 778.79    | 0.078     | 20.37%        |
| 13 | 1099.69   | 0.110     | 20.34%        |
| 14 | 3160.39   | 0.316     | 3.61%         |

| 15              | 2358.29   | 0.236     | 5.73%         |
|-----------------|-----------|-----------|---------------|
| C DEL RETORNO   |           |           |               |
| ID              | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 16              | 2347.48   | 0.235     | 11.33%        |
| 17              | 2745.96   | 0.275     | 2.50%         |
| LAS GAVIOTAS    |           |           |               |
| ID              | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 18              | 1693.52   | 0.169     | 4.21%         |
| 19              | 2701.66   | 0.270     | 6.46%         |
| 20              | 3113.32   | 0.311     | 12.17%        |
| 21              | 2014.71   | 0.201     | 0.44%         |
| 22              | 1631.70   | 0.163     | 5.62%         |
| 23              | 1470.56   | 0.147     | 0.92%         |
| LOS CISNES      |           |           |               |
| ID              | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 24              | 3021.01   | 0.302     | 7.28%         |
| 25              | 4700.58   | 0.470     | 4.18%         |
| 26              | 5423.85   | 0.542     | 5.21%         |
| 27              | 4118.90   | 0.412     | 4.11%         |
| 28              | 4050.04   | 0.405     | 5.45%         |
| LOS CANARIOS    |           |           |               |
| ID              | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 29              | 819.62    | 0.082     | 10.10%        |
| 30              | 1888.74   | 0.189     | 10.10%        |
| 31              | 5350.15   | 0.535     | 9.08%         |
| 32              | 4663.61   | 0.466     | 20.17%        |
| 33              | 3080.74   | 0.308     | 4.43%         |
| 34              | 2889.00   | 0.289     | 7.83%         |
| 35              | 2889.45   | 0.289     | 2.37%         |
| LOS GORRIONES   |           |           |               |
| ID              | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 36              | 4196.51   | 0.420     | 1.18%         |
| 37              | 1296.94   | 0.130     | 1.18%         |
| LAS GOLONDRINAS |           |           |               |
| ID              | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 38              | 3737.75   | 0.374     | 12.54%        |
| 39              | 4282.78   | 0.428     | 7.52%         |
| 40              | 1895.80   | 0.190     | 2.34%         |
| 41              | 822.03    | 0.082     | 1.77%         |
| 42              | 1116.32   | 0.112     | 23.28%        |
| 43              | 813.41    | 0.081     | 15.84%        |
| 44              | 2896.28   | 0.290     | 10.32%        |
| 45              | 3402.67   | 0.340     | 12.91%        |
| 46              | 4272.65   | 0.427     | 3.72%         |

| 47                             | 1644.92   | 0.164     | 9.03%         |
|--------------------------------|-----------|-----------|---------------|
| 48                             | 1605.31   | 0.161     | 2.94%         |
| 49                             | 2240.90   | 0.224     | 2.33%         |
| 50                             | 4620.86   | 0.462     | 4.00%         |
| 51                             | 1702.53   | 0.170     | 9.09%         |
| LO CHUGOS                      |           |           |               |
| ID                             | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 52                             | 9788.66   | 0.979     | 6.36%         |
| MANOEL ALEJANDRO NIVELÓ ZUNIGA |           |           |               |
| ID                             | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 53                             | 18290.12  | 1.829     |               |
| 54                             | 2652.10   | 0.265     |               |
| 55                             | 1195.25   | 0.120     | 2.73%         |
| 56                             | 1664.91   | 0.166     | 2.42%         |
| 57                             | 1917.70   | 0.192     | 4.08%         |
| 58                             | 582.31    | 0.058     | 3.78%         |
| 59                             | 3525.58   | 0.353     | 7.42%         |
| 60                             | 496.09    | 0.050     | 2.83%         |
| 61                             | 1826.18   | 0.183     | 1.63%         |
| 62                             | 2098.98   | 0.210     | 3.92%         |
| 63                             | 541.08    | 0.054     | 3.68%         |
| 64                             | 1291.93   | 0.129     | 4.21%         |
| 65                             | 1066.62   | 0.107     | 13.38%        |
| PACAYBAMBA                     |           |           |               |
| ID                             | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 66                             | 1104.61   | 0.110     | 5.53%         |
| 67                             | 2253.45   | 0.225     | 0.72%         |
| JOAN TENECELA                  |           |           |               |
| ID                             | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 68                             | 1285.85   | 0.129     | 4.27%         |
| 69                             | 513.86    | 0.051     | 4.99%         |
| 70                             | 374.17    | 0.037     | 4.43%         |
| 71                             | 2112.11   | 0.211     | 1.41%         |
| NICOLAS VIVAR REGALADO         |           |           |               |
| ID                             | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 72                             | 3395.81   | 0.340     | 3.53%         |
| MOLLOBAMBA                     |           |           |               |
| ID                             | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 73                             | 8832.77   | 0.883     | 5.39%         |
| LUIS F GARCIA                  |           |           |               |
| ID                             | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
| 74                             | 4109.24   | 0.411     | 9.16%         |
| GUAYLLABAMBA                   |           |           |               |

| ID | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
|----|-----------|-----------|---------------|
| 75 | 1061.04   | 0.106     | 9.26%         |
| 76 | 537.07    | 0.054     | 2.09%         |

**TUMIPAMBA**

| ID | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
|----|-----------|-----------|---------------|
| 77 | 2241.35   | 0.224     | 0.78%         |

**AVE GAPAL**

| ID | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
|----|-----------|-----------|---------------|
| 78 | 1940.52   | 0.194     | 3.29%         |
| 79 | 2090.45   | 0.209     | 10.21%        |

**AV 24 DE MAYO**

| ID | Área (m2) | Área (Ha) | Pendiente (%) |
|----|-----------|-----------|---------------|
| 80 | 2221.07   | 0.222     | 1.68%         |
| 81 | 703.44    | 0.070     | 2.78%         |
| 82 | 1342.91   | 0.134     | 3.14%         |
| 83 | 2062.67   | 0.206     | 3.47%         |
| 84 | 1527.15   | 0.153     | 5.35%         |
| 85 | 930.28    | 0.093     | 1.04%         |
| 86 | 1226.38   | 0.123     | 1.45%         |
| 87 | 140.02    | 0.014     | 0.68%         |
| 88 | 385.87    | 0.039     | 3.02%         |
| 89 | 2029.41   | 0.203     | 2.56%         |
| 90 | 746.97    | 0.075     | 9.69%         |
| 91 | 516.37    | 0.052     | 0.96%         |
| 92 | 1555.88   | 0.156     | 0.56%         |
| 93 | 803.35    | 0.080     | 0.20%         |
| 94 | 4167.50   | 0.417     | 0.20%         |
| 95 | 4880.30   | 0.488     | 0.45%         |

*Anexo B.1. Áreas de aporte para el cálculo del Caudal Sanitario*

## Anexo C: Caudales sanitarios

| CAUDALES RESIDUALES TOTALES (L/s) |           |      |      |      | 38   | 0.31 | 0.34 | 0.38 |
|-----------------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| Calle                             | Tra<br>mo | Año  |      |      |      |      |      |      |
|                                   |           | 2010 | 2023 | 2040 |      |      |      |      |
| LAS GARZAS                        | 1         | 0.26 | 0.27 | 0.30 | 39   | 0.34 | 0.36 | 0.41 |
|                                   | 2         | 0.10 | 0.11 | 0.12 | 40   | 0.14 | 0.15 | 0.17 |
|                                   | 3         | 0.19 | 0.20 | 0.22 | 41   | 0.08 | 0.08 | 0.09 |
|                                   | 4         | 0.25 | 0.27 | 0.31 | 42   | 0.10 | 0.11 | 0.12 |
|                                   | 5         | 0.65 | 0.70 | 0.79 | 43   | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|                                   | 6         | 0.84 | 0.90 | 1.01 | 44   | 0.26 | 0.28 | 0.31 |
| PALOMAS Y<br>JILGEROS             | 7         | 0.21 | 0.22 | 0.24 | 45   | 0.31 | 0.33 | 0.37 |
|                                   | 8         | 0.36 | 0.39 | 0.44 | 46   | 0.35 | 0.38 | 0.43 |
|                                   | 9         | 0.39 | 0.42 | 0.47 | 47   | 0.16 | 0.17 | 0.19 |
|                                   | 10        | 0.20 | 0.21 | 0.23 | 48   | 0.16 | 0.17 | 0.19 |
| DEL CHIROTE                       | 11        | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 49   | 0.19 | 0.20 | 0.23 |
|                                   | 12        | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 50   | 0.44 | 0.47 | 0.53 |
|                                   | 13        | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 51   | 0.14 | 0.15 | 0.17 |
|                                   | 14        | 0.29 | 0.31 | 0.34 | 52   | 0.92 | 0.99 | 1.10 |
|                                   | 15        | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 53   | 1.35 | 1.46 | 1.67 |
| RETORNO                           | 16        | 0.25 | 0.26 | 0.29 | 54   | 0.24 | 0.26 | 0.29 |
|                                   | 17        | 0.23 | 0.24 | 0.28 | 55   | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| GAVIOTAS                          | 18        | 0.17 | 0.18 | 0.20 | 56   | 0.14 | 0.15 | 0.17 |
|                                   | 19        | 0.23 | 0.25 | 0.28 | 57   | 0.16 | 0.17 | 0.19 |
|                                   | 20        | 0.26 | 0.28 | 0.32 | 58   | 0.06 | 0.06 | 0.07 |
|                                   | 21        | 0.20 | 0.21 | 0.23 | 59   | 0.31 | 0.34 | 0.37 |
|                                   | 22        | 0.14 | 0.15 | 0.17 | 60   | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
|                                   | 23        | 0.14 | 0.15 | 0.17 | 61   | 0.17 | 0.18 | 0.20 |
| CISNES                            | 24        | 0.29 | 0.31 | 0.34 | 62   | 0.18 | 0.19 | 0.22 |
|                                   | 25        | 0.40 | 0.43 | 0.48 | 63   | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
|                                   | 26        | 0.45 | 0.48 | 0.54 | 64   | 0.13 | 0.14 | 0.15 |
|                                   | 27        | 0.35 | 0.38 | 0.42 | 65   | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
|                                   | 28        | 0.37 | 0.39 | 0.44 | 66   | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| CANARIOS                          | 29        | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 67   | 0.23 | 0.24 | 0.27 |
|                                   | 30        | 0.20 | 0.21 | 0.24 | 68   | 0.14 | 0.15 | 0.16 |
|                                   | 31        | 0.50 | 0.54 | 0.60 | 69   | 0.07 | 0.07 | 0.08 |
|                                   | 32        | 0.42 | 0.45 | 0.50 | 70   | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
|                                   | 33        | 0.28 | 0.30 | 0.34 | 71   | 0.23 | 0.25 | 0.27 |
|                                   | 34        | 0.25 | 0.27 | 0.30 | 72   | 0.32 | 0.35 | 0.38 |
|                                   | 35        | 0.25 | 0.27 | 0.30 | 73   | 0.69 | 0.74 | 0.84 |
| GORRIONES                         | 36        | 0.39 | 0.42 | 0.47 | 74   | 0.40 | 0.43 | 0.47 |
|                                   | 37        | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 75   | 0.12 | 0.12 | 0.13 |
|                                   |           |      |      | 76   | 0.07 | 0.07 | 0.08 |      |

|                   |           |      |      |      |           |      |      |      |
|-------------------|-----------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| <b>TUMIPAMBA</b>  | <b>77</b> | 0.23 | 0.25 | 0.27 | <b>88</b> | 0.07 | 0.08 | 0.08 |
| <b>GAPAL</b>      | <b>78</b> | 0.20 | 0.21 | 0.23 | <b>89</b> | 0.26 | 0.28 | 0.30 |
|                   | <b>79</b> | 0.21 | 0.23 | 0.25 | <b>90</b> | 0.12 | 0.13 | 0.13 |
| <b>24 DE MAYO</b> | <b>80</b> | 0.35 | 0.36 | 0.39 | <b>91</b> | 0.14 | 0.14 | 0.15 |
|                   | <b>81</b> | 0.07 | 0.07 | 0.08 | <b>92</b> | 0.20 | 0.21 | 0.23 |
|                   | <b>82</b> | 0.12 | 0.13 | 0.15 | <b>93</b> | 0.10 | 0.10 | 0.11 |
|                   | <b>83</b> | 0.15 | 0.17 | 0.19 | <b>94</b> | 0.38 | 0.41 | 0.45 |
|                   | <b>84</b> | 0.16 | 0.17 | 0.18 | <b>95</b> | 0.51 | 0.54 | 0.60 |
|                   | <b>85</b> | 0.11 | 0.12 | 0.13 |           |      |      |      |
|                   | <b>86</b> | 0.12 | 0.13 | 0.14 |           |      |      |      |
|                   | <b>87</b> | 0.05 | 0.05 | 0.05 |           |      |      |      |

*Anexo C.1. Caudales Sanitarios para la población de cada año.*

**Anexo D: Resultados de los escenarios planteados para la situación actual y las opciones 1 y 2.**

### ESCENARIO 1

| Tramo      | Capacidad máxima alcanzada (Y/D) |          |          | Velocidad máxima alcanzada (m/s) |          |          |
|------------|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|----------|----------|
|            | Actual                           | Opción 1 | Opción 2 | Actual                           | Opción 1 | Opción 2 |
| <b>T1</b>  | 0.03                             | 0.03     | 0.03     | 0.5                              | 0.5      | 0.5      |
| <b>T2</b>  | 0.03                             | 0.03     | 0.03     | 0.5                              | 0.5      | 0.5      |
| <b>T3</b>  | 0.01                             | 0.01     | 0.01     | 0.36                             | 0.36     | 0.36     |
| <b>T4</b>  | 0.43                             | 0.43     | 0.43     | 1.85                             | 1.85     | 1.85     |
| <b>T5</b>  | 0.36                             | 0.36     | 0.36     | 2.49                             | 2.49     | 2.49     |
| <b>T6</b>  | 0.39                             | 0.39     | 0.39     | 2.2                              | 2.2      | 2.2      |
| <b>T7</b>  | 0.32                             | 0.32     | 0.32     | 2.94                             | 2.94     | 2.94     |
| <b>T8</b>  | 0.43                             | 0.43     | 0.43     | 1.93                             | 1.93     | 1.93     |
| <b>T9</b>  | 0.51                             | 0.51     | 0.51     | 1.68                             | 1.68     | 1.68     |
| <b>T10</b> | 0.49                             | 0.49     | 0.49     | 3.21                             | 3.21     | 3.21     |
| <b>T11</b> | 0.44                             | 0.35     | 0.44     | 3.81                             | 3.78     | 3.81     |
| <b>T12</b> | 0.36                             | 0.24     | 0.36     | 5.31                             | 4.98     | 5.32     |
| <b>T13</b> | 0.68                             | 0.42     | 0.37     | 2.44                             | 2.47     | 1.9      |
| <b>T14</b> | 0.92                             | 0.49     | 0.42     | 2.02                             | 2.08     | 1.61     |
| <b>T15</b> | 1                                | 0.61     | 0.59     | 1.83                             | 1.97     | 1.8      |
| <b>T16</b> | 1                                | 0.59     | 0.59     | 1.11                             | 1.35     | 1.91     |
| <b>T17</b> | 0.63                             | 0.47     | 0.59     | 1.53                             | 1.86     | 2.04     |
| <b>T18</b> | 0.57                             | 0.39     | 0.62     | 2.34                             | 2.8      | 2.64     |

*Anexo D.1. Resultados del escenario 1 en el colector principal.*

| Tramo | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |          |          | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |          |          |
|-------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------------|----------|----------|
|       | Actual                              | Opción 1 | Opción 2 | Actual                              | Opción 1 | Opción 2 |
| A1    | 0.04                                | 0.04     | 0.04     | 0.66                                | 0.66     | 0.66     |
| A2    | 0.04                                | 0.04     | 0.04     | 0.76                                | 0.76     | 0.76     |
| A3    | 0.04                                | 0.04     | 0.04     | 0.83                                | 0.83     | 0.83     |
| A4    | 0.17                                | 0.17     | 0.17     | 3.16                                | 3.16     | 3.16     |
| A5    | 0.2                                 | 0.2      | 0.2      | 2.64                                | 2.64     | 2.64     |
| A6    | 0.23                                | 0.23     | 0.23     | 2.22                                | 2.22     | 2.22     |
| A7    | 0.37                                | 0.37     | 0.37     | 2.51                                | 2.51     | 2.51     |
| A8    | 0.38                                | 0.38     | 0.38     | 3.01                                | 3.01     | 3.01     |
| A9    | 0.3                                 | 0.3      | 0.3      | 3.78                                | 3.78     | 3.78     |
| A10   | 0.26                                | 0.26     | 0.26     | 4.78                                | 4.78     | 4.78     |
| B1    | 0.2                                 | 0.2      | 0.2      | 3.15                                | 3.15     | 3.15     |
| B2    | 0.22                                | 0.22     | 0.22     | 3.78                                | 3.78     | 3.78     |
| B3    | 0.25                                | 0.25     | 0.25     | 4.06                                | 4.06     | 4.06     |
| B4    | 0.49                                | 0.49     | 0.49     | 2.66                                | 2.66     | 2.66     |
| B5    | 0.48                                | 0.48     | 0.48     | 2.99                                | 2.99     | 2.99     |
| C1    | 0.02                                | 0.02     | 0.02     | 0.65                                | 0.65     | 0.65     |
| C2    | 0.17                                | 0.17     | 0.17     | 2.19                                | 2.19     | 2.19     |
| C3    | 0.14                                | 0.14     | 0.14     | 3.51                                | 3.51     | 3.51     |
| C4    | 0.31                                | 0.31     | 0.31     | 2.97                                | 2.97     | 2.97     |
| C5    | 0.27                                | 0.27     | 0.27     | 3.64                                | 3.64     | 3.64     |
| C6    | 0.36                                | 0.36     | 0.36     | 2.37                                | 2.37     | 2.37     |
| C7    | 0.29                                | 0.29     | 0.29     | 4.14                                | 4.14     | 4.14     |
| D1    | 0.26                                | 0.26     | 0.26     | 1.48                                | 1.48     | 1.48     |
| D2    | 0.22                                | 0.22     | 0.22     | 4.11                                | 4.11     | 4.11     |
| D3    | 0.25                                | 0.25     | 0.25     | 3.6                                 | 3.6      | 3.6      |
| D4    | 0.19                                | 0.19     | 0.19     | 3.07                                | 3.07     | 3.07     |
| D5    | 0.2                                 | 0.2      | 0.2      | 2.92                                | 2.92     | 2.92     |
| D6    | 0.21                                | 0.21     | 0.21     | 3.53                                | 3.53     | 3.53     |
| D7    | 0.34                                | 0.34     | 0.34     | 2.45                                | 2.45     | 2.45     |
| D8    | 0.02                                | 0.02     | 0.02     | 0.53                                | 0.53     | 0.53     |
| D9    | 0.23                                | 0.23     | 0.23     | 1.46                                | 1.46     | 1.46     |
| D10   | 0.34                                | 0.34     | 0.34     | 1.6                                 | 1.6      | 1.6      |

|            |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>D11</b> | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 1.96 | 1.96 | 1.96 |
| <b>D12</b> | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 2.81 | 2.81 | 2.81 |
| <b>D13</b> | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 2.87 | 2.87 | 2.87 |
| <b>D14</b> | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 1.83 | 1.83 | 1.83 |
| <b>D15</b> | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 1.51 | 1.51 | 1.51 |
| <b>E1</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.32 | 0.32 | 0.32 |
| <b>E2</b>  | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 1.92 | 1.92 | 1.92 |
| <b>E3</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.57 | 0.57 | 0.57 |
| <b>E4</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.28 | 0.28 | 0.28 |
| <b>E5</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| <b>E6</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 2.3  | 2.3  | 2.3  |
| <b>E7</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 2.41 | 2.41 | 2.41 |
| <b>F1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| <b>F2</b>  | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| <b>G1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.69 | 0.69 | 0.69 |
| <b>G2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| <b>G3</b>  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 1.7  | 1.7  | 1.7  |
| <b>G4</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.2  | 0.2  | 0.2  |
| <b>G5</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.56 | 0.56 | 0.56 |
| <b>G6</b>  | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| <b>H1</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.59 | 0.59 | 0.59 |
| <b>H2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |
| <b>H3</b>  | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 2.88 | 2.88 | 2.88 |
| <b>H4</b>  | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 3.33 | 3.33 | 3.33 |
| <b>H5</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.51 | 0.51 | 0.51 |
| <b>H6</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.7  | 0.7  | 0.7  |
| <b>I1</b>  | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 1.59 | 1.59 | 1.59 |
| <b>J1</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| <b>J2</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| <b>J3</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.79 | 0.79 | 0.79 |
| <b>J4</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.78 | 0.78 | 0.78 |
| <b>J5</b>  | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 1.04 | 1.04 | 1.04 |
| <b>J6</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.8  | 0.8  | 0.8  |
| <b>J7</b>  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| <b>J8</b>  | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 1.77 | 1.77 | 1.77 |
| <b>J9</b>  | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 1.73 | 1.73 | 1.73 |



|            |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>J10</b> | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 1.83 | 1.83 | 1.83 |
| <b>J11</b> | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 2.76 | 2.76 | 2.76 |
| <b>J12</b> | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.68 | 0.68 | 0.68 |
| <b>J13</b> | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| <b>J14</b> | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| <b>J15</b> | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.56 | 0.56 | 0.56 |
| <b>K1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| <b>K2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.46 | 0.46 | 0.46 |
| <b>K3</b>  | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 1.43 | 1.43 | 1.43 |
| <b>K4</b>  | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 1.19 | 1.19 | 1.19 |
| <b>K5</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.28 | 0.28 | 0.28 |
| <b>L1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| <b>L2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| <b>L3</b>  | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 1.18 | 1.18 | 1.18 |
| <b>L4</b>  | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 2.2  | 2.2  | 2.2  |
| <b>L5</b>  | 0.33 | 0.33 | 0.31 | 3.34 | 3.34 | 3.34 |
| <b>M1</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| <b>M2</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.84 | 0.84 | 0.84 |
| <b>M3</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.88 | 0.88 | 0.88 |
| <b>M4</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.89 | 0.89 | 0.89 |
| <b>N1</b>  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| <b>N2</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 1.23 | 1.23 | 1.23 |
| <b>N3</b>  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 1.48 | 1.48 | 1.48 |
| <b>N4</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 1.52 | 1.52 | 1.52 |

*Anexo D.2. Resultados del escenario 1 en los colectores de aporte*

## ESCENARIO 2

| Tramo     | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |          |          | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |          |          |
|-----------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------------|----------|----------|
|           | Actual                              | Opción 1 | Opción 2 | Actual                              | Opción 1 | Opción 2 |
| <b>T1</b> | 0.03                                | 0.03     | 0.03     | 0.5                                 | 0.5      | 0.5      |
| <b>T2</b> | 0.03                                | 0.03     | 0.03     | 0.5                                 | 0.5      | 0.5      |
| <b>T3</b> | 0.01                                | 0.01     | 0.01     | 0.36                                | 0.36     | 0.36     |
| <b>T4</b> | 0.43                                | 0.43     | 0.43     | 1.84                                | 1.84     | 1.84     |
| <b>T5</b> | 0.36                                | 0.36     | 0.36     | 2.48                                | 2.48     | 2.48     |
| <b>T6</b> | 0.39                                | 0.39     | 0.39     | 2.19                                | 2.19     | 2.19     |
| <b>T7</b> | 0.32                                | 0.32     | 0.32     | 2.93                                | 2.93     | 2.93     |

|            |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>T8</b>  | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 1.93 | 1.93 | 1.93 |
| <b>T9</b>  | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 1.67 | 1.67 | 1.67 |
| <b>T10</b> | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 3.18 | 3.18 | 3.18 |
| <b>T11</b> | 0.43 | 0.35 | 0.43 | 3.78 | 3.74 | 3.78 |
| <b>T12</b> | 0.35 | 0.24 | 0.35 | 5.25 | 4.95 | 5.26 |
| <b>T13</b> | 0.66 | 0.42 | 0.35 | 2.42 | 2.44 | 1.85 |
| <b>T14</b> | 0.8  | 0.47 | 0.4  | 2    | 2.06 | 1.57 |
| <b>T15</b> | 1    | 0.59 | 0.55 | 1.82 | 1.95 | 1.76 |
| <b>T16</b> | 1    | 0.57 | 0.54 | 1.13 | 1.34 | 1.87 |
| <b>T17</b> | 0.65 | 0.45 | 0.53 | 1.54 | 1.83 | 2.01 |
| <b>T18</b> | 0.54 | 0.37 | 0.55 | 2.32 | 2.73 | 2.55 |

*Anexo D.3. Resultados del escenario 2 en el colector principal.*

| <b>Tramo</b> | <b>Capacidad máxima alcanzada<br/>(Y/D)</b> |                 |                 | <b>Velocidad máxima alcanzada<br/>(m/s)</b> |                 |                 |
|--------------|---|-----------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|
|              | <b>Actual</b>                               | <b>Opción 1</b> | <b>Opción 2</b> | <b>Actual</b>                               | <b>Opción 1</b> | <b>Opción 2</b> |
| <b>A1</b>    | 0.04  | 0.04            | 0.04            | 0.66  | 0.66            | 0.66            |
| <b>A2</b>    | 0.04  | 0.04            | 0.04            | 0.76  | 0.76            | 0.76            |
| <b>A3</b>    | 0.04  | 0.04            | 0.04            | 0.83  | 0.83            | 0.83            |
| <b>A4</b>    | 0.18  | 0.18            | 0.18            | 3.18  | 3.18            | 3.18            |
| <b>A5</b>    | 0.2   | 0.2             | 0.2             | 2.67  | 2.67            | 2.67            |
| <b>A6</b>    | 0.23  | 0.23            | 0.23            | 2.23  | 2.23            | 2.23            |
| <b>A7</b>    | 0.38  | 0.38            | 0.38            | 2.54  | 2.54            | 2.54            |
| <b>A8</b>    | 0.38  | 0.38            | 0.38            | 3.02  | 3.02            | 3.02            |
| <b>A9</b>    | 0.3   | 0.3             | 0.3             | 3.78  | 3.78            | 3.78            |
| <b>A10</b>   | 0.26  | 0.26            | 0.26            | 4.78  | 4.78            | 4.78            |
| <b>B1</b>    | 0.19  | 0.19            | 0.19            | 3.07  | 3.07            | 3.07            |
| <b>B2</b>    | 0.22  | 0.22            | 0.22            | 3.76  | 3.76            | 3.76            |
| <b>B3</b>    | 0.25  | 0.25            | 0.25            | 4.05  | 4.05            | 4.05            |
| <b>B4</b>    | 0.49  | 0.49            | 0.49            | 2.67  | 2.67            | 2.67            |
| <b>B5</b>    | 0.48  | 0.48            | 0.48            | 2.99  | 2.99            | 2.99            |
| <b>C1</b>    | 0.02  | 0.02            | 0.02            | 0.65  | 0.65            | 0.65            |
| <b>C2</b>    | 0.18  | 0.18            | 0.18            | 2.25  | 2.25            | 2.25            |
| <b>C3</b>    | 0.14  | 0.14            | 0.14            | 3.55  | 3.55            | 3.55            |
| <b>C4</b>    | 0.31  | 0.31            | 0.31            | 2.95  | 2.95            | 2.95            |

|            |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>C5</b>  | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 3.62 | 3.62 | 3.62 |
| <b>C6</b>  | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 2.35 | 2.35 | 2.35 |
| <b>C7</b>  | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 4.1  | 4.1  | 4.1  |
| <b>D1</b>  | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 1.47 | 1.47 | 1.47 |
| <b>D2</b>  | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 4.11 | 4.11 | 4.11 |
| <b>D3</b>  | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 3.61 | 3.61 | 3.61 |
| <b>D4</b>  | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 3.07 | 3.07 | 3.07 |
| <b>D5</b>  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 2.93 | 2.93 | 2.93 |
| <b>D6</b>  | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 3.54 | 3.54 | 3.54 |
| <b>D7</b>  | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 2.46 | 2.46 | 2.46 |
| <b>D8</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.53 | 0.53 | 0.53 |
| <b>D9</b>  | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 1.47 | 1.47 | 1.47 |
| <b>D10</b> | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 1.61 | 1.61 | 1.61 |
| <b>D11</b> | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 1.97 | 1.97 | 1.97 |
| <b>D12</b> | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 2.71 | 2.71 | 2.71 |
| <b>D13</b> | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 2.74 | 2.74 | 2.74 |
| <b>D14</b> | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 1.75 | 1.75 | 1.75 |
| <b>D15</b> | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 1.45 | 1.45 | 1.45 |
| <b>E1</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.32 | 0.32 | 0.32 |
| <b>E2</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 1.82 | 1.82 | 1.82 |
| <b>E3</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.58 | 0.58 | 0.58 |
| <b>E4</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.28 | 0.28 | 0.28 |
| <b>E5</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| <b>E6</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 2.28 | 2.28 | 2.28 |
| <b>E7</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 2.38 | 2.38 | 2.38 |
| <b>F1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| <b>F2</b>  | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 1.05 | 1.05 | 1.05 |
| <b>G1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.69 | 0.69 | 0.69 |
| <b>G2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| <b>G3</b>  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 1.71 | 1.71 | 1.71 |
| <b>G4</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.2  | 0.2  | 0.2  |
| <b>G5</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.56 | 0.56 | 0.56 |
| <b>G6</b>  | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| <b>H1</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.59 | 0.59 | 0.59 |
| <b>H2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |
| <b>H3</b>  | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 2.87 | 2.87 | 2.87 |

|            |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>H4</b>  | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 3.32 | 3.32 | 3.32 |
| <b>H5</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.51 | 0.51 | 0.51 |
| <b>H6</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.7  | 0.7  | 0.7  |
| <b>I1</b>  | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 1.6  | 1.6  | 1.6  |
| <b>J1</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| <b>J2</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| <b>J3</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.79 | 0.79 | 0.79 |
| <b>J4</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.78 | 0.78 | 0.78 |
| <b>J5</b>  | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 1.04 | 1.04 | 1.04 |
| <b>J6</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.8  | 0.8  | 0.8  |
| <b>J7</b>  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| <b>J8</b>  | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 1.77 | 1.77 | 1.77 |
| <b>J9</b>  | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 1.74 | 1.74 | 1.74 |
| <b>J10</b> | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 1.83 | 1.83 | 1.83 |
| <b>J11</b> | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| <b>J12</b> | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.68 | 0.68 | 0.68 |
| <b>J13</b> | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| <b>J14</b> | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| <b>J15</b> | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.56 | 0.56 | 0.56 |
| <b>K1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| <b>K2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.46 | 0.46 | 0.46 |
| <b>K3</b>  | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 1.43 | 1.43 | 1.43 |
| <b>K4</b>  | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 1.2  | 1.2  | 1.2  |
| <b>K5</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.28 | 0.28 | 0.28 |
| <b>L1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| <b>L2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| <b>L3</b>  | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 1.18 | 1.18 | 1.18 |
| <b>L4</b>  | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 2.21 | 2.21 | 2.21 |
| <b>L5</b>  | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 3.34 | 3.34 | 3.34 |
| <b>M1</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| <b>M2</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.84 | 0.84 | 0.84 |
| <b>M3</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.88 | 0.88 | 0.88 |
| <b>M4</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.89 | 0.89 | 0.89 |
| <b>N1</b>  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| <b>N2</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 1.26 | 1.26 | 1.26 |
| <b>N3</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 1.48 | 1.48 | 1.48 |

N4      0.09      0.09      0.09      1.52      1.52      1.52

*Anexo D.4. Resultados del escenario 2 en los colectores de aporte*

### ESCENARIO 3

| Tramo | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |          |          | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |          |          |
|-------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------------|----------|----------|
|       | Actual                              | Opción 1 | Opción 2 | Actual                              | Opción 1 | Opción 2 |
| T1    | 0.03                                | 0.03     | 0.03     | 0.5                                 | 0.5      | 0.5      |
| T2    | 0.03                                | 0.03     | 0.03     | 0.5                                 | 0.5      | 0.5      |
| T3    | 0.01                                | 0.01     | 0.01     | 0.38                                | 0.36     | 0.36     |
| T4    | 0.43                                | 0.43     | 0.43     | 1.85                                | 1.85     | 1.85     |
| T5    | 0.36                                | 0.36     | 0.36     | 2.49                                | 2.49     | 2.49     |
| T6    | 0.39                                | 0.39     | 0.39     | 2.2                                 | 2.2      | 2.2      |
| T7    | 0.32                                | 0.32     | 0.32     | 2.94                                | 2.94     | 2.94     |
| T8    | 0.43                                | 0.43     | 0.43     | 1.93                                | 1.93     | 1.93     |
| T9    | 0.29                                | 0.51     | 0.51     | 2.16                                | 1.68     | 1.68     |
| T10   | 0.49                                | 0.49     | 0.49     | 3.21                                | 3.21     | 3.21     |
| T11   | 0.44                                | 0.35     | 0.44     | 3.81                                | 3.78     | 3.82     |
| T12   | 0.36                                | 0.24     | 0.36     | 5.31                                | 4.99     | 5.33     |
| T13   | 0.68                                | 0.43     | 0.37     | 2.44                                | 2.47     | 1.91     |
| T14   | 0.92                                | 0.49     | 0.43     | 2.02                                | 2.08     | 1.62     |
| T15   | 1                                   | 0.61     | 0.6      | 1.82                                | 1.97     | 1.8      |
| T16   | 1                                   | 0.59     | 0.59     | 1.12                                | 1.35     | 1.91     |
| T17   | 0.63                                | 0.47     | 0.59     | 1.53                                | 1.86     | 2.05     |
| T18   | 0.57                                | 0.39     | 0.62     | 2.34                                | 2.8      | 2.64     |

*Anexo D.5. Resultados del escenario 3 en el colector principal.*

| Tramo | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |          |          | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |          |          |
|-------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------------|----------|----------|
|       | Actual                              | Opción 1 | Opción 2 | Actual                              | Opción 1 | Opción 2 |
| A1    | 0.04                                | 0.04     | 0.04     | 0.68                                | 0.68     | 0.68     |
| A2    | 0.04                                | 0.04     | 0.04     | 0.79                                | 0.79     | 0.79     |
| A3    | 0.04                                | 0.04     | 0.04     | 0.85                                | 0.85     | 0.85     |
| A4    | 0.18                                | 0.18     | 0.18     | 3.17                                | 3.17     | 3.17     |
| A5    | 0.2                                 | 0.2      | 0.2      | 2.64                                | 2.64     | 2.64     |
| A6    | 0.23                                | 0.23     | 0.23     | 2.22                                | 2.22     | 2.22     |
| A7    | 0.37                                | 0.37     | 0.37     | 2.52                                | 2.52     | 2.52     |

|            |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>A8</b>  | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 3.02 | 3.02 | 3.02 |
| <b>A9</b>  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 3.79 | 3.79 | 3.79 |
| <b>A10</b> | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 4.79 | 4.79 | 4.79 |
| <b>B1</b>  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 3.16 | 3.16 | 3.16 |
| <b>B2</b>  | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 3.79 | 3.79 | 3.79 |
| <b>B3</b>  | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 4.06 | 4.06 | 4.06 |
| <b>B4</b>  | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 2.66 | 2.66 | 2.66 |
| <b>B5</b>  | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 2.99 | 2.99 | 2.99 |
| <b>C1</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| <b>C2</b>  | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 2.2  | 2.2  | 2.2  |
| <b>C3</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 3.53 | 3.53 | 3.53 |
| <b>C4</b>  | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 2.97 | 2.97 | 2.97 |
| <b>C5</b>  | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 3.64 | 3.64 | 3.64 |
| <b>C6</b>  | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 2.37 | 2.37 | 2.37 |
| <b>C7</b>  | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 4.15 | 4.15 | 4.15 |
| <b>D1</b>  | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 1.48 | 1.48 | 1.48 |
| <b>D2</b>  | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 4.11 | 4.11 | 4.11 |
| <b>D3</b>  | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 3.6  | 3.6  | 3.6  |
| <b>D4</b>  | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 3.07 | 3.07 | 3.07 |
| <b>D5</b>  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 2.93 | 2.93 | 2.93 |
| <b>D6</b>  | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 3.54 | 3.54 | 3.54 |
| <b>D7</b>  | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 2.45 | 2.45 | 2.45 |
| <b>D8</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| <b>D9</b>  | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 1.46 | 1.46 | 1.46 |
| <b>D10</b> | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 1.61 | 1.61 | 1.61 |
| <b>D11</b> | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 1.96 | 1.96 | 1.96 |
| <b>D12</b> | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 2.82 | 2.82 | 2.82 |
| <b>D13</b> | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 2.87 | 2.87 | 2.87 |
| <b>D14</b> | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 1.83 | 1.83 | 1.83 |
| <b>D15</b> | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 1.52 | 1.52 | 1.52 |
| <b>E1</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| <b>E2</b>  | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 1.93 | 1.93 | 1.93 |
| <b>E3</b>  | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.57 | 0.57 | 0.57 |
| <b>E4</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.29 | 0.29 | 0.29 |
| <b>E5</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| <b>E6</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 2.31 | 2.31 | 2.31 |

|            |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>E7</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 2.41 | 2.41 | 2.41 |
| <b>F1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| <b>F2</b>  | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| <b>G1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |
| <b>G2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.69 | 0.69 | 0.69 |
| <b>G3</b>  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 1.7  | 1.7  | 1.7  |
| <b>G4</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.2  | 0.2  | 0.2  |
| <b>G5</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 | 0.58 |
| <b>G6</b>  | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| <b>H1</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.61 | 0.61 | 0.61 |
| <b>H2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.73 | 0.73 | 0.73 |
| <b>H3</b>  | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 2.88 | 2.88 | 2.88 |
| <b>H4</b>  | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 3.33 | 3.33 | 3.33 |
| <b>H5</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.53 | 0.53 | 0.53 |
| <b>H6</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.72 | 0.72 | 0.72 |
| <b>I1</b>  | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 1.6  | 1.6  | 1.6  |
| <b>J1</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J2</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J3</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.82 | 0.82 | 0.82 |
| <b>J4</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.81 | 0.81 | 0.81 |
| <b>J5</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 1.08 | 1.08 | 1.08 |
| <b>J6</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.83 | 0.83 | 0.83 |
| <b>J7</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.68 | 0.68 | 0.68 |
| <b>J8</b>  | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 1.77 | 1.77 | 1.77 |
| <b>J9</b>  | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 1.74 | 1.74 | 1.74 |
| <b>J10</b> | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 1.83 | 1.83 | 1.83 |
| <b>J11</b> | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 2.77 | 2.77 | 2.77 |
| <b>J12</b> | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |
| <b>J13</b> | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| <b>J14</b> | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| <b>J15</b> | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 | 0.58 |
| <b>K1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.4  | 0.4  | 0.4  |
| <b>K2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| <b>K3</b>  | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 1.43 | 1.43 | 1.43 |
| <b>K4</b>  | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 1.19 | 1.19 | 1.19 |
| <b>K5</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.29 | 0.29 | 0.29 |

|    |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|
| L1 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.49 | 0.49 | 0.49 |
| L2 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| L3 | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 1.18 | 1.18 | 1.18 |
| L4 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 2.2  | 2.2  | 2.2  |
| L5 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 3.34 | 3.34 | 3.34 |
| M1 | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.69 | 0.69 | 0.69 |
| M2 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.87 | 0.87 | 0.87 |
| M3 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.9  | 0.9  | 0.9  |
| M4 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.92 | 0.92 | 0.92 |
| N1 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| N2 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 1.23 | 1.23 | 1.23 |
| N3 | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 1.48 | 1.48 | 1.48 |
| N4 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 1.52 | 1.52 | 1.52 |

*Anexo D.6. Resultados del escenario 3 en los colectores de aporte*

### ESCENARIO 4

| Tramo | Capacidad máxima alcanzada (Y/D) |          |          | Velocidad máxima alcanzada (m/s) |          |          |
|-------|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|----------|----------|
|       | Actual                           | Opción 1 | Opción 2 | Actual                           | Opción 1 | Opción 2 |
| T1    | 0.03                             | 0.03     | 0.03     | 0.51                             | 0.51     | 0.5      |
| T2    | 0.03                             | 0.03     | 0.03     | 0.52                             | 0.52     | 0.5      |
| T3    | 0.01                             | 0.01     | 0.01     | 0.38                             | 0.38     | 0.36     |
| T4    | 0.43                             | 0.43     | 0.38     | 1.84                             | 1.84     | 1.84     |
| T5    | 0.36                             | 0.36     | 0.27     | 2.48                             | 2.48     | 2.48     |
| T6    | 0.39                             | 0.39     | 0.32     | 2.19                             | 2.19     | 2.19     |
| T7    | 0.32                             | 0.32     | 0.22     | 2.93                             | 2.93     | 2.93     |
| T8    | 0.43                             | 0.43     | 0.38     | 1.92                             | 1.92     | 1.92     |
| T9    | 0.55                             | 0.51     | 0.51     | 2.15                             | 1.67     | 1.67     |
| T10   | 0.48                             | 0.48     | 0.47     | 3.19                             | 3.19     | 3.19     |
| T11   | 0.43                             | 0.35     | 0.39     | 3.78                             | 3.75     | 3.78     |
| T12   | 0.35                             | 0.24     | 0.27     | 5.26                             | 4.46     | 5.27     |
| T13   | 0.67                             | 0.42     | 0.27     | 2.43                             | 2.44     | 1.85     |
| T14   | 0.81                             | 0.48     | 0.33     | 2                                | 2.06     | 1.59     |
| T15   | 1                                | 0.59     | 0.59     | 1.82                             | 1.95     | 1.77     |
| T16   | 1                                | 0.57     | 0.58     | 1.13                             | 1.34     | 1.88     |
| T17   | 0.62                             | 0.45     | 0.56     | 1.54                             | 1.83     | 2.01     |
| T18   | 0.55                             | 0.37     | 0.6      | 2.32                             | 2.73     | 2.56     |

*Anexo D.7. Resultados del escenario 4 en el colector principal.*



| Tramo      | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |          |          | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |          |          |
|------------|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------------|----------|----------|
|            | Actual                              | Opción 1 | Opción 2 | Actual                              | Opción 1 | Opción 2 |
| <b>A1</b>  | 0.04                                | 0.04     | 0.04     | 0.68                                | 0.68     | 0.68     |
| <b>A2</b>  | 0.04                                | 0.04     | 0.04     | 0.79                                | 0.79     | 0.79     |
| <b>A3</b>  | 0.04                                | 0.04     | 0.04     | 0.85                                | 0.85     | 0.85     |
| <b>A4</b>  | 0.18                                | 0.18     | 0.18     | 3.19                                | 3.19     | 3.19     |
| <b>A5</b>  | 0.2                                 | 0.2      | 0.2      | 2.67                                | 2.67     | 2.67     |
| <b>A6</b>  | 0.23                                | 0.23     | 0.23     | 2.24                                | 2.24     | 2.24     |
| <b>A7</b>  | 0.38                                | 0.38     | 0.38     | 2.55                                | 2.55     | 2.55     |
| <b>A8</b>  | 0.38                                | 0.38     | 0.38     | 3.03                                | 3.03     | 3.03     |
| <b>A9</b>  | 0.3                                 | 0.3      | 0.3      | 3.8                                 | 3.8      | 3.8      |
| <b>A10</b> | 0.26                                | 0.26     | 0.26     | 4.77                                | 4.77     | 4.77     |
| <b>B1</b>  | 0.19                                | 0.19     | 0.19     | 3.07                                | 3.07     | 3.07     |
| <b>B2</b>  | 0.22                                | 0.22     | 0.22     | 3.77                                | 3.77     | 3.77     |
| <b>B3</b>  | 0.25                                | 0.25     | 0.25     | 4.06                                | 4.06     | 4.06     |
| <b>B4</b>  | 0.49                                | 0.49     | 0.49     | 2.67                                | 2.67     | 2.67     |
| <b>B5</b>  | 0.48                                | 0.48     | 0.48     | 3                                   | 3        | 3        |
| <b>C1</b>  | 0.03                                | 0.03     | 0.03     | 0.67                                | 0.67     | 0.67     |
| <b>C2</b>  | 0.18                                | 0.18     | 0.18     | 2.25                                | 2.25     | 2.25     |
| <b>C3</b>  | 0.14                                | 0.14     | 0.14     | 3.55                                | 3.55     | 3.55     |
| <b>C4</b>  | 0.31                                | 0.31     | 0.31     | 2.96                                | 2.96     | 2.96     |
| <b>C5</b>  | 0.26                                | 0.26     | 0.26     | 3.63                                | 3.63     | 3.63     |
| <b>C6</b>  | 0.36                                | 0.36     | 0.36     | 2.36                                | 2.36     | 2.36     |
| <b>C7</b>  | 0.29                                | 0.29     | 0.29     | 4.1                                 | 4.1      | 4.1      |
| <b>D1</b>  | 0.26                                | 0.26     | 0.26     | 1.48                                | 1.48     | 1.48     |
| <b>D2</b>  | 0.23                                | 0.23     | 0.23     | 4.1                                 | 4.1      | 4.1      |
| <b>D3</b>  | 0.26                                | 0.26     | 0.26     | 3.61                                | 3.61     | 3.61     |
| <b>D4</b>  | 0.19                                | 0.19     | 0.19     | 3.07                                | 3.07     | 3.07     |
| <b>D5</b>  | 0.2                                 | 0.2      | 0.2      | 2.93                                | 2.93     | 2.93     |
| <b>D6</b>  | 0.21                                | 0.21     | 0.21     | 3.54                                | 3.54     | 3.54     |
| <b>D7</b>  | 0.34                                | 0.34     | 0.34     | 2.45                                | 2.45     | 2.45     |
| <b>D8</b>  | 0.02                                | 0.02     | 0.02     | 0.55                                | 0.55     | 0.55     |
| <b>D9</b>  | 0.23                                | 0.23     | 0.23     | 1.47                                | 1.47     | 1.47     |
| <b>D10</b> | 0.34                                | 0.34     | 0.34     | 1.62                                | 1.62     | 1.62     |

|            |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>D11</b> | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 1.97 | 1.97 | 1.97 |
| <b>D12</b> | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 2.71 | 2.71 | 2.71 |
| <b>D13</b> | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 2.74 | 2.74 | 2.74 |
| <b>D14</b> | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 1.75 | 1.75 | 1.75 |
| <b>D15</b> | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 1.45 | 1.45 | 1.45 |
| <b>E1</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| <b>E2</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 1.82 | 1.82 | 1.82 |
| <b>E3</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.58 | 0.58 | 0.58 |
| <b>E4</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.29 | 0.29 | 0.29 |
| <b>E5</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| <b>E6</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 2.29 | 2.29 | 2.29 |
| <b>E7</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 2.4  | 2.4  | 2.4  |
| <b>F1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| <b>F2</b>  | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 1.06 | 1.06 | 1.06 |
| <b>G1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |
| <b>G2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.69 | 0.69 | 0.69 |
| <b>G3</b>  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 1.71 | 1.71 | 1.71 |
| <b>G4</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.2  | 0.2  | 0.2  |
| <b>G5</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 | 0.58 |
| <b>G6</b>  | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| <b>H1</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.61 | 0.61 | 0.61 |
| <b>H2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.73 | 0.73 | 0.73 |
| <b>H3</b>  | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 2.88 | 2.88 | 2.88 |
| <b>H4</b>  | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 3.33 | 3.33 | 3.33 |
| <b>H5</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.53 | 0.53 | 0.53 |
| <b>H6</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.72 | 0.72 | 0.72 |
| <b>I1</b>  | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 1.61 | 1.61 | 1.61 |
| <b>J1</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J2</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J3</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.82 | 0.82 | 0.82 |
| <b>J4</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.81 | 0.81 | 0.81 |
| <b>J5</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 1.08 | 1.08 | 1.08 |
| <b>J6</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.83 | 0.83 | 0.83 |
| <b>J7</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.68 | 0.68 | 0.68 |
| <b>J8</b>  | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 1.78 | 1.78 | 1.78 |
| <b>J9</b>  | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 1.74 | 1.74 | 1.74 |

|            |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>J10</b> | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| <b>J11</b> | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 2.78 | 2.78 | 2.78 |
| <b>J12</b> | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |
| <b>J13</b> | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| <b>J14</b> | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| <b>J15</b> | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 | 0.58 |
| <b>K1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.4  | 0.4  | 0.4  |
| <b>K2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| <b>K3</b>  | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 1.44 | 1.44 | 1.44 |
| <b>K4</b>  | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 1.2  | 1.2  | 1.2  |
| <b>K5</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.29 | 0.29 | 0.29 |
| <b>L1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.49 | 0.49 | 0.49 |
| <b>L2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| <b>L3</b>  | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 1.18 | 1.18 | 1.18 |
| <b>L4</b>  | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 2.21 | 2.21 | 2.21 |
| <b>L5</b>  | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 3.34 | 3.34 | 3.34 |
| <b>M1</b>  | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.69 | 0.69 | 0.69 |
| <b>M2</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.87 | 0.87 | 0.87 |
| <b>M3</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.9  | 0.9  | 0.9  |
| <b>M4</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.92 | 0.92 | 0.92 |
| <b>N1</b>  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| <b>N2</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 1.26 | 1.26 | 1.26 |
| <b>N3</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 1.48 | 1.48 | 1.48 |
| <b>N4</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 1.52 | 1.52 | 1.52 |

---

*Anexo D.8. Resultados del escenario 4 en los colectores de aporte*

**Anexo E: Resultados de los escenarios planteados para la situación actual y la propuesta**

**EVENTO DEL 10/03/2017**

| Tramo | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |           | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |           |
|-------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|
|       | Actual                              | Propuesta | Actual                              | Propuesta |
| T1    | 0.03                                | 0.03      | 0.5                                 | 0.51      |
| T2    | 0.03                                | 0.03      | 0.5                                 | 0.52      |
| T3    | 0.01                                | 0.01      | 0.38                                | 0.38      |
| T4    | 0.43                                | 0.43      | 1.85                                | 1.85      |
| T5    | 0.36                                | 0.36      | 2.49                                | 2.48      |
| T6    | 0.39                                | 0.39      | 2.2                                 | 2.19      |
| T7    | 0.32                                | 0.32      | 2.94                                | 2.93      |
| T8    | 0.43                                | 0.43      | 1.93                                | 1.93      |
| T9    | 0.29                                | 0.51      | 2.16                                | 1.67      |
| T10   | 0.49                                | 0.49      | 3.21                                | 3.19      |
| T11   | 0.44                                | 0.35      | 3.81                                | 3.75      |
| T12   | 0.36                                | 0.29      | 5.31                                | 5.2       |
| T12-1 |                                     | 0.21      |                                     | 4.31      |
| T13   | 0.68                                | 0.38      | 2.44                                | 2.09      |
| T14   | 0.92                                | 0.43      | 2.02                                | 1.77      |
| T15   | 1                                   | 0.59      | 1.82                                | 1.75      |
| T16   | 1                                   | 0.63      | 1.12                                | 1.69      |
| T17   | 0.63                                | 0.6       | 1.53                                | 1.85      |
| T18   | 0.57                                | 0.64      | 2.34                                | 2.2       |

*Anexo E.1. Resultados del evento del 10/03/2017 para el colector principal.*

| Tramo | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |           | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |           |
|-------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|
|       | Actual                              | Propuesta | Actual                              | Propuesta |
| A1    | 0.04                                | 0.04      | 0.68                                | 0.68      |
| A2    | 0.04                                | 0.04      | 0.79                                | 0.79      |
| A3    | 0.04                                | 0.04      | 0.85                                | 0.85      |
| A4    | 0.18                                | 0.18      | 3.17                                | 3.17      |
| A5    | 0.2                                 | 0.2       | 2.64                                | 2.64      |
| A6    | 0.23                                | 0.23      | 2.22                                | 2.22      |

|            |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|
| <b>A7</b>  | 0.37 | 0.37 | 2.52 | 2.52 |
| <b>A8</b>  | 0.38 | 0.38 | 3.02 | 3.02 |
| <b>A9</b>  | 0.3  | 0.3  | 3.79 | 3.79 |
| <b>A10</b> | 0.26 | 0.26 | 4.79 | 4.79 |
| <b>B1</b>  | 0.2  | 0.2  | 3.16 | 3.16 |
| <b>B2</b>  | 0.22 | 0.22 | 3.79 | 3.79 |
| <b>B3</b>  | 0.25 | 0.25 | 4.06 | 4.06 |
| <b>B4</b>  | 0.49 | 0.49 | 2.66 | 2.66 |
| <b>B5</b>  | 0.48 | 0.48 | 2.99 | 2.99 |
| <b>C1</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.67 | 0.67 |
| <b>C2</b>  | 0.17 | 0.17 | 2.2  | 2.2  |
| <b>C3</b>  | 0.14 | 0.14 | 3.53 | 3.53 |
| <b>C4</b>  | 0.31 | 0.31 | 2.97 | 2.97 |
| <b>C5</b>  | 0.27 | 0.27 | 3.64 | 3.64 |
| <b>C6</b>  | 0.37 | 0.37 | 2.37 | 2.37 |
| <b>C7</b>  | 0.29 | 0.29 | 4.15 | 4.15 |
| <b>D1</b>  | 0.26 | 0.26 | 1.48 | 1.48 |
| <b>D2</b>  | 0.23 | 0.23 | 4.11 | 4.11 |
| <b>D3</b>  | 0.25 | 0.25 | 3.6  | 3.6  |
| <b>D4</b>  | 0.19 | 0.19 | 3.07 | 3.07 |
| <b>D5</b>  | 0.2  | 0.2  | 2.93 | 2.93 |
| <b>D6</b>  | 0.21 | 0.21 | 3.54 | 3.54 |
| <b>D7</b>  | 0.34 | 0.34 | 2.45 | 2.45 |
| <b>D8</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.55 | 0.55 |
| <b>D9</b>  | 0.23 | 0.23 | 1.46 | 1.46 |
| <b>D10</b> | 0.34 | 0.34 | 1.61 | 1.61 |
| <b>D11</b> | 0.3  | 0.3  | 1.96 | 1.96 |
| <b>D12</b> | 0.27 | 0.27 | 2.82 | 2.82 |
| <b>D13</b> | 0.29 | 0.29 | 2.87 | 2.87 |
| <b>D14</b> | 0.41 | 0.41 | 1.83 | 1.83 |
| <b>D15</b> | 0.47 | 0.47 | 1.52 | 1.52 |
| <b>E1</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.33 | 0.33 |
| <b>E2</b>  | 0.16 | 0.16 | 1.93 | 1.93 |
| <b>E3</b>  | 0.12 | 0.12 | 0.57 | 0.57 |
| <b>E4</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.29 | 0.29 |
| <b>E5</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.25 |

|            |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|
| <b>E6</b>  | 0.14 | 0.14 | 2.31 | 2.31 |
| <b>E7</b>  | 0.14 | 0.14 | 2.41 | 2.41 |
| <b>F1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.67 | 0.67 |
| <b>F2</b>  | 0.15 | 0.15 | 1.03 | 1.03 |
| <b>G1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.71 | 0.71 |
| <b>G2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.69 | 0.69 |
| <b>G3</b>  | 0.2  | 0.2  | 1.7  | 1.7  |
| <b>G4</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.2  | 0.2  |
| <b>G5</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 |
| <b>G6</b>  | 0.06 | 0.06 | 0.34 | 0.34 |
| <b>H1</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.61 | 0.61 |
| <b>H2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.73 | 0.73 |
| <b>H3</b>  | 0.41 | 0.41 | 2.88 | 2.88 |
| <b>H4</b>  | 0.27 | 0.27 | 3.33 | 3.33 |
| <b>H5</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.53 | 0.53 |
| <b>H6</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.72 | 0.72 |
| <b>I1</b>  | 0.33 | 0.33 | 1.6  | 1.6  |
| <b>J1</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J2</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J3</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.82 | 0.82 |
| <b>J4</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.81 | 0.81 |
| <b>J5</b>  | 0.07 | 0.07 | 1.08 | 1.08 |
| <b>J6</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.83 | 0.83 |
| <b>J7</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.68 | 0.68 |
| <b>J8</b>  | 0.25 | 0.25 | 1.77 | 1.77 |
| <b>J9</b>  | 0.26 | 0.26 | 1.74 | 1.74 |
| <b>J10</b> | 0.25 | 0.25 | 1.83 | 1.83 |
| <b>J11</b> | 0.19 | 0.19 | 2.77 | 2.77 |
| <b>J12</b> | 0.05 | 0.05 | 0.71 | 0.71 |
| <b>J13</b> | 0.05 | 0.05 | 0.99 | 0.99 |
| <b>J14</b> | 0.04 | 0.04 | 0.25 | 0.25 |
| <b>J15</b> | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 |
| <b>K1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.4  | 0.4  |
| <b>K2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.48 | 0.48 |
| <b>K3</b>  | 0.16 | 0.16 | 1.43 | 1.43 |
| <b>K4</b>  | 0.24 | 0.24 | 1.19 | 1.19 |

|    |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|
| K5 | 0.05 | 0.05 | 0.29 | 0.29 |
| L1 | 0.02 | 0.02 | 0.49 | 0.49 |
| L2 | 0.03 | 0.03 | 0.34 | 0.34 |
| L3 | 0.56 | 0.56 | 1.18 | 1.18 |
| L4 | 0.45 | 0.45 | 2.2  | 2.2  |
| L5 | 0.33 | 0.32 | 3.34 | 3.34 |
| M1 | 0.1  | 0.1  | 0.69 | 0.69 |
| M2 | 0.08 | 0.08 | 0.87 | 0.87 |
| M3 | 0.08 | 0.08 | 0.9  | 0.9  |
| M4 | 0.08 | 0.08 | 0.92 | 0.92 |
| N1 | 0    | 0    | 0    | 0    |
| N2 | 0.11 | 0.11 | 1.23 | 1.23 |
| N3 | 0.1  | 0.1  | 1.48 | 1.48 |
| N4 | 0.09 | 0.09 | 1.52 | 1.52 |

*Anexo E.2. Resultados del evento del 10/03/2017 para los colectores de aporte*

### EVENTO DEL 25/01/2020

| Tramo | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |           | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |           |
|-------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|
|       | Actual                              | Propuesta | Actual                              | Propuesta |
| T1    | 0.03                                | 0.03      | 0.51                                | 0.51      |
| T2    | 0.03                                | 0.03      | 0.52                                | 0.52      |
| T3    | 0.01                                | 0.01      | 0.38                                | 0.38      |
| T4    | 0.43                                | 0.43      | 1.84                                | 1.85      |
| T5    | 0.36                                | 0.36      | 2.48                                | 2.49      |
| T6    | 0.39                                | 0.39      | 2.19                                | 2.2       |
| T7    | 0.32                                | 0.32      | 2.93                                | 2.94      |
| T8    | 0.43                                | 0.43      | 1.92                                | 1.93      |
| T9    | 0.55                                | 0.51      | 2.15                                | 1.68      |
| T10   | 0.48                                | 0.48      | 3.19                                | 3.21      |
| T11   | 0.43                                | 0.35      | 3.78                                | 3.78      |
| T12   | 0.35                                | 0.28      | 5.26                                | 5.25      |
| T12-1 |                                     | 0.21      |                                     | 4.4       |
| T13   | 0.67                                | 0.36      | 2.43                                | 2.13      |
| T14   | 0.81                                | 0.41      | 2                                   | 1.8       |
| T15   | 1                                   | 0.55      | 1.82                                | 1.78      |
| T16   | 1                                   | 0.59      | 1.13                                | 1.71      |

|            |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|
| <b>T17</b> | 0.62 | 0.56 | 1.54 | 1.87 |
| <b>T18</b> | 0.55 | 0.58 | 2.32 | 2.26 |

*Anexo E.3. Resultados del evento del 25/01/2020 para el colector principal.*

| <b>Tramo</b> | <b>Capacidad máxima alcanzada<br/>(Y/D)</b> |                  | <b>Velocidad máxima alcanzada<br/>(m/s)</b> |                  |
|--------------|---|------------------|---|------------------|
|              | <b>Actual</b>                               | <b>Propuesta</b> | <b>Actual</b>                               | <b>Propuesta</b> |
| <b>A1</b>    | 0.04  | 0.04             | 0.68  | 0.68             |
| <b>A2</b>    | 0.04  | 0.04             | 0.79  | 0.79             |
| <b>A3</b>    | 0.04  | 0.04             | 0.85  | 0.85             |
| <b>A4</b>    | 0.18  | 0.18             | 3.19  | 3.19             |
| <b>A5</b>    | 0.2   | 0.2              | 2.67  | 2.67             |
| <b>A6</b>    | 0.23  | 0.23             | 2.24  | 2.24             |
| <b>A7</b>    | 0.38  | 0.38             | 2.55  | 2.55             |
| <b>A8</b>    | 0.38  | 0.38             | 3.03  | 3.03             |
| <b>A9</b>    | 0.3   | 0.3              | 3.8   | 3.8              |
| <b>A10</b>   | 0.26  | 0.26             | 4.77  | 4.77             |
| <b>B1</b>    | 0.19  | 0.19             | 3.07  | 3.07             |
| <b>B2</b>    | 0.22  | 0.22             | 3.77  | 3.77             |
| <b>B3</b>    | 0.25  | 0.25             | 4.06  | 4.06             |
| <b>B4</b>    | 0.49  | 0.49             | 2.67  | 2.67             |
| <b>B5</b>    | 0.48  | 0.48             | 3   | 3                |
| <b>C1</b>    | 0.03  | 0.03             | 0.67  | 0.67             |
| <b>C2</b>    | 0.18  | 0.18             | 2.25  | 2.25             |
| <b>C3</b>    | 0.14  | 0.14             | 3.55  | 3.55             |
| <b>C4</b>    | 0.31  | 0.31             | 2.96  | 2.96             |
| <b>C5</b>    | 0.26  | 0.26             | 3.63  | 3.63             |
| <b>C6</b>    | 0.36  | 0.36             | 2.36  | 2.36             |
| <b>C7</b>    | 0.29  | 0.29             | 4.1   | 4.1              |
| <b>D1</b>    | 0.26  | 0.26             | 1.48  | 1.48             |
| <b>D2</b>    | 0.23  | 0.23             | 4.1   | 4.1              |
| <b>D3</b>    | 0.26  | 0.26             | 3.61  | 3.61             |
| <b>D4</b>    | 0.19  | 0.19             | 3.07  | 3.07             |
| <b>D5</b>    | 0.2   | 0.2              | 2.93  | 2.93             |
| <b>D6</b>    | 0.21  | 0.21             | 3.54  | 3.54             |
| <b>D7</b>    | 0.34  | 0.34             | 2.45  | 2.45             |
| <b>D8</b>    | 0.02  | 0.02             | 0.55  | 0.55             |



|            |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|
| <b>D9</b>  | 0.23 | 0.23 | 1.47 | 1.47 |
| <b>D10</b> | 0.34 | 0.34 | 1.62 | 1.62 |
| <b>D11</b> | 0.3  | 0.3  | 1.97 | 1.97 |
| <b>D12</b> | 0.25 | 0.25 | 2.71 | 2.71 |
| <b>D13</b> | 0.27 | 0.27 | 2.74 | 2.74 |
| <b>D14</b> | 0.37 | 0.37 | 1.75 | 1.75 |
| <b>D15</b> | 0.43 | 0.43 | 1.45 | 1.45 |
| <b>E1</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.33 | 0.33 |
| <b>E2</b>  | 0.14 | 0.14 | 1.82 | 1.82 |
| <b>E3</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.58 | 0.58 |
| <b>E4</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.29 | 0.29 |
| <b>E5</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.25 |
| <b>E6</b>  | 0.14 | 0.14 | 2.29 | 2.29 |
| <b>E7</b>  | 0.14 | 0.14 | 2.4  | 2.4  |
| <b>F1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.67 | 0.67 |
| <b>F2</b>  | 0.15 | 0.15 | 1.06 | 1.06 |
| <b>G1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.71 | 0.71 |
| <b>G2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.69 | 0.69 |
| <b>G3</b>  | 0.2  | 0.2  | 1.71 | 1.71 |
| <b>G4</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.2  | 0.2  |
| <b>G5</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 |
| <b>G6</b>  | 0.06 | 0.06 | 0.34 | 0.34 |
| <b>H1</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.61 | 0.61 |
| <b>H2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.73 | 0.73 |
| <b>H3</b>  | 0.41 | 0.41 | 2.88 | 2.88 |
| <b>H4</b>  | 0.27 | 0.27 | 3.33 | 3.33 |
| <b>H5</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.53 | 0.53 |
| <b>H6</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.72 | 0.72 |
| <b>I1</b>  | 0.33 | 0.33 | 1.61 | 1.61 |
| <b>J1</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J2</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J3</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.82 | 0.82 |
| <b>J4</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.81 | 0.81 |
| <b>J5</b>  | 0.07 | 0.07 | 1.08 | 1.08 |
| <b>J6</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.83 | 0.83 |
| <b>J7</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.68 | 0.68 |

|     |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|
| J8  | 0.25 | 0.25 | 1.78 | 1.78 |
| J9  | 0.26 | 0.26 | 1.74 | 1.74 |
| J10 | 0.25 | 0.25 | 1.84 | 1.84 |
| J11 | 0.19 | 0.19 | 2.78 | 2.78 |
| J12 | 0.05 | 0.05 | 0.71 | 0.71 |
| J13 | 0.05 | 0.05 | 0.99 | 0.99 |
| J14 | 0.04 | 0.04 | 0.25 | 0.25 |
| J15 | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 |
| K1  | 0.02 | 0.02 | 0.4  | 0.4  |
| K2  | 0.03 | 0.03 | 0.48 | 0.48 |
| K3  | 0.16 | 0.16 | 1.44 | 1.44 |
| K4  | 0.24 | 0.24 | 1.2  | 1.2  |
| K5  | 0.05 | 0.05 | 0.29 | 0.29 |
| L1  | 0.02 | 0.02 | 0.49 | 0.49 |
| L2  | 0.03 | 0.03 | 0.34 | 0.34 |
| L3  | 0.56 | 0.56 | 1.18 | 1.18 |
| L4  | 0.45 | 0.45 | 2.21 | 2.21 |
| L5  | 0.33 | 0.33 | 3.34 | 3.34 |
| M1  | 0.1  | 0.1  | 0.69 | 0.69 |
| M2  | 0.08 | 0.08 | 0.87 | 0.87 |
| M3  | 0.08 | 0.08 | 0.9  | 0.9  |
| M4  | 0.08 | 0.08 | 0.92 | 0.92 |
| N1  | 0    | 0    | 0    | 0    |
| N2  | 0.11 | 0.11 | 1.26 | 1.26 |
| N3  | 0.09 | 0.09 | 1.48 | 1.48 |
| N4  | 0.09 | 0.09 | 1.52 | 1.52 |

*Anexo E.4. Resultados del evento del 25/01/2020 para los colectores de aporte*

### TORMENTA DE DISEÑO DE 30 MINUTOS DE DURACIÓN

| Tramo | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |           | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |           |
|-------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|
|       | Actual                              | Propuesta | Actual                              | Propuesta |
| T1    | 0.03                                | 0.03      | 0.51                                | 0.51      |
| T2    | 0.03                                | 0.03      | 0.52                                | 0.52      |
| T3    | 0.01                                | 0.01      | 0.38                                | 0.38      |
| T4    | 0.5                                 | 0.5       | 1.98                                | 1.98      |
| T5    | 0.42                                | 0.42      | 2.68                                | 2.68      |

|       |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|
| T6    | 0.46 | 0.46 | 2.36 | 2.36 |
| T7    | 0.37 | 0.37 | 3.17 | 3.17 |
| T8    | 0.5  | 0.51 | 2.07 | 2.07 |
| T9    | 0.67 | 0.6  | 2.28 | 1.78 |
| T10   | 0.57 | 0.57 | 3.41 | 3.42 |
| T11   | 0.51 | 0.4  | 4.06 | 4.04 |
| T12   | 0.41 | 0.33 | 5.67 | 5.63 |
| T12-1 |      | 0.26 |      | 4.95 |
| T13   | 1    | 0.47 | 2.51 | 2.36 |
| T14   | 1    | 0.54 | 2.08 | 2    |
| T15   | 1    | 0.74 | 1.77 | 1.91 |
| T16   | 1    | 0.8  | 1.13 | 1.84 |
| T17   | 0.64 | 0.75 | 1.54 | 2.02 |
| T18   | 0.63 | 0.77 | 2.43 | 2.37 |

Anexo E.5. Resultados de la tormenta de diseño de 30 minutos para el colector principal.

| Tramo | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |           | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |           |
|-------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|
|       | Actual                              | Propuesta | Actual                              | Propuesta |
| A1    | 0.04                                | 0.04      | 0.68                                | 0.68      |
| A2    | 0.04                                | 0.04      | 0.79                                | 0.79      |
| A3    | 0.04                                | 0.04      | 0.85                                | 0.85      |
| A4    | 0.2                                 | 0.2       | 3.41                                | 3.41      |
| A5    | 0.23                                | 0.23      | 2.85                                | 2.85      |
| A6    | 0.26                                | 0.26      | 2.39                                | 2.39      |
| A7    | 0.42                                | 0.42      | 2.68                                | 2.68      |
| A8    | 0.43                                | 0.43      | 3.23                                | 3.23      |
| A9    | 0.34                                | 0.34      | 4.09                                | 4.09      |
| A10   | 0.3                                 | 0.3       | 5.17                                | 5.17      |
| B1    | 0.23                                | 0.23      | 3.48                                | 3.48      |
| B2    | 0.27                                | 0.27      | 4.23                                | 4.23      |
| B3    | 0.3                                 | 0.3       | 4.51                                | 4.51      |
| B4    | 0.6                                 | 0.6       | 2.88                                | 2.88      |
| B5    | 0.58                                | 0.58      | 3.23                                | 3.23      |
| C1    | 0.03                                | 0.03      | 0.67                                | 0.67      |
| C2    | 0.21                                | 0.21      | 2.48                                | 2.48      |
| C3    | 0.17                                | 0.17      | 3.86                                | 3.86      |

|            |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|
| <b>C4</b>  | 0.36 | 0.36 | 3.2  | 3.2  |
| <b>C5</b>  | 0.31 | 0.31 | 3.93 | 3.93 |
| <b>C6</b>  | 0.42 | 0.42 | 2.54 | 2.54 |
| <b>C7</b>  | 0.33 | 0.33 | 4.44 | 4.44 |
| <b>D1</b>  | 0.3  | 0.3  | 1.59 | 1.59 |
| <b>D2</b>  | 0.26 | 0.26 | 4.42 | 4.42 |
| <b>D3</b>  | 0.29 | 0.29 | 3.88 | 3.88 |
| <b>D4</b>  | 0.22 | 0.22 | 3.3  | 3.3  |
| <b>D5</b>  | 0.22 | 0.22 | 3.16 | 3.16 |
| <b>D6</b>  | 0.24 | 0.24 | 3.82 | 3.82 |
| <b>D7</b>  | 0.39 | 0.39 | 2.64 | 2.64 |
| <b>D8</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.55 | 0.55 |
| <b>D9</b>  | 0.26 | 0.26 | 1.56 | 1.56 |
| <b>D10</b> | 0.38 | 0.38 | 1.72 | 1.72 |
| <b>D11</b> | 0.34 | 0.34 | 2.11 | 2.11 |
| <b>D12</b> | 0.3  | 0.3  | 2.98 | 2.98 |
| <b>D13</b> | 0.32 | 0.32 | 3.03 | 3.03 |
| <b>D14</b> | 0.45 | 0.45 | 1.92 | 1.92 |
| <b>D15</b> | 0.53 | 0.53 | 1.59 | 1.59 |
| <b>E1</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.33 | 0.33 |
| <b>E2</b>  | 0.18 | 0.18 | 2.1  | 2.1  |
| <b>E3</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.65 | 0.65 |
| <b>E4</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.29 | 0.29 |
| <b>E5</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.25 |
| <b>E6</b>  | 0.16 | 0.16 | 2.49 | 2.49 |
| <b>E7</b>  | 0.16 | 0.16 | 2.6  | 2.6  |
| <b>F1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.67 | 0.67 |
| <b>F2</b>  | 0.17 | 0.17 | 1.17 | 1.17 |
| <b>G1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.71 | 0.71 |
| <b>G2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.69 | 0.69 |
| <b>G3</b>  | 0.22 | 0.22 | 1.82 | 1.82 |
| <b>G4</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.2  | 0.2  |
| <b>G5</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 |
| <b>G6</b>  | 0.06 | 0.06 | 0.34 | 0.34 |
| <b>H1</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.61 | 0.61 |
| <b>H2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.73 | 0.73 |

|            |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|
| <b>H3</b>  | 0.49 | 0.49 | 3.11 | 3.11 |
| <b>H4</b>  | 0.31 | 0.31 | 3.62 | 3.62 |
| <b>H5</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.53 | 0.53 |
| <b>H6</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.72 | 0.72 |
| <b>I1</b>  | 0.38 | 0.38 | 1.73 | 1.73 |
| <b>J1</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J2</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J3</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.82 | 0.82 |
| <b>J4</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.81 | 0.81 |
| <b>J5</b>  | 0.07 | 0.07 | 1.08 | 1.08 |
| <b>J6</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.83 | 0.83 |
| <b>J7</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.68 | 0.68 |
| <b>J8</b>  | 0.28 | 0.28 | 1.9  | 1.9  |
| <b>J9</b>  | 0.29 | 0.29 | 1.85 | 1.85 |
| <b>J10</b> | 0.28 | 0.28 | 1.96 | 1.96 |
| <b>J11</b> | 0.21 | 0.21 | 2.95 | 2.95 |
| <b>J12</b> | 0.05 | 0.05 | 0.71 | 0.71 |
| <b>J13</b> | 0.05 | 0.05 | 0.99 | 0.99 |
| <b>J14</b> | 0.04 | 0.04 | 0.25 | 0.25 |
| <b>J15</b> | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 |
| <b>K1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.4  | 0.4  |
| <b>K2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.48 | 0.48 |
| <b>K3</b>  | 0.18 | 0.18 | 1.54 | 1.54 |
| <b>K4</b>  | 0.28 | 0.28 | 1.3  | 1.3  |
| <b>K5</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.29 | 0.29 |
| <b>L1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.49 | 0.49 |
| <b>L2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.34 | 0.34 |
| <b>L3</b>  | 0.67 | 0.67 | 1.25 | 1.25 |
| <b>L4</b>  | 0.52 | 0.52 | 2.36 | 2.36 |
| <b>L5</b>  | 0.37 | 0.37 | 3.7  | 3.7  |
| <b>M1</b>  | 0.1  | 0.1  | 0.69 | 0.69 |
| <b>M2</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.87 | 0.87 |
| <b>M3</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.9  | 0.9  |
| <b>M4</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.92 | 0.92 |
| <b>N1</b>  | 0    | 0    | 0    | 0    |
| <b>N2</b>  | 0.13 | 0.13 | 1.41 | 1.41 |

|           |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|
| <b>N3</b> | 0.11 | 0.11 | 1.64 | 1.64 |
| <b>N4</b> | 0.11 | 0.11 | 1.69 | 1.69 |

*Anexo E.6. Resultados de la tormenta de diseño de 30 minutos para los colectores de aporte*

### TORMENTA DE DISEÑO DE 60 MINUTOS DE DURACIÓN

| Tramo        | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |           | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |           |
|--------------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|
|              | Actual                              | Propuesta | Actual                              | Propuesta |
| <b>T1</b>    | 0.03                                | 0.03      | 0.51                                | 0.51      |
| <b>T2</b>    | 0.03                                | 0.03      | 0.52                                | 0.52      |
| <b>T3</b>    | 0.01                                | 0.01      | 0.38                                | 0.38      |
| <b>T4</b>    | 0.5                                 | 0.5       | 1.99                                | 1.98      |
| <b>T5</b>    | 0.42                                | 0.42      | 2.68                                | 2.68      |
| <b>T6</b>    | 0.46                                | 0.46      | 2.37                                | 2.36      |
| <b>T7</b>    | 0.37                                | 0.37      | 3.17                                | 3.17      |
| <b>T8</b>    | 0.51                                | 0.51      | 2.08                                | 2.07      |
| <b>T9</b>    | 0.67                                | 0.6       | 2.28                                | 1.79      |
| <b>T10</b>   | 0.57                                | 0.57      | 3.42                                | 3.42      |
| <b>T11</b>   | 0.51                                | 0.4       | 4.07                                | 4.05      |
| <b>T12</b>   | 0.41                                | 0.33      | 5.68                                | 5.64      |
| <b>T12-1</b> |                                     | 0.26      |                                     | 4.97      |
| <b>T13</b>   | 1                                   | 0.47      | 2.51                                | 2.37      |
| <b>T14</b>   | 1                                   | 0.54      | 2.08                                | 2         |
| <b>T15</b>   | 1                                   | 0.75      | 1.76                                | 1.91      |
| <b>T16</b>   | 1                                   | 0.84      | 1.08                                | 1.84      |
| <b>T17</b>   | 0.64                                | 0.77      | 1.52                                | 2.03      |
| <b>T18</b>   | 0.63                                | 0.79      | 2.43                                | 2.38      |

*Anexo E.7. Resultados de la tormenta de diseño de 60 minutos para el colector principal.*

| Tramo     | Capacidad máxima alcanzada<br>(Y/D) |           | Velocidad máxima alcanzada<br>(m/s) |           |
|-----------|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|
|           | Actual                              | Propuesta | Actual                              | Propuesta |
| <b>A1</b> | 0.04                                | 0.04      | 0.68                                | 0.68      |
| <b>A2</b> | 0.04                                | 0.04      | 0.79                                | 0.79      |
| <b>A3</b> | 0.04                                | 0.04      | 0.85                                | 0.85      |
| <b>A4</b> | 0.2                                 | 0.2       | 3.41                                | 3.41      |
| <b>A5</b> | 0.23                                | 0.23      | 2.85                                | 2.85      |

|            |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|
| <b>A6</b>  | 0.26 | 0.26 | 2.39 | 2.39 |
| <b>A7</b>  | 0.42 | 0.42 | 2.68 | 2.68 |
| <b>A8</b>  | 0.43 | 0.43 | 3.23 | 3.23 |
| <b>A9</b>  | 0.34 | 0.34 | 4.1  | 4.1  |
| <b>A10</b> | 0.3  | 0.3  | 5.18 | 5.18 |
| <b>B1</b>  | 0.23 | 0.23 | 3.49 | 3.49 |
| <b>B2</b>  | 0.27 | 0.27 | 4.24 | 4.24 |
| <b>B3</b>  | 0.3  | 0.3  | 4.5  | 4.5  |
| <b>B4</b>  | 0.6  | 0.6  | 2.87 | 2.87 |
| <b>B5</b>  | 0.58 | 0.58 | 3.23 | 3.23 |
| <b>C1</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.67 | 0.67 |
| <b>C2</b>  | 0.21 | 0.21 | 2.48 | 2.48 |
| <b>C3</b>  | 0.17 | 0.17 | 3.87 | 3.87 |
| <b>C4</b>  | 0.36 | 0.36 | 3.2  | 3.2  |
| <b>C5</b>  | 0.31 | 0.31 | 3.93 | 3.93 |
| <b>C6</b>  | 0.42 | 0.42 | 2.55 | 2.55 |
| <b>C7</b>  | 0.33 | 0.33 | 4.46 | 4.46 |
| <b>D1</b>  | 0.3  | 0.3  | 1.59 | 1.59 |
| <b>D2</b>  | 0.26 | 0.26 | 4.42 | 4.42 |
| <b>D3</b>  | 0.29 | 0.29 | 3.88 | 3.88 |
| <b>D4</b>  | 0.22 | 0.22 | 3.31 | 3.31 |
| <b>D5</b>  | 0.22 | 0.22 | 3.17 | 3.17 |
| <b>D6</b>  | 0.24 | 0.24 | 3.83 | 3.83 |
| <b>D7</b>  | 0.39 | 0.39 | 2.64 | 2.64 |
| <b>D8</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.55 | 0.55 |
| <b>D9</b>  | 0.26 | 0.26 | 1.57 | 1.57 |
| <b>D10</b> | 0.38 | 0.38 | 1.73 | 1.73 |
| <b>D11</b> | 0.34 | 0.34 | 2.13 | 2.13 |
| <b>D12</b> | 0.31 | 0.31 | 3.03 | 3.03 |
| <b>D13</b> | 0.33 | 0.33 | 3.08 | 3.08 |
| <b>D14</b> | 0.47 | 0.47 | 1.95 | 1.95 |
| <b>D15</b> | 0.55 | 0.55 | 1.61 | 1.61 |
| <b>E1</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.33 | 0.33 |
| <b>E2</b>  | 0.18 | 0.18 | 2.11 | 2.11 |
| <b>E3</b>  | 0.14 | 0.14 | 0.65 | 0.65 |
| <b>E4</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.29 | 0.29 |

|            |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|
| <b>E5</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.25 | 0.25 |
| <b>E6</b>  | 0.16 | 0.16 | 2.5  | 2.5  |
| <b>E7</b>  | 0.16 | 0.16 | 2.6  | 2.6  |
| <b>F1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.67 | 0.67 |
| <b>F2</b>  | 0.17 | 0.17 | 1.17 | 1.17 |
| <b>G1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.71 | 0.71 |
| <b>G2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.69 | 0.69 |
| <b>G3</b>  | 0.22 | 0.22 | 1.82 | 1.82 |
| <b>G4</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.2  | 0.2  |
| <b>G5</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 |
| <b>G6</b>  | 0.06 | 0.06 | 0.34 | 0.34 |
| <b>H1</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.61 | 0.61 |
| <b>H2</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.73 | 0.73 |
| <b>H3</b>  | 0.49 | 0.49 | 3.11 | 3.11 |
| <b>H4</b>  | 0.31 | 0.31 | 3.62 | 3.62 |
| <b>H5</b>  | 0.04 | 0.04 | 0.53 | 0.53 |
| <b>H6</b>  | 0.05 | 0.05 | 0.72 | 0.72 |
| <b>I1</b>  | 0.38 | 0.38 | 1.73 | 1.73 |
| <b>J1</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J2</b>  | 0.08 | 0.08 | 0.66 | 0.66 |
| <b>J3</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.82 | 0.82 |
| <b>J4</b>  | 0.07 | 0.07 | 0.81 | 0.81 |
| <b>J5</b>  | 0.07 | 0.07 | 1.08 | 1.08 |
| <b>J6</b>  | 0.09 | 0.09 | 0.83 | 0.83 |
| <b>J7</b>  | 0.11 | 0.11 | 0.68 | 0.68 |
| <b>J8</b>  | 0.28 | 0.28 | 1.89 | 1.89 |
| <b>J9</b>  | 0.29 | 0.29 | 1.85 | 1.85 |
| <b>J10</b> | 0.28 | 0.28 | 1.95 | 1.95 |
| <b>J11</b> | 0.21 | 0.21 | 2.95 | 2.95 |
| <b>J12</b> | 0.05 | 0.05 | 0.71 | 0.71 |
| <b>J13</b> | 0.05 | 0.05 | 0.99 | 0.99 |
| <b>J14</b> | 0.04 | 0.04 | 0.25 | 0.25 |
| <b>J15</b> | 0.03 | 0.03 | 0.58 | 0.58 |
| <b>K1</b>  | 0.02 | 0.02 | 0.4  | 0.4  |
| <b>K2</b>  | 0.03 | 0.03 | 0.48 | 0.48 |
| <b>K3</b>  | 0.18 | 0.18 | 1.54 | 1.54 |



|           |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|
| <b>K4</b> | 0.28 | 0.28 | 1.29 | 1.29 |
| <b>K5</b> | 0.05 | 0.05 | 0.29 | 0.29 |
| <b>L1</b> | 0.02 | 0.02 | 0.49 | 0.49 |
| <b>L2</b> | 0.03 | 0.03 | 0.34 | 0.34 |
| <b>L3</b> | 0.67 | 0.67 | 1.25 | 1.25 |
| <b>L4</b> | 0.52 | 0.52 | 2.36 | 2.36 |
| <b>L5</b> | 0.37 | 0.37 | 3.7  | 3.7  |
| <b>M1</b> | 0.1  | 0.1  | 0.69 | 0.69 |
| <b>M2</b> | 0.08 | 0.08 | 0.87 | 0.87 |
| <b>M3</b> | 0.08 | 0.08 | 0.9  | 0.9  |
| <b>M4</b> | 0.08 | 0.08 | 0.92 | 0.92 |
| <b>N1</b> | 0    | 0    | 0    | 0    |
| <b>N2</b> | 0.13 | 0.13 | 1.41 | 1.41 |
| <b>N3</b> | 0.11 | 0.11 | 1.64 | 1.64 |
| <b>N4</b> | 0.11 | 0.11 | 1.69 | 1.69 |

*Anexo E.8. Resultados de la tormenta de diseño de 60 minutos para los colectores de aporte*

### Anexo F: Pre dimensionamiento del vertedero lateral / aliviadero

Aplicar un método sencillo de cálculo para solucionar un problema con gran cantidad de variables se tiene que considerar una serie de restricciones. Se tiene el caso particular de un vertedero lateral en canal rectangular de baja pendiente y sección constante como son:

- Régimen subcrítico antes y después del vertedero
- Régimen de flujo en función del número de Froude
- Cresta del vertedero lateral es horizontal y la pendiente del canal en el tramo es despreciable
- Sección rectangular de ancho constante
- La cresta del vertedero tiene un Cv de 2.2 para un perfil tipo cimacio.
- La energía específica E a lo largo del vertedero es constante.

En los libros de referencia principalmente Chow y Domínguez se encuentra el desarrollo completo de las fórmulas y sus aplicaciones. La más conocida y sencilla es la ecuación de Di Marchi. Donde se tienen las ecuaciones ya conocidas de la hidráulica:

$$L = X_2 - X_1$$

$$E = y_2 + \frac{v^2}{2g}$$

$$Fr_2 = \frac{V_2}{\sqrt{gy_2}}$$

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$P = \frac{2}{3}y_2$$

El valor de  $P$  es el valor de la altura del vertedero lateral asumido.

$X_2$  y  $X_1$  son las abscisas correspondientes a las profundidades  $Y_2$  y  $Y_1$  respectivamente. Cuando el flujo es subcrítico la profundidad  $Y_2$  es conocida y es igual a la profundidad normal del flujo aguas abajo,  $X_2$  se fija de forma arbitraria. Conocidos estos valores se calcula la constante de integración  $C$  para la siguiente ecuación.

$$X = \frac{b\sqrt{2g}}{Cv} * \left( \frac{2E - 3P}{E - P} \right) \left( \frac{E - y}{y - P} \right)^{1/2} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E - y}{y - P}} + C$$

Mediante aproximaciones sucesivas hasta que satisfaga la ecuación aproximada de caudal recomendada por Salamanca.

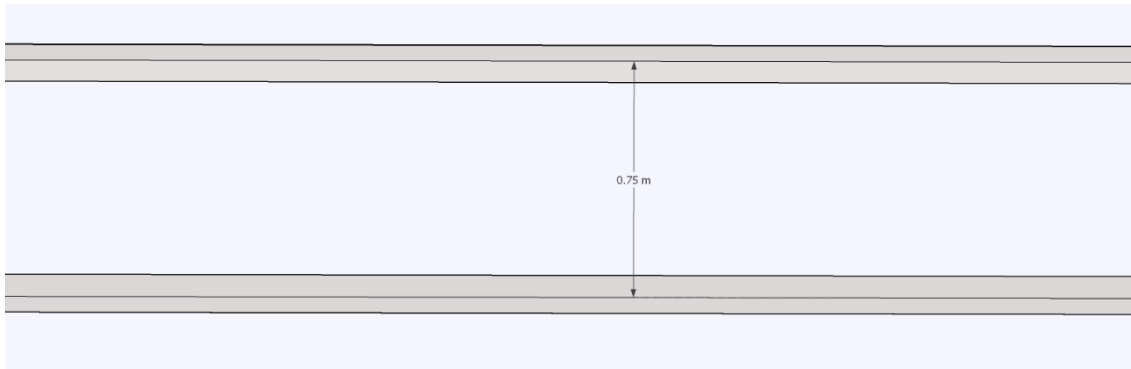
$$L = \frac{1.27 * Qv}{(2zm)^{3/2}}$$

$$2zm = (y_1 - P) + (y_2 - P)$$

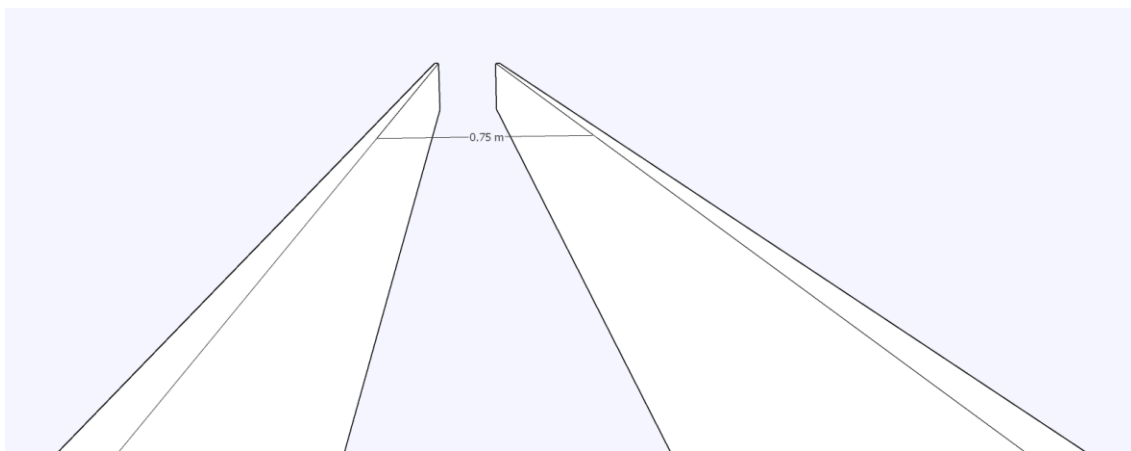
En la práctica el coeficiente  $C_v$  es menor debido al cambio de dirección del flujo y a su choque en las paredes. Se tiene la siguiente ecuación que corrige, donde  $k$  es un factor que se determina experimentalmente y tiene un orden de 0.15 para vertederos pequeños:

$$C_v = 2.2 \left( 1 - \frac{kQ_2}{Q_1} \right)$$

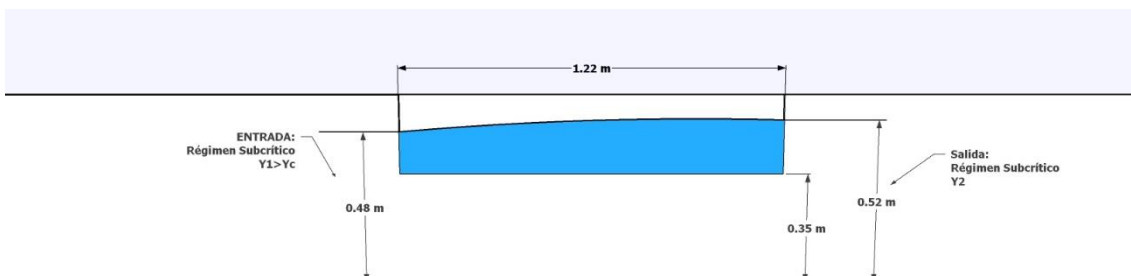
Al aplicar este método se obtiene el siguiente resultado de un pre dimensionamiento de vertedero lateral:



Anexo F.1. Vista en planta para el vertedero lateral.



Anexo F.2. Sección del canal para el vertedero lateral.



Anexo F.3. Vista lateral del pre dimensionamiento del vertedero lateral.

## Anexo G: Resultados y mapas de la simulación con las eficiencias de las rejillas actuales en la zona.

| Evento 10/03/2017 |                 |                    |                    | B5  | 82.78  | 2.85 | 0.43 |
|-------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----|--------|------|------|
| Tramo             | Caudal<br>(l/s) | Velocidad<br>(m/s) | Capacidad<br>(Y/D) | C1  | 0.3    | 0.65 | 0.02 |
| T1                | 0.37            | 0.31               | 0.04               | C2  | 14.04  | 2.03 | 0.15 |
| T2                | 0.37            | 0.37               | 0.03               | C3  | 27.69  | 3.19 | 0.12 |
| T3                | 0.37            | 0.27               | 0.02               | C4  | 112.65 | 2.72 | 0.26 |
| T4                | 161.04          | 2.5                | 0.28               | C5  | 113.01 | 3.34 | 0.23 |
| T5                | 173.5           | 2.67               | 0.28               | C6  | 113.18 | 2.18 | 0.31 |
| T6                | 173.75          | 2.77               | 0.27               | C7  | 146.76 | 3.81 | 0.25 |
| T7                | 173.68          | 3.24               | 0.24               | D1  | 28.69  | 1.35 | 0.23 |
| T8                | 173.67          | 1.8                | 0.37               | D2  | 35.64  | 3.75 | 0.19 |
| T9                | 190.73          | 2.03               | 0.48               | D3  | 37.62  | 3.3  | 0.22 |
| T10               | 337.62          | 2.99               | 0.42               | D4  | 37.91  | 2.81 | 0.16 |
| T11               | 351.07          | 3.56               | 0.38               | D5  | 38.07  | 2.69 | 0.17 |
| T12               | 371.28          | 4.94               | 0.31               | D6  | 51.16  | 3.25 | 0.18 |
| T13               | 386.13          | 2.31               | 0.57               | D7  | 66.91  | 2.25 | 0.29 |
| T14               | 388.01          | 1.93               | 0.67               | D8  | 0.17   | 0.53 | 0.02 |
| T15               | 455.51          | 1.76               | 1                  | D9  | 12     | 1.3  | 0.19 |
| T16               | 272.68          | 1.11               | 1                  | D10 | 23.38  | 1.45 | 0.28 |
| T17               | 271.68          | 1.53               | 0.62               | D11 | 24.28  | 1.78 | 0.25 |
| T18               | 363.35          | 2.3                | 0.55               | D12 | 30.04  | 2.53 | 0.22 |
|                   |                 |                    |                    | D13 | 33.96  | 2.66 | 0.43 |
|                   |                 |                    |                    | D14 | 33.95  | 1.66 | 0.62 |
|                   |                 |                    |                    | D15 | 33.92  | 1.35 | 0.75 |
|                   |                 |                    |                    | E1  | 0.22   | 0.32 | 0.03 |
|                   |                 |                    |                    | E2  | 12.78  | 1.88 | 0.15 |
|                   |                 |                    |                    | E3  | 2.51   | 0.57 | 0.11 |
|                   |                 |                    |                    | E4  | 0.21   | 0.28 | 0.03 |
|                   |                 |                    |                    | E5  | 0.55   | 0.25 | 0.07 |
|                   |                 |                    |                    | E6  | 9.6    | 2.04 | 0.12 |
|                   |                 |                    |                    | E7  | 9.74   | 2.13 | 0.12 |
|                   |                 |                    |                    | F1  | 0.24   | 0.64 | 0.02 |
|                   |                 |                    |                    | F2  | 6.55   | 1.03 | 0.15 |
|                   |                 |                    |                    | G1  | 0.28   | 0.69 | 0.02 |
|                   |                 |                    |                    | G2  | 0.53   | 0.66 | 0.04 |
|                   |                 |                    |                    | G3  | 13.23  | 1.57 | 0.18 |
|                   |                 |                    |                    | G4  | 0.21   | 0.2  | 0.04 |
|                   |                 |                    |                    | G5  | 0.36   | 0.56 | 0.03 |
|                   |                 |                    |                    | G6  | 0.51   | 0.33 | 0.06 |
|                   |                 |                    |                    | H1  | 0.48   | 0.59 | 0.04 |
|                   |                 |                    |                    | H2  | 0.91   | 0.71 | 0.03 |
|                   |                 |                    |                    | H3  | 112.23 | 2.71 | 0.36 |

Anexo G.1. Resultados para el evento del 10/03/2017 con las rejillas actuales en el colector principal

| Tramo | Caudal<br>(l/s) | Velocidad<br>(m/s) | Capacidad<br>(Y/D) |
|-------|-----------------|--------------------|--------------------|
| A1    | 0.27            | 0.66               | 0.04               |
| A2    | 0.27            | 0.76               | 0.04               |
| A3    | 0.38            | 0.83               | 0.04               |
| A4    | 7.72            | 2.8                | 0.14               |
| A5    | 7.96            | 2.35               | 0.16               |
| A6    | 8.15            | 1.99               | 0.19               |
| A7    | 17.48           | 2.23               | 0.3                |
| A8    | 23.2            | 2.75               | 0.31               |
| A9    | 142.5           | 3.52               | 0.26               |
| A10   | 149.29          | 2.8                | 0.32               |
| B1    | 28.78           | 3.09               | 0.19               |
| B2    | 41.95           | 3.73               | 0.22               |
| B3    | 49.7            | 3.92               | 0.24               |
| B4    | 77.53           | 2.54               | 0.45               |

|     |        |      |      |
|-----|--------|------|------|
| H4  | 112.22 | 3.12 | 0.24 |
| H5  | 0.38   | 0.51 | 0.03 |
| H6  | 0.77   | 0.7  | 0.04 |
| I1  | 67.09  | 1.47 | 0.28 |
| J1  | 1.29   | 0.64 | 0.07 |
| J2  | 1.44   | 0.64 | 0.07 |
| J3  | 1.61   | 0.79 | 0.07 |
| J4  | 1.67   | 0.78 | 0.07 |
| J5  | 2.01   | 1.04 | 0.06 |
| J6  | 2.42   | 0.8  | 0.09 |
| J7  | 2.6    | 0.67 | 0.1  |
| J8  | 21.49  | 1.7  | 0.23 |
| J9  | 21.92  | 1.67 | 0.24 |
| J10 | 21.93  | 1.76 | 0.23 |
| J11 | 22.04  | 2.65 | 0.17 |
| J12 | 0.74   | 0.68 | 0.04 |
| J13 | 1.17   | 0.96 | 0.05 |
| J14 | 0.24   | 0.24 | 0.04 |
| J15 | 0.36   | 0.56 | 0.03 |
| K1  | 0.15   | 0.39 | 0.02 |
| K2  | 0.22   | 0.46 | 0.03 |
| K3  | 8.63   | 1.36 | 0.14 |
| K4  | 13.42  | 1.14 | 0.22 |
| K5  | 0.35   | 0.28 | 0.05 |
| L1  | 0.12   | 0.48 | 0.02 |
| L2  | 0.19   | 0.33 | 0.03 |
| L3  | 38.09  | 1.11 | 0.49 |
| L4  | 52.65  | 2.06 | 0.39 |
| L5  | 52.86  | 3.1  | 0.29 |
| M1  | 0.99   | 0.66 | 0.09 |
| M2  | 0.99   | 0.84 | 0.08 |
| M3  | 0.99   | 0.88 | 0.08 |
| M4  | 0.99   | 0.89 | 0.08 |
| N1  | 0      | 0    | 0    |
| N2  | 4.91   | 1.22 | 0.11 |
| N3  | 4.92   | 1.47 | 0.09 |
| N4  | 4.91   | 1.51 | 0.09 |

*Anexo G.2. Resultados para el evento del 10/03/2017 con las rejas actuales en los colectores de aporte*

**Evento 25/01/2020**

| Tramo | Caudal (l/s) | Velocidad (m/s) | Capacidad (Y/D) |
|-------|--------------|-----------------|-----------------|
|-------|--------------|-----------------|-----------------|

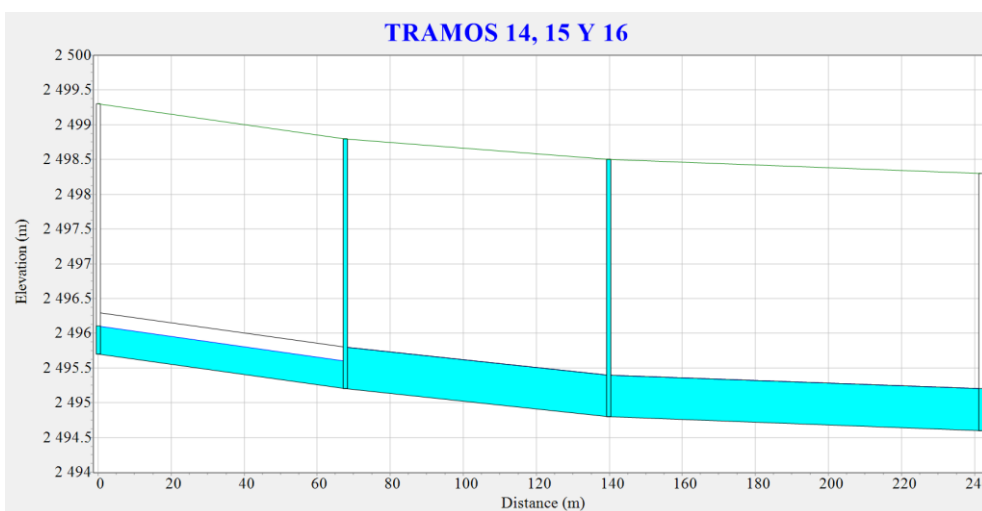
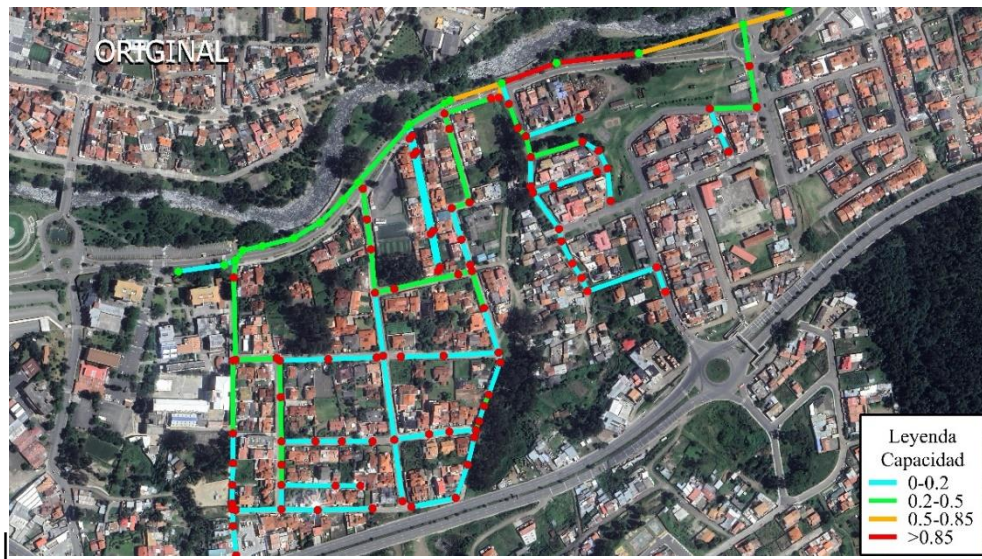
|     |        |      |      |
|-----|--------|------|------|
| T1  | 0.26   | 0.31 | 0.04 |
| T2  | 0.26   | 0.37 | 0.03 |
| T3  | 0.26   | 0.27 | 0.02 |
| T4  | 158.84 | 2.49 | 0.28 |
| T5  | 170.19 | 2.66 | 0.28 |
| T6  | 170.24 | 2.75 | 0.27 |
| T7  | 170.63 | 3.22 | 0.24 |
| T8  | 170.08 | 1.79 | 0.37 |
| T9  | 184.79 | 2.01 | 0.43 |
| T10 | 324.21 | 2.96 | 0.41 |
| T11 | 336.43 | 3.51 | 0.37 |
| T12 | 353.18 | 4.87 | 0.3  |
| T13 | 367.01 | 2.29 | 0.55 |
| T14 | 367.82 | 1.92 | 0.65 |
| T15 | 447.13 | 1.77 | 0.93 |
| T16 | 271.3  | 1.12 | 1    |
| T17 | 269.8  | 1.54 | 0.62 |
| T18 | 348.23 | 2.28 | 0.53 |

*Anexo G.3. Resultados para el evento del 25/01/2020 con las rejas actuales en el colector principal*

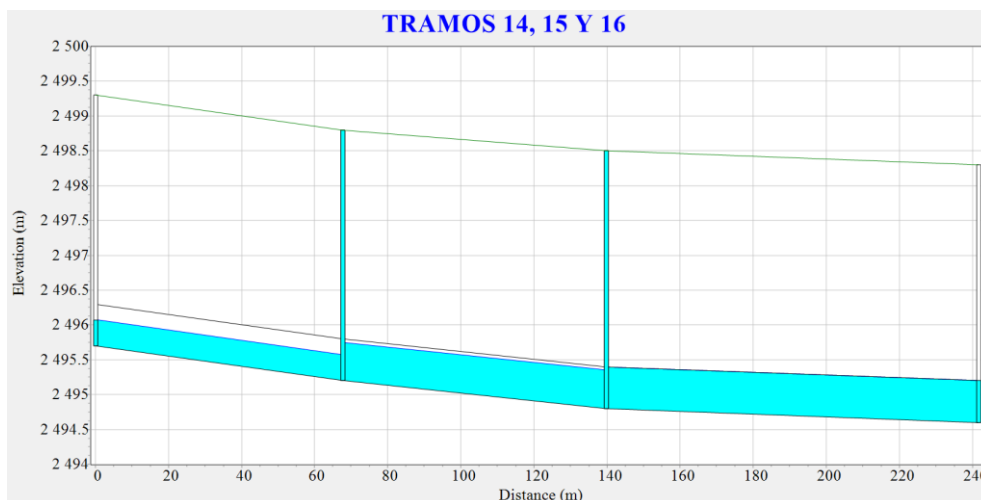
| Tramo | Caudal (l/s) | Velocidad (m/s) | Capacidad (Y/D) |
|-------|--------------|-----------------|-----------------|
| A1    | 0.27         | 0.66            | 0.04            |
| A2    | 0.27         | 0.76            | 0.04            |
| A3    | 0.38         | 0.83            | 0.04            |
| A4    | 7.84         | 2.82            | 0.14            |
| A5    | 7.97         | 2.35            | 0.17            |
| A6    | 8.22         | 1.98            | 0.19            |
| A7    | 17.68        | 2.24            | 0.3             |
| A8    | 23.32        | 2.75            | 0.32            |
| A9    | 140.97       | 3.52            | 0.26            |
| A10   | 147.68       | 2.79            | 0.31            |
| B1    | 26.99        | 3.03            | 0.18            |
| B2    | 41.51        | 3.72            | 0.21            |
| B3    | 49.42        | 3.92            | 0.23            |
| B4    | 77.47        | 2.54            | 0.45            |
| B5    | 82.79        | 2.84            | 0.43            |
| C1    | 0.3          | 0.65            | 0.02            |
| C2    | 14.2         | 2.06            | 0.15            |
| C3    | 27.82        | 3.2             | 0.12            |
| C4    | 109.07       | 2.7             | 0.26            |
| C5    | 109.46       | 3.31            | 0.23            |

|            |        |      |      |            |       |      |      |
|------------|--------|------|------|------------|-------|------|------|
| <b>C6</b>  | 109.61 | 2.16 | 0.31 | <b>J6</b>  | 2.42  | 0.8  | 0.09 |
| <b>C7</b>  | 140.54 | 3.77 | 0.24 | <b>J7</b>  | 2.6   | 0.67 | 0.1  |
| <b>D1</b>  | 28.38  | 1.35 | 0.22 | <b>J8</b>  | 21.51 | 1.7  | 0.23 |
| <b>D2</b>  | 35.56  | 3.74 | 0.19 | <b>J9</b>  | 21.88 | 1.67 | 0.24 |
| <b>D3</b>  | 37.8   | 3.3  | 0.22 | <b>J10</b> | 21.99 | 1.76 | 0.23 |
| <b>D4</b>  | 37.95  | 2.81 | 0.16 | <b>J11</b> | 22.22 | 2.66 | 0.18 |
| <b>D5</b>  | 37.95  | 2.69 | 0.17 | <b>J12</b> | 0.74  | 0.68 | 0.04 |
| <b>D6</b>  | 50.59  | 3.24 | 0.18 | <b>J13</b> | 1.17  | 0.96 | 0.05 |
| <b>D7</b>  | 66.21  | 2.24 | 0.29 | <b>J14</b> | 0.24  | 0.24 | 0.04 |
| <b>D8</b>  | 0.17   | 0.53 | 0.02 | <b>J15</b> | 0.36  | 0.56 | 0.03 |
| <b>D9</b>  | 12.26  | 1.31 | 0.19 | <b>K1</b>  | 0.15  | 0.39 | 0.02 |
| <b>D10</b> | 23.62  | 1.45 | 0.28 | <b>K2</b>  | 0.22  | 0.46 | 0.03 |
| <b>D11</b> | 24.22  | 1.78 | 0.25 | <b>K3</b>  | 8.75  | 1.37 | 0.15 |
| <b>D12</b> | 26.48  | 2.44 | 0.21 | <b>K4</b>  | 13.51 | 1.14 | 0.22 |
| <b>D13</b> | 28.89  | 2.55 | 0.39 | <b>K5</b>  | 0.35  | 0.28 | 0.05 |
| <b>D14</b> | 28.88  | 1.6  | 0.56 | <b>L1</b>  | 0.12  | 0.48 | 0.02 |
| <b>D15</b> | 28.82  | 1.31 | 0.66 | <b>L2</b>  | 0.19  | 0.33 | 0.03 |
| <b>E1</b>  | 0.22   | 0.32 | 0.03 | <b>L3</b>  | 37.73 | 1.11 | 0.49 |
| <b>E2</b>  | 11.33  | 1.82 | 0.14 | <b>L4</b>  | 52.47 | 2.07 | 0.39 |
| <b>E3</b>  | 2.52   | 0.58 | 0.11 | <b>L5</b>  | 52.37 | 3.1  | 0.29 |
| <b>E4</b>  | 0.21   | 0.28 | 0.03 | <b>M1</b>  | 0.99  | 0.66 | 0.09 |
| <b>E5</b>  | 0.55   | 0.25 | 0.07 | <b>M2</b>  | 0.99  | 0.84 | 0.08 |
| <b>E6</b>  | 9.19   | 2.02 | 0.12 | <b>M3</b>  | 0.99  | 0.88 | 0.08 |
| <b>E7</b>  | 9.07   | 2.08 | 0.11 | <b>M4</b>  | 0.99  | 0.89 | 0.08 |
| <b>F1</b>  | 0.24   | 0.64 | 0.02 | <b>N1</b>  | 0     | 0    | 0    |
| <b>F2</b>  | 6.72   | 1.05 | 0.15 | <b>N2</b>  | 5     | 1.25 | 0.11 |
| <b>G1</b>  | 0.28   | 0.69 | 0.02 | <b>N3</b>  | 5.02  | 1.48 | 0.09 |
| <b>G2</b>  | 0.53   | 0.66 | 0.04 | <b>N4</b>  | 4.97  | 1.51 | 0.09 |
| <b>G3</b>  | 13.54  | 1.59 | 0.18 |            |       |      |      |
| <b>G4</b>  | 0.21   | 0.2  | 0.04 |            |       |      |      |
| <b>G5</b>  | 0.36   | 0.56 | 0.03 |            |       |      |      |
| <b>G6</b>  | 0.51   | 0.33 | 0.06 |            |       |      |      |
| <b>H1</b>  | 0.48   | 0.59 | 0.04 |            |       |      |      |
| <b>H2</b>  | 0.91   | 0.71 | 0.03 |            |       |      |      |
| <b>H3</b>  | 111.77 | 2.7  | 0.36 |            |       |      |      |
| <b>H4</b>  | 111.5  | 3.12 | 0.24 |            |       |      |      |
| <b>H5</b>  | 0.38   | 0.51 | 0.03 |            |       |      |      |
| <b>H6</b>  | 0.77   | 0.7  | 0.04 |            |       |      |      |
| <b>I1</b>  | 65.23  | 1.47 | 0.28 |            |       |      |      |
| <b>J1</b>  | 1.29   | 0.64 | 0.07 |            |       |      |      |
| <b>J2</b>  | 1.44   | 0.64 | 0.07 |            |       |      |      |
| <b>J3</b>  | 1.61   | 0.79 | 0.07 |            |       |      |      |
| <b>J4</b>  | 1.67   | 0.78 | 0.07 |            |       |      |      |
| <b>J5</b>  | 2.01   | 1.04 | 0.06 |            |       |      |      |

*Anexo G.4. Resultados para el evento del  
25/01/2020 con las rejas actuales en los  
colectores de aporte*



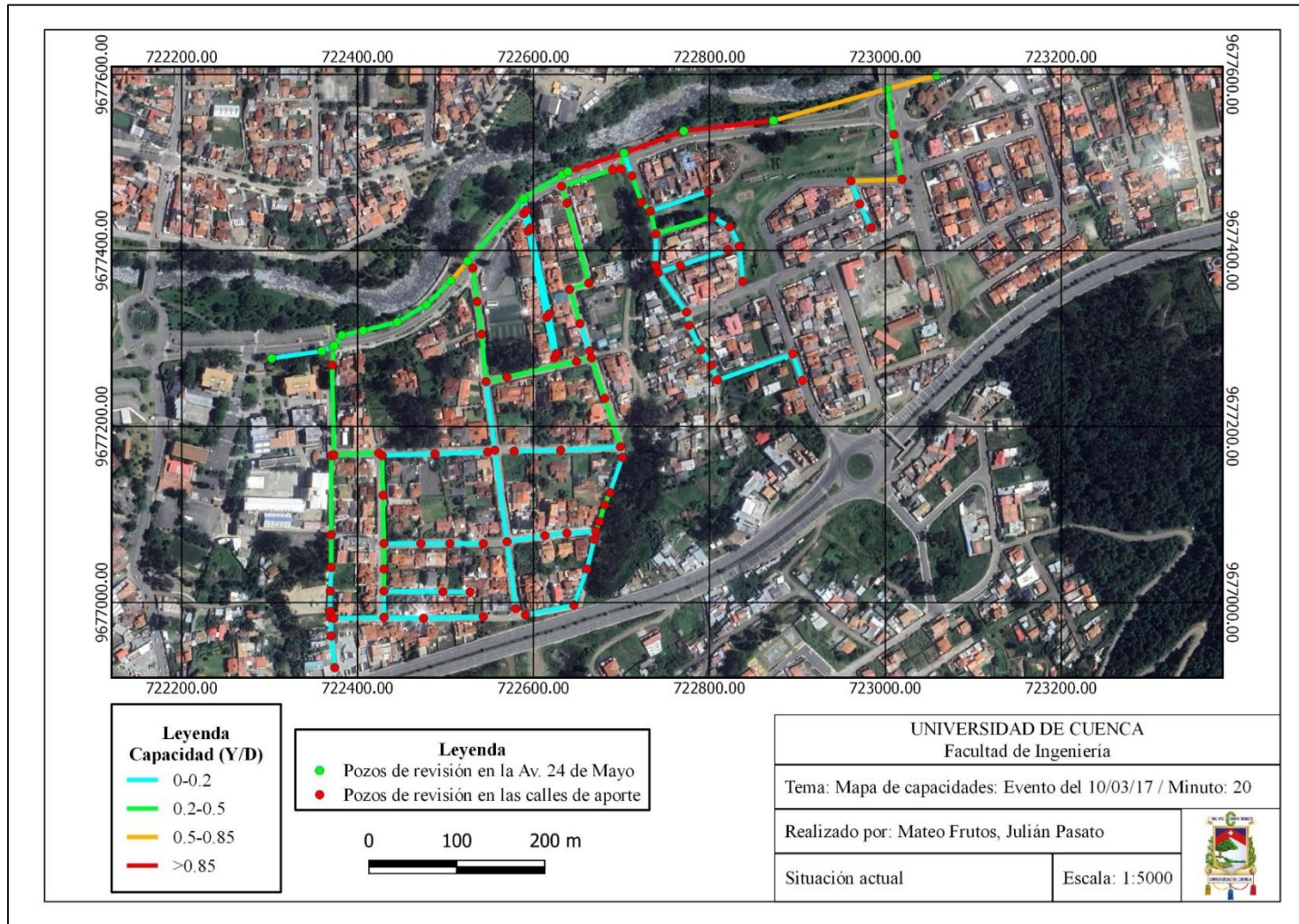
Anexo G.5. Resultados para el evento del 10/03/2017 con las rejillas actuales



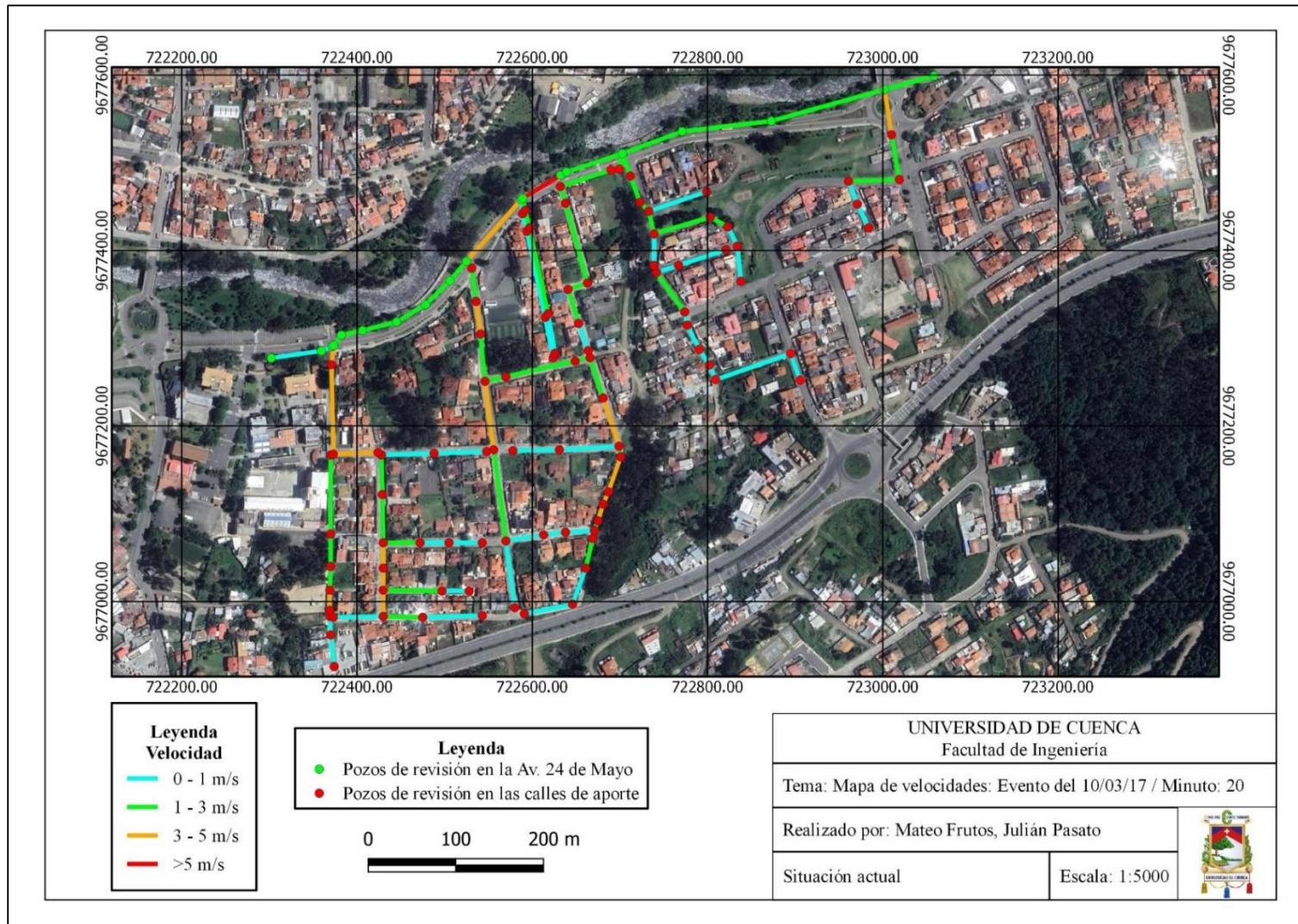
*Anexo G.6. Resultados para el evento del 25/01/2020 con las rejillas actuales*



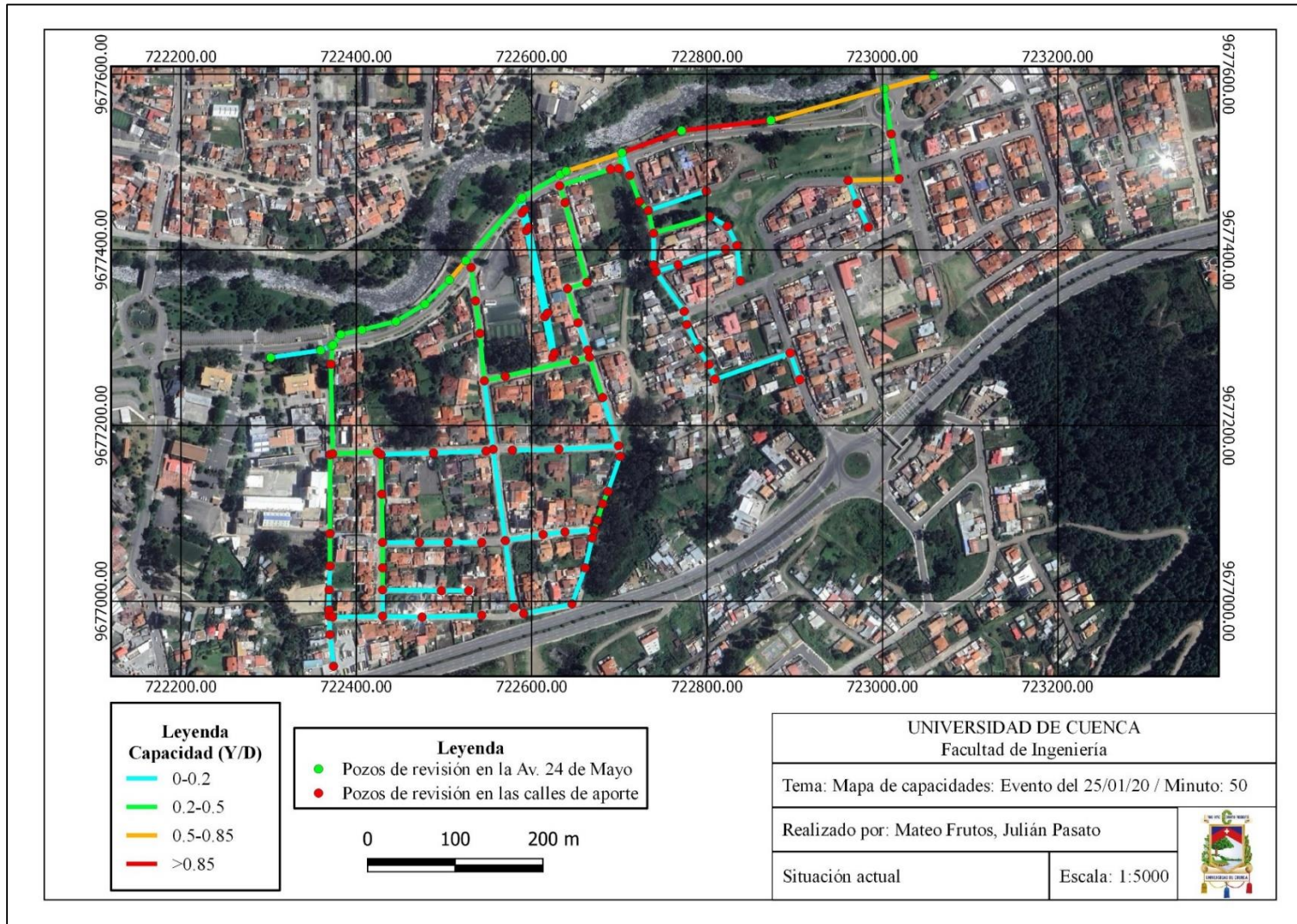
Anexo H: Mapas de riesgo



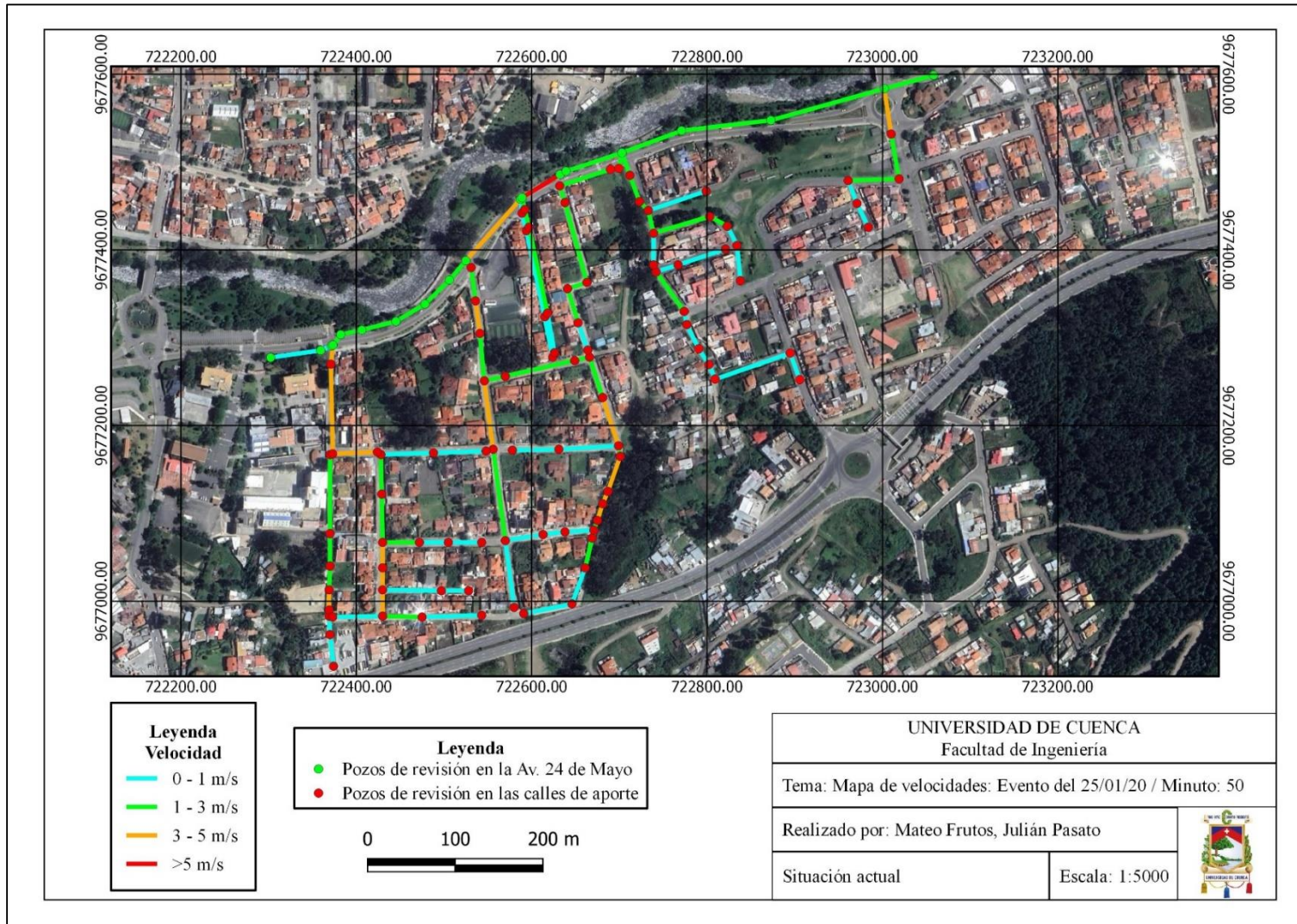
Anexo H.1. Mapa de capacidades para la situación actual: Evento del 10/03/2017 – Minuto 20



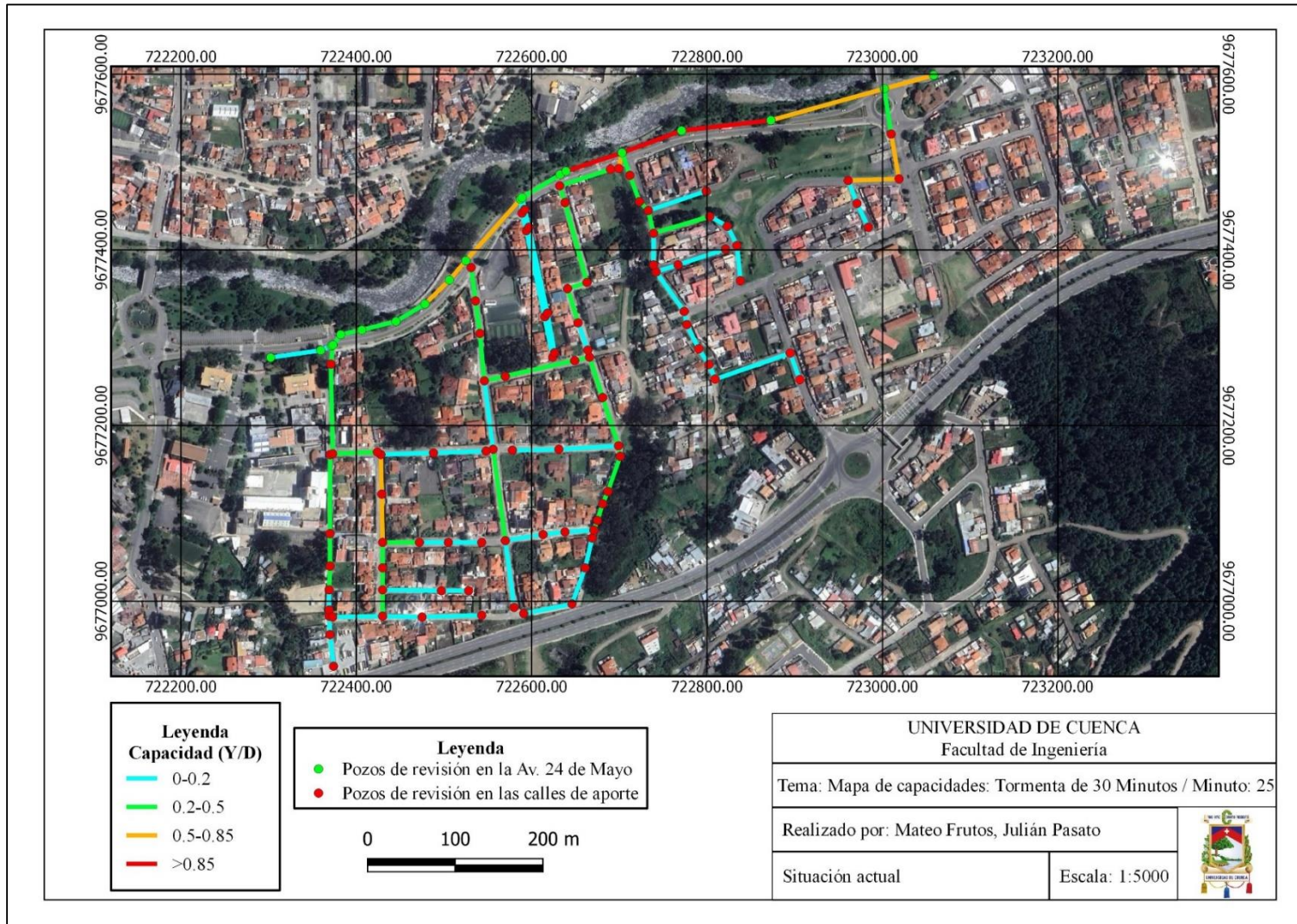
Anexo H.2. Mapa de velocidades para la situación actual: Evento del 10/03/2017 – Minuto 20



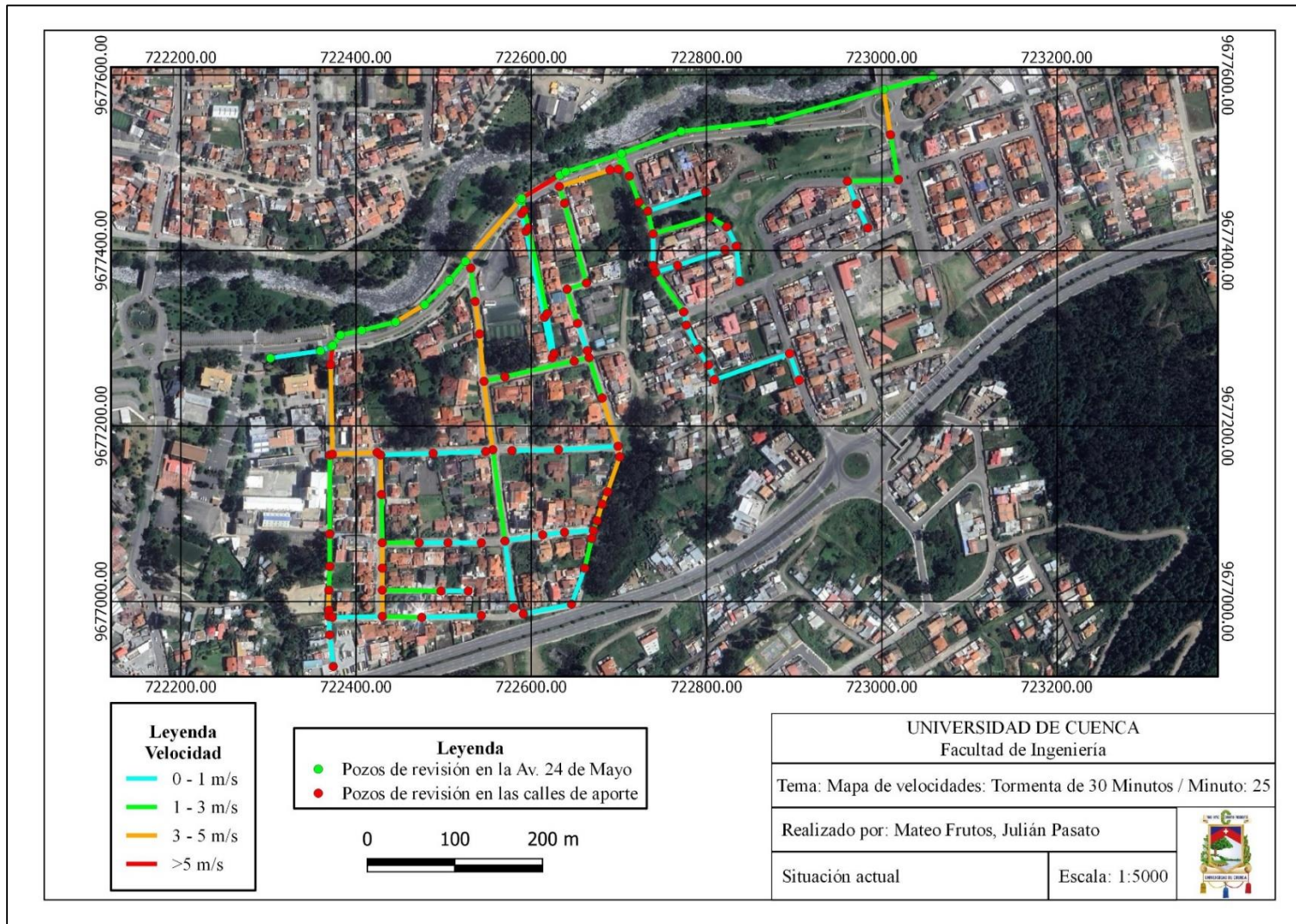
Anexo H.3. Mapa de capacidades para la situación actual: Evento del 25/01/2020 – Minuto 50



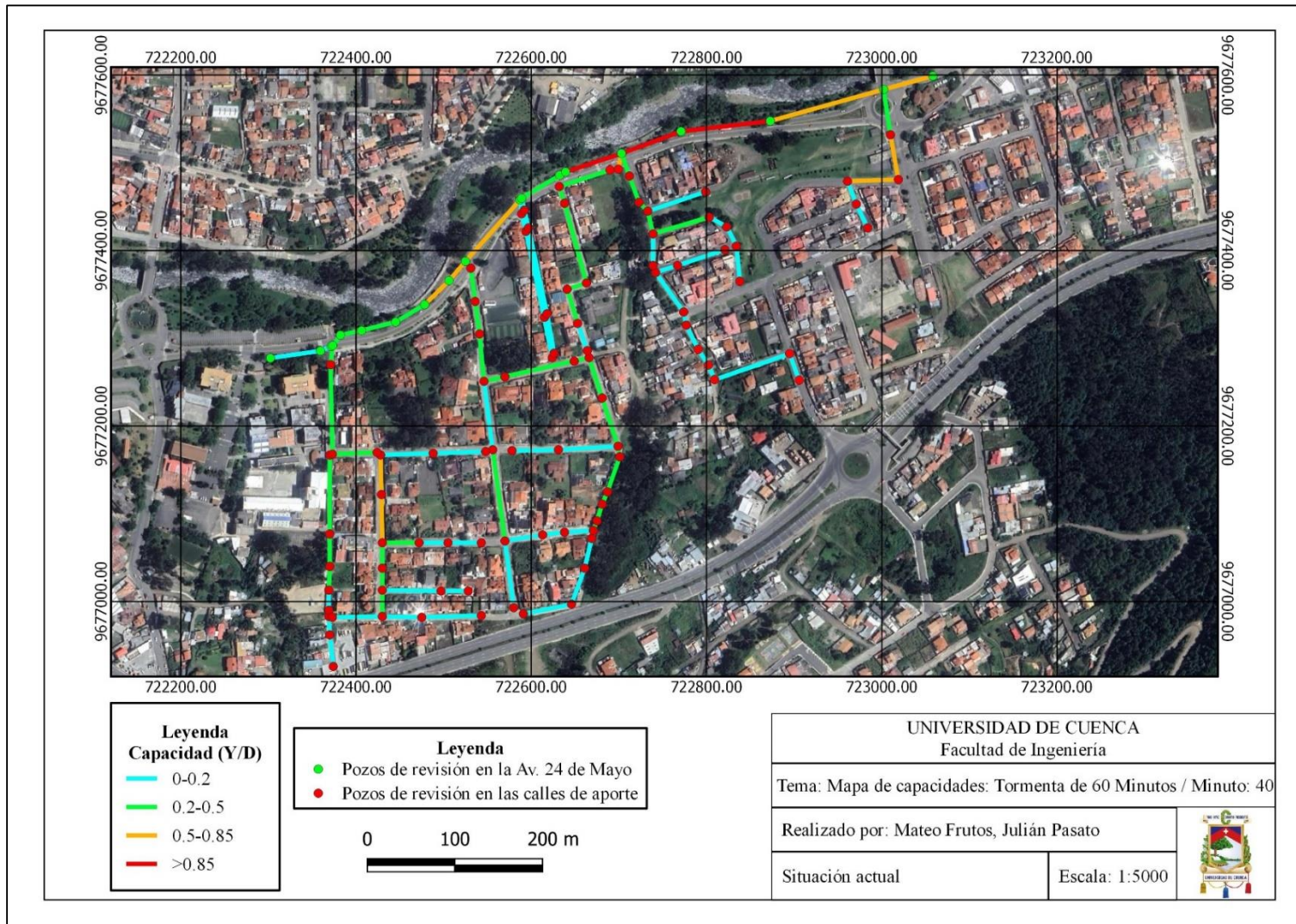
Anexo H.4. Mapa de velocidades para la situación actual: Evento del 25/01/2020 – Minuto 50



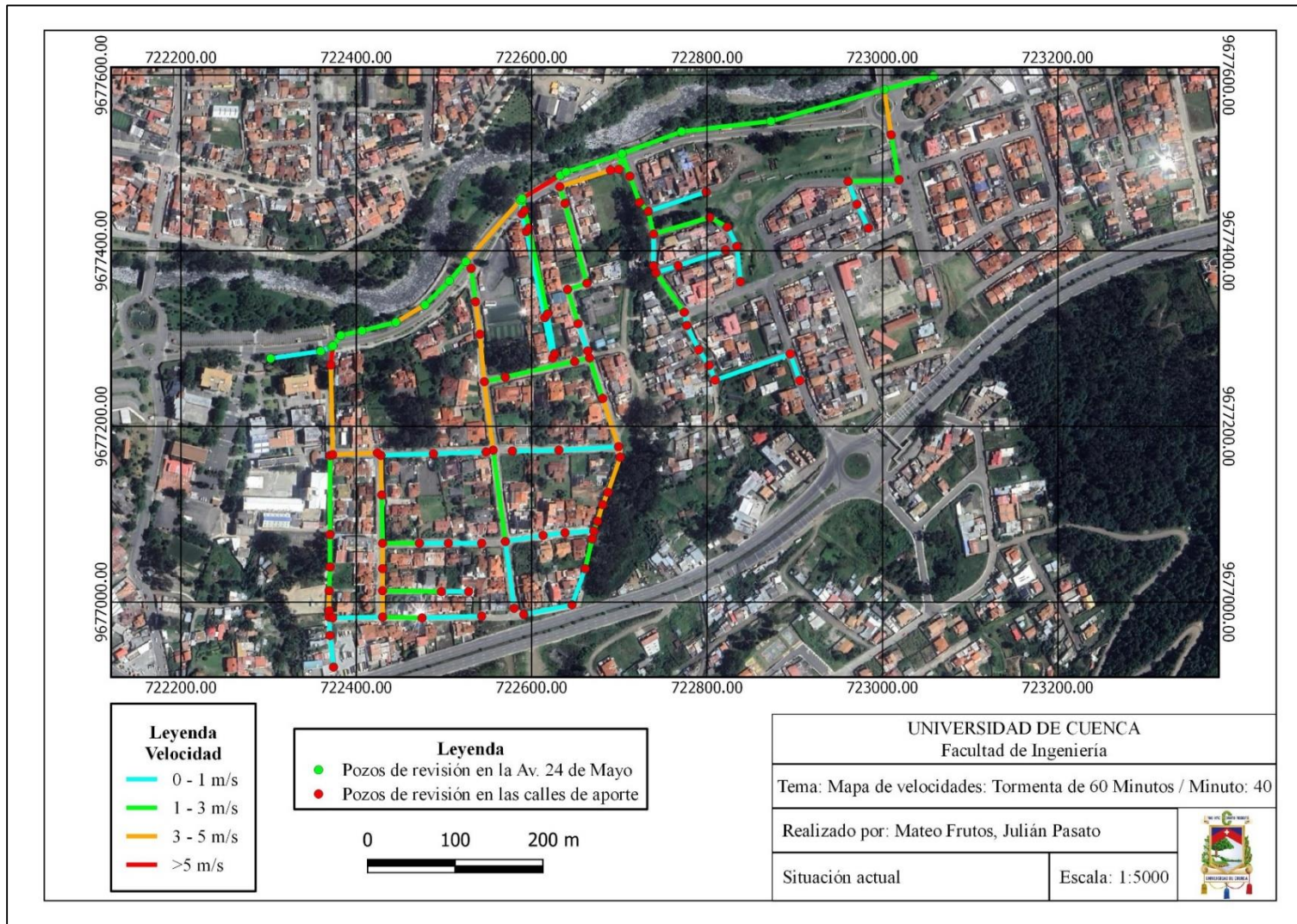
Anexo H.5. Mapa de capacidades para la situación actual: Tormenta de diseño de 30 minutos – Minuto 25



Anexo H.6. Mapa de velocidades para la situación actual: Tormenta de diseño de 30 minutos – Minuto 25

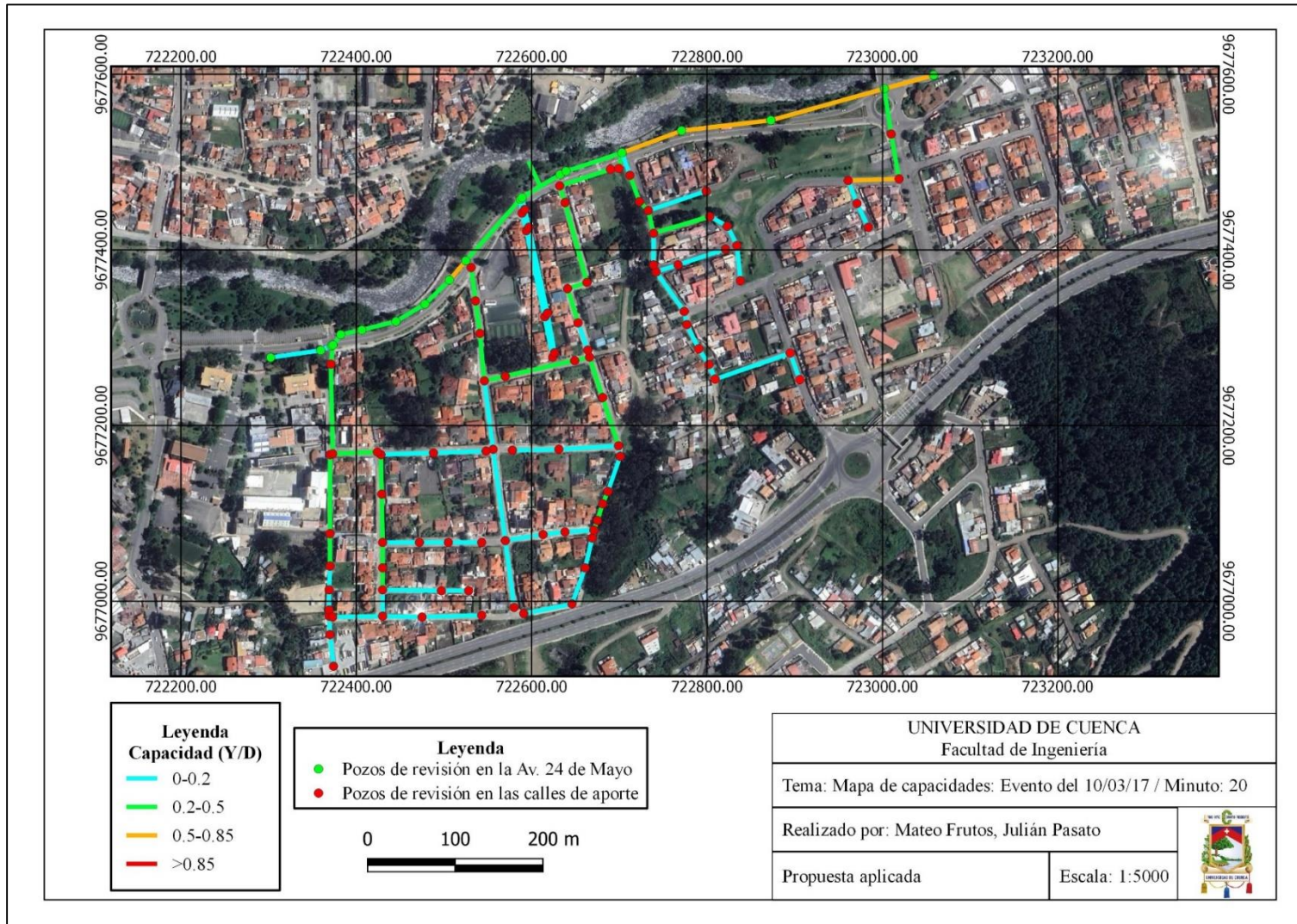


Anexo H.7. Mapa de capacidades para la situación actual: Tormenta de diseño de 60 minutos – Minuto 40

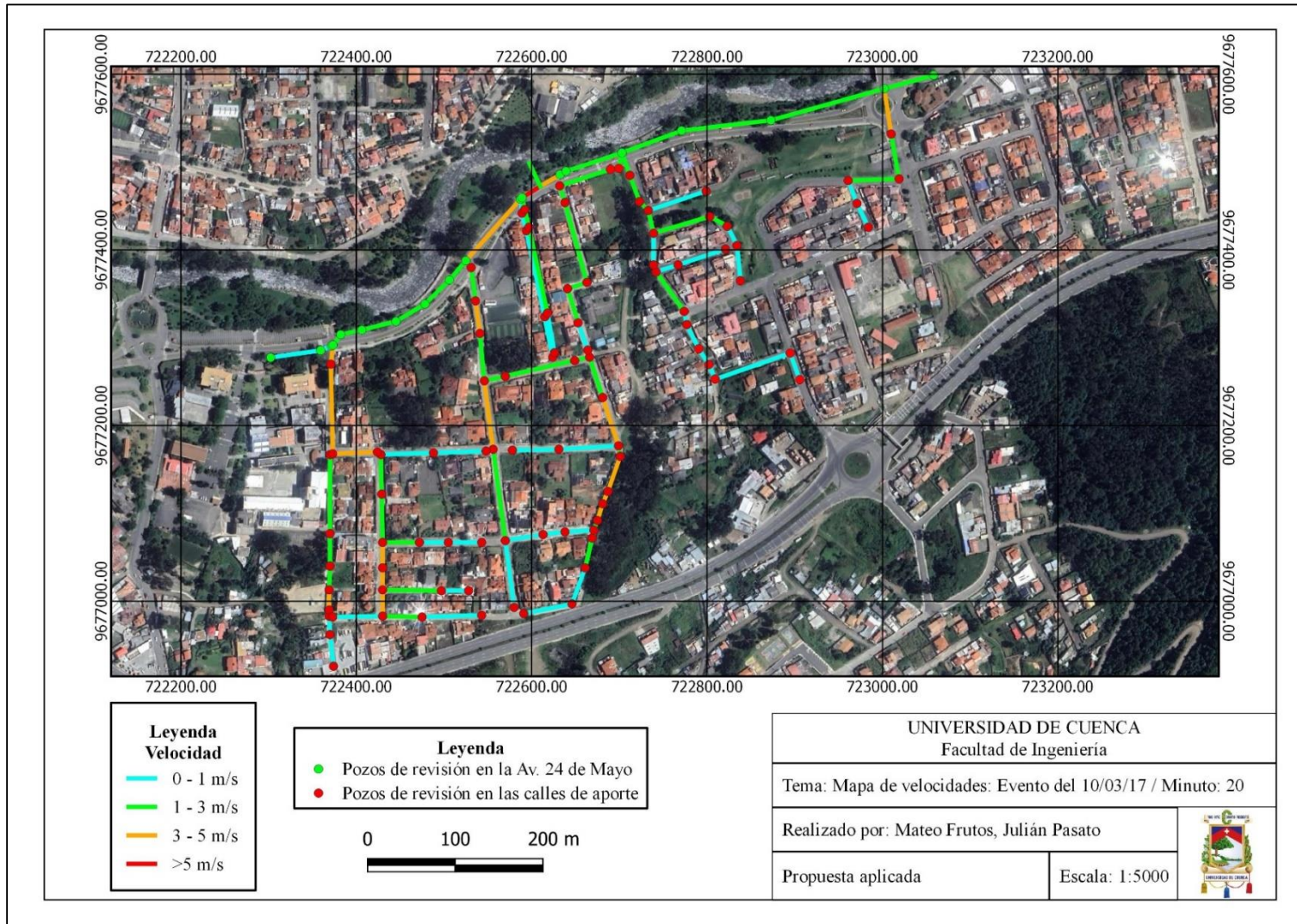


Anexo H.8. Mapa de velocidades para la situación actual: Tormenta de diseño de 60 minutos – Minuto 40

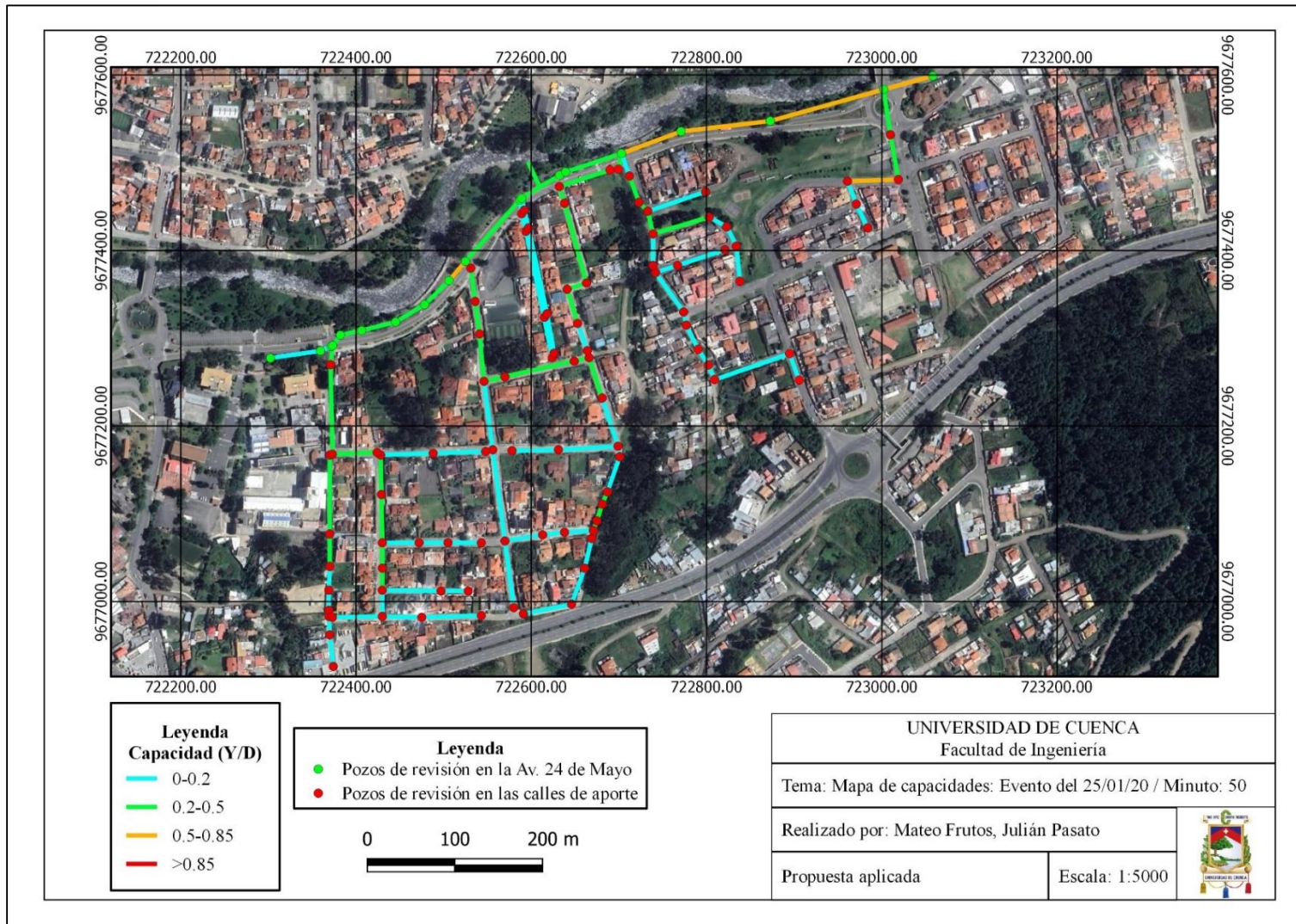




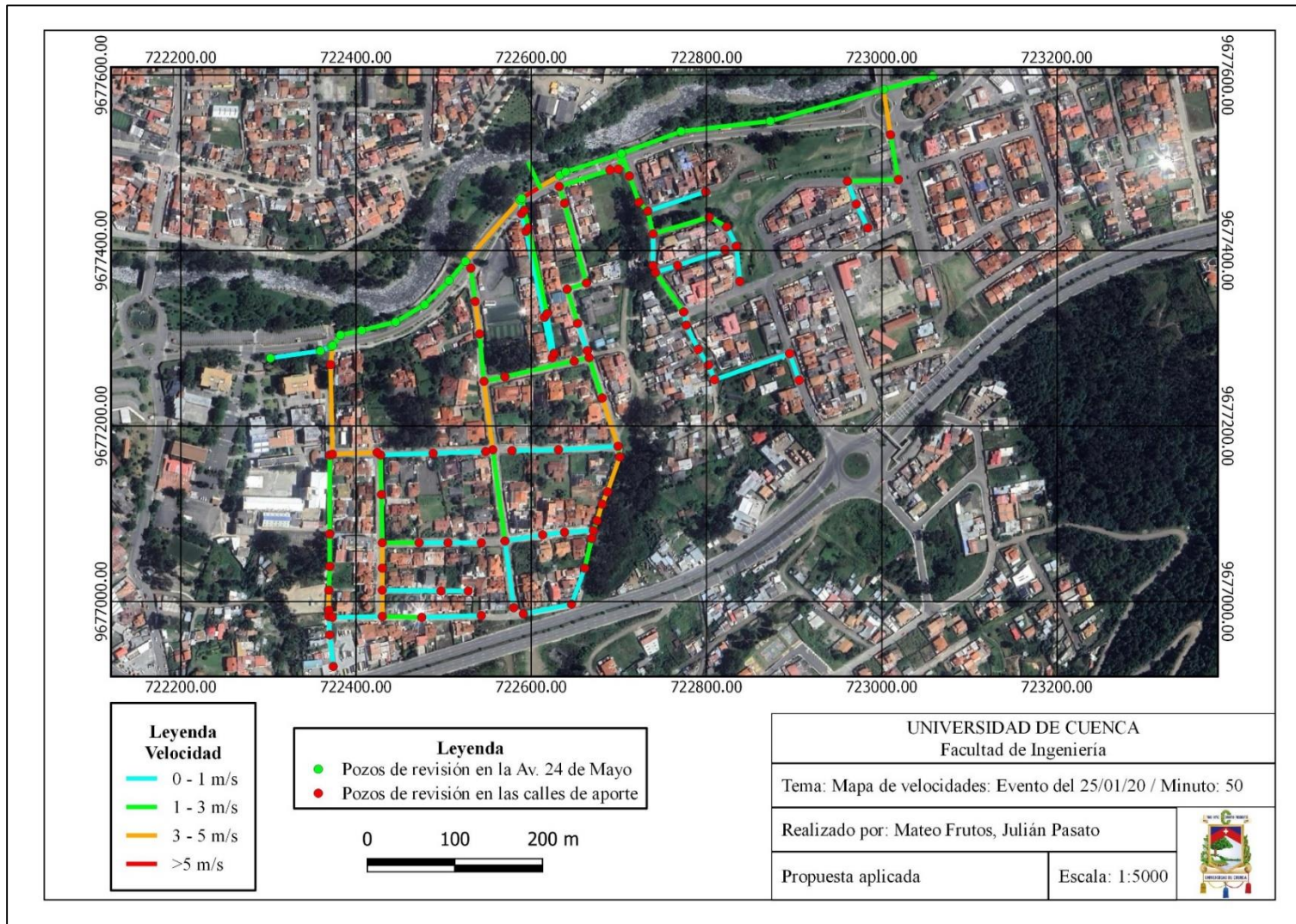
Anexo H.9. Mapa de capacidades para la propuesta aplicada: Evento del 10/03/2017 – Minuto 20



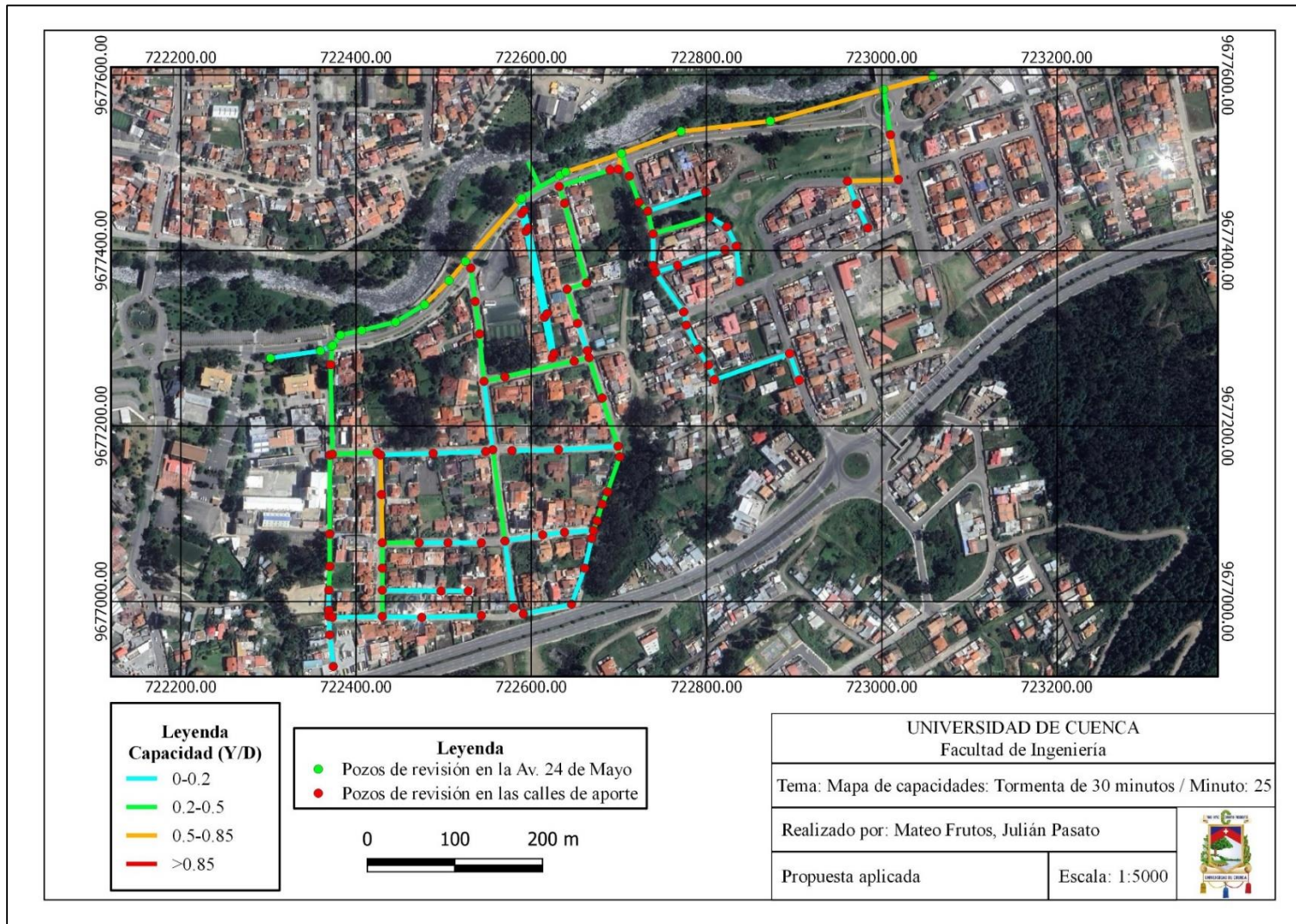
Anexo H.10. Mapa de velocidades para la propuesta aplicada: Evento del 10/03/2017 – Minuto 20



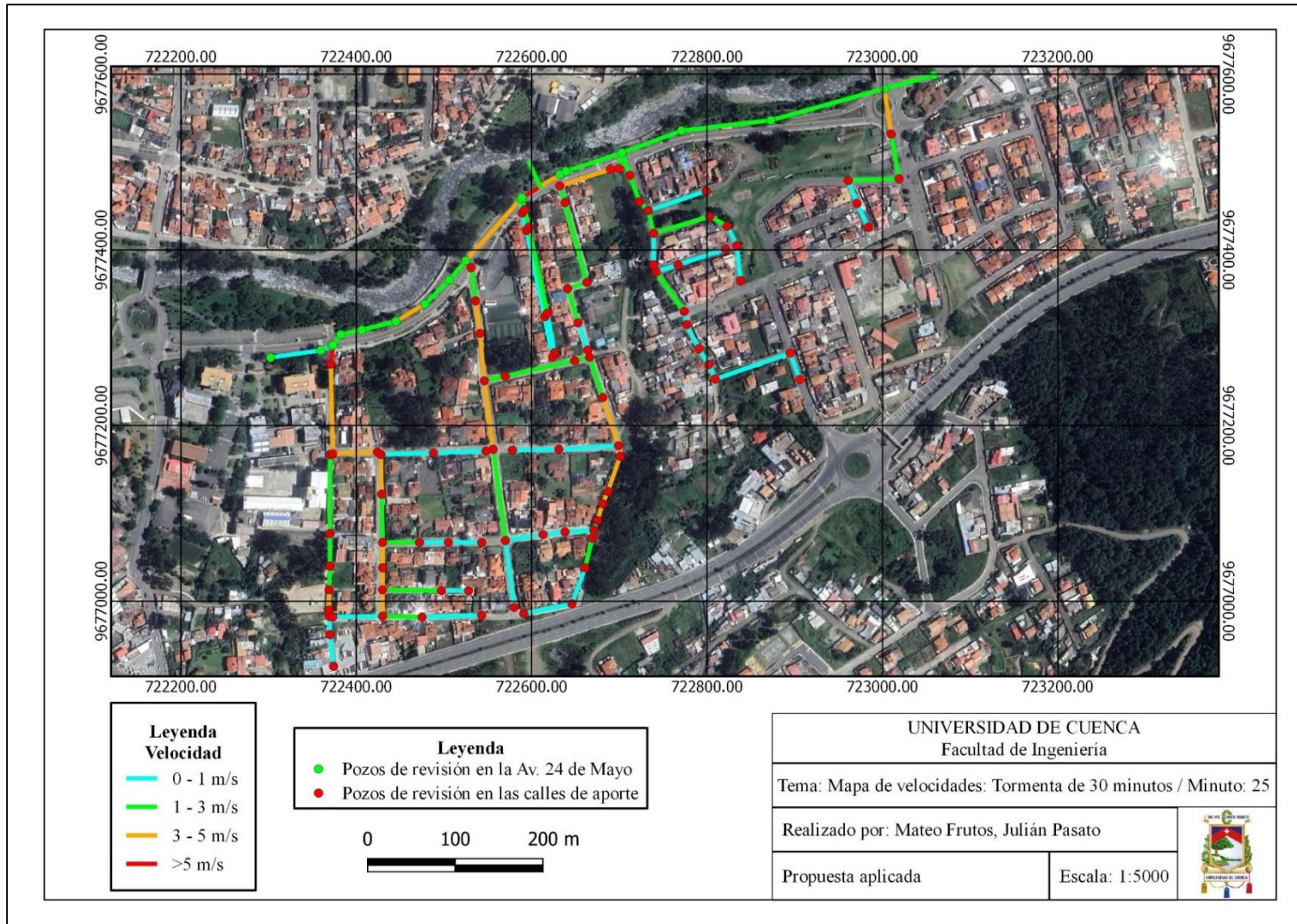
Anexo H.11. Mapa de capacidades para la propuesta aplicada: Evento del 25/01/2020 – Minuto 50



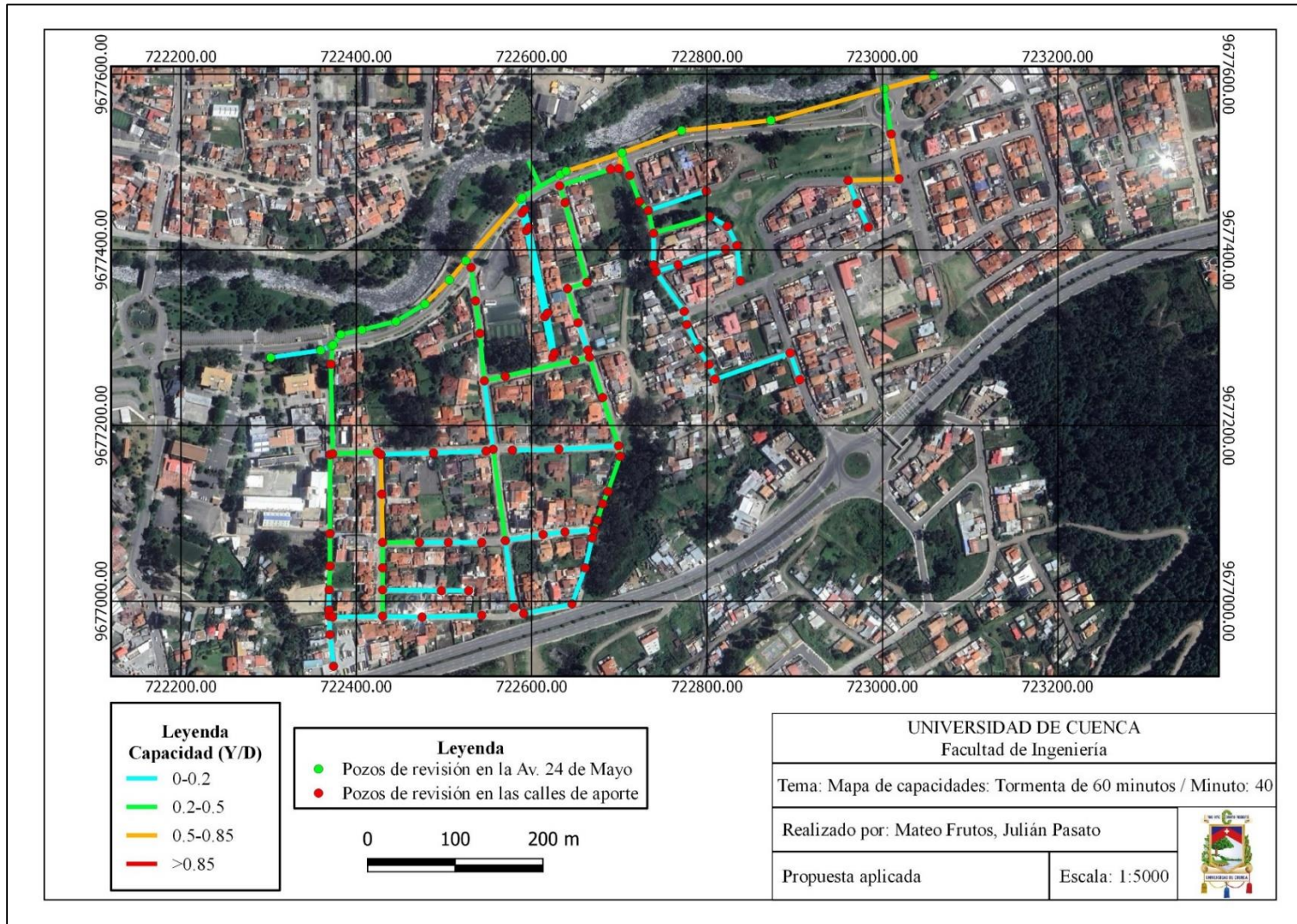
Anexo H.12. Mapa de velocidades para la propuesta aplicada: Evento del 25/01/2020 – Minuto 50



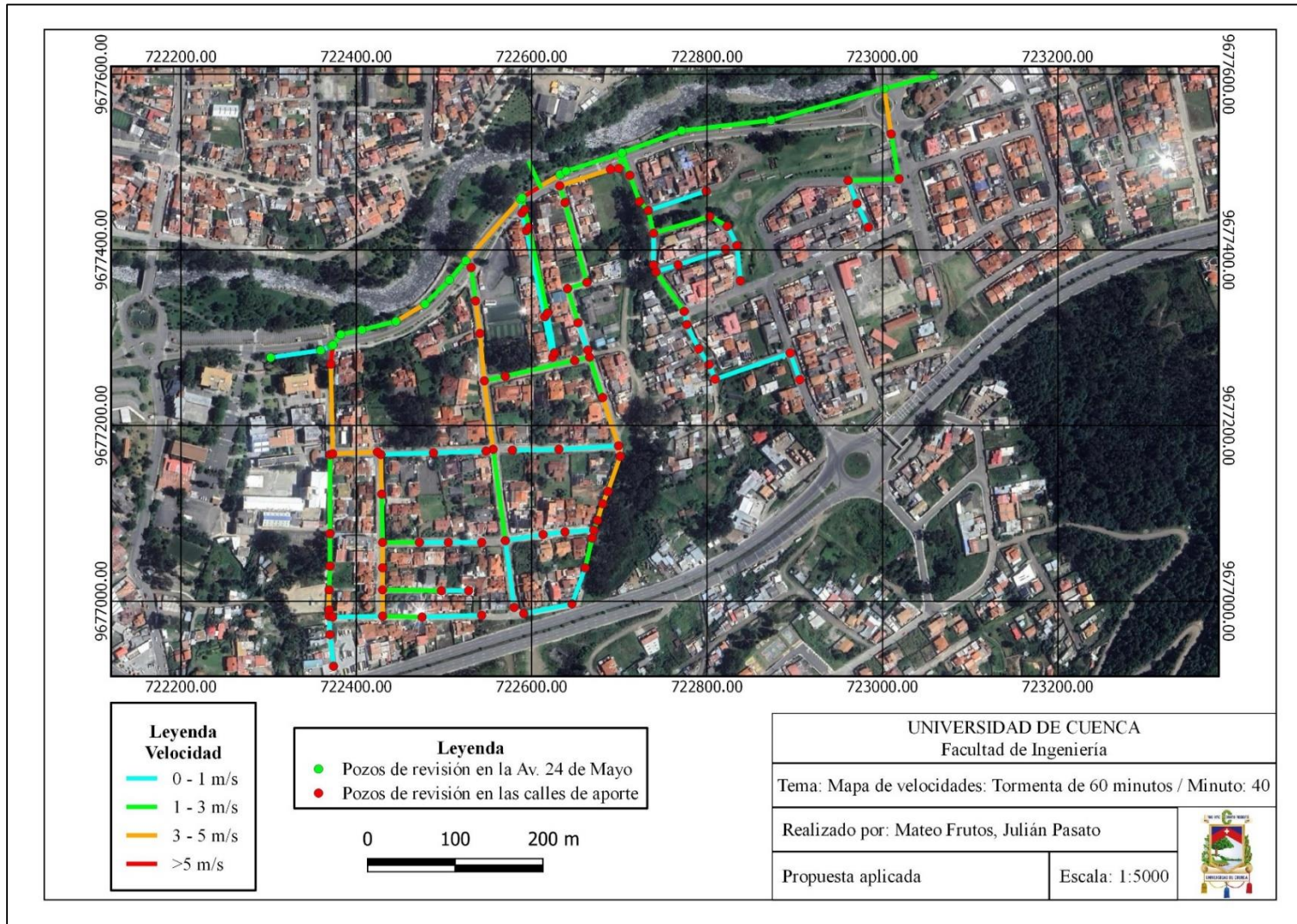
Anexo H.13. Mapa de capacidades para la propuesta aplicada: Tormenta de diseño de 30 minutos – Minuto 25



Anexo H.14. Mapa de velocidades para la propuesta aplicada: Tormenta de diseño de 30 minutos – Minuto 25



Anexo H.15. Mapa de capacidades para la propuesta aplicada: Tormenta de diseño de 60 minutos – Minuto 40



Anexo H.16. Mapa de velocidades para la propuesta aplicada: Tormenta de diseño de 60 minutos – Minuto 40