CONTRATO DE CONSULTORÍA N° 201-2025

CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL, CAPACIDAD HIDRÁULICA, INTEGRIDAD, ESTRUCTURAL Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS OBRAS DE OPTIMIZACIÓN Y LOS PROGRAMAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE SEPARACIÓN EN EL MUNICIPIO DE PIDECUESTA SANTANDER.



FASE II: FORMULACION DE ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LAS ESTRUCTURAS DE SEPARACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO, MUNICIPIO DE PIEDECUESTA SANTANDER.

PERIODO DE AVANCE: 23 DE OCTUBRE DE 2025 AL 22 DE DICIEMBRE DE 2025

Y DEL 06 FEBRERO 06 DE 2026 AL 28 DE FEBRERO DE 2026

INFORME N° 02

Piedecuestana DE SERVICIOS PÚBLICOS e.s.p.

ENTIDAD CONTRATANTE

CISGO SAS

CONSULTOR

BUCARAMANGA, ABRIL DE 2026

CONTRATO DE CONSULTORÍA N° 201-2025

CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL, CAPACIDAD HIDRÁULICA, INTEGRIDAD, ESTRUCTURAL Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS OBRAS DE OPTIMIZACIÓN Y LOS PROGRAMAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE SEPARACIÓN EN EL MUNICIPIO DE PIDECUESTA SANTANDER.

FASE II: FORMULACION DE ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LAS ESTRUCTURAS DE SEPARACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO.

MUNICIPÍO DE PIEDECUESTA, SANTANDER

PERIODO DE AVANCE: 23 DE OCTUBRE DE 2025 AL 22 DE DICIEMBRE DE 2025 Y DEL 06 FEBRERO 06 DE 2026 AL 28 DE FEBRERO DE 2026
INFORME N° 02

Piedecuestana
DE SERVICIOS PÚBLICOS e.s.p.

ENTIDAD CONTRATANTE

CISGO SAS

BUCARAMANGA, ABRIL DE 2026

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

LISTA DE FIGURAS i
LISTA DE TABLAS ii
LISTA DE ANEXOS iii
MARCO TEORICO 1
MARCO NORMATIVO 3
1. INTRODUCCION 5
2. OBJETIVOS 6
3. GENERALIDADES 7
3.1 Localización del Proyecto 7
4. SISTEMA DE ALCANTARILLADO EXISTENTE 8
4.1 Descripción 8
4.2 Área de Prestación de Servicios 11
4.3 Cobertura 11
5. HALLAZGOS DEL DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE LAS ESTRUCTURAS DE SEPARACIÓN 12
5.1 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 1: PA (10-K17)2 12
5.2 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 2: PA (6-5A-K15) 12
5.3 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 3: PA (5A-6-K15) 13
5.4 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 4: PA (8-12) 13
5.5 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 5: PA (5-4-K12) 14
5.6 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 6: PA (5-4-K11)c 14
5.7 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 7: PA (4-K11-10)b 15
5.8 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 8: PA (4-3B-10) 15
5.9 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 9: PA (3B-4-K10)b 16
5.10 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 10: PA (2A-10) 16
5.11 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 11: PA (4-3B-K9)c 17
5.12 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 12: PA (3A-3-K7) 17
5.13 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 13: P (2-K5-4) 18
5.14 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 14: PA (5A-5-K3)b 19
5.15 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 15: PA (5A-5-K3)f 19
6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE LAS ESTRUCTURAS DE SEPARACION 21
6.1 MÉTODOS APLICADOS PARA LA SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE 22
6.2 MÉTODO AHP (Analytic Hierarchy Process) O PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO. 22
6.2.1 Fases del método AHP. 22

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

6.2.2 Matrices multicriterio para el caso de un proyecto de optimización y adecuación de estructuras de separación existentes. 23

6.2.3 Selección de la alternativa más favorable 24

7. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA LA OPTIMIZACION DE LAS ESTRUCTURAS DE SEPARACION EXISTENTES. 27

7.1 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 1: PA (10-K17)2 27

7.2 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 2: PA (6-5A-K15) 34

7.3 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 3: PA (5A-6-K15) 35

7.4 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 4: PA (8 - 12) 46

7.5 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 5: PA (5-4-K12) 54

7.6 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 6: PA (5-4-K11)c 54

7.7 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 7: PA (4-K11-10)b 54

7.8 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 8: PA (4-3B-10) 55

7.9 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 9: PA (3B-4-K10)b 57

7.10 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 10: PA (2A-10) 59

7.11 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 11: PA (4-3B-K9)c 70

7.12 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 12: PA (3A-3-K7) 80

7.13 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 13: P (2-K5-4) 89

7.14 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 14: PA (5A-5-K3)b 97

7.15 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 15: PA (5A-5-K3)f106

8. CONCLUSIONES 109

9. BIBLIOGRAFIA 111

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Estructura de Separación Típica del Alcantarillado Combinado 1
Figura 2. Localización general de Piedecuesta. 7
Figura 3. Localización Estructuras de Separación 10
Figura 4. Criterios y Subcriterios. Modelo AHP 24
Figura 5. Sistema propuesto contracción en salida sanitaria - modelo swmm EDS #1 - Alternativa 1 27
Figura 6. Sistema propuesto contracción en salida sanitaria - modelo swmm EDS #1 - Alternativa 2 28
Figura 7. Perfil del tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_1 EDS #3 35
Figura 8. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_2 EDS #3 35
Figura 9. Esquema y caudales del modelo swmm_1 EDS #3 – Alternativa 1 36
Figura 10. Esquema y caudales del modelo swmm_2 EDS #3 – Alternativa 1 37
Figura 11. Esquema y caudales del modelo swmm_3 EDS #3 - Alternativa 1 37
Figura 12. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_1 EDS #3 – Alternativa 1 38
Figura 13. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_2 EDS #3 – Alternativa 1 38
Figura 14. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_1 EDS #3 – Alternativa 2 38
Figura 15. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_2 EDS #3 – Alternativa 2 39
Figura 16. Esquema y caudales del modelo swmm_1 EDS #3 - Alternativa 2 39
Figura 17. Esquema y caudales del modelo swmm_2 EDS #3 - Alternativa 2 40
Figura 18. Esquema y caudales del modelo swmm_3 EDS #3 - Alternativa 2 40
Figura 19. Sistema propuesto contracción en salida sanitaria - modelo swmm EDS #4 - Alternativa 1 46
Figura 20. Perfil sanitario del sistema propuesto - modelo swmm EDS #4 - Alternativa 1 47
Figura 21. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #4 - Alternativa 1 47
Figura 22. Esquema del sistema propuesto - modelo swmm EDS #4 - Alternativa 2 48
Figura 23. Esquema actual del modelo swmm EDS #10 59
Figura 24. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua - EDS #10 60
Figura 25. Esquema y capacidad en los tramos del modelo swmm EDS #10 - Alternativa 1 61
Figura 26. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #10 - Alternativa 1 61
Figura 27. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #10 - Alternativa 1 62
Figura 28. Esquema y capacidad en los tramos del modelo swmm EDS #10 - Alternativa 2 63
Figura 29. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #10 – Alternativa 2 63
Figura 30. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #10 - Alternativa 2 64
Figura 31. Perfil del tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua-EDS #11 70
Figura 32. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua EDS #11 71
Figura 33. Esquema y caudales del modelo swmm EDS #11 - Alternativa 1 72

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 34. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua EDS #11 - Alternativa 1 72
Figura 35. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua EDS #11 - Alternativa 2 73
Figura 36. Esquema y caudales del modelo swmm EDS #11 - Alternativa 2 74
Figura 37. Perfil del tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_1 EDS #12 80
Figura 38. Perfil del tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_2 EDS #12 80
Figura 39. Esquema y caudales del modelo swmm EDS #12 - Alternativa 1 81
Figura 40. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #12 - Alternativa 1 82
Figura 41. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #12 - Alternativa 2 82
Figura 42. Esquema y caudales del modelo swmm EDS #12 - Alternativa 2 83
Figura 43. Esquema y capacidad en los tramos del modelo swmm EDS #13 - Alternativa 1 89
Figura 44. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #13 - Alternativa 1 89
Figura 45. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #13 - Alternativa 1 90
Figura 46. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #13 - Alternativa 2 90
Figura 47. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #13 - Alternativa 2 91
Figura 48. Esquema y capacidad en los tramos del modelo swmm EDS #14 - Alternativa 1 97
Figura 49. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #14 - Alternativa 1 98
Figura 50. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #14 - Alternativa 1 98
Figura 51. Esquema y capacidad en los tramos del modelo swmm EDS #14 - Alternativa 2 99
Figura 52. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #14 - Alternativa 2 99
Figura 53. Diagnóstico físico de la Estructura de separación #15 106
Figura 54. Planta General de la Estructura de separación #15 108

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Tuberías de Alcantarillado Combinado 8
Tabla 2. Listado Estructuras de Separación y Alivio de Caudales 9
Tabla 3. Cantidad de Vertimientos por Corriente 11
Tabla 4. Escala de comparación de pares de Saaty 23
Tabla 5. Escala Fundamental – Modelo AHP 25
Tabla 6. Valores del índice Aleatorio - RI 26
Tabla 7. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #1 28
Tabla 8. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #1 29
Tabla 9. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #1 29
Tabla 10. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #1 29
Tabla 11. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #1 29
Tabla 12. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #1 30
Tabla 13. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #1 30
Tabla 14. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #10 30
Tabla 15. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #1 31
Tabla 16. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #1 32
Tabla 17. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas - EDS #1 33
Tabla 18. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #3 41
Tabla 19. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #3 41
Tabla 20. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #3 41
Tabla 21. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #3 41
Tabla 22. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #3 42
Tabla 23. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #3 42
Tabla 24. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #3 42
Tabla 25. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #3 42
Tabla 26. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #3 43
Tabla 27. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #3 44
Tabla 28. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #3 45
Tabla 29. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #4 48
Tabla 30. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #4 49

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 31. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #4 49
Tabla 32. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #4 49
Tabla 33. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #4 49
Tabla 34. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #4 50
Tabla 35. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #4 50
Tabla 36. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #4 50
Tabla 37. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #4 51
Tabla 38. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #4 52
Tabla 39. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #4 53
Tabla 40. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #10 64
Tabla 41. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #10 64
Tabla 42. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #10 65
Tabla 43. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #10 65
Tabla 44. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #10 65
Tabla 45. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #10 65
Tabla 46. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #10 66
Tabla 47. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #10 66
Tabla 48. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #10 67
Tabla 49. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #10 68
Tabla 50. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #10 69
Tabla 51. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #11 74
Tabla 52. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #11 75
Tabla 53. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #11 75
Tabla 54. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #11 75
Tabla 55. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #11 75
Tabla 56. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #11 76

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 57. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #11 76
Tabla 58. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #11 76
Tabla 59. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #11 77
Tabla 60. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #11 78
Tabla 61. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #11 79
Tabla 62. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #12 83
Tabla 63. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #12 83
Tabla 64. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #12 84
Tabla 65. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #12 84
Tabla 66. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #12 84
Tabla 56. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #12 84
Tabla 68. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #12 85
Tabla 69. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #12 85
Tabla 70. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #12 86
Tabla 71. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #12 87
Tabla 72. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #12 88
Tabla 73. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #13 91
Tabla 74. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #13 92
Tabla 75. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #13 92
Tabla 76. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #13 92
Tabla 77. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #13 92
Tabla 78. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #13 93
Tabla 79. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #13 93
Tabla 80. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #13 93
Tabla 81. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #13 94
Tabla 82. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #13 95
Tabla 83. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #13 96

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 84. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #14 100
Tabla 85. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #14 100
Tabla 86. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #14 100
Tabla 87. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #14 101
Tabla 88. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #14 101
Tabla 89. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #14 101
Tabla 90. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #14 101
Tabla 91. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #14 102
Tabla 92. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #14 103
Tabla 93. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #14 104
Tabla 94. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #14 105
Tabla 95. Caudales de diseño, pluvial y diluido EDS #14 y 15 107

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. MODELACION HIDRAULICA EDS #1. ALTERNATIVA 1
ANEXO 2. MODELACION HIDRAULICA EDS #1. ALTERNATIVA 2
ANEXO 3. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #1. ALTERNATIVA 1
ANEXO 4. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #1. ALTERNATIVA 2
ANEXO 5. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #1. ALTERNATIVA 1
ANEXO 6. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #1. ALTERNATIVA 2
ANEXO 7. MODELACION HIDRAULICA EDS #3. ALTERNATIVA 1
ANEXO 8. MODELACION HIDRAULICA EDS #3. ALTERNATIVA 2
ANEXO 9. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #3. ALTERNATIVA 1
ANEXO 10. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #3. ALTERNATIVA 2
ANEXO 11. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #3. ALTERNATIVA 1
ANEXO 12. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #3. ALTERNATIVA 2
ANEXO 13. MODELACION HIDRAULICA EDS #4. ALTERNATIVA 1
ANEXO 14. MODELACION HIDRAULICA EDS #4. ALTERNATIVA 2
ANEXO 15. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #4. ALTERNATIVA 1
ANEXO 16. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #4. ALTERNATIVA 2
ANEXO 17. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #4. ALTERNATIVA 1
ANEXO 18. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #4. ALTERNATIVA 2
ANEXO 19. MODELACION HIDRAULICA EDS #10. ALTERNATIVA 1
ANEXO 20. MODELACION HIDRAULICA EDS #10. ALTERNATIVA 2
ANEXO 21. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #10. ALTERNATIVA 1
ANEXO 22. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #10. ALTERNATIVA 2
ANEXO 23. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #10. ALTERNATIVA 1
ANEXO 24. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #10. ALTERNATIVA 2
ANEXO 25. MODELACION HIDRAULICA EDS #11. ALTERNATIVA 1
ANEXO 26. MODELACION HIDRAULICA EDS #11. ALTERNATIVA 2
ANEXO 27. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #11. ALTERNATIVA 1
ANEXO 28. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #11. ALTERNATIVA 2
ANEXO 29. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #11. ALTERNATIVA 1
ANEXO 30. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #11. ALTERNATIVA 2
ANEXO 31. MODELACION HIDRAULICA EDS #12. ALTERNATIVA 1
ANEXO 32. MODELACION HIDRAULICA EDS #12. ALTERNATIVA 2
ANEXO 33. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #12. ALTERNATIVA 1
ANEXO 34. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #12. ALTERNATIVA 2
ANEXO 35. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #12. ALTERNATIVA 1
ANEXO 36. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #12. ALTERNATIVA 2
ANEXO 37. MODELACION HIDRAULICA EDS #13. ALTERNATIVA 1
ANEXO 38. MODELACION HIDRAULICA EDS #13. ALTERNATIVA 2
ANEXO 39. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #13. ALTERNATIVA 1
ANEXO 40. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #13. ALTERNATIVA 2
ANEXO 41. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #13. ALTERNATIVA 1
ANEXO 42. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #13. ALTERNATIVA 2
ANEXO 43. MODELACION HIDRAULICA EDS #14. ALTERNATIVA 1
ANEXO 44. MODELACION HIDRAULICA EDS #14. ALTERNATIVA 2
ANEXO 45. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #14. ALTERNATIVA 1
ANEXO 46. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #14. ALTERNATIVA 2
ANEXO 47. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #14. ALTERNATIVA 1
ANEXO 48. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #14. ALTERNATIVA 2

MARCO TEORICO

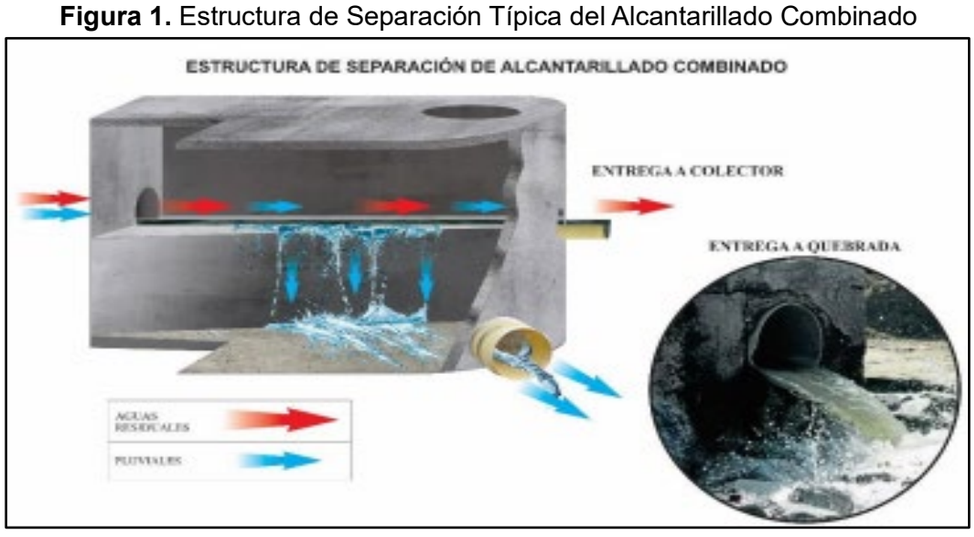
El municipio de Piedecuesta, localizado en el área metropolitana de Bucaramanga, departamento de Santander, ha experimentado en los últimos años un crecimiento urbano y poblacional significativo, lo cual ha incrementado las demandas sobre sus sistemas de infraestructura básica, particularmente en lo referente al manejo de aguas residuales y pluviales. En respuesta a esta situación, la administración municipal ha impulsado diferentes programas de adecuación, optimización y expansión del sistema de alcantarillado, buscando garantizar la sostenibilidad ambiental, la eficiencia hidráulica y la seguridad estructural de las obras que lo conforman.

En este contexto, el sistema sanitario combinado existente, conformado por redes que conducen de manera conjunta aguas residuales y aguas lluvias, presenta puntos críticos donde el funcionamiento hidráulico se ve comprometido debido a la acumulación de sedimentos, las descargas inadecuadas y el deterioro progresivo de las estructuras de separación. Estas estructuras, concebidas originalmente para derivar el caudal pluvial hacia sistemas independientes y proteger el componente sanitario, han sufrido un desgaste material y funcional que limita su desempeño, ocasionando pérdidas de estanqueidad, filtraciones, taponamientos y riesgos de sobrepresión durante eventos de lluvia intensa.

Con el fin de evaluar las condiciones de dichos elementos, se desarrolla la consultoría para la elaboración del estudio del estado actual, capacidad hidráulica, integridad estructural y condiciones de funcionamiento para la determinación de las obras de optimización y los programas de operación y mantenimiento de las estructuras de separación en el municipio de Piedecuesta, Santander”.

Una estructura de separación es una obra de ingeniería en un sistema de alcantarillado que, dentro de un colector combinado, separa las aguas residuales sanitarias (Caudales domésticos) de las aguas pluviales (Precipitaciones) para enviarlas por tuberías diferentes. Esto se hace para que las aguas sanitarias lleguen a una planta de tratamiento y las aguas pluviales puedan ser descargadas directamente en cuerpos de agua.

Figura 1. Estructura de Separación Típica del Alcantarillado Combinado



Fuente: Consultor

Entre sus funciones principales se destacan:

- Proteger las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR´s) al evitar que grandes volúmenes de aguas de lluvias saturen el sistema, se garantizando que las plantas de tratamiento puedan procesar eficientemente las aguas residuales sin emergencias, ni fallas.

- Evitar la contaminación al descargar las aguas de lluvias separadas a un cuerpo de agua (Quebrada, Río, etc.) evitando que las aguas residuales sin tratar sean vertidas a las fuentes durante las precipitaciones; lo que es un problema común en los sistemas combinados.

- Gestionar el Caudal, permitiendo manejar adecuadamente tanto los caudales pluviales (que pueden ser muy variables) como los residuales (que son relativamente constantes), previniendo inundaciones y ahogamientos en la red.

El estudio se fundamenta en la revisión visual y técnica de quince (15) estructuras localizadas en diferentes sectores del casco urbano, cuyos registros fueron suministrados por la entidad contratante. A partir de la información levantada se efectuó un análisis estructural y funcional con base en criterios de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10), las Guías Técnicas del Reglamento de Agua y Saneamiento Básico (RAS 2020) y las buenas prácticas de ingeniería civil aplicables al diagnóstico de obras hidráulicas enterradas.

La metodología empleada comprendió la inspección visual de cada estructura, la identificación de daños observables, el análisis de las conexiones entre sistemas pluviales y sanitarios, y la verificación del comportamiento hidráulico y estructural de los elementos principales (muros, losas, coronas y vertederos). A lo largo del documento se presentan los resultados de cada evaluación, organizados de manera que faciliten la comprensión y priorización de intervenciones. En primera instancia se describen los hallazgos generales obtenidos a partir del conjunto de estructuras, para posteriormente detallar los diagnósticos individuales, las observaciones constructivas y las recomendaciones específicas de reparación. Cada análisis incluye consideraciones estructurales, hidráulicas y sanitarias, con el objetivo de ofrecer una visión integral del comportamiento de las obras y de su relación con la red existente.

De esta manera, el presente informe no solo constituye un registro técnico del estado actual de las estructuras de separación, sino también una herramienta estratégica para la toma de decisiones en materia de planeación y gestión de infraestructura sanitaria. Su contenido permitirá priorizar intervenciones, definir presupuestos y orientar futuras etapas de diagnóstico detallado, rehabilitación y monitoreo.

Finalmente, este documento se enmarca en el compromiso institucional de fortalecer la infraestructura pública mediante procesos de evaluación técnica rigurosa, garantizando la seguridad, la funcionalidad y la sostenibilidad de las obras de saneamiento que contribuyen directamente a la calidad de vida de la población de Piedecuesta y a la preservación de los recursos hídricos del municipio.

MARCO NORMATIVO

- **Resolución 471 de 2020 – IGAC**

Establece el modelo de datos y los estándares técnicos para la generación, actualización, almacenamiento, difusión de la información geográfica oficial en Colombia.

- **Norma Técnica Colombiana NTC 4113 (ICONTEC)**

Especificaciones para levantamientos topográficos con estación total y GPS.

- **Decreto 2150 de 1995 y Decreto 1077 de 2015**

Reglamenta la presentación de planos georreferenciados y el uso de coordenadas en sistema oficiales (MAGNA-SIRGAS).

- **Ley 99 de 1993**

Crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y asigna funciones a la autoridad ambientales para la protección de recursos hídricos.

- **Decreto 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario de Sector Ambiente):**

Compila normas ambientales y regula la intervención sobre cauces, zonas de ronda y rondas hídricas.

- **Resolución 509 de 2013 MinAmbiente:**

Establece los criterios para la delimitación de rondas hídricas y zonas de manejo ambiental en cuerpos de agua.

- **Ley 373 de 1997**

Promueve la gestión eficiente del recurso hídrico y respalda la elaboración de estudios técnicos sobre cuerpos de agua.

- **Resolución 0330 de 2017 (RAS):**

Es la normativa principal y unifica los criterios técnicos para el diseño de las redes de acueducto y alcantarillado, abarcando desde la planificación hasta las construcciones. Define aspectos como diámetros mínimos, tuberías, pendiente, bombeos y manejo de aguas residuales y pluviales.

- **Ley 142 de 1994:**

Establece el marco general para la prestación de los servicios públicos domiciliarios en Colombia, incluyendo el alcantarillado, definiendo la estructura regulatoria y los derechos de los usuarios.

- **Resolución 0631 de 2015:**

Regula el tratamiento de vertimientos de aguas residuales, estableciendo los parámetros de calidad que deben cumplir antes de ser vertidas, tanto para aguas residuales domesticas como industriales.

- **Decreto 1745 de 2021:**

Este decreto adiciona normativa relacionada con la conexión de las redes de recolección de aguas residuales a las plantas de tratamiento (PATAR).

- **Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente – NSR-10** (Decreto 926 de 2010).

● **Normas ICONTEC para materiales de concreto y mampostería** (NTC 4026, NTC 550, NTC 3329).

● **Especificaciones Generales de Construcción – INVIAS (2013),** Secciones de obras hidráulicas y estructuras de drenaje.

1. INTRODUCCION

La Empresa Municipal de Servicios Públicos Domiciliarios de Piedecuesta E.S.P., como prestadora de los servicios públicos de alcantarillado, es responsable de asegurar el funcionamiento adecuado y la sostenibilidad de la infraestructura sanitaria del municipio. El sistema de alcantarillado combinado del municipio de Piedecuesta cuenta con estructuras de separación que se encargan de aliviar los colectores combinados durante eventos de precipitación y conducir únicamente el caudal sanitario hacia los colectores Suratoque y río de Oro que son los encargados de conducir las aguas residuales hasta la PTAR El Santuario.

Dentro del sistema de alcantarillado, las estructuras de separación tienen un papel fundamental, ya que permiten la conducción diferenciada de aguas lluvias y aguas residuales, evitando su mezcla y mitigando impactos sobre la red, cuerpos de agua receptores y fuentes de captación. Actualmente, se ha identificado que estas estructuras presentan diversas condiciones físicas e hidráulicas, producto de su antigüedad, falta de mantenimiento programado, intervenciones puntuales sin criterios unificados y crecimiento urbano no planificado. A la fecha, La Piedecuestana de Servicios Públicos E.S.P., a través del PSMV aprobado por la CDMB en su Resolución 1085 del 22 de agosto de 2022, cuenta con un inventario técnico de quince (15) estructuras de separación ubicadas en el casco urbano del municipio, las cuales presentan variaciones significativas en cuanto a dimensiones, configuración hidráulica, tipología constructiva y materiales de conducción.

Dicho inventario evidencia una heterogeneidad operativa que impide realizar una planeación integral de mantenimiento, optimización o rehabilitación, debido a que no se dispone de información actualizada sobre la capacidad hidráulica efectiva, el estado estructural real ni las condiciones de funcionamiento bajo diferentes escenarios climáticos. En correspondencia a lo anterior y para garantizar la continuidad del servicio, la sostenibilidad operativa de la infraestructura de separación y el cumplimiento de la normatividad técnica, sanitaria y ambiental vigente, se está desarrollando los estudios mediante la contratación del objeto: **“CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL, CAPACIDAD HIDRÁULICA, INTEGRIDAD ESTRUCTURAL Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS OBRAS DE OPTIMIZACIÓN Y LOS PROGRAMAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE SEPARACIÓN EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER”,** en donde su fase inicial consistió en la realización del diagnóstico integral del estado actual de las estructuras de separación existentes dentro del sistema de alcantarillado del municipio de Piedecuesta, con el fin de conocer el estado físico, hidráulico, estructural y operativo de cada una de ellas en su función de separación de caudales de aguas lluvias y aguas residuales.

Con base en los hallazgos del diagnóstico, la consultoría presenta en esta fase del proyecto la formulación y análisis de alternativas de solución a los problemas y objetivos identificados desde el punto de vista de sostenibilidad técnica, ambiental, normativo y económico; estableciendo la definición de variables y valores de ponderación en la selección de la alternativa más favorable mediante la evaluación de matrices de selección multicriterio bajo una metodología que implica mínima subjetividad de valoración y el menor costo de inversión, operación y mantenimiento de las estructuras de separación del sistema de alcantarillado del municipio de Piedecuesta.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Formular, justificar y comparar alternativas técnicas para la optimización de las estructuras evaluadas en el diagnóstico integral del estado actual de las estructuras de separación del sistema de alcantarillado del municipio de Piedecuesta; con el fin de mejorar su desempeño hidráulico, estructural y operativo en su función de separación de caudales de aguas lluvias y aguas residuales.

2.2 Objetivos Específicos

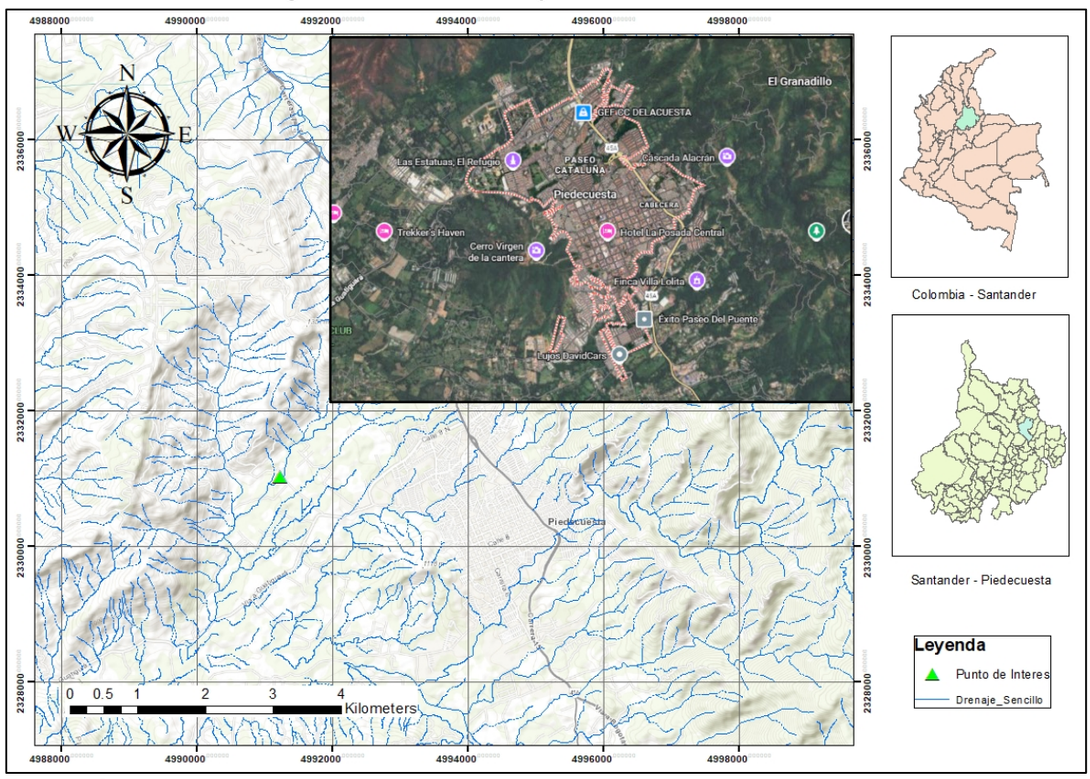
- Proponer alternativas de solución enmarcadas en el rediseño, rehabilitación, ampliación o sustitución parcial/total de las estructuras existentes.
- Definir criterios de sostenibilidad técnica, ambiental, normativa y económica para la formulación de alternativas.
- Evaluar tecnologías aplicables en separación de caudales, manejo de aguas mixtas y control de descargas.
- Formular desde el punto de vista técnico, a nivel de prediseños hidráulicos, estructurales y sanitarios cada alternativa propuesta, con memorias de cálculo preliminares.
- Realizar modelación hidráulica comparativa de escenarios propuestos y análisis costo beneficio de cada alternativa.
- Incorporar criterios de resiliencia climática, sostenibilidad, eficiencia energética y bajo mantenimiento para la comparación de alternativas.
- Evaluar la alternativa más favorable con base en criterios sostenibilidad técnica, ambiental y económica, mediante el empleo de matrices de selección multicriterio.
- Seleccionar la alternativa optima considerando eficiencia operativa, facilidad de mantenimiento, sostenibilidad y costo total de propiedad.
- Integrar las propuestas de solución con el sistema general de alcantarillado del municipio y su plan maestro de alcantarillado.

3. GENERALIDADES

3.1 Localización del Proyecto

El proyecto se desarrolla en el municipio de Piedecuesta, situado en la zona sur del área metropolitana de Bucaramanga, en el departamento de Santander, región nororiental de Colombia. El municipio presenta una topografía variada que combina zonas planas en el valle del río de Oro con áreas onduladas y pendientes marcadas hacia el piedemonte, lo cual influye directamente en el comportamiento del sistema de drenaje urbano y en la configuración de su red de alcantarillado. En este contexto territorial, las estructuras de separación en un sistema de alcantarillado combinado cumplen un papel fundamental en la gestión de caudales sanitarios y pluviales, especialmente durante eventos de lluvia que generan incrementos significativos en los aportes superficiales. A continuación, se presenta una salida grafica con el fin de tener una georreferenciación del proyecto y de esta forma una idea más clara del presente estudio.

Figura 2. Localización general de Piedecuesta.



Fuente: Consultor

Las estructuras objeto de evaluación se encuentran distribuidas en distintos sectores del perímetro urbano del municipio, insertas dentro de la red sanitaria-pluvial administrada por la entidad operadora del servicio. Cada una de estas obras corresponde a puntos estratégicos donde convergen colectores, tuberías de alto caudal o derivaciones hacia canales o box culverts, razón por la cual su estado estructural y su correcto funcionamiento inciden directamente en la capacidad operativa de la red combinada. Las ubicaciones específicas de los puntos inspeccionados responden a la nomenclatura técnica empleada por el sistema, la cual integra tramos, códigos, pozos asociados y conexiones entre colectores.

4. SISTEMA DE ALCANTARILLADO EXISTENTE

4.1 Descripción

El municipio de Piedecuesta posee una infraestructura de alcantarillado compuesta aproximadamente por 137.273,07 metros lineales de tubería. Conformado por una extensión aproximada de 19.293,17 metros lineales (14,05 %) de alcantarillado combinado, principalmente sobre el casco antiguo del municipio; una extensión aproximada de 31.877,10 metros lineales (23,22%) de alcantarillado pluvial y 86.102,80 metros lineales de alcantarillado sanitario (62,72%).

Tabla 1. Tuberías de Alcantarillado Combinado

ALCANTARILLADO	LONGITUD (m)
Combinado	19.293,17
Sanitario	86.102,80
Pluvial	31.877,10
Total	**137.273,07**

Fuente: PSMV 2019

- *Alcantarillado Combinado*

El sistema de alcantarillado de la ciudad está conformado por un alcantarillado combinado, cuya localización se centra principalmente sobre el casco antiguo, que atiende aproximadamente 150 hectáreas y el resto por alcantarillado separado, sanitario y pluvial, que corresponde principalmente a las urbanizaciones recientes, establecidas con posterioridad al año 1990.

- *Estructuras de Separación*

El sistema de alcantarillado combinado del municipio de Piedecuesta cuenta con 15 estructuras de separación que se encargan de aliviar los colectores combinados durante eventos de precipitación y conducir únicamente el caudal sanitario hacia los Colectores Soratoque y río de Oro que son los encargados de conducir las aguas residuales hasta la PTAR El Santuario.

En la siguiente Tabla se presenta el listado de estructuras de separación y alivio identificadas en campo y en la Figura su distribución espacial dentro del casco urbano del municipio.

Tabla 2. Listado Estructuras de Separación y Alivio de Caudales

ESTRUCTURAS DE SEPARACIÓN		
No.	**UBICACION**	**DESCRIPCION**
1 - EstS	Calle 10 Cras 17	Estructura de separación PA(10-17)2, Barrio Cabecera del Llano, dimensiones: 1.27mx2.12mx1.64m, Combinado Ø320mm, sanitario Ø320mm, pluvial Ø350mm
2 - EstS	Autopista	Estructura de separación PA(6-5A-K15) Barrio Cabecera de Llano, Quebrada Villanueva, dimensiones: 1.20mx7.80mx3.79m. Combinado Ø500mm, sanitario Ø300, pluvial Ø500mm
3 - EstS	Autopista	Estructura de Separación PA(5A-6-K15), Normal de Piedecuesta, dimensiones: 1.20mx10.25mx6.09m. Combinado Ø700mm, sanitario Ø250, pluvial Ø400mm
4 - EstS	Calle 8 - Cra 12	Pozo de alivio PA(8-12) tuberia alcantarillado combinado Ø650mm, con cañuelas elevadas conectando a Ø500mm, sale combinado Ø500mm
5 - EstS	Cra 12 - Calle 5	Estructura de Separación PA(5-4-K12) Carrera 12, dimensiones 3.50mx119mx2.40m combinado Ø450mm, pluvial a estructura de entrega Ø400mm.
6 - EstS	Calle 5 -Cra 11	Barrio San Antonio, Pozo de alivio PA(5-11), llega combinado Ø24", sale Ø12'.
7 - EstS	San Antonio	Calle 4, Estructura Separación PA(4-K11-10)b, llega combinado Ø27", pluvial a canal Ø24", sanitario Ø12"
8 - EstS	Cra 10 - Calle 4	Estructura de separación PA(4-3B-K10), dimensiones: 8.20mx1.20x2.71m llega Ø24", sale Ø500mm pluvial a Canalización Quebrada Villanueva, Ø250mm sanitario.
9 - EstS	Cra 10 - Calle 4	Estructura de separación PA(4-3B-K10)b, dimensiones : 3.95mx1.20x2.81m llega Ø24", sale Ø400mm pluvial a Canalización Quebrada Villanueva, Ø200mm sanitario.
10 - EstS	Cra 10 - Calle 2A	Pozo de alivio PA(2A-10), llega Ø combinado Ø10" con conexiones erradas, Ø12" combinado sale Ø12", el pozo cuando llueve expulsa la tapa.
11 - EstS	Carrera 9	Estructura de separación PA(4-3B-K9)c, con dos tapas, dimensiones :11.66mx 2.27m x 2.74m, pluvial Ø , a Entrega Quebrada Villanueva
12 - EstS	Carrera 7	Estructura de separación PA(3A-3-K7), dimensiones 13.35mx1.20mx2.57m, llega tubo combinado Ø32", sale tubo lluvias Ø36" hacia Quebrada Soratoque, sanitario Ø400mm
13 - EstS	Calle 2 - Cra 5	Estructura de Separación PA(2-K5-4), dimensiones 2.70mx3.64mx3.64m llega tubo combinado Ø27", sale lluvias Ø600mm, sanitario 12"
14 - EstS	Canal Guaduales	Estructura de separación PA(5A-5-K3)b, dimensiones 4.90mx1.20mx3.77m llega tubería combinada Ø 24"Cr, sale lluvias Ø 24" hacia canalización Quebrada Guaduales, sanitario Ø12"
15 - EstS	Canal Qda. Guaduales	Estructura de Separación PA(5A-5-K3)f, dimensiones 9.20mx2.00mx2.24m Llega tubería combinado Ø1.20m Cr, sale lluvias Ø1.20m, a canal Q. Guaduales, sanitario Ø 315mm

Fuente: PSMV 2019

Figura 3. Localización Estructuras de Separación



Fuente: PSMV 2019

- *Alcantarillado Sanitario*

Antiguamente, el sistema de alcantarillado de Piedecuesta estaba formado por dos grandes vertientes, a saber: la del río de Oro que descarga las aguas recolectadas en el interceptor de su mismo nombre situado en la margen derecha del río, el sistema existente más el proyectado tiene un área aferente de 86,70 Ha que corresponden al 17,7% del área total, de las cuales 47,23 Ha corresponden a áreas de futuro desarrollo y la vertiente de la quebrada Soratoque que descarga al interceptor Soratoque. Este último recibe además las descargas de los interceptores denominados: Villanueva I, Villanueva II, Argentina, Diamante, Palmira, el Refugio y Mata de Guadua; el área aferente total es de 403.60 Ha, de las cuales 149.07 Ha no han sido desarrolladas.

Actualmente el agua residual llega a la PTAR Santuario por el emisario al cual confluyen los Colectores Soratoque y río de Oro en tubería de cemento de 36” de diámetro. El colector Noroccidental se encuentra en el barrio El Refugio y cuenta con una longitud de transporte de poco más de 2.750 m; El colector Suroccidental está ubicado en el barrio Los Cisnes y posee una longitud alrededor de los 2.422 metros, para conseguir de esta manera un empalme que conlleva a un tramo de aproximadamente 465 metros que conducen a la PTAR; luego de pasar por el STAR son entregadas en un punto único de disposición final en la quebrada Soratoque a 80 metros antes a la desembocadura al rio de Oro.

- *Alcantarillado Pluvial*

El sistema de alcantarillado pluvial actual esta soportado por las corrientes naturales o quebradas que atraviesan el casco urbano del municipio de Piedecuesta, a las cuales son descargadas las aguas pluviales provenientes de los diferentes sectores del municipio.

En los últimos años se han realizado importantes avances en la resolución del problema de aguas lluvias que origina la topografía general del casco urbano del municipio de Piedecuesta, principalmente en el casco antiguo, donde el alcantarillado es combinado y se presentan inundaciones en algunos sectores debido a que las redes no tienen la capacidad para transportar el caudal que se presenta durante eventos de altas precipitaciones, se ha hecho la reposición de las redes por unas de mejor capacidad y se realizan entregas a las quebradas, previo paso por estructuras de separación de caudales con el fin de que en dichas entregas no se genere vertimientos de aguas residuales.

- *Descargas sobre Cuerpos de Agua - Alcantarillado Pluvial*

Actualmente las aguas residuales domésticas del casco urbano del municipio de Piedecuesta son conducidas en su totalidad al PTAR El Santuario, mientras que las aguas lluvias son vertidas sobre las corrientes naturales que circundan el municipio.

En el PSMV 2019, se realizó la identificación y localización mediante levantamiento topográfico de cada uno de los vertimientos encontrando un total de 153 distribuidos en los diferentes cauces tal como se presenta en la siguiente Tabla:

Tabla 3. Cantidad de Vertimientos por Corriente

CORRIENTE	CANTIDAD VERTIMIENTOS
Quebrada Guatiguará	4
Quebrada La Palmira	29
Quebrada Granadillo	10
Quebrada Diamante	6
Quebrada Villa Concha	12
Quebrada Villanueva	19
Quebrada Soratoque	23
Quebrada Mata de Guadua	5
Quebrada Barro Blanco	4
Caño El Rubí	2
Quebrada El Molino	2
Quebrada Verdúm	8
RIO DE ORO	29
TOTAL	**153**

Fuente: PSMV 2019

4.2 Área de Prestación de Servicios

La EMPRESA MUNICIPAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE PIEDECUESTA E.S.P. presta sus servicios en la totalidad del casco urbano del municipio de Piedecuesta, con un área de cobertura actual de 294 Hectáreas, pero con colectores principales instalados para atender un total 490,3 Hectáreas, de las cuales 196,3 Ha corresponden a zonas no desarrolladas.

El sistema de alcantarillado de Piedecuesta está formado por dos (2) grandes sectores de acuerdo con el drenaje natural, y entrega sus aguas servidas a los emisarios Soratoque y Barro Blanco (Rio de Oro) que las conducen hasta la PTAR El Santuario.

4.3 Cobertura

La zona urbana del municipio cuenta con una cobertura del 100% en la conducción de aguas residuales y pluviales y los colectores principales del alcantarillado sanitario tienen la capacidad para atender las zonas de expansión en el futuro cercano.

5. HALLAZGOS DEL DIAGNÓSTICO INTEGRAL DE LAS ESTRUCTURAS DE SEPARACIÓN

El presente numeral abarca un resumen general de los hallazgos encontrados en la etapa de diagnóstico del estado físico, hidráulico, estructural y operativo de las estructuras de separación analizadas; sirviendo como punto de partida para la formulación de las alternativas de solución a los problemas detectados en cada una de ellas.

5.1 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 1: PA (10-K17)2

- Se evidencia que los diámetros de entrada y salida de la EDS mantienen relaciones altas, mayores a dos diámetros comerciales, lo que implica el control de caudales; estos detalles conceptuales se complementarán en la fase de diseño.

- Se recomienda retirar residuos y vegetación del ingreso y mantener despejada la salida para evitar remansos que generen esfuerzos adicionales sobre los muros.

- Es conveniente revisar la conexión adicional proveniente del pozo PA(10-17)1, dado que incrementa la carga hidráulica sobre la estructura.

- Se sugiere mantener inspecciones periódicas que permitan identificar oportunamente humedad, desgaste o fisuras incipientes que puedan afectar su durabilidad con el tiempo.

5.2 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 2: PA (6-5A-K15)

- Problemas de capacidad en las tuberías de salida.

- El caudal diluido de salida de la tubería sanitaria 43.95 L/s, es mayor 3.29 veces que el normativo de 5Qmd calculado 13.35 L/s, valor teórico ideal que debería seguir a la planta de tratamiento.

- Se recomienda realizar la reparación inmediata de la placa superior mediante la restitución del espesor perdido alrededor del ducto y el sellado de fisuras para recuperar la capacidad resistente y evitar la progresión del deterioro.

- El cilindro de ladrillo debe recibir un tratamiento de rehabilitación, consistente en limpieza, reposición de juntas debilitadas y aplicación de mortero para restablecer la continuidad y mejorar su resistencia frente a empujes laterales y humedad ascendente.

- Debe destaparse la corona del pozo para restablecer la ventilación natural y evitar acumulaciones de humedad interna que aceleran la degradación del ladrillo y del concreto.

- Se recomienda instalar o reemplazar los pasos de acceso para permitir inspecciones y mantenimiento seguros.

- Las filtraciones observadas en el vertedero deben sellarse con mortero

resistente al agua para evitar ingreso adicional de humedad.

- Se sugiere implementar mantenimiento periódico para monitorear el comportamiento de la placa, el estado de la mampostería y la presencia de procesos de humedad que puedan comprometer la durabilidad estructural a mediano plazo.

5.3 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 3: PA (5A-6-K15)

- Problemas de capacidad en las tuberías de salida.
- El Hw es insuficiente para el caudal máximo que puede llegar a la estructura por el sistema de alcantarillado.
- Se recomienda realizar mantenimiento preventivo periódico para asegurar el adecuado desempeño de la bandeja de separación y la canaleta, manteniéndolas libres de sedimentos o residuos que puedan reducir su eficiencia hidráulica.
- Es conveniente inspeccionar regularmente las bocas de entrada y salida, así como el canal abierto hacia la quebrada, para prevenir remansos que generen sobrepresiones internas.
- El control periódico de limpieza y revisión contribuirá a conservar la integridad estructural de la cámara y a evitar la aparición de patologías asociadas a humedad, desgaste o abrasión hidráulica.

5.4 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 4: PA (8-12)

- Este elemento funciona como un pozo de alivio, es decir no cumple con las especificaciones técnicas de una estructura de separación.
- Cuando se presentan precipitaciones máximas, el exceso de caudal se deriva hacia un subsistema combinado.
- En la EDS No 4 se requiere descargar 12 L/s lo que es posible ajustar con el control aguas abajo o, dicho de otra forma, en el ducto de salida.
- Se recomienda rehabilitar la corona del pozo para restablecer el acceso operativo y permitir inspecciones periódicas del elemento.
- Se debe evaluar la posibilidad de implementar señalización o un registro adecuado que garantice ventilación y mantenimiento seguro del sistema.
- Es conveniente realizar limpieza preventiva de las cañuelas y de los ductos de ingreso y salida con el fin de evitar obstrucciones que puedan generar sobrepresiones durante eventos de lluvia.
- Dado que el elemento no cumple función de estructura de separación, se sugiere evaluar técnicamente si es necesario adecuarlo o reemplazarlo conforme a las especificaciones, especialmente si la zona presenta descargas mixtas hacia sistemas no diseñados para recibir caudales máximos combinados.

- Debe verificarse que las conexiones hacia los pozos adyacentes (PA 8-13 y PA 7-12) se mantengan libres para asegurar el funcionamiento adecuado del sistema de alivio.

5.5 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 5: PA (5-4-K12)

- El caudal sanitario diluido a derivar es muy pequeño con respecto al caudal combinado que llega a la estructura, por lo que en las condiciones actuales al colector sanitario se le están anudando aportes pluviales diluidos extra.

- Se recomienda mantener un programa regular de mantenimiento preventivo que incluya limpieza de la canaleta, verificación de la altura del vertimiento y revisión de los ductos de ingreso y salida para evitar acumulación de sedimentos que pueda afectar el rendimiento hidráulico del sistema.

- Es conveniente inspeccionar periódicamente la cámara interna para asegurar que no se desarrollen fisuras, humedades o procesos de desgaste que puedan comprometer la durabilidad del concreto.

- Se debe conservar despejada la descarga hacia el pozo P(5-12) y hacia el sistema pluvial para evitar remansos o sobrepresiones durante eventos de lluvia.

- La estructura se encuentra en buen estado, por lo que las recomendaciones se orientan principalmente a conservación y mantenimiento.

5.6 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 6: PA (5-4-K11)c

- En la estructura ingresa una conexión domiciliaria que incluye una reducción de diámetro artesanal y que conecta directamente al vertedero.

- Se recomienda aplicar friso en todos los muros y superficies internas para proteger el concreto y mejorar su desempeño hidráulico.

- Debe corregirse la conexión domiciliaria ubicada por debajo del nivel del vertedero, ya que esta condición genera riesgo de rebose e inundación; la instalación debe ajustarse a una cota superior o conectarse de manera adecuada al sistema sanitario.

- El bypass construido como medida temporal debe eliminarse una vez se realice la conexión final correcta.

- Se recomienda revisar hidráulicamente el ancho del vertedero (0.325 m) y la altura libre hacia la placa superior (0.25 m) para garantizar que la estructura pueda evacuar el caudal combinado sin generar remansos.

- Se sugiere verificar la correcta combinación de los sistemas pluvial y sanitario en las cuadras previas, evitando conexiones indebidas que puedan comprometer la eficiencia del separador.

- Se requiere completar el pozo de entrega P(4-K11) con sus acabados y conexiones definitivas para asegurar una operación segura y continua del sistema.

5.7 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 7: PA (4-K11-10)b

- Visualmente el elemento no presenta grietas, fisuras, filtraciones e infiltraciones.
- El vertedero sugiere funcionamiento de forma correcta, no se observaron obstrucciones por basura.
- Se encuentran dos estructuras muy seguidas: la EDS #6 y #7, lo que se hace que la estructura No 7 se encuentre subutilizada y puede ser fuente de contaminación de la quebrada Villanueva.
- Aunque la estructura se encuentra en buen estado, se recomienda mantener un programa de mantenimiento preventivo para asegurar el funcionamiento continuo del vertedero.
- Realzar limpieza periódica de la canaleta, la rampa y los ductos de descarga para evitar acumulaciones que puedan generar remanso o sobrepresión durante eventos de lluvia.
- Es importante revisar regularmente las conexiones de 34” CR y 10” gres, así como la estructura pluvial de 0.30 × 0.20 m, verificando que permanezcan libres de sedimentos.
- Se sugiere inspeccionar los pozos asociados para confirmar que no se presenten obstrucciones ni deterioros que puedan afectar la operación hidráulica.
- Mantener despejada la zona de entrega hacia los pozos P(4-K11), P(4-11)R y P(4-K11-10)d garantizará el buen rendimiento del sistema combinado.

5.8 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 8: PA (4-3B-10)

- La estructura no tiene un caudal sanitario representativo ya que el caudal sanitario es desviado en el pozo de alcantarillado PC(CL4-KR10)2 hacia otro vertimiento. La estructura estaría recibiendo un aporte por caudal de aguas lluvias ya que en el pozo mencionado se está compartiendo un caudal por exceso de 462.89 L/s y en la estructura se está entregando un caudal de lluvias de 427.05 L/s a la red pluvial y un caudal de 35.86 L/s a la red sanitaria.
- Hidráulicamente esta estructura de separación no presenta problemas por capacidad en el tramo de entrada ni en los tramos de salida. Pero por las dimensiones y configuración del vertedero se está excediendo el caudal diluido que es 5 veces el caudal medio diario, asumiendo que llegaran los 1.25 L/s del caudal sanitario desviados en el pozo de alcantarillado PC(CL4-KR10)2.
- Dado el buen estado estructural y funcional de la estructura, se recomienda continuar con un programa rutinario de mantenimiento preventivo orientado a mantener libre de sedimentos la canaleta, las bocas de ingreso y las salidas sanitaria y pluvial.
- Es conveniente realizar inspecciones periódicas en los pozos P(3B-4-K10)a y P(VI-22) para garantizar que se mantienen libres de obstrucciones y con adecuada ventilación. También se recomienda verificar regularmente el

comportamiento del box culvert de la quebrada Villa Nueva, pues su capacidad de evacuación condiciona el rendimiento de la descarga pluvial del vertedero.

- Mantener la zona libre de basura y materiales arrastrados, especialmente en épocas de lluvia, contribuirá a conservar la eficiencia hidráulica y la integridad estructural del sistema.

5.9 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 9: PA (3B-4-K10)b

- Hidráulicamente la estructura de separación no presenta problemas por capacidad en el tramo de entrada ni en los tramos de salida. Pero por las dimensiones y configuración del vertedero se está excediendo el cual diluido que es 5 veces el caudal medio diario.

- El caudal diluido teórico es de 3.50L/s y se está entregando a la red sanitaria 9.33 L/s, debido a que las paredes de la cañuela del vertedero tienen aproximada el mismo nivel que el del 50% de la capacidad del tramo de salida hacia a la red sanitaria.

- Dado el buen estado de la estructura, se recomienda mantener un programa de mantenimiento preventivo enfocado en la limpieza de la rampa, la canaleta y los ductos de ingreso y salida, con el fin de evitar acumulaciones de material que puedan generar obstrucciones o remanso durante eventos de lluvia.

- Es conveniente realizar inspecciones periódicas en las estructuras PA(4-K10) y P(VI-22) para asegurar que continúen operando adecuadamente y que no presenten deterioros que afecten el funcionamiento del sistema combinado.

- También se recomienda verificar de manera regular la descarga hacia el box culvert de la quebrada Villa Nueva, garantizando que la vía de evacuación pluvial permanezca libre de impedimentos. El mantenimiento rutinario permitirá conservar la integridad estructural y el desempeño hidráulico del vertedero.

5.10 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 10: PA (2A-10)

- La estructura solo recibe un sumidero lateral SL-200, haciendo entrega a un pozo de inspección que a su vez vierte al Sistema Quebrada Villa Concha.

- En la estructura de separación Nº10 A(KR10-CL2) que se indica en el PSMV, se encontró un pozo de alcantarillado no convencional con modificaciones internas artesanales, donde son interceptadas las redes de aguas lluvias y las redes de aguas residuales en la estructura mencionada. Ya que no es una estructura de separación lateral no cumple la relación de caudal diluido.

- En el modelo hidráulico se pudo apreciar que, en el tramo de salida, como también en el tramo de entrada de la red sanitaria al A(KR10-CL2), con el caudal máximo horario de 1.45 L/s no presenta problema por capacidad, pero en el momento que la red de aguas lluvias entra en funcionamiento, los tramos sanitarios que conecta con el pozo de alcantarillado entran a trabajar a máxima capacidad, además de ahogar la tubería sanitaria que llega al pozo. El excedente de aguas lluvias sale por rebose a la red pluvial aguas abajo del pozo A(KR10-CL2).

- Se recomienda redefinir formalmente esta estructura como pozo pluvial, ya que no cumple los requisitos técnicos para funcionar como separador sanitario-pluvial. Debe verificarse y corregirse la configuración interna del muro de 0.30 m, evaluando si genera remansos o afectaciones en el ingreso del sumidero SL-200.

- Se debe revisar la corona del pozo para garantizar una ventilación adecuada, evitando el taponamiento total que pueda generar acumulación de humedad o gases. Es conveniente evaluar hidráulicamente la conexión hacia el pozo de descarga y hacia la quebrada Villa Concha, asegurando que las pendientes y diámetros permitan evacuar el caudal sin riesgo de obstrucciones o retornos.

- Se recomienda implementar mantenimiento preventivo del sumidero y del ducto de salida, así como realizar inspecciones periódicas para detectar deterioro, saturación o ingreso excesivo de sedimentos.

5.11 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 11: PA (4-3B-K9)c

- Estructura de separación que cuenta con dos (2) accesos para su inspección en tapa núcleo; internamente al muro del vertedero se le realizó realce con ladrillos de cemento y cuenta con rampa escalonada.

- Hidráulicamente la estructura de separación no presenta problemas por capacidad en el tramo de entrada de la red combinada, ni en el tramo de salida pluvial; en el modelo hidráulico se pudo observar una capacidad aproximada del 60% para estos tramos.

- El problema identificado se presenta en la salida del tramo sanitario, debido a las dimensiones y configuración del vertedero se está excediendo en el caudal diluido de 23.8 L/s, que corresponde a 5 veces el caudal medio diario, además de hacer trabajar a presión la tubería ya que el caudal que pasa es de 59.45 L/s y esto supera la capacidad de la tubería a sanitaria.

- Se recomienda eliminar o proteger los pines sobresalientes del realce, ya que favorecen la retención de residuos y afectan la eficiencia del sistema.

- Se sugiere realizar mantenimiento preventivo periódico de la rampa de disipación, verificando que los escalones conserven su integridad y estén libres de sedimentación o basura.

- También se recomienda revisar y limpiar los pozos asociados P(4-3-K9)b y P(VI-26) para asegurar que las conexiones de 10” y 43” PVC operen sin restricciones. Mantener la salida hacia la quebrada Villa Nueva libre de obstrucciones garantizará una adecuada evacuación del caudal pluvial.

5.12 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 12: PA (3A-3-K7)

- Se presentan problemas de capacidad en la estructura para conducir los aportes pluviales calculados para el área aferente.

- Se recomienda intervenir los pines expuestos del realce mediante corte o recubrimiento para eliminar puntos de retención de humedad y evitar la aparición de corrosión o deterioro superficial del concreto. Es necesario mantener los pasos y tuberías libres de residuos para prevenir la elevación

del nivel interno y evitar incrementos en los empujes hidráulicos que puedan afectar los muros durante eventos de caudal elevado.

- La tuberia de derivación pluvial de 32 pulgadas de diámetro opera parcialmente ahogada y la tapa charnela en la salida de 36 pulgada incrementa parcialmente los empujes hidráulicos sobre los muros, elevando las solicitaciones internas más allá de las previstas en operación normal.

- Se sugiere evaluar técnicamente la pertinencia de la tapa charnela en la salida de 36”, dado que su resistencia al flujo contribuye a aumentar las presiones internas y acelerar los ciclos de saturación; de ser necesario, deberá reemplazarse por un elemento menos restrictivo.

- La rampa y el fondo del vertedero deben mantenerse libres de sedimentos para reducir procesos de abrasión, y se recomienda programar inspecciones periódicas orientadas a detectar microfisuras, pérdida de recubrimiento o manchas de humedad persistente que indiquen la evolución de patologías estructurales.

5.13 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 13: P (2-K5-4)

- El caudal pluvial aliviado por el sistema es del orden de 1200 L/s y el caudal diluido a continuar por el sistema sanitario debe ser de 35 L/s). Actualmente, el ducto de salida sanitaria deja pasar la capacidad máxima del ducto aguas abajo, que es del orden de 98 L/s, por lo que se requiere limitarlo a la magnitud de 35 L/s.

- A pesar de que el caudal a verter por el sistema pluvial es un volumen alto, este último dispone de una capacidad adecuada para trasporte y evacuación.

- La estructura fue intervenida artesanalmente para la instalación de un tubo de 10 pulgadas en material PVC, no existe acople entre la tubería expuesta y el concreto, dejando bordes sin confinamiento, sin sello perimetral y sin continuidad estructural.

- Desde el punto de vista estructural se recomienda reconstruir el área afectada por la instalación de la tuberia de 10’’ PVC, realizando un embone técnico adecuado o un sellado estructural con mortero de reparación de alta adherencia que restituya la continuidad del muro y evite filtraciones.

- Es indispensable eliminar las aristas fracturadas y restituir el recubrimiento perdido en el muro afectado para prevenir la progresión de microfisuras y asegurar que dicho muro resista adecuadamente las presiones internas del sistema.

- Se recomienda sellar perimetralmente el ducto con materiales hidráulicos no retráctiles para evitar fugas y la entrada de humedad al concreto. Se sugiere establecer inspecciones periódicas para monitorear la evolución del muro intervenido, detectar cambios en coloración, humedad o desprendimientos, e intervenir oportunamente para preservar la estabilidad de la estructura.

5.14 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 14: PA (5A-5-K3)b

- La estructura presenta filtración en el muro lateral del vertedero y se observa humedad en la parte inferior que colinda con la derivación de caudal pluvial.
- El hombro del verdadero de la estructura presenta un deterioro considerable por la acción abrasiva.
- No se observaron obstrucciones en la Estructura de Separación, lo que indica que cumplen con el objetivo de poder aliviar excesos en los momentos de lluvias.
- Las herramientas de modelación permitieron corroborar los supuestos teóricos de las capacidades de las tuberías de entrada, como de salida y de la capacidad de los vertederos.
- Se evidencia que los diámetros de entrada y salida de la Estructura de Separación mantienen relaciones altas, mayores a dos diámetros comerciales, lo que implica el control de caudales.
- Operativamente, en la Estructura de Separación se requiere descargar 211 L/s lo que es posible ajustar con el control aguas abajo o, dicho de otra forma, en el ducto de salida y con la altura de vertedero.
- Desde el punto de vista estructural se recomienda intervenir las zonas con filtración mediante la aplicación de un sellado hidráulico y, de ser necesario, la rehabilitación de la superficie interna del muro con morteros de reparación de alta adherencia, con el fin de restituir la impermeabilidad y evitar la progresión de deterioro.
- El área del hombro afectado por abrasión debe ser restituida y protegida con un recubrimiento resistente a caudales con arrastre de sólidos, para disminuir el desgaste por erosión hidráulica.
- Es conveniente realizar inspecciones periódicas para vigilar la evolución del nivel de humedad y detectar oportunamente microfisuras o pérdidas adicionales de material.
- Se recomienda mantener las tuberías de descarga y los pozos asociados libres de sedimentos y residuos, de forma que no se generen remansos que incrementen los empujes hidráulicos sobre el muro deteriorado. Estas acciones permitirán preservar la estabilidad y prolongar la vida útil del vertedero.

5.15 HALLAZGOS ESTRUCTURA # 15: PA (5A-5-K3)f

- La estructura presenta filtración en el muro lateral del vertedero y se observa humedad en la parte inferior que colinda con la derivación de caudal pluvial.
- No se observaron obstrucciones en la Estructura de Separación, lo que indica que cumplen con el objetivo de poder evacuar excesos en los momentos de lluvias.
- Las herramientas de modelación permitieron corroborar los supuestos teóricos de las capacidades de las tuberías de entrada, como de salida y de

la capacidad de los vertederos.

- Se evidencia que los diámetros de entrada y salida de la Estructura de Separación mantienen relaciones altas, mayores a dos diámetros comerciales, lo que implica el control de caudales.

- En la Estructura de Separación #15 se requiere descargar el déficit de 211 L/s de la Estructura de Separación #14, lo que es posible al ajustar el control aguas abajo o, dicho de otra forma, en el ducto de salida y con la altura de vertedero.

- Se recomienda intervenir los puntos de filtración mediante sellado hidráulico y, si es necesario, la aplicación de morteros de reparación que restituyan la impermeabilidad y protejan la superficie del muro frente a procesos de deterioro futuro.

- La zona del vertedero y la rampa debe ser rehabilitada con recubrimientos o morteros resistentes a abrasión para evitar pérdida progresiva de material por erosión hidráulica.

- Se debe implementar un plan de inspecciones periódicas para monitorear la evolución de la humedad y detectar oportunamente microfisuras o desprendimientos.

- Es fundamental asegurar que la descarga hacia el box culvert permanezca libre de obstrucciones, de modo que no se generen remansos o incrementos del nivel interno que amplifiquen los esfuerzos hidráulicos sobre los muros.

6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE LAS ESTRUCTURAS DE SEPARACION

Para la selección de la solución más adecuada en la optimización y adecuación de las estructuras de separación existentes, se han considerado distintas alternativas técnicas basadas en los hallazgos del diagnóstico integral realizado en cada una de ellas, con el fin de mejorar su desempeño hidráulico, estructural y operativo. Este análisis fue aplicado a las Estructuras de Separación que dada sus condiciones de operación y desempeño hidráulico ameritan de una intervención inmediata para el funcionamiento integral del sistema de alcantarillado de la cabecera municipal; mientras que para el resto de las estructuras se establecieron recomendaciones para su optimización y adecuación a largo plazo.

A continuación, se presentan y analizan las principales opciones constructivas consideradas para el análisis de alternativas:

- **Rediseño de la Estructura de Separación:**
  Esta alternativa se refiere a la modificación o reconfiguración de los componentes de la infraestructura de servicio existente para mejorar su funcionamiento, eficiencia y capacidad para separar y manejar las aguas residuales, pluviales y/o combinadas; esto puede incluir reconfigurar la red de tuberías aguas arriba y/o aguas debajo de la estructura, cambiar la ubicación o el tamaño de los elementos de conexión de la estructura e integrar tecnologías innovadoras para reducir costos de operación, mantenimiento y garantizar que el sistema de alcantarillado cumpla con las normatividad aplicable.

- **Rehabilitación de la Estructura de separación:**
  Consiste en la recuperación y/o restablecimiento inmediato de la infraestructura de servicio existente, cuyo estado no permite una operación adecuada del sistema de alcantarillado, a fin de mejorarla operativamente y reestablecerle las condiciones de capacidad, calidad y continuidad, para la cual fue concebida y construida. En dichas actividades no necesariamente su intervención considera el cambio total de la infraestructura.

- **Ampliación de la Estructura de Separación:**
  Comprende la expansión de la infraestructura de servicio existente, mejoramiento de las redes de alcantarillado actuales, integrar nuevas estructuras y añadir nuevos componentes al sistema para aumentar su capacidad y eficiencia para manejar mayores volúmenes de caudal de aguas residuales, pluviales y/o combinadas que posibiliten la vinculación de nuevas condiciones de demanda por variaciones en la dinámica del área de influencia del proyecto.

- **Sustitución Parcial de la Estructura de Separación:**
  Se refiere al reemplazo de componentes específicos de la infraestructura de servicio existente que estén deteriorados, obsoletos o no cumplen con las normas actuales, sin reemplazar el sistema completo. El objetivo es mejorar la funcionalidad y eficiencia del sistema, reducir los costos de mantenimiento y minimizar el impacto en la comunidad y el medio ambiente.

- **Sustitución Total de la Estructura de Separación:**
  Esta alternativa se refiere al reemplazo completo de la infraestructura de servicio existente, incluyendo todos sus componentes debido a que estén muy deteriorados o han llegado al final de su vida útil, o porque no cumplen con las normas y regulaciones actuales, o en razón a que requieren de una expansión significativa dentro del sistema de alcantarillado y/o se necesita implementar una tecnología más avanzada para optimizar el manejo de las

aguas residuales, pluviales y/o combinadas. La sustitución total implica la demolición y reemplazo de toda la estructura de separación, lo que puede ser un proyecto complejo y costoso, pero que puede ofrecer beneficios a largo plazo en términos de eficiencia, seguridad y protección del medio ambiente.

6.1 MÉTODOS APLICADOS PARA LA SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE

Para la selección de la alternativa más favorable para la optimización y adecuación de las estructuras de separación existentes en el municipio de Piedecuesta, se implementó el Método AHP (Analytic Hierarchy Process) o Proceso Analítico Jerárquico y Matrices multicriterio para el caso de un proyecto de infraestructura de servicio existente como es el sistema de alcantarillado municipal.

6.2 MÉTODO AHP (Analytic Hierarchy Process) O PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO.

Este método esta formulado para la resolución de problemas multicriterio, y se enmarca en los métodos de asignación de pesos, basados en el cálculo del autovector dominante, de una matriz de comparaciones binarias de los criterios, siendo en la actualidad el principal representante de los métodos eigenpesos o métodos de Saaty.

La propuesta del método AHP aparece de la mano del profesor Thomas L. Saaty, a inicios de los años ochenta. Saaty propone este método como una teoría general sobre juicios y valoraciones, basado en escalas de razón y redes, en las cuales cobra gran peso la jerarquización en las relaciones de objetos y propósitos. Este método busca obtener, a partir de un problema multidimensional, o multicriterio, un problema que cuente con una escala unidimensional, o escala de prioridades, que represente unas salidas globales al mismo.

6.2.1 Fases del método AHP.

El Método AHP (Analytic Hierarchy Process) o Proceso Analítico Jerárquico, comprende los siguientes pasos:

- **Modelización.** Comienza definiendo el objetivo del problema según el decisor. Una vez hecho esto, se debe seleccionar las diferentes alternativas, teniendo en cuenta que todas podrían ser seleccionadas como mejor opción, cumpliendo todas los mismos condicionantes, dentro del mismo contexto y respetando las mismas características básicas. Una vez se tiene las alternativas y el objetivo final, se debe definir cuáles serán los criterios que representen al problema de la forma más compleja y global posible dentro del contexto en el cual se ha planteado el problema.

- **Establecimiento de valoraciones.** Tras finalizar la primera etapa, en la cual se conoce las alternativas y se definen los criterios, se pasa a ponderar cada uno de los criterios. El objetivo final de esta etapa busca medir la importancia que el decisor asigna a cada uno de los criterios y alternativas.

  En este proceso el decisor debe comparar de forma pareada cada uno de los elementos del mismo nivel (criterios o alternativas) con ayuda de preguntas del tipo:

¿Es la importancia del criterio A más importante que el criterio B?
¿Es la alternativa 1 igual o más importante, que la 2?

Para realizar estas comparaciones se emplea la escala definida por Saaty, que correlaciona la valoración cualitativa con un valor numérico como se muestra en la siguiente tabla. Esta escala representa las intensidades de los juicios.

Tabla 4. Escala de comparación de pares de Saaty

VALORACIÓN NUMÉRICA	VALORACIÓN CUALITATIVA	EXPLICACIÓN
1	Igual Importancia	El criterio o Alternativa A es igual de importante que el criterio o alternativa B
3	Moderadamente más importante un elemento que otro	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio o alternativa A sobre B
5	Fuertemente más importante un elemento que otro	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio o alternativa A sobre B
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que otro	El criterio o alternativa A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema de un elemento que otro	La importancia del criterio o alternativa A sobre B esta fuera de toda duda
2,4,6,8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	
Recíprocos	Si el atributo o la alternativa A es de importancia grande frente al criterio o alternativa B, las nociones serán las siguientes: Criterio o Alternativa A frente a criterio o alternativa B:5/1 Criterio o Alternativa B frente a criterio o alternativa A:1/5	

Fuente: Moreno 2002

- **Priorización y síntesis.** Tras construir la matriz de comparación pareada, se procede a calcular la prioridad, o fuerza otorgada por el decisor a cada elemento del problema. En este paso se crea la formación de los vectores propios de cada criterio y de la matriz de criterios.

- **Análisis de consistencia.** Para que el problema sea de utilidad para ayudar al decisor a escoger la mejor alternativa planteada, las matrices pareadas deben ser consistentes, lo cual se debe comprobar antes de realizar el cálculo de sus vectores propios.

  Si alguna matriz supera el límite del radio de consistencia establecido en la tabla deberemos revisar las ponderaciones realizadas por el decisor para reducir su ratio de consistencia hasta niveles admisibles.

6.2.2 Matrices multicriterio para el caso de un proyecto de optimización y adecuación de estructuras de separación existentes.

La Resolución 0661 de 2019, por la cual se establecen los requisitos del proceso de evaluación de proyectos, en las etapas de presentación, verificación, viabilidad, seguimiento y reformulación de los proyectos de agua y saneamiento básico, resuelve en el Artículo 3. Marco Normativo, en el numeral 3.1, que estos sistemas deberán ser planeados, diseñados, construidos y puestos en marcha conforme a los requisitos técnicos contenidos en esta resolución y en la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio o la norma que la modifique, adicione o sustituya, cuando ello aplique.

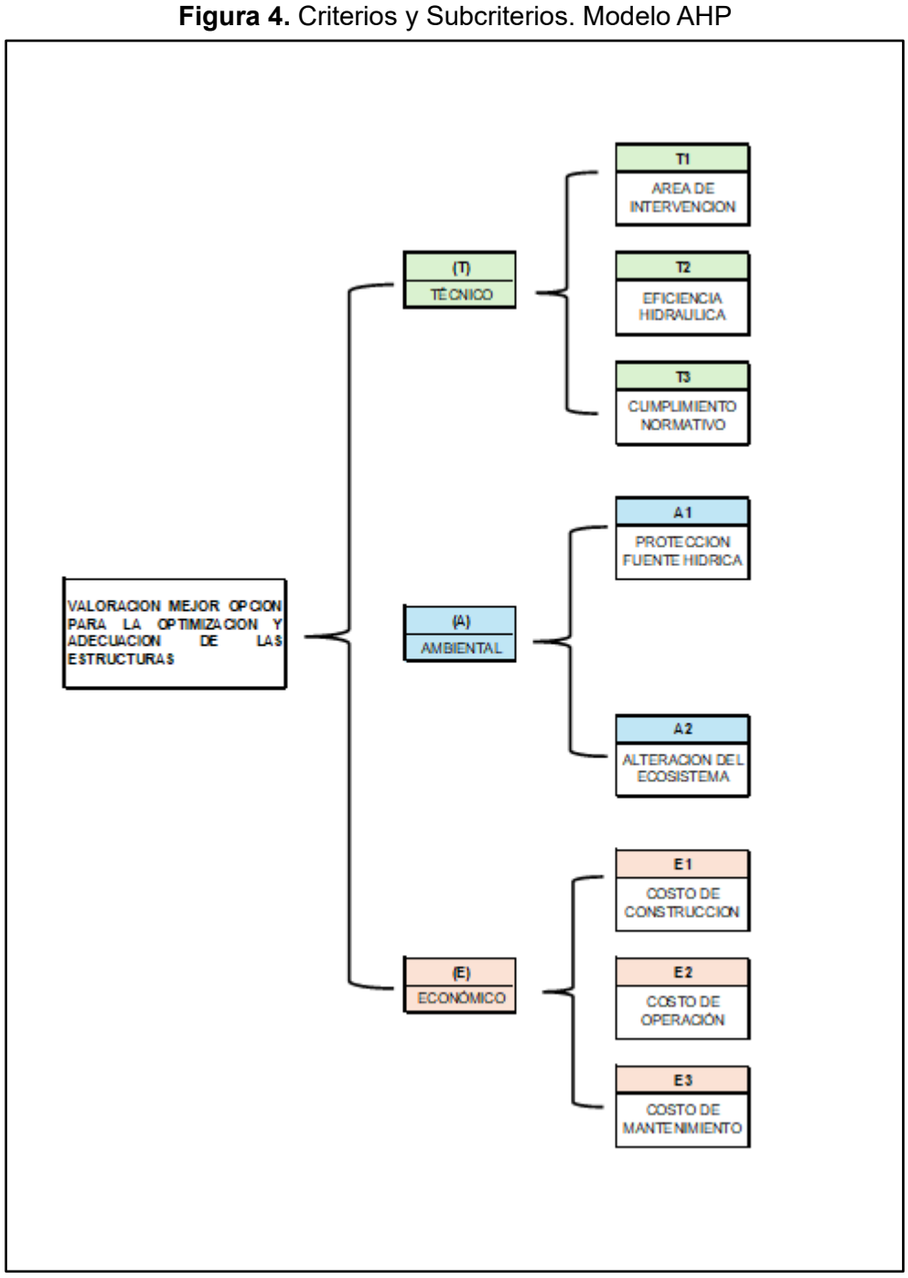
Teniendo en cuenta lo anterior, se implementaron matrices técnicas para proyectos de agua y saneamiento básico, cuyas variables y pesos se obtuvieron del trabajo técnico y socioeconómico realizado en la FASE I: Diagnostico Integral del Estado Actual de las Estructuras de Separación del Sistema de Alcantarillado, Municipio de Piedecuesta - Santander.

6.2.3 Selección de la alternativa más favorable

El proceso realizado en la selección de la alternativa más favorable para la optimización y adecuación de las estructuras de separación existentes en el municipio de Piedecuesta consistió en la aplicación del método AHP y de acuerdo con la siguiente metodología:

- Selección de criterios y subcriterios jerarquizados utilizados para valorar la alternativa y escoger la más favorable, se resumen en la siguiente figura:

Figura 4. Criterios y Subcriterios. Modelo AHP



Fuente: Consultor

- ✓ Criterio de Sostenibilidad Técnica. Hace referencia a las especificaciones técnicas para la construcción de la optimización y adecuación de las estructuras de separación; así como también, la disponibilidad de recursos, materiales, mano de obra, repuestos y demás elementos para el funcionamiento integral del sistema de alcantarillado.

- ✓ Criterio de Sostenibilidad Ambiental. Hace referencia a la afectación sobre el entorno y la implementación de medidas que permitan armonizar la ejecución del proyecto con el medio ambiente.

- ✓ Criterio Económico: Hace referencia a la disponibilidad de recursos y/o el análisis de viabilidad para la construcción, operación y el mantenimiento del proyecto, con el fin de garantizar la utilización de estos.

La valoración de importancia de los niveles para la evaluación jerárquica, se relacionan en la denominada Escala Fundamental que se describe en la siguiente Tabla.

Tabla 5. Escala Fundamental – Modelo AHP

MAS IMPORTANTE	
9	Absolutamente más importante
8	
7	Demostrablemente más importante
6	
5	Notablemente importante
4	
3	Ligeramente Importante
2	
1	Igual importancia
1/2	
1/3	Ligeramente menos importante
1/4	
1/5	Notablemente menos importante
1/6	
1/7	Demostrablemente menos importante
1/8	
1/9	Absolutamente menos importante
MENOS IMPORTANTE	

Fuente: Consultor

- Construcción de Matriz de Comparación Pareada, Matriz Normalizada y cálculo del vector propio. Una vez establecidos los criterios, se realizó una comparación pareada utilizando la Escala Fundamental (Tabla anterior), entre las alternativas propuestas y cada uno de los criterios. Esta valoración de tipo cualitativo fue realizada por el equipo técnico de consultoría. Posteriormente, se genera la Matriz Normalizada que permite pasar la valoración cualitativa a un valor numérico. Con esta información se calcula el vector propio, que indica el peso de cada una de las alternativas con relación a cada criterio.

  Durante el proceso de construcción de la matriz se debe comprobar que la matriz es consistente, es decir, que no existen contradicciones internas entre las comparaciones y valoraciones realizadas. La consistencia se obtuvo mediante el cálculo del Índice de Consistencia – CI (*Consistency Index),* con la siguiente ecuación:

$$CI = \frac{\lambda max - n}{n - 1}$$

Donde *λ* máx. es el máximo autovalor y *n* es la dimensión de la matriz de decisión. Se debe tener en cuenta que un índice de consistencia igual a cero significa que la consistencia es completa. Después de hallar CI, se calculó la proporción o razón de consistencia - CR (*Consistency Ratio*), que corresponde al cociente entre el Índice de Consistencia CI y el Índice Aleatorio RI, el cual varía con el tamaño de la matriz n, y toma los valores mostrados en la siguiente Tabla:

Tabla 6. Valores del índice Aleatorio - RI

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0,000	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484	1,513	1,535

Fuente: Yepez-Bellver, et al, 2022.

Según el criterio de Saaty (1997), son aceptables inconsistencias inferiores al 10% para matrices de rango n ≥ 5, del 8% para matrices de n=4 y del 5% para matrices donde n = 3. Si una matriz supera el CR máximo, se deben reconsiderar los juicios realizados o desechar la matriz. Algunos autores, en estudios más recientes, plantean que para matrices donde n > 5, consideran que pueden darse por buenos resultados, valores inferiores a 15%, (Bollju, N. 2001).

7. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA LA OPTIMIZACION DE LAS ESTRUCTURAS DE SEPARACION EXISTENTES.

Con base en la formulación de las alternativas de optimización y adecuación de las estructuras de separación objetivo del proyecto, se presenta a continuación el procesamiento de datos aplicados bajo el método AHP o proceso analítico jerárquico antes descrito para priorizar la alternativa más favorable a diseñar y/o implementar en cada caso particular; considerando criterios de eficiencia, cumplimiento, operación, mantenimiento, sostenibilidad e inversión para cada estructura de separación proyectada.

7.1 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 1: PA (10-K17)2

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(CL10-KR17).

La estructura se localiza en la Calle 10 con Carrera 17 del barrio Cabecera del Llano. Actualmente, recibe el aporte de un área de drenaje de 10.73 ha.

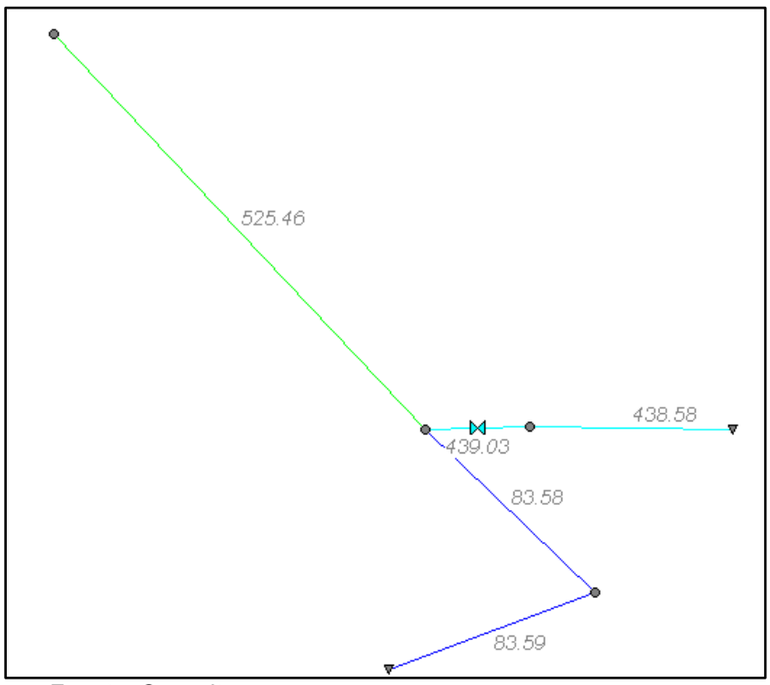
Teniendo en cuenta los inconvenientes que se están presentando en la estructura de separación Nº.1 PA(10-K17) se plantea las siguientes propuestas de soluciones:

❖ **ALTERNATIVA 1:** AMPLIACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN EXISTENTE

Se amplía el diámetro de entrada combinado de 450 mm a 500mm en una longitud de 12,0m. Una reducción del diámetro de salida sanitario, pasando de 350 mm a 250 mm, se mantiene la longitud del vertedero igual al existente, pero ahora con descarga doble: L=2.16m. Pozo inicial combinado se proyecta nuevo y el caudal sanitario es del orden de 80 L/s.

PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 170,608,341.00

Figura 5. Sistema propuesto contracción en salida sanitaria - modelo swmm EDS #1 - Alternativa 1



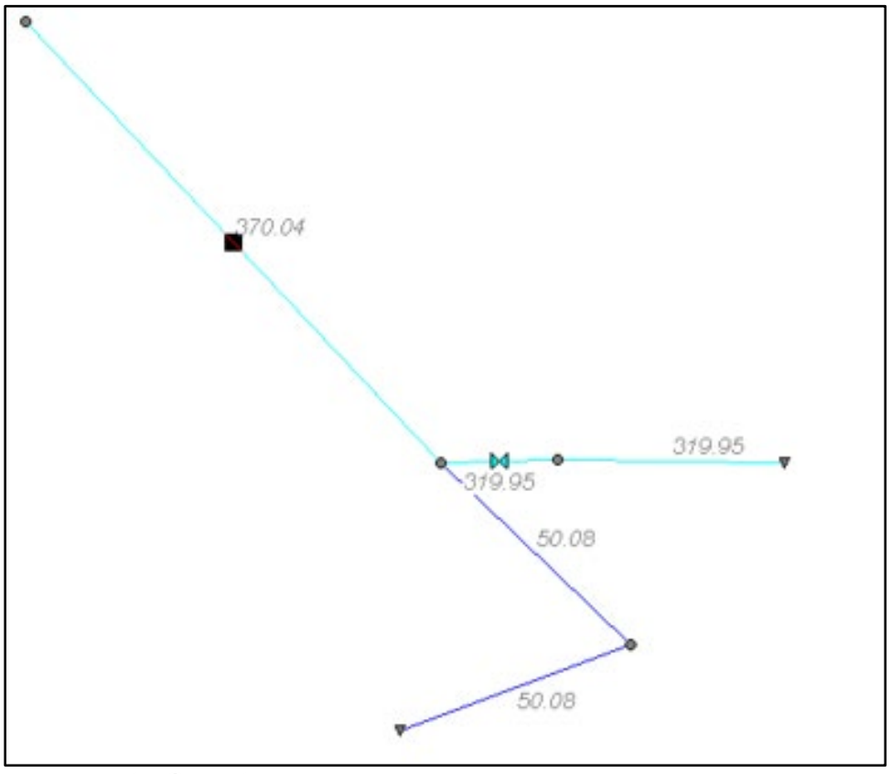
Fuente: Consultor

❖ **ALTERNATIVA 2:** REHABILITACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN

Mantener la Estructura de Separación actual, reduciendo aguas abajo el diámetro sanitario al pasar de 350 mm a 200 mm. Pozo de llegada combinado se proyecta nuevo y el caudal sanitario es del orden de 50 L/s.

PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 118,582,381.00

Figura 6. Sistema propuesto contracción en salida sanitaria - modelo swmm EDS #1 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

En las siguientes tablas se evidencian los cálculos para determinar la matriz pareada, la matriz normalizada, el Vector promedio y el análisis de consistencia para la estructura de separación N° 1. Es pertinente mencionar que el análisis de consistencia se realiza para matrices con “n” a partir de tres (3); dicho esto, para la selección de la alternativa más favorable en la optimización y adecuación de las estructuras de separación existentes, en el análisis de las alternativas vs los criterios no se realiza análisis de consistencia, puesto que la matriz es de n=2 en cada una de ellas.

Tabla 7. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #1

¿Cuál opción requiere menor area de intervención?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/5	0,17	0,17	**0,17**
ALTERNATIVA 2	5	1	0,83	0,83	**0,83**
SUMA	**6,00**	**1,20**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 8. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #1

¿Cuál opción tiene mejor eficiencia hidráulica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/3	0,25	0,25	**0,25**
ALTERNATIVA 2	3	1	0,75	0,75	**0,75**
SUMA	**4,00**	**1,33**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 9. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #1

¿Cuál opción involucra un mayor cumplimento en parámetros técnicos?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 10. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #1

¿Cuál opción tiene menor impacto sobre la fuente hídrica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/3	0,25	0,25	**0,25**
ALTERNATIVA 2	3	1	0,75	0,75	**0,75**
SUMA	**4,00**	**1,33**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 11. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #1

¿Cuál opción representa menor riesgo biológico?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/3	0,25	0,25	**0,25**
ALTERNATIVA 2	3	1	0,75	0,75	**0,75**
SUMA	**4,00**	**1,33**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 12. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #1

¿Cuál opción requiere mayor inversión en la construccion?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	5	0,83	0,83	**0,83**
ALTERNATIVA 2	1/5	1	0,17	0,17	**0,17**
SUMA	**1,20**	**6,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 13. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #1

¿Cuál opción tiene menor costo de operación?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/5	0,17	0,17	**0,17**
ALTERNATIVA 2	5	1	0,83	0,83	**0,83**
SUMA	**6,00**	**1,20**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 14. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #10

¿Cuál opción menor costo de mantenimiento?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/5	0,17	0,17	**0,17**
ALTERNATIVA 2	5	1	0,83	0,83	**0,83**
SUMA	**6,00**	**1,20**			**1,00**

Fuente: Consultor

- Construcción de la Matriz de comparación pareada entre criterios. Para cotejar los criterios y subcriterios se realizó una comparación pareada para determinar el peso de cada uno con relación a los demás. Esta valoración se llevó a cabo utilizando la escala fundamental. De igual forma se generó la matriz Normalizada de criterios y se efectuó el análisis del Índice de consistencia. Las siguientes Tablas muestran la matriz referida.

Tabla 15. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #1

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO	ANALISIS DE CONSISTENCIA	
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3		VECTOR FILA TOTAL	CONCLUSION
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO			
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	1	1/7	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	**0,02**	0,14434597	SI CR <15% MATRIZ ES CONSISTENTE
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	7	1	1	1/2	1/2	1	1	1	**0,10**	0,88109113	
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	9	1	1	1	1	5	5	5	**0,22**	1,995658727	
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	9	1	1/5	1/5	1/5	1	1/2	1/2	**0,06**	0,533877605	
	E2	COSTO DE OPERACION	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	SUMA		58,00	9,14	4,71	4,24	4,24	21,11	18,61	18,61	**1,00**	**λmax**	**9,03**
										INDICE DE CONSISTENCIA		CI	0,147
										INDICE ALEATORIO		RI	1,404
										RELACION DE CONSISTENCIA		CR	0,105

Fuente: Consultor

Tabla 16. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #1

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	**0,02**
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	0,12	0,11	0,21	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	**0,10**
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	0,16	0,11	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	**0,06**
	E2	COSTO DE OPERACION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	SUMA										**1,00**

Fuente: Consultor

Luego de agrupar los valores de las matrices entre opciones y la matriz entre criterios, se genera la matriz de desempeño que agrupa los valores ponderados, dando como resultado un valor para cada una de las alternativas indicando la de mejor valoración con los criterios propuestos, como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 17. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas - EDS #1

OPCIONES		CRITERIOS								
		TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			PRIORIZACION
		T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
		AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
ALTERNATIVA 1:	Ampliación de la Estructura de Separación Existente	0,17	0,25	0,50	0,25	0,25	0,83	0,17	0,17	0,33
ALTERNATIVA 2:	Rehabilitación de la Estructura de Separación Existente	0,83	0,75	0,50	0,75	0,75	0,17	0,83	0,83	0,67
PONDERACION		0,02	0,10	0,22	0,22	0,22	0,06	0,08	0,08	

Fuente: Consultor

- **DECISIÓN:** La alternativa que presenta un mejor desempeño de acuerdo con los criterios analizados en las matrices de decisión jerárquica, es la Opción 2 con un valor ponderado de 0,67; que corresponde a la Rehabilitación de la Estructura de Separación Existente.

7.2 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 2: PA (6-5A-K15)

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(CL3B-KR9).

7.3 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 3: PA (5A-6-K15)

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(CL6-KR15-Q.VILLANUEVA)2.

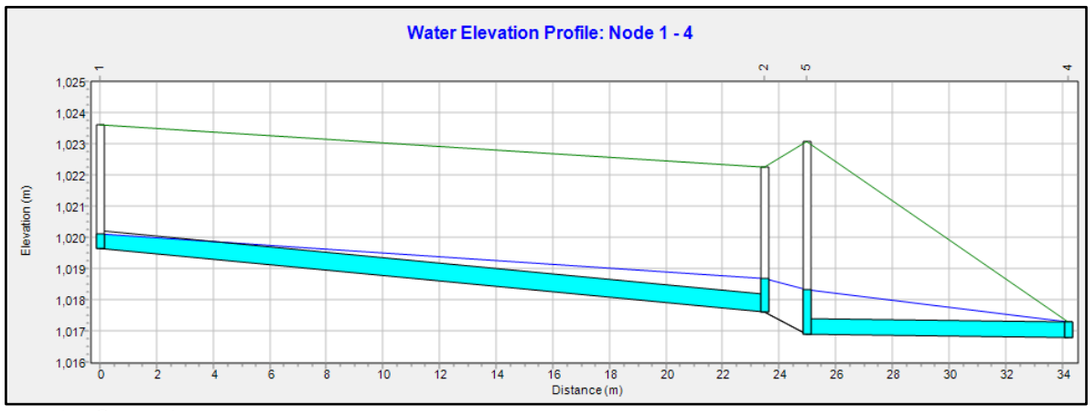
La estructura se localiza en la Calle 6 con carrera 15. Actualmente, recibe el aporte de un área de drenaje de 8.65 ha.

Tras el análisis de la infraestructura existente, se identificaron las siguientes deficiencias críticas:

Incumplimiento de la Relación de Dilución: La estructura de separación actual realiza una separación del 18% del caudal combinado a la red sanitaria diluida que corresponden a 364.77 L/s cuando la dilución exigida por la Resolución 330 debe ser de 5:1 lo que equivale a 20.3 l/s. Esta condición provoca que caudales adicionales lleguen al colector sanitario.

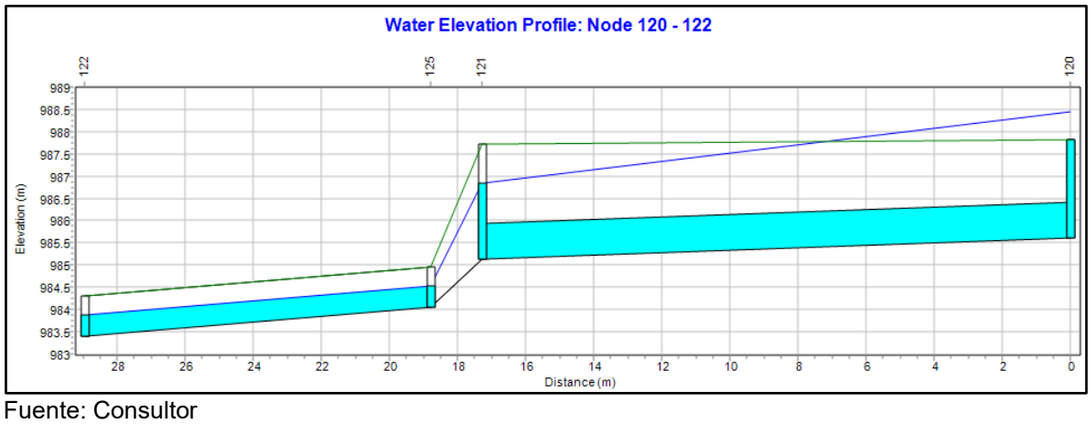
Capacidad hidráulica: El tramo de salida pluvial opera a flujo lleno para el caudal máximo de diseño.

Figura 7. Perfil del tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_1 EDS #3



Fuente: Consultor

Figura 8. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_2 EDS #3



Fuente: Consultor

Teniendo en cuenta los inconvenientes que se están presentando en la estructura de separación Nº.3 PA (5A-6-K15) se plantea las siguientes propuestas de soluciones:

❖ **ALTERNATIVA 1:** REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN EXISTENTE

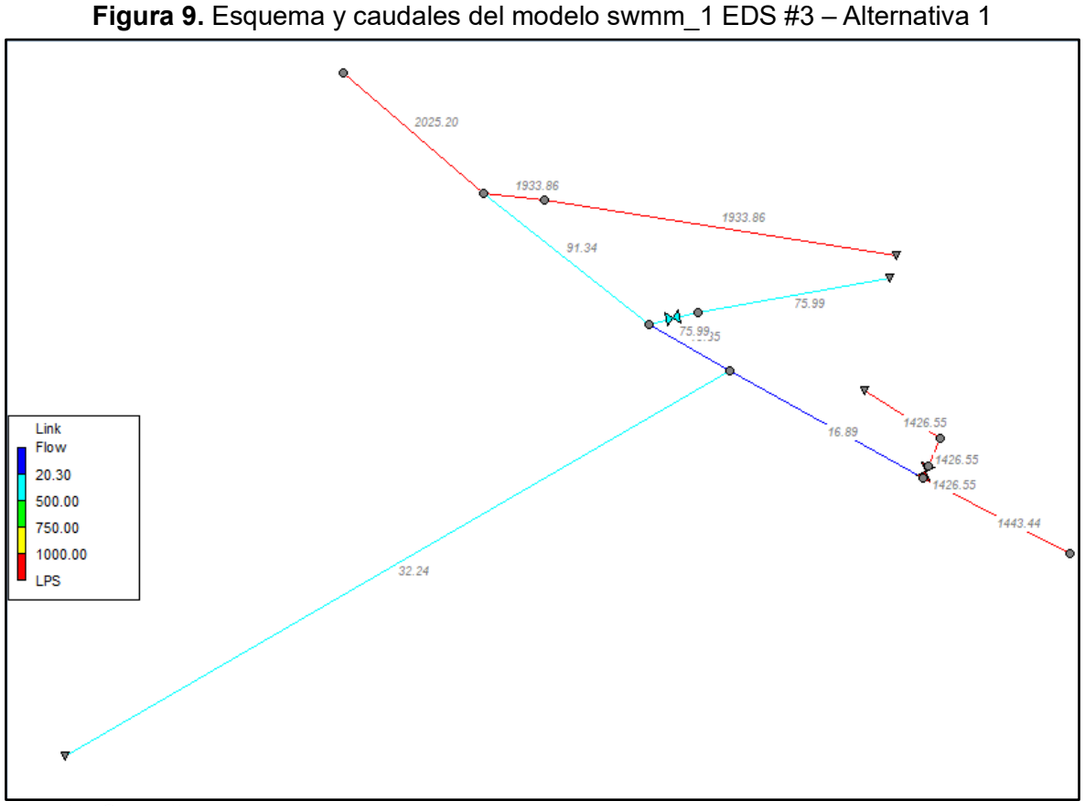
En las condiciones actuales la tubería de salida pluvial no tiene la capacidad hidráulica suficiente para evacuar la totalidad del caudal pluvial de diseño. Para tal fin se propone una derivación previa mediante un pozo de control que separa un caudal inicial que entrega separadamente a la Quebrada Villanueva lo que disminuye el caudal combinado previo a la llegada a la estructura de separación. De esta manera la tubería de salida pluvial al tener un menor caudal separado trabaja a flujo parcialmente lleno. A su vez, se mejora el factor de dilución entregado al colector sanitario cumple con la relación de dilución máxima exigido por la resolución 330 entregando 15.35L/s.

Esta alternativa plantea la construcción de dos 2 tramos nuevos a partir del pozo de control y la conexión del pozo de control a la estructura de separación en 200mm PVC.

PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA

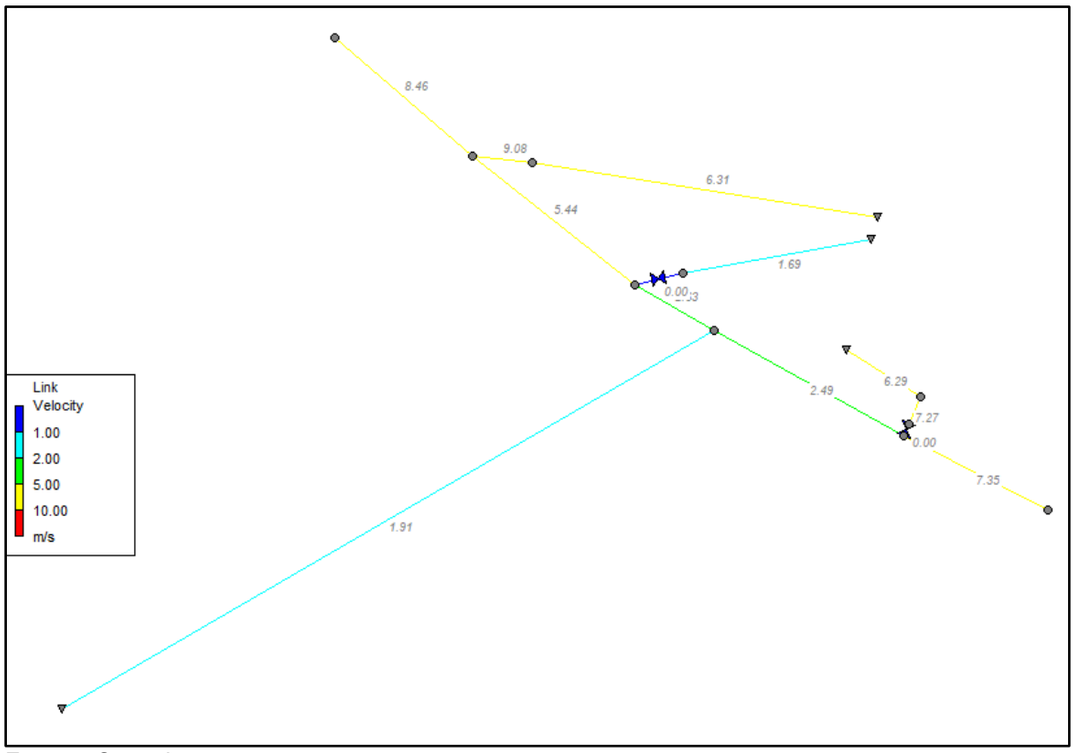
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 407,045,336.00.

Figura 9. Esquema y caudales del modelo swmm_1 EDS #3 – Alternativa 1



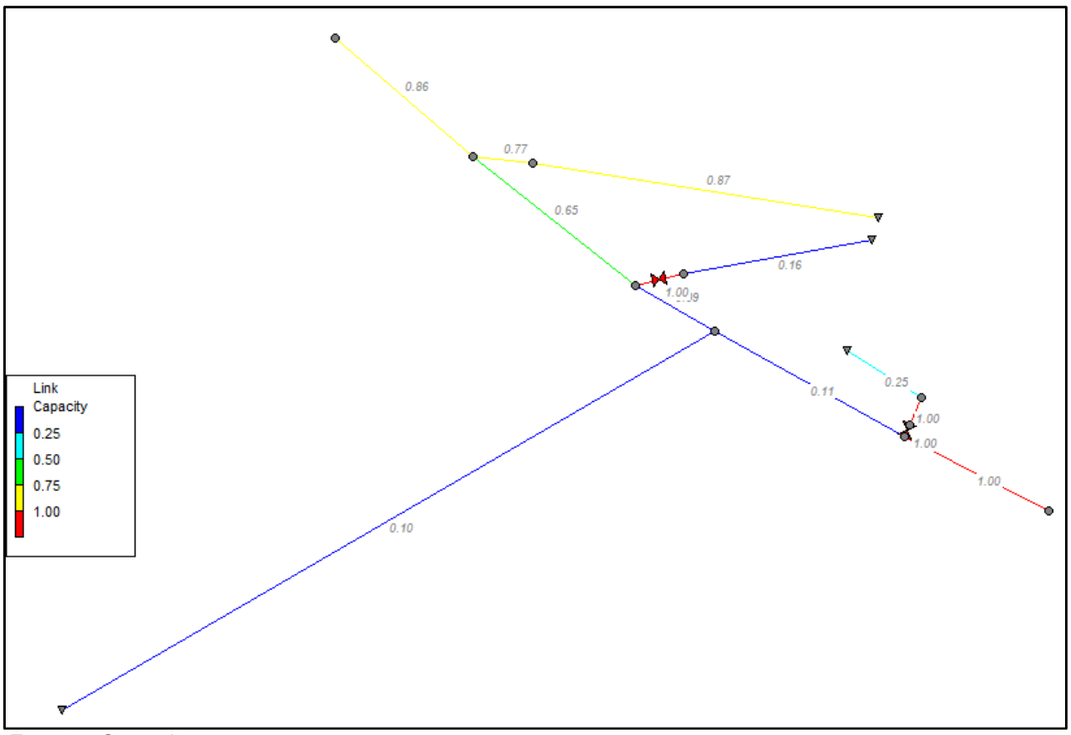
Fuente: Consultor

Figura 10. Esquema y caudales del modelo swmm_2 EDS #3 – Alternativa 1



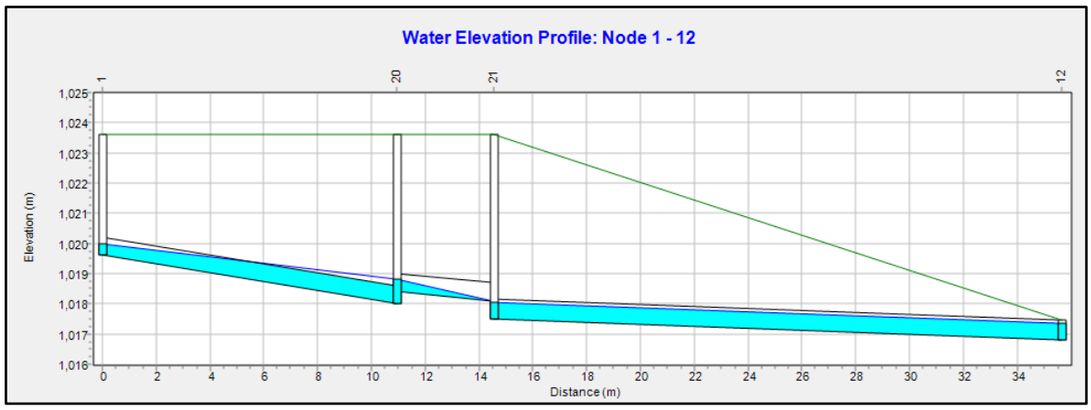
Fuente: Consultor

Figura 11. Esquema y caudales del modelo swmm_3 EDS #3 - Alternativa 1



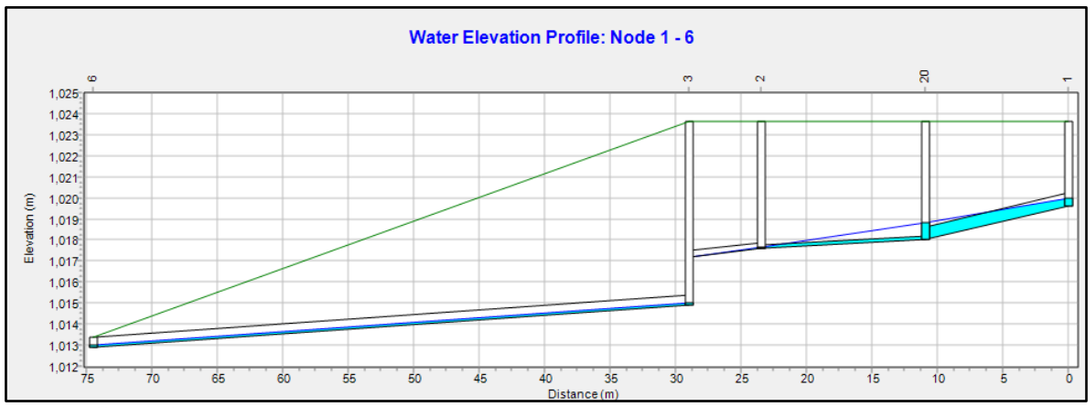
Fuente: Consultor

Figura 12. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_1 EDS #3 – Alternativa 1



Fuente: Consultor

Figura 13. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_2 EDS #3 – Alternativa 1



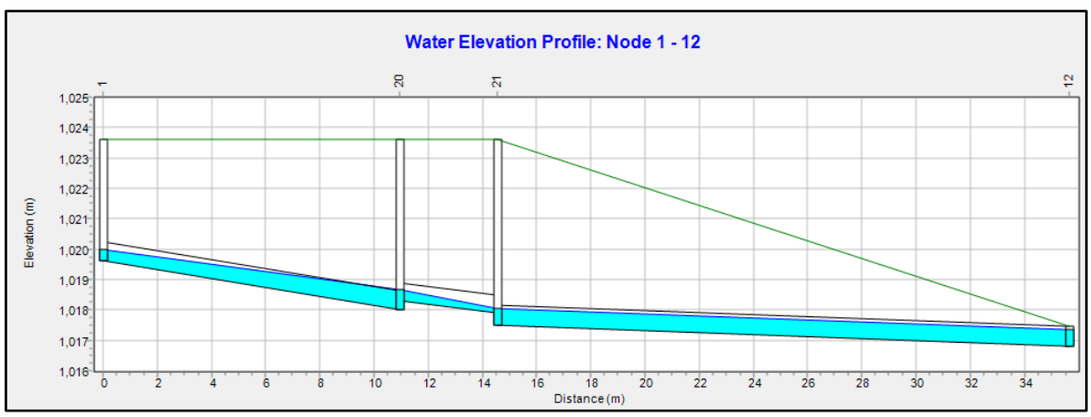
Fuente: Consultor

❖ **<u>ALTERNATIVA 2:</u>** REDISEÑO Y SUSTITUCIÓN TOTAL DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN EXISTENTE

La propuesta de la alternativa 2 en su planteamiento es similar a la alternativa 1. Sin embargo, se propone el cambio de la estructura de separación.

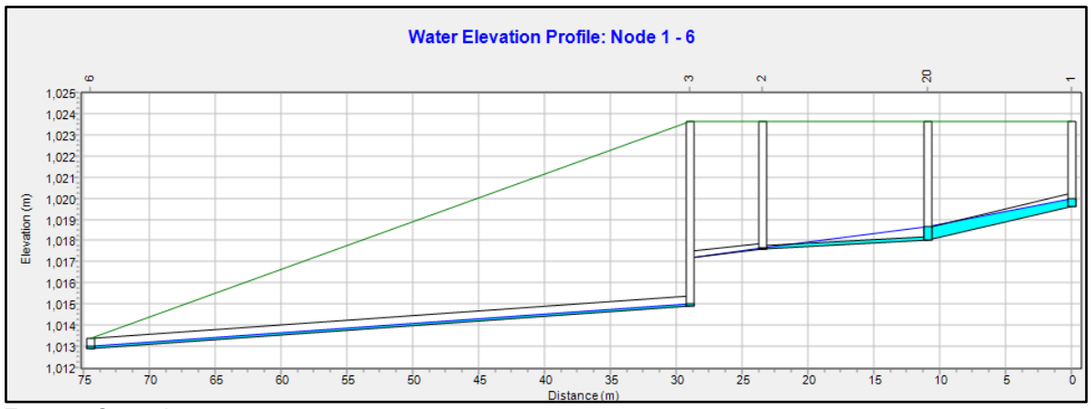
PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 422,732,731.00.

Figura 14. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_1 EDS #3 – Alternativa 2



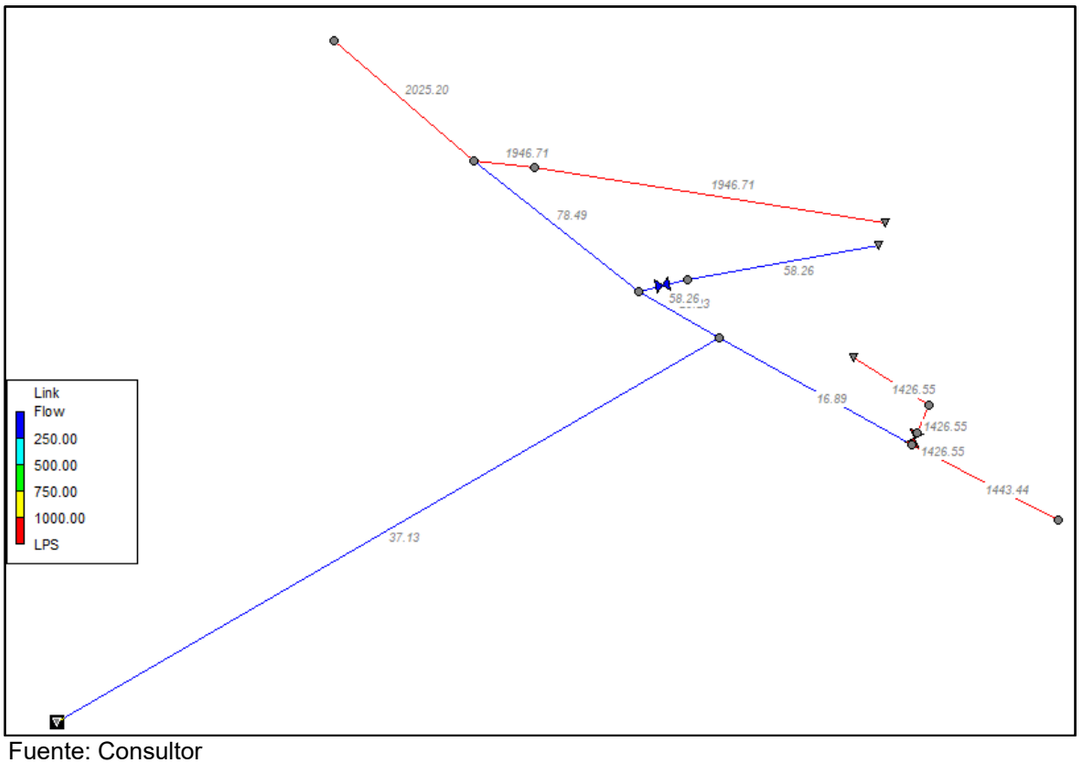
Fuente: Consultor

Figura 15. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_2 EDS #3 – Alternativa 2



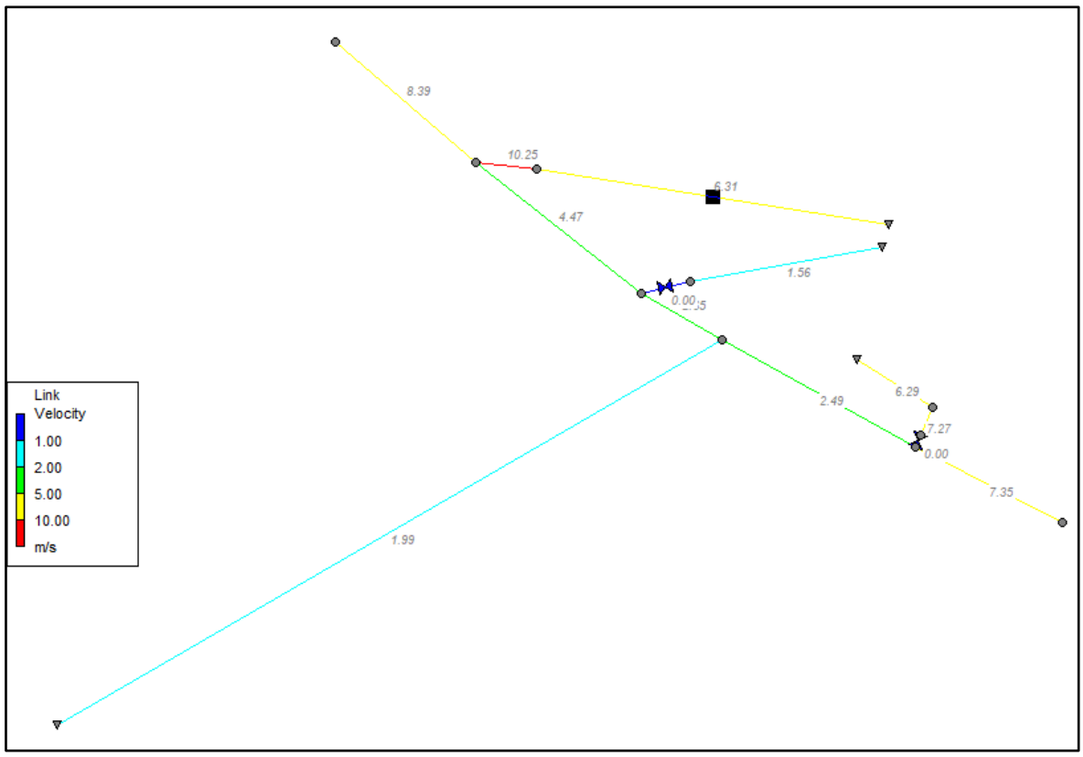
Fuente: Consultor

Figura 16. Esquema y caudales del modelo swmm_1 EDS #3 - Alternativa 2



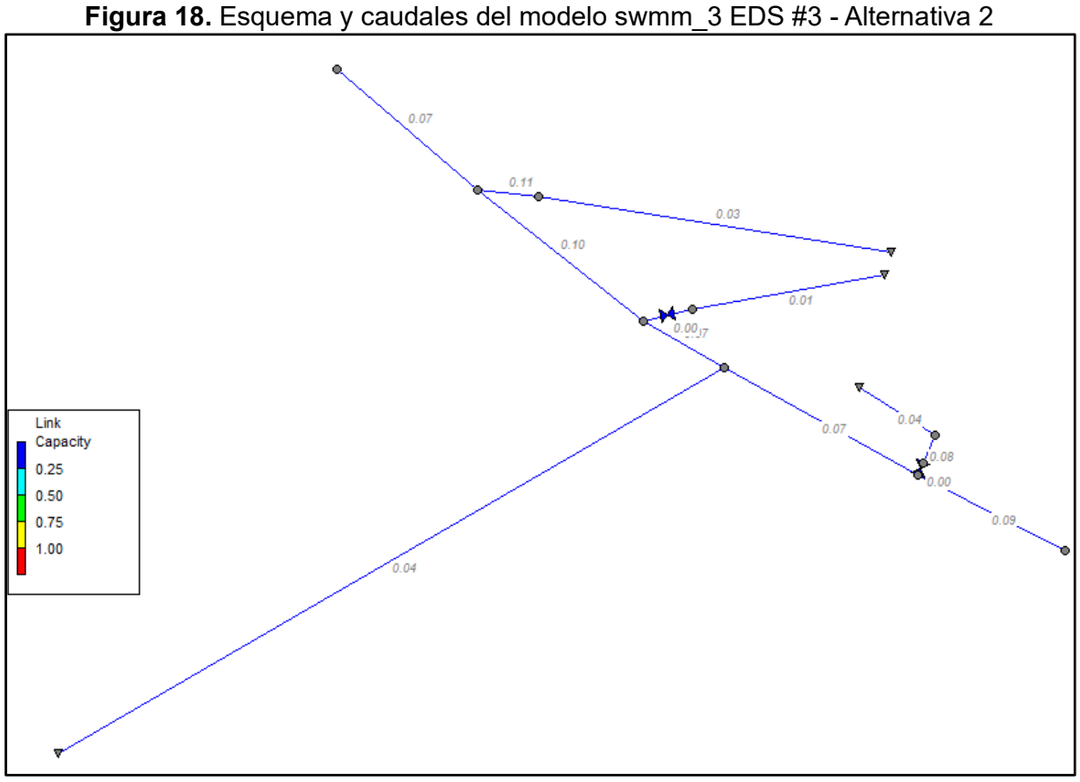
Fuente: Consultor

Figura 17. Esquema y caudales del modelo swmm_2 EDS #3 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

Figura 18. Esquema y caudales del modelo swmm_3 EDS #3 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

En las siguientes tablas se evidencian los cálculos para determinar la matriz pareada, la matriz normalizada, el Vector promedio y el análisis de consistencia para la estructura de separación N° 3. Es pertinente mencionar que el análisis de consistencia se realiza para matrices con “n” a partir de tres (3); dicho esto, para la selección de la alternativa más favorable en la optimización y adecuación de las estructuras de separación existentes, en el análisis de las alternativas vs los criterios

no se realiza análisis de consistencia, puesto que la matriz es de n=2 en cada una de ellas.

Tabla 18. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #3

¿Cuál opción requiere menor area de intervención?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 19. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #3

¿Cuál opción tiene mejor eficiencia hidráulica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/2	0,33	0,33	**0,33**
ALTERNATIVA 2	2	1	0,67	0,67	**0,67**
SUMA	**3,00**	**1,50**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 20. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #3

¿Cuál opción involucra un mayor cumplimento en parámetros técnicos?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 21. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #3

¿Cuál opción tiene menor impacto sobre la fuente hídrica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 22. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #3

¿Cuál opción representa menor riesgo biológico?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 23. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #3

¿Cuál opción requiere mayor inversión en la construccion?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/2	0,33	0,33	**0,33**
ALTERNATIVA 2	2	1	0,67	0,67	**0,67**
SUMA	**3,00**	**1,50**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 24. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #3

¿Cuál opción tiene menor costo de operación?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 25. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #3

¿Cuál opción menor costo de mantenimiento?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/2	0,33	0,33	**0,33**
ALTERNATIVA 2	2	1	0,67	0,67	**0,67**
SUMA	**3,00**	**1,50**			**1,00**

Fuente: Consultor

- Construcción de la Matriz de comparación pareada entre criterios. Para cotejar los criterios y subcriterios se realizó una comparación pareada para determinar el peso de cada uno con relación a los demás. Esta valoración se llevó a cabo utilizando la escala fundamental. De igual forma se generó la matriz Normalizada de criterios y se efectuó el análisis del Índice de consistencia. Las siguientes Tablas muestran la matriz referida.

Tabla 26. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #3

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO	ANALISIS DE CONSISTENCIA	
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3		VECTOR FILA TOTAL	CONCLUSION
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO			
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	1	1/7	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	**0,02**	0,14434597	SI CR <15% MATRIZ ES CONSISTENTE
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	7	1	1	1/2	1/2	1	1	1	**0,10**	0,88109113	
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	9	1	1	1	1	5	5	5	**0,22**	1,995658727	
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	9	1	1/5	1/5	1/5	1	1/2	1/2	**0,06**	0,533877605	
	E2	COSTO DE OPERACION	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	SUMA		58,00	9,14	4,71	4,24	4,24	21,11	18,61	18,61	**1,00**	**λmax**	**9,03**
										INDICE DE CONSISTENCIA		CI	0,147
										INDICE ALEATORIO		RI	1,404
										RELACION DE CONSISTENCIA		CR	0,105

Fuente: Consultor

Tabla 27. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #3

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	**0,02**
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	0,12	0,11	0,21	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	**0,10**
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	0,16	0,11	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	**0,06**
	E2	COSTO DE OPERACION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	SUMA										**1,00**

Fuente: Consultor

Luego de agrupar los valores de las matrices entre opciones y la matriz entre criterios, se genera la matriz de desempeño que agrupa los valores ponderados, dando como resultado un valor para cada una de las alternativas indicando la de mejor valoración con los criterios propuestos, como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 28. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #3

OPCIONES		CRITERIOS								
		TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			PRIORIZACION
		T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
		AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
ALTERNATIVA 1:	Rediseño de la Estructura de Separación Existente	0,50	0,33	0,50	0,50	0,50	0,33	0,50	0,33	0,46
ALTERNATIVA 2:	Rediseño y Sustitución Total de la Estructura de Separación Existente	0,50	0,67	0,50	0,50	0,50	0,67	0,50	0,67	0,54
PONDERACION		0,02	0,10	0,22	0,22	0,22	0,06	0,08	0,08	

Fuente: Consultor

- **DECISIÓN:** La alternativa que presenta un mejor desempeño de acuerdo con los criterios analizados en las matrices de decisión jerárquica, es la Opción 2 con un valor ponderado de 0,54; que corresponde al Rediseño y Sustitución Total de la Estructura de Separación Existente.

7.4 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 4: PA (8 - 12)

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(CL8-KR12).

La estructura se localiza en la Calle 8 con Carrera 12 del barrio El Centro, metros atrás de la Iglesia del Padre Alejo. Actualmente, recibe el aporte de un área de drenaje de 3.17 ha.

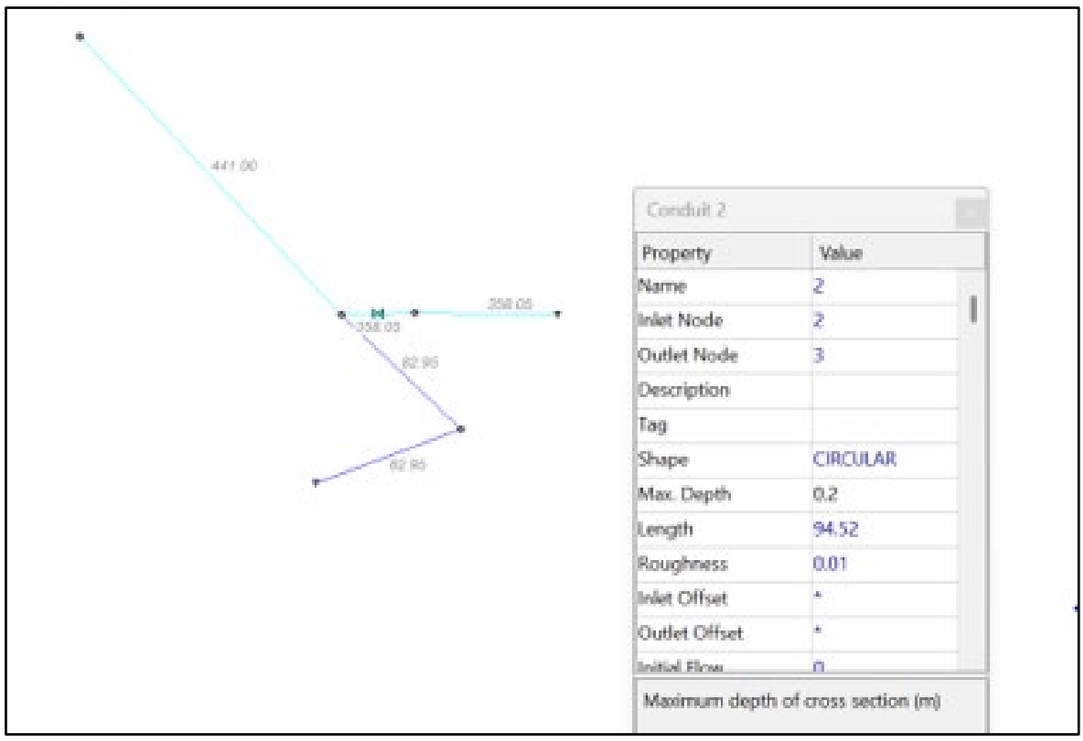
Teniendo en cuenta los inconvenientes que se están presentando en la estructura de separación Nº.4 PA(8 - 12) se plantea las siguientes propuestas de soluciones:

❖ **<u>ALTERNATIVA 1:</u>** AMPLIACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN EXISTENTE

Proyectar una estructura de vertedero doble de longitud L= 2,00 m, para una lámina de agua de 10 cm, diámetro de entrada de caudal combinado de 600 mm y de salida sanitario diluido de 200 mm y pendiente P= 2.8%. Se proyecta sobre este tramo sanitario diluido aguas abajo un segundo vertedero con L=1,50 m para verter 45 L/s.

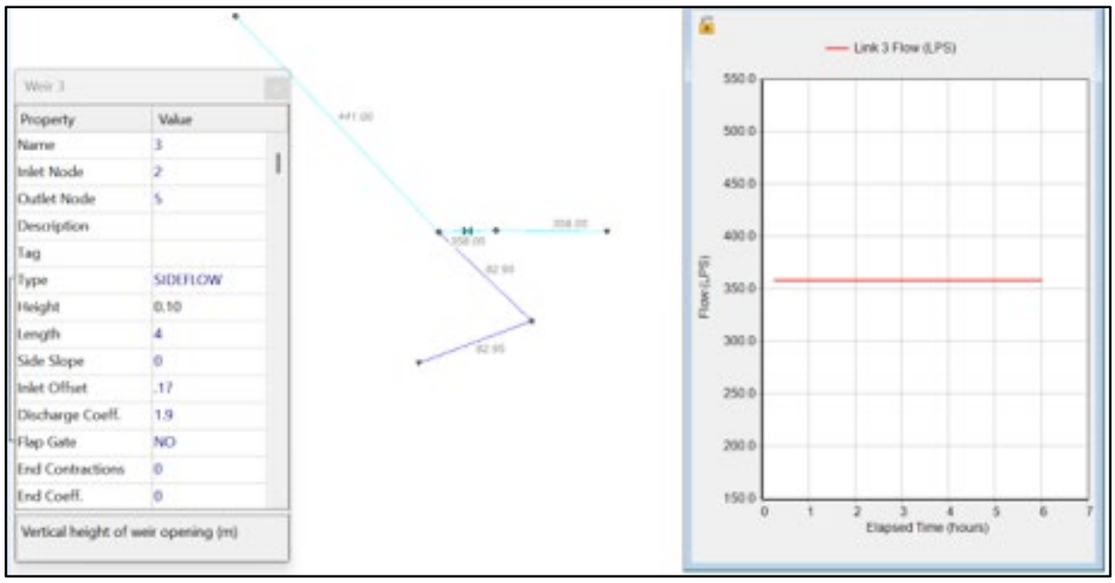
<u>PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA</u>
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 303,250,913.00

Figura 19. Sistema propuesto contracción en salida sanitaria - modelo swmm EDS #4 - Alternativa 1



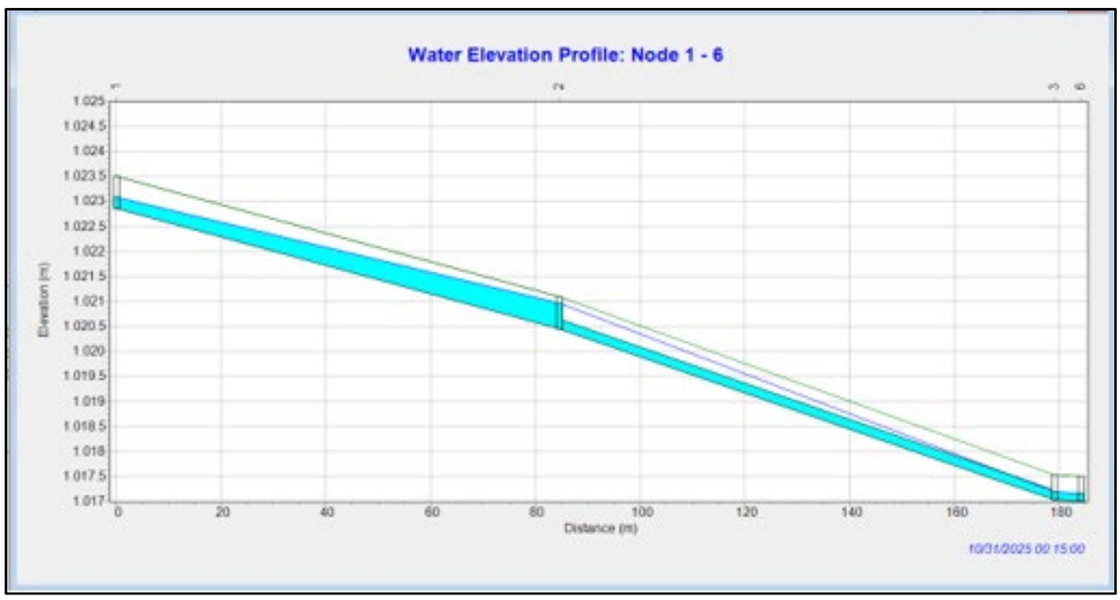
Fuente: Consultor

Figura 20. Perfil sanitario del sistema propuesto - modelo swmm EDS #4 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

Figura 21. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #4 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

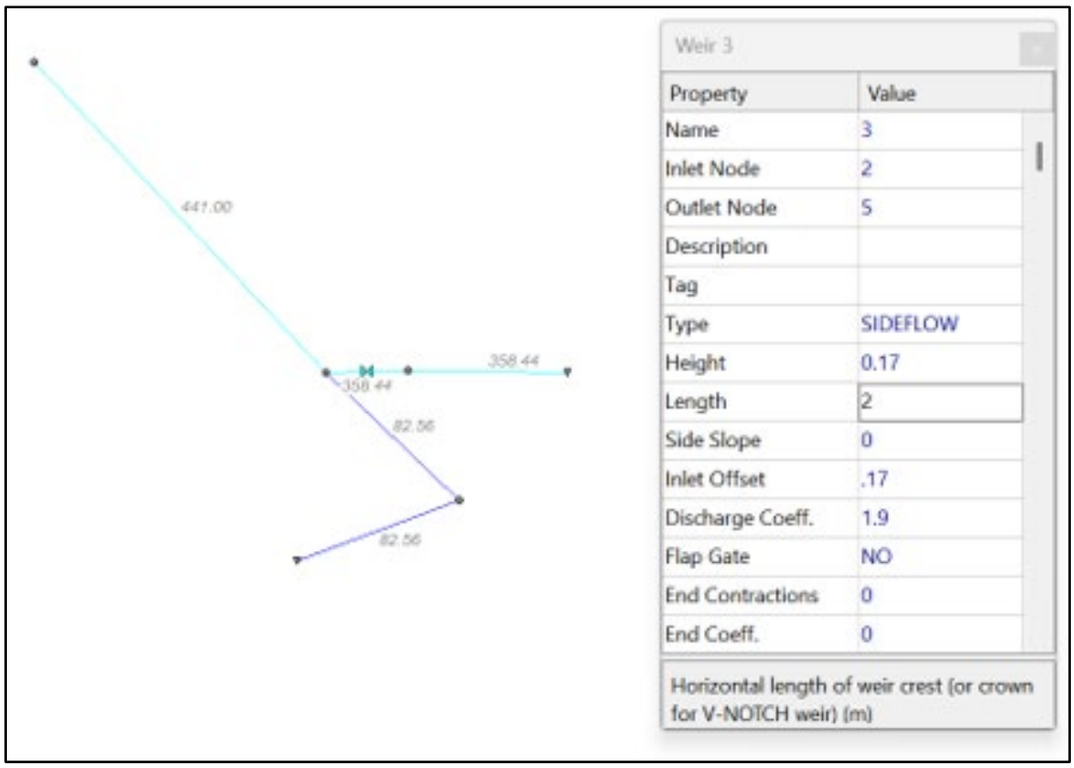
❖ **<u>ALTERNATIVA 2:</u>** REDISEÑO Y REHABILITACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN

Proyectar aguas arriba de la actual Estructura de Separación un vertedero lateral sencillo de 2,00 m de longitud, para una lámina de agua en el mismo de 17 cm; así mismo, contraer el diámetro de salida del caudal sanitario a 200 mm. El caudal sanitario diluido que continua es del orden de 80 L/s.

<u>PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA</u>

El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 196,390,368.00

Figura 22. Esquema del sistema propuesto - modelo swmm EDS #4 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

En las siguientes tablas se evidencian los cálculos para determinar la matriz pareada, la matriz normalizada, el Vector promedio y el análisis de consistencia para la estructura de separación N° 4. Es pertinente mencionar que el análisis de consistencia se realiza para matrices con "n" a partir de tres (3); dicho esto, para la selección de la alternativa más favorable en la optimización y adecuación de las estructuras de separación existentes, en el análisis de las alternativas vs los criterios no se realiza análisis de consistencia, puesto que la matriz es de n=2 en cada una de ellas.

Tabla 29. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #4

¿Cuál opción requiere menor area de intervención?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	5	0,83	0,83	**0,83**
ALTERNATIVA 2	1/5	1	0,17	0,17	**0,17**
SUMA	**1,20**	**6,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 30. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #4

¿Cuál opción tiene mejor eficiencia hidráulica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	5	0,83	0,83	**0,83**
ALTERNATIVA 2	1/5	1	0,17	0,17	**0,17**
SUMA	**1,20**	**6,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 31. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #4

¿Cuál opción involucra un mayor cumplimento en parámetros técnicos?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 32. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #4

¿Cuál opción tiene menor impacto sobre la fuente hídrica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	3	0,75	0,75	**0,75**
ALTERNATIVA 2	1/3	1	0,25	0,25	**0,25**
SUMA	**1,33**	**4,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 33. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #4

¿Cuál opción representa menor riesgo biológico?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	3	0,75	0,75	**0,75**
ALTERNATIVA 2	1/3	1	0,25	0,25	**0,25**
SUMA	**1,33**	**4,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 34. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #4

¿Cuál opción requiere mayor inversión en la construccion?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/5	0,17	0,17	**0,17**
ALTERNATIVA 2	5	1	0,83	0,83	**0,83**
SUMA	**6,00**	**1,20**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 35. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #4

¿Cuál opción tiene menor costo de operación?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 36. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #4

¿Cuál opción menor costo de mantenimiento?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

- Construcción de la Matriz de comparación pareada entre criterios. Para cotejar los criterios y subcriterios se realizó una comparación pareada para determinar el peso de cada uno con relación a los demás. Esta valoración se llevó a cabo utilizando la escala fundamental. De igual forma se generó la matriz Normalizada de criterios y se efectuó el análisis del Índice de consistencia. Las siguientes Tablas muestran la matriz referida.

Tabla 37. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #4

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO	ANALISIS DE CONSISTENCIA	
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3		VECTOR FILA TOTAL	CONCLUSION
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO			
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	1	1/7	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	**0,02**	0,14434597	SI CR <15% MATRIZ ES CONSISTENTE
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	7	1	1	1/2	1/2	1	1	1	**0,10**	0,88109113	
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	9	1	1	1	1	5	5	5	**0,22**	1,995658727	
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	9	1	1/5	1/5	1/5	1	1/2	1/2	**0,06**	0,533877605	
	E2	COSTO DE OPERACION	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	SUMA		58,00	9,14	4,71	4,24	4,24	21,11	18,61	18,61	**1,00**	**λmax**	**9,03**
										INDICE DE CONSISTENCIA		CI	0,147
										INDICE ALEATORIO		RI	1,404
										RELACION DE CONSISTENCIA		CR	0,105

Fuente: Consultor

Tabla 38. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #4

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	**0,02**
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	0,12	0,11	0,21	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	**0,10**
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	0,16	0,11	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	**0,06**
	E2	COSTO DE OPERACION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	SUMA										**1,00**

Fuente: Consultor

Luego de agrupar los valores de las matrices entre opciones y la matriz entre criterios, se genera la matriz de desempeño que agrupa los valores ponderados, dando como resultado un valor para cada una de las alternativas indicando la de mejor valoración con los criterios propuestos, como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 39. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #4

OPCIONES		CRITERIOS								
		TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			PRIORIZACION
		T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
		AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
ALTERNATIVA 1:	Ampliación de la Estructura de Separación Existente	0,83	0,83	0,50	0,75	0,75	0,17	0,50	0,50	0,63
ALTERNATIVA 2:	Rediseño y Rehabilitación de la Estructura de Separación	0,17	0,17	0,50	0,25	0,25	0,83	0,50	0,50	0,37
PONDERACION		0,02	0,10	0,22	0,22	0,22	0,06	0,08	0,08	

Fuente: Consultor

- **DECISIÓN:** La alternativa que presenta un mejor desempeño de acuerdo con los criterios analizados en las matrices de decisión jerárquica, es la Opción 1 con un valor ponderado de 0,63; que corresponde a la Ampliación de la Estructura de Separación Existente.

7.5 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 5: PA (5-4-K12)

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(CL3B-KR9).

7.6 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 6: PA (5-4-K11)c

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(CL3B-KR9).

7.7 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 7: PA (4-K11-10)b

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(CL3B-KR9).

7.8 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 8: PA (4-3B-10)

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(KR10- CL3A).

La estructura de alivio N.º 8 se localiza en la Carrera 10, entre la Calle 4 y la Calle 3A, sobre la margen izquierda de la Quebrada Villanueva. Actualmente, la estructura presenta una alteración en su flujo debido a intervenciones aguas arriba: en el pozo PC(CL4-KR10), el caudal sanitario es desviado hacia el subsistema de la Carrera 9, lo que resulta en un aporte de aguas residuales nulo o no representativo hacia la estructura de alivio en tiempo seco.

Durante la inspección técnica y el análisis hidráulico, se identificaron los siguientes hallazgos críticos:

- *Desconexión Hidráulica:* El pozo PC(CL4-KR10) presenta una configuración de doble salida, donde el colector que se dirige a la Estructura N.º 8 posee una diferencia de nivel (sobreelevación) de 0.22 m respecto al fondo del pozo.

- *Distribución de Caudales:* Debido a este desnivel, la estructura solo entra en operación cuando el nivel del agua en el pozo supera la cota batea de dicha salida. Bajo estas condiciones, la estructura de separación recibe aproximadamente el 52% del caudal pluvial generado en el subsistema de la Carrera 10 (estimado en 1343 L/s), actuando principalmente como una estructura de alivio de excesos pluviales y no como una cámara de separación combinada funcional.

También se logró apreciar que dentro de la estructura de alivio N.º 8 se presentan interferencias en la salida pluvial. La estructura, diseñada como un vertedero lateral de 7.60 m de longitud, ve comprometida su eficiencia debido a factores externos:

- *Aportes Adicionales:* Se identificó la descarga de dos sumideros que captan la escorrentía de las vías aledañas y de un parque deportivo directamente hacia el componente de salida pluvial.

- *Impacto en la Capacidad:* Esta carga hidráulica suplementaria puede llegar a saturar el colector de salida pluvial, ya que se puede generar turbulencia en la salida y el cual fue dimensionado originalmente para evacuar el caudal de alivio del subsistema de la Carrera 10, mas no para absorber los aportes directos de áreas recreativas y viales en este punto.

En conclusión, la estructura de alivio N.º 8 no cumple una función operativa en tiempo seco para la red combinada de aguas abajo. Su activación queda sujeta exclusivamente a eventos de precipitación, donde el comportamiento es ineficiente: una fracción del agua pluvial se deriva erróneamente hacia la salida sanitaria y el excedente se descarga por rebose a la salida pluvial, la cual presenta restricciones por los aportes externos mencionados.

❖ **OPTIMIZACIÓN**

La optimización de la Estructura de Alivio N.º 8 es una consecuencia directa de la reconfiguración planteada para la Estructura N.º 11. Ambas estructuras de alivio operan de forma interdependiente al estar vinculadas por el pozo de inspección PC(CL4-KR10), el cual sirve de transferencia entre los subsistemas de la Carrera 10 y la Carrera 9.

El objetivo estratégico es lograr la autonomía operativa de cada subsistema, garantizando que los caudales generados en cada cuenca de drenaje sean evacuados de manera independiente hacia sus respectivas estructuras de alivio existentes.

Bajo el esquema de optimización, se proyecta la desconexión total del subsistema de la Carrera 10 hacia la Carrera 9. Esta redistribución de caudales implica un incremento significativo en la carga hidráulica para la Estructura N.º 8, donde el caudal combinado de diseño pasará de 698 L/s a un caudal pico de 1203 L/s. Ante este escenario de carga, se hace necesario el rediseño y optimización de los siguientes componentes del sistema:

- *Colector de Llegada:* Se requiere la instalación de tubería en PVC con un diámetro nominal de 30 pulgadas. Se ha definido una pendiente del 9.80%, lo cual garantiza una capacidad de transporte adecuada para el nuevo caudal de diseño, manteniendo velocidades dentro de los límites permisibles para evitar fenómenos de erosión o presurización no controlada.

- *Colector de Salida Pluvial:* Para mitigar el riesgo de remanso y asegurar la evacuación eficiente del excedente aliviado, se proyecta el aumento del diámetro nominal a 30 pulgadas en tubería de PVC y mantenido una pendiente similar a la existente.

La estructura de separación N.º 8 PA(4-3B-10), de configuración tipo vertedero lateral, conservará su longitud de cresta de 7.60 metros. Sin embargo, para cumplir con los criterios de eficiencia del RAS, se realizarán las siguientes mejoras:

- *Reconfiguración de Cañuela:* Se optimizará constructivamente la geometría de la cañuela del vertedero para minimizar las pérdidas de energía por turbulencia. Esta mejora garantiza el transporte eficiente del caudal de aguas residuales en tiempo seco y mejora la transición hidráulica durante eventos de lluvia.

- *Control de Dilución:* El ajuste constructivo busca asegurar que la relación de caudal diluido cumpla con los estándares ambientales, el cual se está empleando una relación 6:1, permitiendo que el excedente de aguas lluvias vierta de manera controlada sin comprometer la capacidad del interceptor de aguas residuales.

7.9 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 9: PA (3B-4-K10)b

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(CL3A-KR10).

La estructura de alivio N.º 9 se localiza en la Carrera 10, entre la Calle 4 y la Calle 3A, sobre la margen derecha de la Quebrada Villanueva. Según el diagnóstico hidráulico, la cámara de separación y sus tramos de salida (tanto el colector sanitario como el aliviadero pluvial) presentan una capacidad hidráulica suficiente para la carga de flujo actual.

A pesar del buen funcionamiento de la estructura principal, el análisis hidráulico integral del subsistema detectó fallas críticas en los tramos iniciales de la red combinada, específicamente entre los pozos PC(KR11-CL3A) y PC(CL4-KR10-CL3). Se identificaron las siguientes inconformidades técnicas respecto al RAS:

- *Insuficiencia de Diámetro Nominal:* Los tramos referenciados cuentan con tubería de gres de 8 pulgadas. Según el Título D del RAS, el diámetro interno mínimo para sistemas de alcantarillado combinado debe ser de 260 mm para garantizar el transporte de sólidos y el caudal pluvial asociado.

- *Déficit de Recubrimiento:* En el inicio de la red, la profundidad de instalación no cumple con el recubrimiento mínimo exigido para zonas viales, lo que compromete la integridad estructural de la tubería ante cargas vivas como por ejemplo el tránsito vehicular.

Al tener un dimensionamiento menor de estos tramos genera un régimen de flujo a presión (carga) durante eventos de precipitación. Esta restricción física limita drásticamente el aporte hacia la estructura de separación N.º 9:

- *Capacidad de Transporte Limitada:* Se estima que los tramos en carga solo logran que llegue a la estructura un caudal acumulado de 161 L/s.

- *Deficiencia Hidráulica:* Este valor es significativamente inferior al caudal combinado pico de 252 L/s generado por la cuenca. En consecuencia, la Estructura N.º 9 no recibe el caudal de diseño para el cual fue concebida, provocando represamientos y posibles inundaciones en los puntos iniciales del subsistema debido a la incapacidad de captación de la red.

En conclusión, la operatividad eficiente de la Estructura de Separación N.º 9 está condicionada a la optimización de los colectores de llegada. Mientras persista el cuello de botella en los tramos de 8 pulgadas, el sistema operará de forma deficiente, manteniendo condiciones de flujo a presión aguas arriba y desaprovechando la capacidad de alivio de la estructura principal.

❖ **OPTIMIZACIÓN**

Considerando las restricciones hidráulicas identificadas entre los pozos PC(KR11-CL3A) y PC(CL4-KR10-CL3), se proyecta la optimización integral de estos tramos mediante las siguientes acciones:

- *Sustitución de Material y Diámetro:* Se realizará el cambio de la tubería de gres existente de 8 pulgadas por tubería de PVC, incrementando los diámetros nominales a 315 mm y 355 mm según el requerimiento de carga. Este aumento garantiza la transición de un flujo a presión a un régimen de flujo a superficie libre para el caudal de diseño.

- *Cumplimiento de Recubrimientos:* Se ajustarán las cotas bateas y pendientes de la red para garantizar un recubrimiento mínimo de 1.20 m, dando cumplimiento a lo estipulado en el RAS-2016 para infraestructuras localizadas en zonas vehiculares, asegurando la integridad del colector ante cargas dinámicas.

La optimización de los colectores de llegada tiene un efecto positivo directo sobre la Estructura de Alivio N.º 9. Al eliminarse el "cuello de botella" aguas arriba, la estructura podrá recibir la totalidad del caudal combinado de diseño.

- *Optimización del Vertimiento:* Se mantendrá la configuración actual del vertedero lateral con su longitud de 3.60 metros. El incremento en el caudal de llegada se traduce en un aumento de la lámina de agua (H) sobre la cresta del vertedero. De acuerdo con la hidráulica de vertederos, a mayor carga hidráulica sobre la cresta, mayor es la eficiencia de descarga, permitiendo una evacuación más efectiva de los excedentes pluviales hacia la red de alivio.

Se realizó la verificación de los caudales sanitarios para asegurar que la estructura no requiera modificaciones internas adicionales:

- *Caudal de Diseño:* El área de drenaje aporta un caudal medio diario de apenas 0.23 L/s. Aplicando un factor de dilución de 6 veces el Qmd, se estima un caudal excedente de 1.38 L/s.

- *Capacidad del Interceptor:* El caudal total diluido a transportar hacia la salida sanitaria se estima en 6.80 L/s. Este valor se considera conservador y es perfectamente asimilable por el interceptor sanitario existente sin generar riesgos de represamiento. Por tanto, se concluye que no es necesaria la intervención técnica del interior de la estructura de alivio, ya que su configuración actual es apta para gestionar los caudales resultantes de la optimización del subsistema.

7.10 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 10: PA (2A-10)

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(KR10-CL2).

De acuerdo con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) de Piedecuesta, la estructura se ubica en la intersección de la Carrera 10 con Calle 2a. Durante la inspección técnica de campo, se identificó que la estructura de alivio corresponde a un pozo de inspección no convencional. Este presenta intervenciones empíricas en su interior que buscan, de manera inadecuada, interceptar los flujos de las redes de aguas lluvias y residuales.

Operativamente la estructura no cumple con su función técnica de separación de caudales. La estructura actual no garantiza la relación de caudal de dilución requerida por la normativa vigente, presentando además un comportamiento hidráulico deficiente.

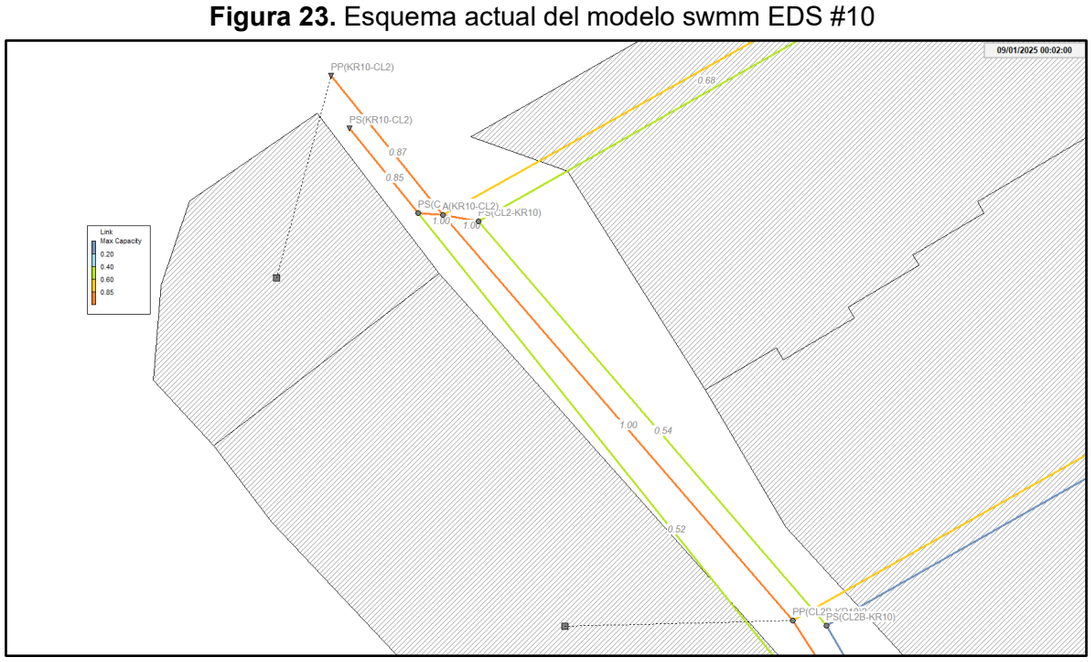
En el análisis hidráulico que se realizó para el diagnóstico, se pudo apreciar que:

Tiempo Seco: Los tramos de entrada y salida de la red sanitaria poseen capacidad suficiente para transportar el Caudal Máximo Horario de 1.45 L/s sin presentar obstrucciones.

Eventos de Precipitación: Al activarse la red pluvial, el sistema colapsa hidráulicamente. El aporte de aguas lluvias genera un efecto de remanso que sumerge la tubería de entrada sanitaria. Simultáneamente, el colector de salida entra en régimen de flujo a presión (carga), comprometiendo la estabilidad de la red.

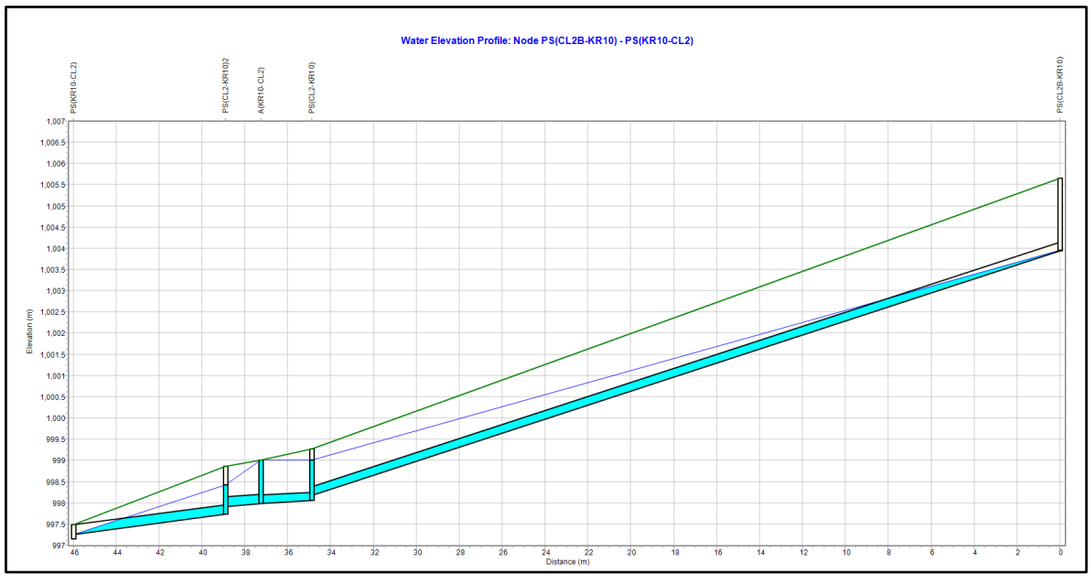
Mecanismo de Alivio: El excedente pluvial descarga por rebose hacia la red de alcantarillado pluvial únicamente cuando el nivel del agua sobrepasa un muro deflector construido de forma artesanal. Esta configuración incrementa las pérdidas menores y reduce la energía cinética del flujo, agravando la sedimentación en el fondo de la estructura.

Figura 23. Esquema actual del modelo swmm EDS #10



Fuente: Consultor

Figura 24. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua - EDS #10



Fuente: Consultor

Teniendo en cuenta los inconvenientes encontrados en la estructura de separación Nº.10 PA(2A-10) se plantea las siguientes propuestas de soluciones:

❖ **<u>ALTERNATIVA 1:</u>** REDISEÑO Y SUSTITUCIÓN TOTAL DEL POZO NO CONVENCIONAL EXISTENTE

La presente alternativa propone la sustitución integral del pozo no convencional A(KR10-CL2) y el rediseño del sector para lograr una separación efectiva de los caudales. El objetivo primordial es eliminar la interconexión actual, garantizando que cada red (sanitaria y pluvial) opere de forma independiente hacia sus respectivos sistemas de recolección y transporte.

<u>INTERVENCIONES EN EL SISTEMA SANITARIO:</u>
Para optimizar el funcionamiento hidráulico y la alineación del sistema, se plantean las siguientes acciones:

- ✓ *Desincorporación de Tramos:* Se retirará del servicio el tramo comprendido entre el pozo PS(CL2-KR10) y el pozo PS(CL2-KR10)1, procediendo con la demolición técnica de este último para permitir una nueva configuración geométrica.

- ✓ *Parámetros de Diseño:* Se proyectan tres nuevos tramos sanitarios en tubería de PVC con diámetro nominal de 250 mm. El diseño se ajustará estrictamente a los requisitos del RAS-2016, garantizando:

  - Optimización de pendientes y cotas bateas para asegurar velocidades de autolimpieza.
  - Cumplimiento de recubrimientos mínimos para instalación en zonas vehiculares.
  - Ajuste de la alineación desde el pozo PS(CL2-KR10) hasta el nodo PS(KR10-CL2).

<u>OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA PLUVIAL:</u>
A diferencia del sistema sanitario, la red pluvial mantendrá su alineación horizontal actual, pero será objeto de una reingeniería en su perfil longitudinal:

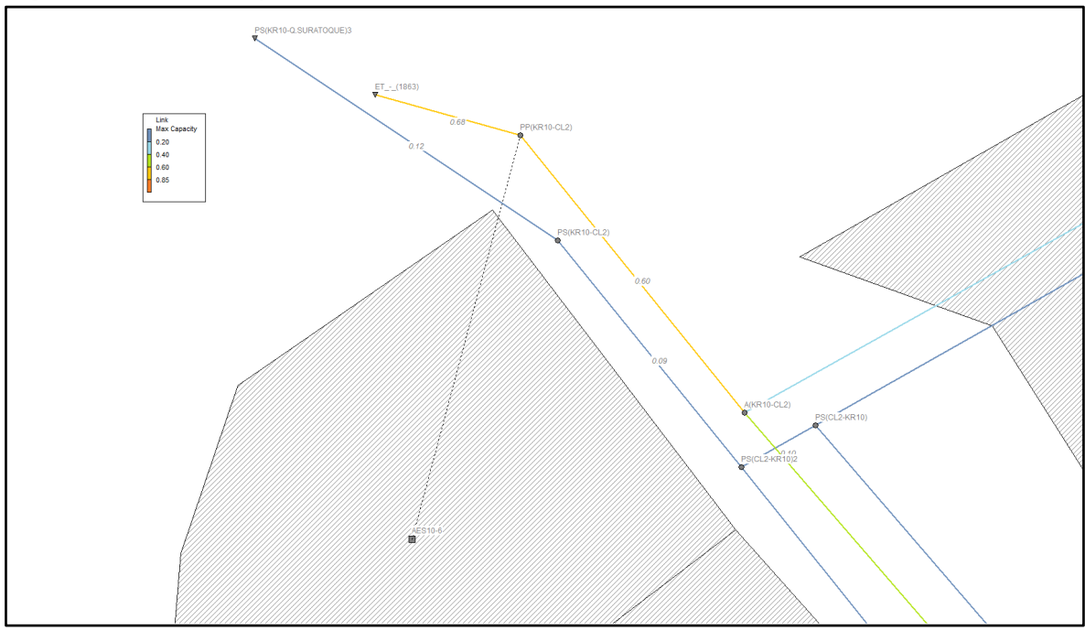
- ✓ *Profundización de la Red:* Se realizará un ajuste de pendientes y cotas bateas para profundizar los colectores pluviales. Esta intervención tiene como fin evitar los cruces de tuberías con la red sanitaria, eliminando cualquier intersección física o interferencia de flujos.

- ✓ *Capacidad Hidráulica:* Se emplearán diámetros nominales desde 355 mm hasta 24" en PVC. Este incremento en la sección transversal asegura que los cinco tramos afectados operen a flujo a gravedad (superficie libre), evitando el régimen de flujo a presión (carga) en eventos de lluvias de diseño.

PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA

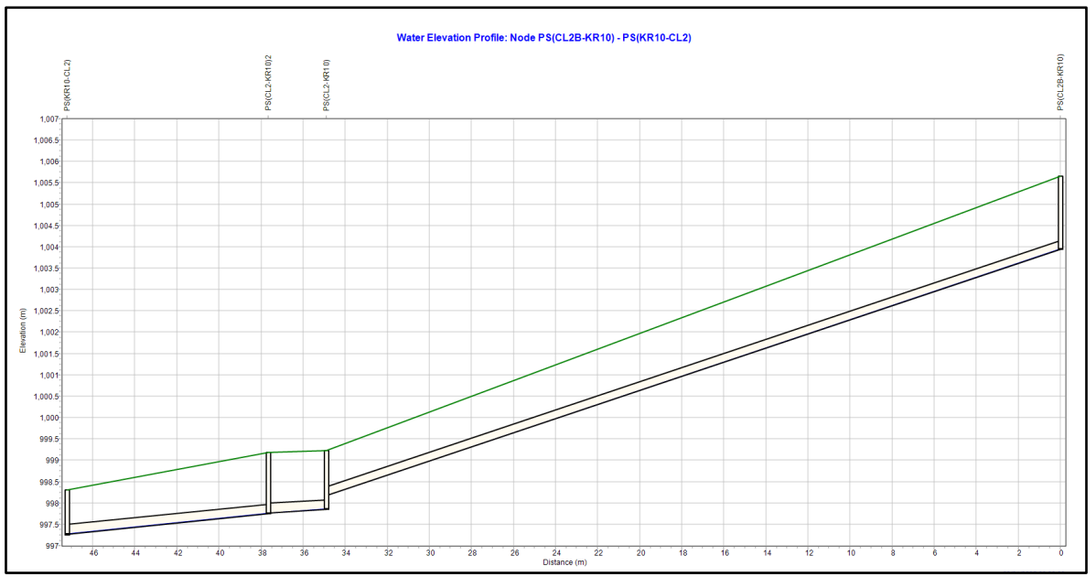
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 543,750,491.00

Figura 25. Esquema y capacidad en los tramos del modelo swmm EDS #10 - Alternativa 1



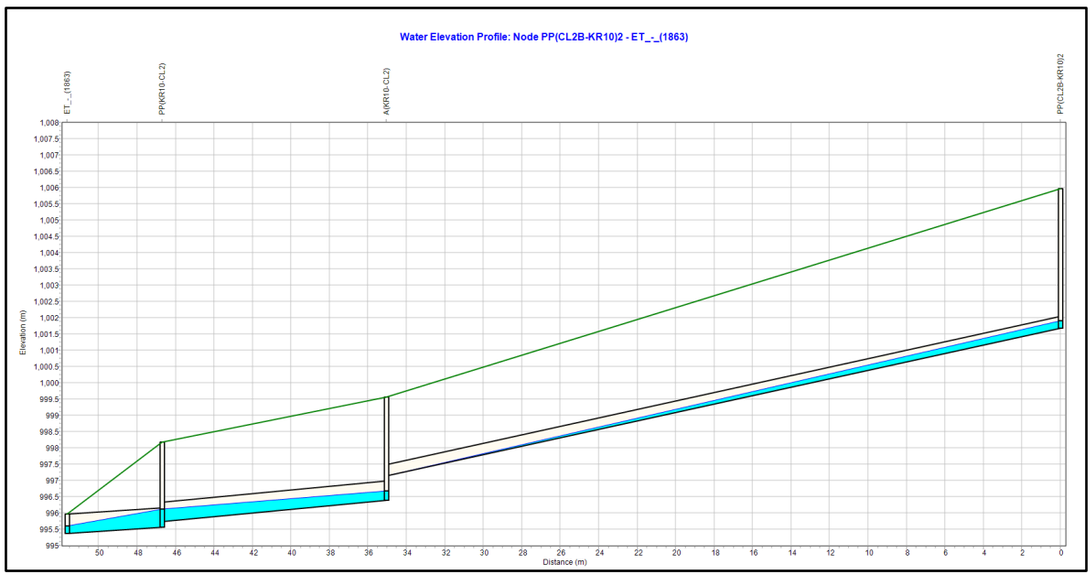
Fuente: Consultor

Figura 26. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #10 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

Figura 27. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #10 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

❖ **<u>ALTERNATIVA 2:</u>** SUSTITUCIÓN TOTAL DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN

Al igual que en la alternativa anterior, se propone la sustitución integral del pozo no convencional A(KR10-CL2). El objetivo central es la eliminación de la interconexión entre los sistemas sanitario y pluvial, permitiendo que cada red opere de manera independiente y garantizando una entrega eficiente a sus respectivos colectores.

<u>RECONFIGURACIÓN DEL SISTEMA SANITARIO:</u>
La principal modificación en esta alternativa radica en el ajuste de la alineación horizontal de la red sanitaria para optimizar el flujo:

- ✓ *Desincorporación de Tramos:* Se retirará del servicio el tramo existente entre el pozo PS(CL2-KR10) y el pozo PS(CL2-KR10)1.

- ✓ Nueva Alineación y Geometría: Se proyecta un alineamiento paralelo a la Carrera 10, donde se ubicará un nuevo pozo de inspección. Desde este punto, se realizará un cruce sobre la red pluvial mediante un tramo con una deflexión de 35° respecto al eje de la carrera, mejorando la transición geométrica del sistema.

- ✓ *Especificaciones Técnicas:* La red se conformará por dos tramos y un pozo nuevo, utilizando tubería de PVC con diámetro nominal de 250 mm. Se han definido pendientes entre el 2.2 % y el 10 %, rangos que cumplen con los criterios de velocidad de autolimpieza y fuerza tractiva del RAS-2016, además de asegurar la profundidad mínima de instalación requerida para zonas vehiculares.

<u>OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA PLUVIAL:</u>
La red pluvial conservará su alineación horizontal, pero se intervendrá su perfil longitudinal para evitar conflictos de nivel:

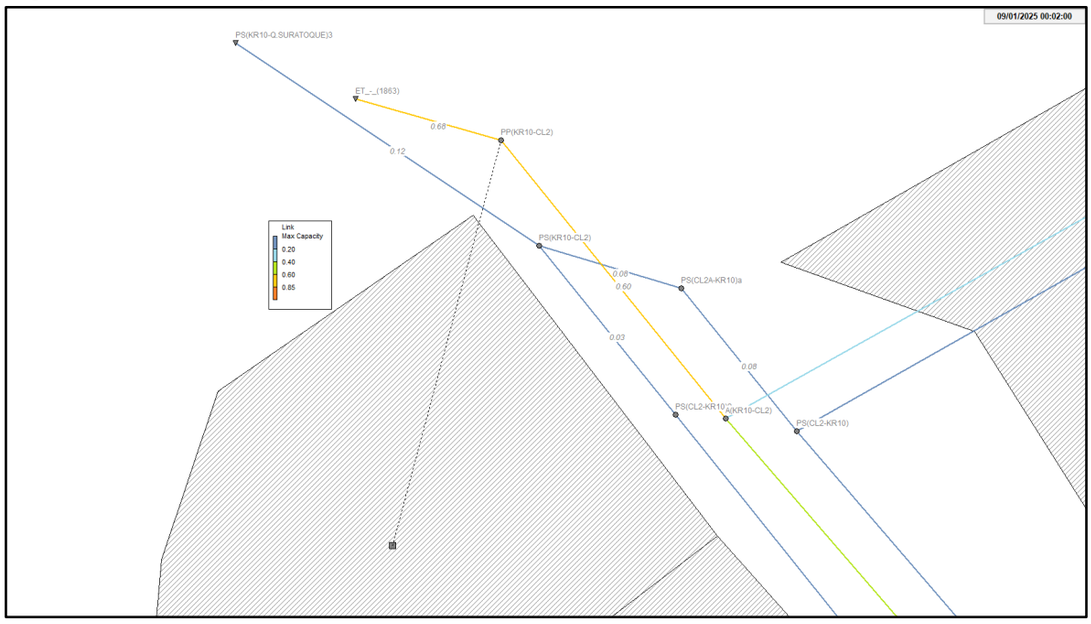
- ✓ *Profundización y Control de Interferencias:* Mediante el ajuste de cotas bateas, se profundizarán los colectores pluviales para garantizar un cruce a desnivel con la red sanitaria, eliminando cualquier riesgo de colisión física o mezcla de caudales.

- ✓ *Capacidad Hidráulica a Superficie Libre:* Se emplearán diámetros nominales entre 355 mm y 24" en PVC. Este incremento de sección asegura que los seis tramos afectados operen bajo un régimen de flujo a gravedad (superficie libre), evitando condiciones de flujo a presión (carga) durante los eventos de precipitación de diseño.

PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA

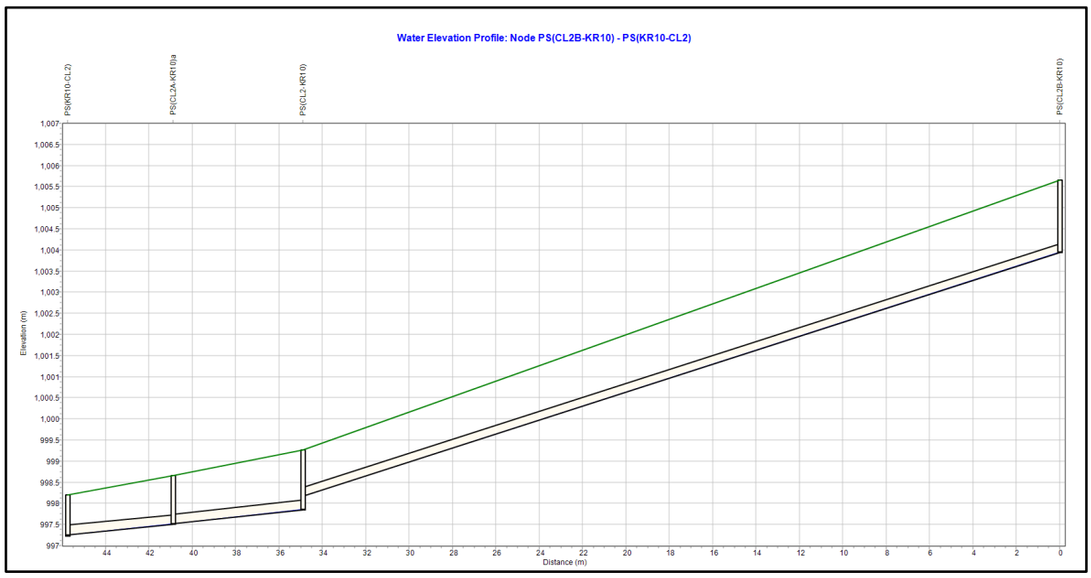
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 518,028,860.00

Figura 28. Esquema y capacidad en los tramos del modelo swmm EDS #10 - Alternativa 2



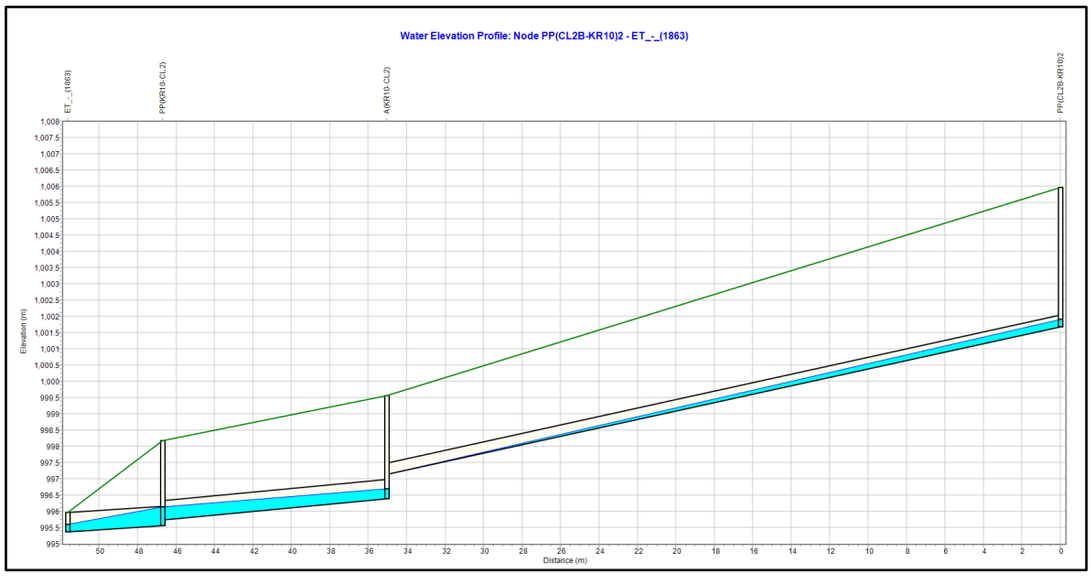
Fuente: Consultor

Figura 29. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #10 – Alternativa 2



Fuente: Consultor

Figura 30. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #10 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

En las siguientes tablas se evidencian los cálculos para determinar la matriz pareada, la matriz normalizada, el Vector promedio y el análisis de consistencia para la estructura de separación N° 10. Es pertinente mencionar que el análisis de consistencia se realiza para matrices con "n" a partir de tres (3); dicho esto, para la selección de la alternativa más favorable en la optimización y adecuación de las estructuras de separación existentes, en el análisis de las alternativas vs los criterios no se realiza análisis de consistencia, puesto que la matriz es de n=2 en cada una de ellas.

Tabla 40. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #10

¿Cuál opción requiere menor area de intervención?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/2	0,33	0,33	**0,33**
ALTERNATIVA 2	2	1	0,67	0,67	**0,67**
SUMA	**3,00**	**1,50**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 41. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #10

¿Cuál opción tiene mejor eficiencia hidráulica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	4	0,80	0,80	**0,80**
ALTERNATIVA 2	1/4	1	0,20	0,20	**0,20**
SUMA	**1,25**	**5,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 42. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #10

¿Cuál opción involucra un mayor cumplimento en parámetros técnicos?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	2	0,67	0,67	**0,67**
ALTERNATIVA 2	1/2	1	0,33	0,33	**0,33**
SUMA	**1,50**	**3,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 43. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #10

¿Cuál opción tiene menor impacto sobre la fuente hídrica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 44. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #10

¿Cuál opción representa menor riesgo biológico?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 45. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #10

¿Cuál opción requiere mayor inversión en la construccion?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	3	0,75	0,75	**0,75**
ALTERNATIVA 2	1/3	1	0,25	0,25	**0,25**
SUMA	**1,33**	**4,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 46. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #10

¿Cuál opción tiene menor costo de operación?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 47. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #10

¿Cuál opción menor costo de mantenimiento?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

- Construcción de la Matriz de comparación pareada entre criterios. Para cotejar los criterios y subcriterios se realizó una comparación pareada para determinar el peso de cada uno con relación a los demás. Esta valoración se llevó a cabo utilizando la escala fundamental. De igual forma se generó la matriz Normalizada de criterios y se efectuó el análisis del Índice de consistencia. Las siguientes Tablas muestran la matriz referida.

Tabla 48. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #10

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO	ANALISIS DE CONSISTENCIA	
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3		VECTOR FILA TOTAL	CONCLUSION
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO			
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	1	1/7	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	**0,02**	0,14434597	SI CR <15% MATRIZ ES CONSISTENTE
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	7	1	1	1/2	1/2	1	1	1	**0,10**	0,88109113	
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	9	1	1	1	1	5	5	5	**0,22**	1,995658727	
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	9	1	1/5	1/5	1/5	1	1/2	1/2	**0,06**	0,533877605	
	E2	COSTO DE OPERACION	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	SUMA		58,00	9,14	4,71	4,24	4,24	21,11	18,61	18,61	**1,00**	**λmax**	**9,03**
										INDICE DE CONSISTENCIA		CI	0,147
										INDICE ALEATORIO		RI	1,404
										RELACION DE CONSISTENCIA		CR	0,105

Fuente: Consultor

Tabla 49. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #10

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	**0,02**
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	0,12	0,11	0,21	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	**0,10**
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	0,16	0,11	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	**0,06**
	E2	COSTO DE OPERACION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	SUMA										**1,00**

Fuente: Consultor

Luego de agrupar los valores de las matrices entre opciones y la matriz entre criterios, se genera la matriz de desempeño que agrupa los valores ponderados, dando como resultado un valor para cada una de las alternativas indicando la de mejor valoración con los criterios propuestos, como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 50. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #10

OPCIONES		CRITERIOS								
		TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			PRIORIZACION
		T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
		AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
ALTERNATIVA 1:	Rediseño y Sustitución Total del Pozo no Convencional Existente	0,33	0,80	0,67	0,50	0,50	0,75	0,50	0,50	0,58
ALTERNATIVA 2:	Sustitución Total de del Pozo no Convencional Existente	0,67	0,20	0,33	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,42
PONDERACION		0,02	0,10	0,22	0,22	0,22	0,06	0,08	0,08	

Fuente: Consultor

- **DECISIÓN:** La alternativa que presenta un mejor desempeño de acuerdo con los criterios analizados en las matrices de decisión jerárquica, es la Opción 1 con un valor ponderado de 0,58; que corresponde al Rediseño y Sustitución Total del Pozo No Convencional Existente.

7.11 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 11: PA (4-3B-K9)c

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(CL3B-KR9).

La estructura se localiza en la Carrera 9, entre Calles 4 y 3B. Actualmente, recibe el aporte de un área de drenaje de 11.85 ha, conformada en un 71% por el subsistema combinado de la Carrera 9 y en un 29% por el caudal proveniente de la Carrera 10 (conexión en pozo PC(CL4-KR10).

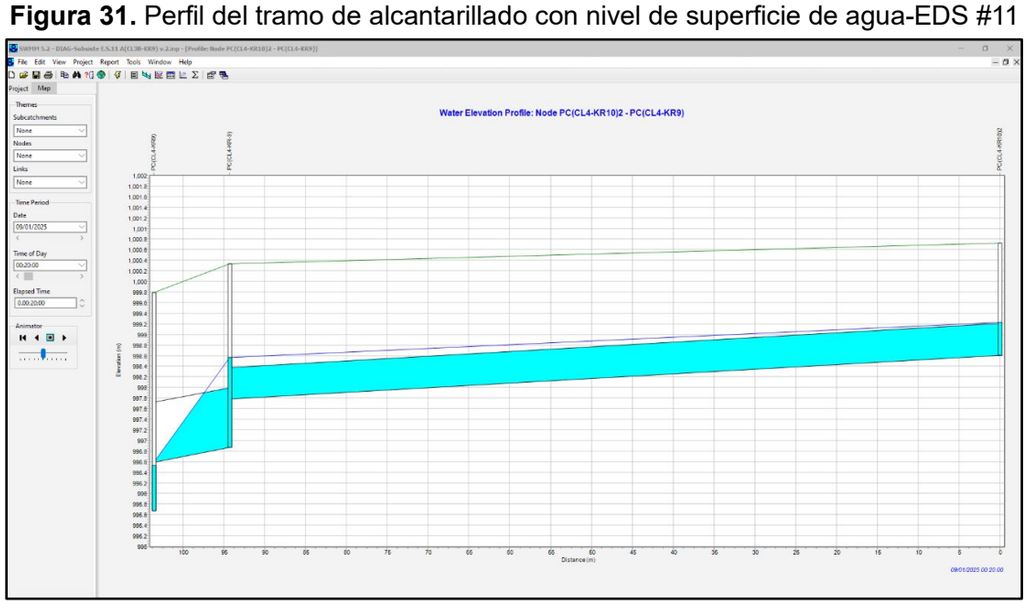
Tras el análisis de la infraestructura existente, se identificaron las siguientes deficiencias críticas:

Incumplimiento de la Relación de Dilución: Se evidencia el paso de un caudal diluido con una relación aproximada de 15:1, lo cual excede significativamente el recomendado de 6:1 (respecto al caudal medio diario) estipulado por el reglamento RAS-2016. Esta condición provoca que la salida sanitaria opere de manera ineficiente, trabajando bajo condiciones de flujo a presión (en carga).

Efecto de Altas Pendientes: Los tramos de llegada presentan pendientes de hasta el 12%, derivadas de una topografía zonal con pendientes promedio del 19%. Hidráulicamente, esto se traduce en velocidades de entrada excesivas que dificultan la captación en el vertedero, requiriendo longitudes mayores para controlar el excedente.

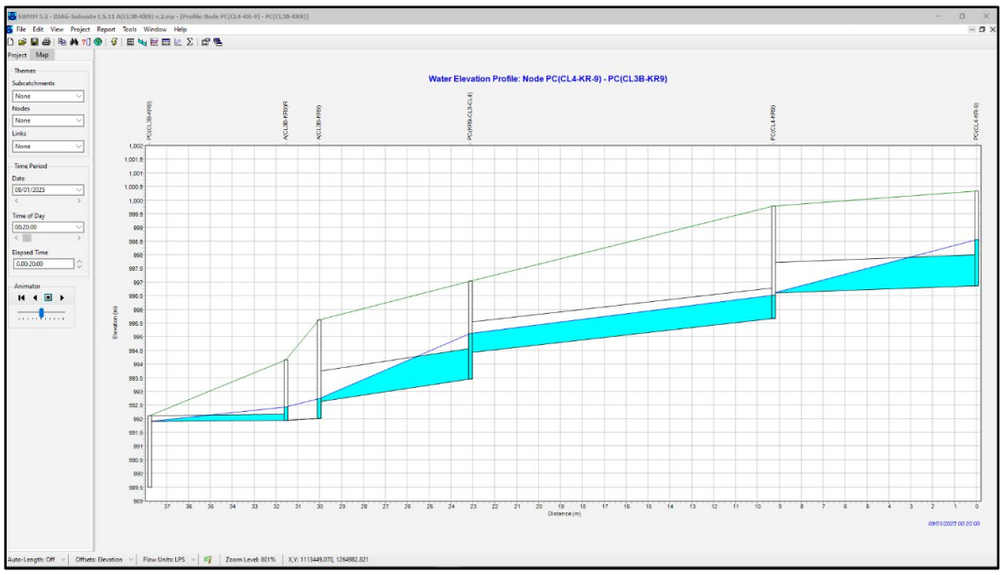
Capacidad de Conducción: Los colectores existentes de 45 pulgadas deben gestionar caudales de hasta 3143.34 L/s. La combinación de alta energía y geometría actual resulta en condiciones de sumersión parcial o total en la entrada y en diversos puntos del tramo, comprometiendo la estabilidad hidráulica del sistema.

Figura 31. Perfil del tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua-EDS #11



Fuente: Consultor

Figura 32. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua EDS #11



Fuente: Consultor

Teniendo en cuenta los inconvenientes que se están presentando en la estructura de separación Nº.11 PA(4-3B-k9)c se plantea las siguientes propuestas de soluciones:

❖ **ALTERNATIVA 1:** REHABILITACION DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACION EXISTENTE

La propuesta de esta alternativa es de realizar una rehabilitación a la estructura de separación existente y la redistribución de aportes. Por tal razón se propone la optimización de la estructura de separación existente mediante una intervención combinada de gestión de caudales y adecuación geométrica interna.

Para mitigar la sobrecarga hidráulica, se proyecta la desconexión del subsistema de la Carrera 10 hacia la Carrera 9. Esta acción permite una reducción del 25% en el caudal combinado de entrada, pasando de 3128 L/s a 2343 L/s. Bajo esta nueva configuración, se garantiza que el sistema pueda derivar un caudal diluido de 21 L/s (cumpliendo estrictamente la relación 6:1 del caudal medio diario según la recomendación del RAS-2016) y aliviar efectivamente 2322 L/s hacia la red pluvial. La rehabilitación mantiene las dimensiones globales de la estructura de alivio, conservando la longitud del vertedero lateral de 11.06 m, pero contempla las siguientes mejoras:

- ✓ *Rediseño de la Cañuela:* Se ajustará la pendiente longitudinal, además del ancho y la sección transversal para que coincidan con el diámetro del colector sanitario de salida que es de 0.227m, garantizando una transición suave y minimizando pérdidas menores.

- ✓ *Ajuste de la Cresta del Vertedero:* El nivel de rebose se fijará para que coincida con el tirante hidráulico producido por el caudal de diseño diluido de 21 L/s, estimado preliminarmente en un tercio del diámetro interno del colector, optimizando así la eficiencia de la separación tanto en tiempo seco como en eventos de lluvia.

Para adecuación del colector sanitario de salida, Se plantea la corrección de la pendiente del colector sanitario, incrementándola de 0.64% a 2.3%. Este ajuste es crítico para:

- ✓ *Cumplimiento Normativo:* Alcanzar las profundidades mínimas de instalación

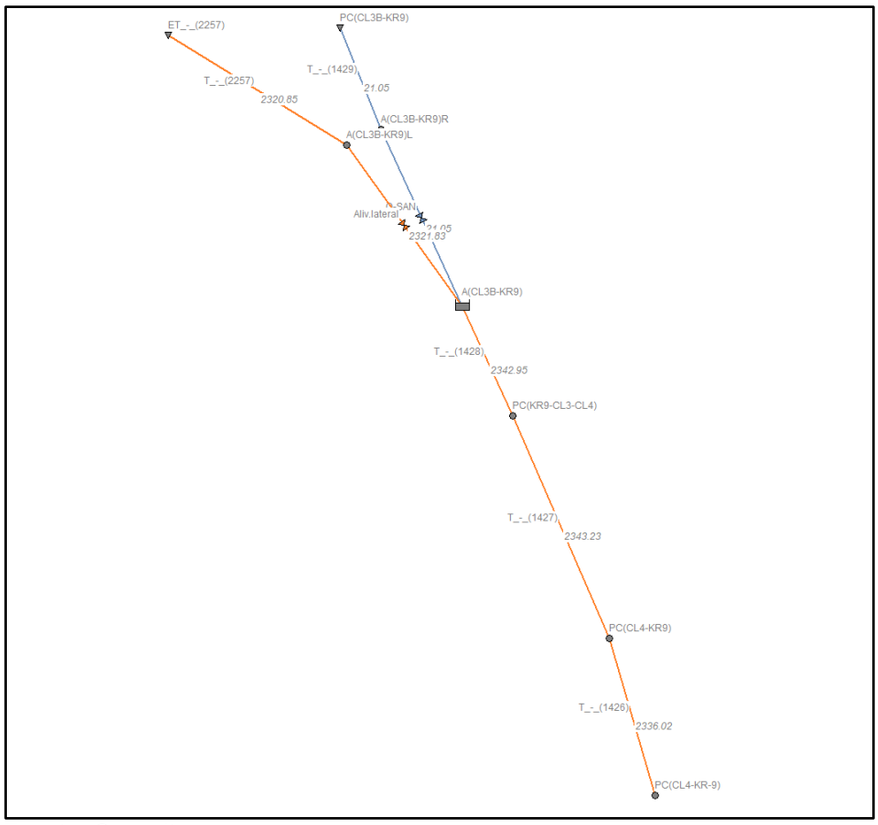
exigidas por la RAS-2016.

- ✓ *Capacidad y parámetros Hidráulicos:* Asegurar que el tramo de salida tenga la capacidad de evacuar el caudal diluido sin entrar en carga y cumpliendo con los parámetros hidráulicos, manteniendo condiciones de flujo a superficie libre y velocidades de autolimpieza adecuadas.

PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA

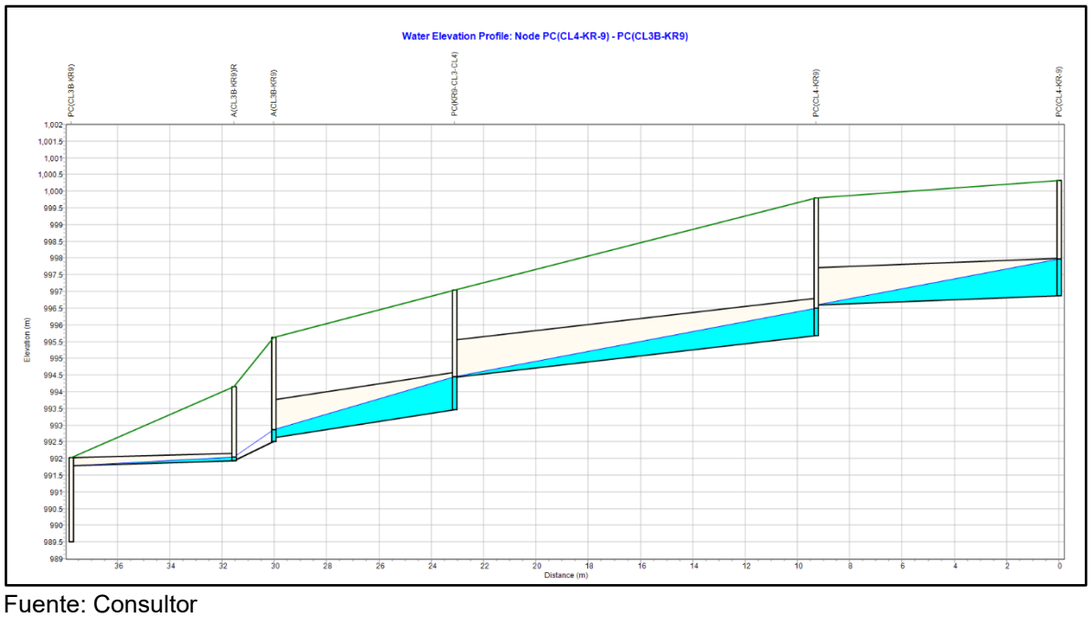
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 257,525,923.00

Figura 33. Esquema y caudales del modelo swmm EDS #11 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

Figura 34. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua EDS #11 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

❖ **ALTERNATIVA 2:** REDISEÑO Y SUSTITUCION TOTAL DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACION

La propuesta de esta alternativa es de realizar un rediseño y sustitución completa de la estructura de separación, iniciando con la desconexión del aporte de drenaje del subsistema de la carrera 10 en el pozo PC(CL4-KR10), con el fin de reducir el caudal que llega a la estructura de alivio, pasando de 3128 litros por segundo a 2345 litros por segundo.

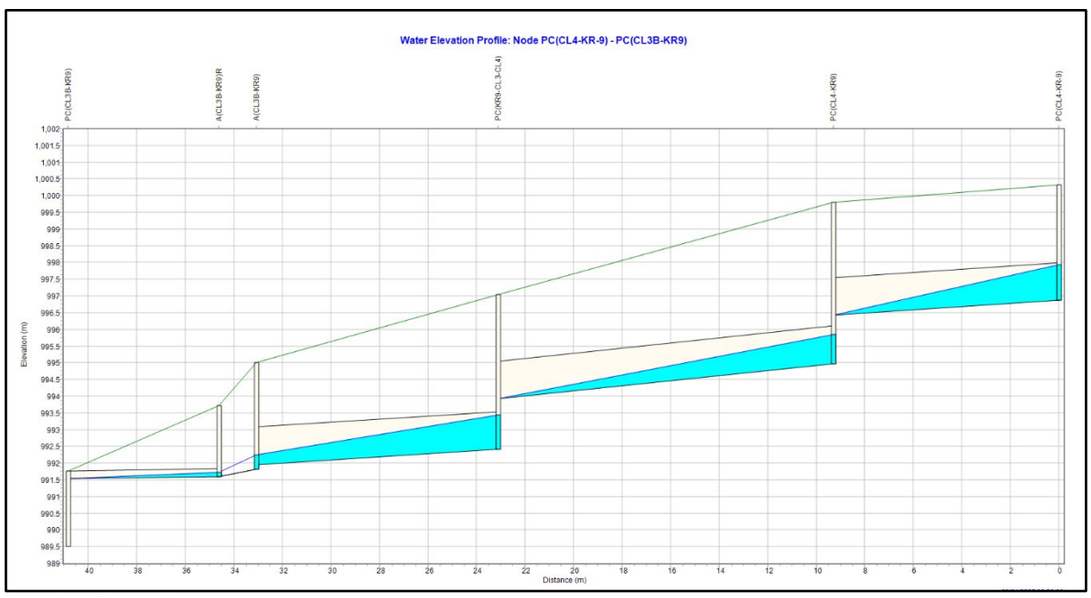
Para los tramos de alcantarillado que se encuentra entre el pozo PC(CL4-KR-9) y la estructura de alivio A(CL3B-KR9), se ajustaron las pendientes con el objetivo que se pueda rediseñar una estructura de alivio de tipo vertedero lateral más corta que la existente, definiendo una longitud de 8 metros. la optimización de las pendientes también es de evitar que las tuberías trabajen sumergidas y se mantenga el flujo libre en la red. la cañuela del vertedero es el elemento de control de los caudales, donde se proyecta con un ancho igual al diámetro interno del colector sanitario y por lo tanto dejar pasar el caudal diluido de 21 litros por segundo.

El vertedero lateral de 8 metros de longitud tendrá la capacidad de desviar 2322.78 litros por segundos, que sería el excedente que se presentaría al momento de un evento de lluvias, donde esto representa aproximadamente el 99% del caudal combinado. El ajuste de cotas o niveles de esta infraestructura es para garantizar la profundidad de la cota clave adecuada en la instalación de la tubería en vías vehiculares según el reglamento, ya que actualmente la estructura de separación y el tramo de salida de aguas residuales tienen una profundidad menor de 1.20m.

PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA

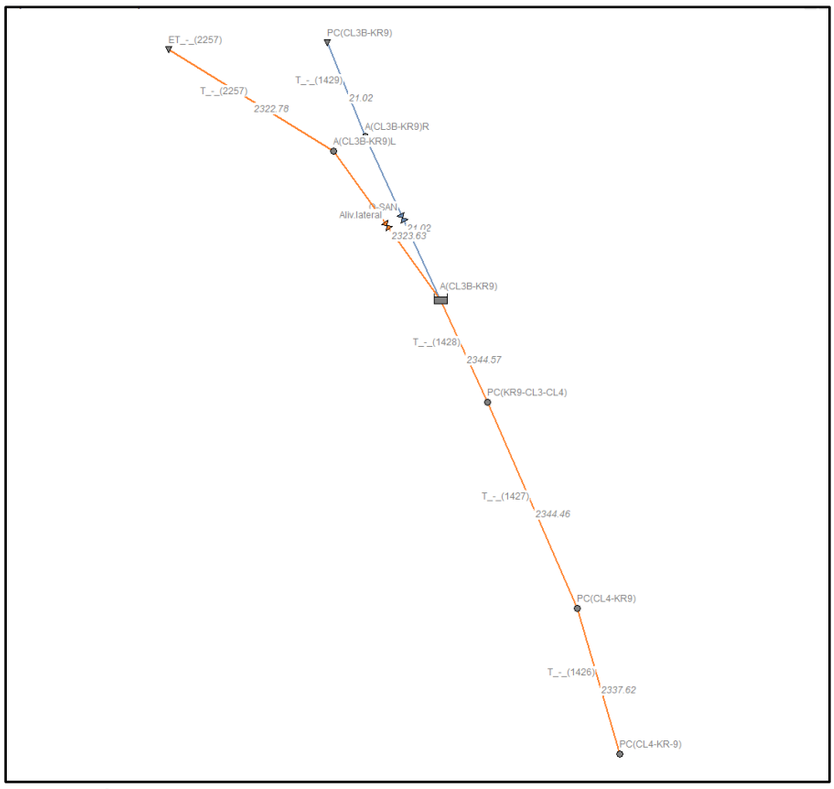
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 613,094,607.00

Figura 35. Perfil de tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua EDS #11 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

Figura 36. Esquema y caudales del modelo swmm EDS #11 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

En las siguientes tablas se evidencian los cálculos para determinar la matriz pareada, la matriz normalizada, el Vector promedio y el análisis de consistencia para la estructura de separación N° 11. Es pertinente mencionar que el análisis de consistencia se realiza para matrices con “n” a partir de tres (3); dicho esto, para la selección de la alternativa más favorable en la optimización y adecuación de las estructuras de separación existentes, en el análisis de las alternativas vs los criterios no se realiza análisis de consistencia, puesto que la matriz es de n=2 en cada una de ellas.

Tabla 51. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #11

¿Cuál opción requiere menor area de intervención?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/3	0,25	0,25	**0,25**
ALTERNATIVA 2	3	1	0,75	0,75	**0,75**
SUMA	**4**	**1,33**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 52. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #11

¿Cuál opción tiene mejor eficiencia hidráulica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/2	0,33	0,33	**0,33**
ALTERNATIVA 2	2	1	0,67	0,67	**0,67**
SUMA	**3**	**1,50**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 53. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #11

¿Cuál opción involucra un mayor cumplimento en parámetros técnicos?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 54. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #11

¿Cuál opción tiene menor impacto sobre la fuente hídrica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/2	0,33	0,33	**0,33**
ALTERNATIVA 2	2	1	0,67	0,67	**0,67**
SUMA	**3**	**1,50**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 55. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #11

¿Cuál opción representa menor riesgo biológico?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/2	0,33	0,33	**0,33**
ALTERNATIVA 2	2	1	0,67	0,67	**0,67**
SUMA	**3**	**1,50**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 56. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #11

¿Cuál opción requiere mayor inversión en la construccion?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/5	0,17	0,17	**0,17**
ALTERNATIVA 2	5	1	0,83	0,83	**0,83**
SUMA	**6**	**1,20**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 57. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #11

¿Cuál opción tiene menor costo de operación?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/4	0,20	0,20	**0,20**
ALTERNATIVA 2	4	1	0,80	0,80	**0,80**
SUMA	**5**	**1,25**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 58. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #11

¿Cuál opción menor costo de mantenimiento?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/4	0,20	0,20	**0,20**
ALTERNATIVA 2	4	1	0,80	0,80	**0,80**
SUMA	**5**	**1,25**			**1,00**

Fuente: Consultor

- Construcción de la Matriz de comparación pareada entre criterios. Para cotejar los criterios y subcriterios se realizó una comparación pareada para determinar el peso de cada uno con relación a los demás. Esta valoración se llevó a cabo utilizando la escala fundamental. De igual forma se generó la matriz Normalizada de criterios y se efectuó el análisis del Índice de consistencia. Las siguientes Tablas muestran la matriz referida.

Tabla 59. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #11

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO	ANALISIS DE CONSISTENCIA	
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3			
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO		VECTOR FILA TOTAL	CONCLUSION
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	1	1/7	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	**0,02**	0,14434597	SI CR <15% MATRIZ ES CONSISTENTE
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	7	1	1	1/2	1/2	1	1	1	**0,10**	0,88109113	
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	9	1	1	1	1	5	5	5	**0,22**	1,995658727	
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	9	1	1/5	1/5	1/5	1	1/2	1/2	**0,06**	0,533877605	
	E2	COSTO DE OPERACION	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	SUMA		58,00	9,14	4,71	4,24	4,24	21,11	18,61	18,61	**1,00**	**λmax**	**9,03**
										INDICE DE CONSISTENCIA		CI	0,147
										INDICE ALEATORIO		RI	1,404
										RELACION DE CONSISTENCIA		CR	0,105

Fuente: Consultor

Tabla 60. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #11

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	**0,02**
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	0,12	0,11	0,21	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	**0,10**
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	0,16	0,11	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	**0,06**
	E2	COSTO DE OPERACION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	SUMA										**1,00**

Fuente: Consultor

Luego de agrupar los valores de las matrices entre opciones y la matriz entre criterios, se genera la matriz de desempeño que agrupa los valores ponderados, dando como resultado un valor para cada una de las alternativas indicando la de mejor valoración con los criterios propuestos, como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 61. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #11

OPCIONES		CRITERIOS								
		TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			PRIORIZACION
		T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
		AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
ALTERNATIVA 1:	Rehabilitación de la Estructura de Separación Existente	0,25	0,33	0,50	0,33	0,33	0,17	0,20	0,20	0,34
ALTERNATIVA 2:	Rediseño y Sustitución Total de la Estructura de Separación	0,75	0,67	0,50	0,67	0,67	0,83	0,80	0,80	0,66
PONDERACION		0,02	0,10	0,22	0,22	0,22	0,06	0,08	0,08	

Fuente: Consultor

- **DECISIÓN:** La alternativa que presenta un mejor desempeño de acuerdo con los criterios analizados en las matrices de decisión jerárquica, es la Opción 2 con un valor ponderado de 0,66; que corresponde al Rediseño y Sustitución Total de la Estructura de Separación.

7.12 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 12: PA (3A-3-K7)

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(CL3-KR7).

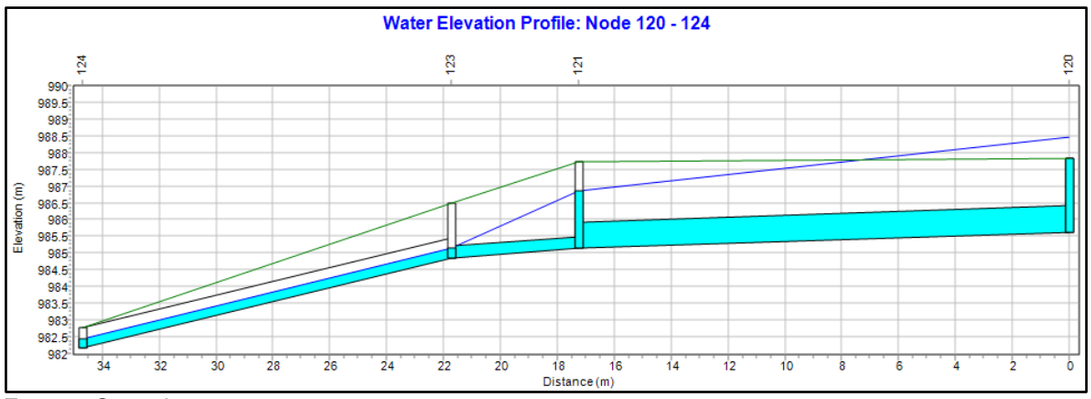
La estructura se localiza en la Carrera 7, entre Calles 3 y 3A. Actualmente, recibe el aporte de un área de drenaje de 11.64 ha.

Tras el análisis de la infraestructura existente, se identificaron las siguientes deficiencias críticas:

Incumplimiento de la Relación de Dilución: La estructura de separación actual realiza una separación del 32% del caudal combinado a la red sanitaria diluida que corresponden a 1081.25 L/s cuando la dilución exigida por la Resolución 330 debe ser de 5:1 lo que equivale a 23.4 L/s. Esta condición provoca que la salida sanitaria opere de manera ineficiente, trabajando bajo condiciones de flujo a presión (en carga).

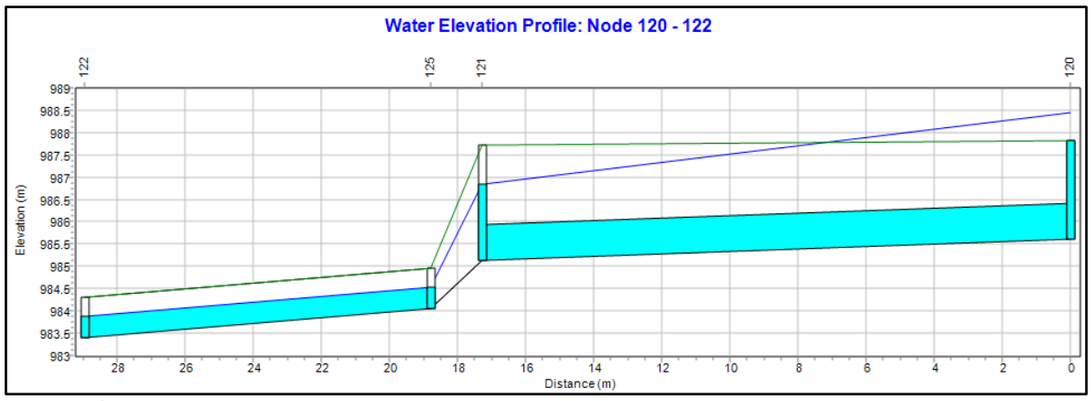
Efecto de Altas Pendientes: El tramo de salida sanitaria presenta una pendiente de 44%, derivadas de la topografía lo cual se traduce en velocidades de salida excesivas superan la capacidad del material (PVC).

Figura 37. Perfil del tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_1 EDS #12



Fuente: Consultor

Figura 38. Perfil del tramo de alcantarillado con nivel de superficie de agua_2 EDS #12



Fuente: Consultor

Teniendo en cuenta los inconvenientes que se están presentando en la estructura de separación Nº.12 PA(3A-3-K7) se plantea las siguientes propuestas de soluciones:

❖ **ALTERNATIVA 1:** REDISEÑO Y REHABILITACION DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN EXISTENTE

En las condiciones actuales la estructura no es capaz de derivar adecuadamente el caudal sanitario diluido. Para tal fin se propone una derivación previa mediante un pozo de control que disminuya el caudal combinado previo a la llegada a la estructura de separación. De esta manera la relación entre el caudal a derivar y el caudal total sería menor, lo que permite que con una estructura de menor tamaño pueda derivar el caudal sanitario diluido correspondiente a 5 veces el caudal medio diario Q_{md} de 24.4 L/s que permite la norma.

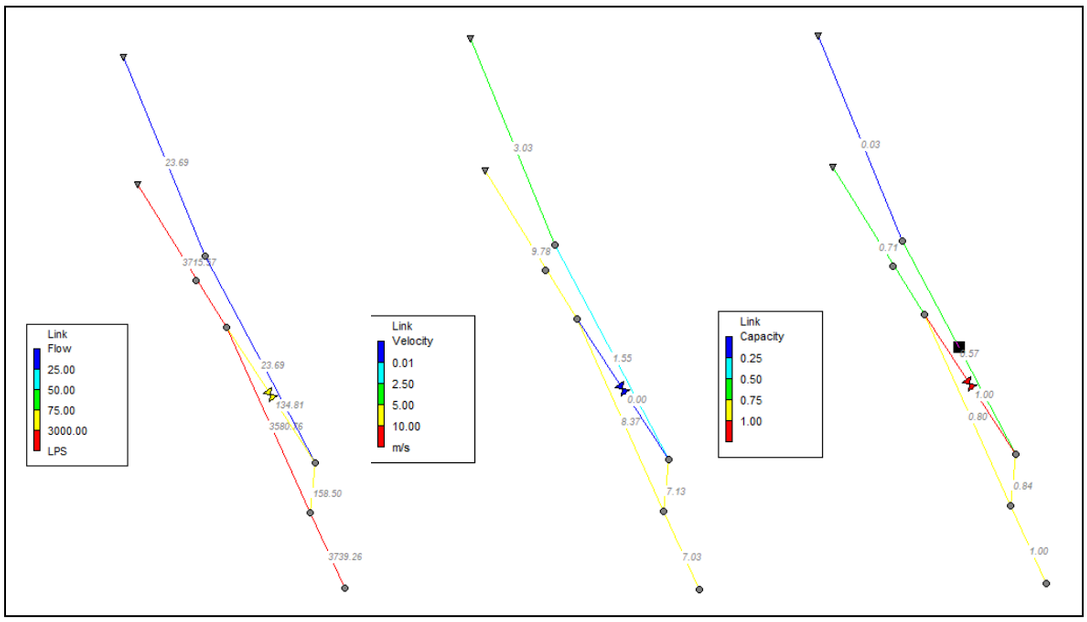
Esta alternativa plantea la reposición de tuberías en concreto y su remplazo por PVC, y la reposición de una tubería de 355mm PVC con una pendiente muy fuerte por una de 200mm PVC con una pendiente adecuada para evitar velocidades que superen la degradación del material de la tubería.

Con la derivación previa mediante el pozo de control, se podría reducir la longitud de la ventana de la estructura de separación de 14m a 3.50m.

PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA

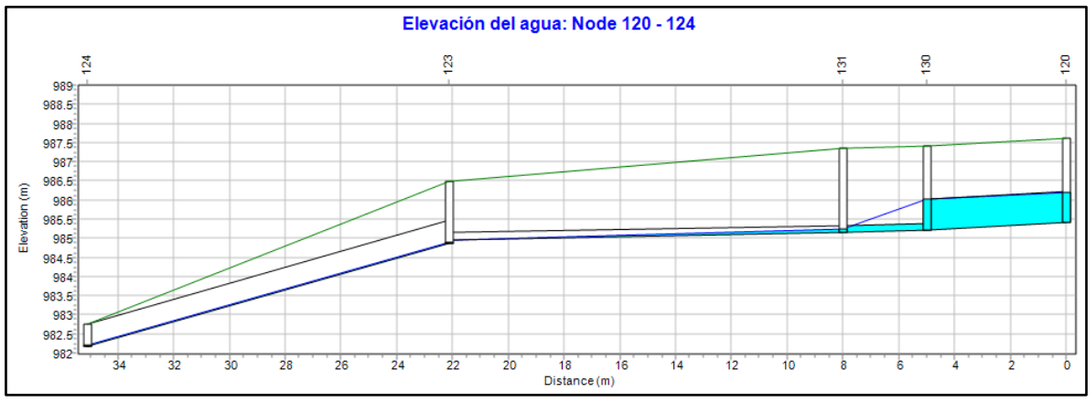
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 369,484,361.00

Figura 39. Esquema y caudales del modelo swmm EDS #12 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

Figura 40. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #12 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

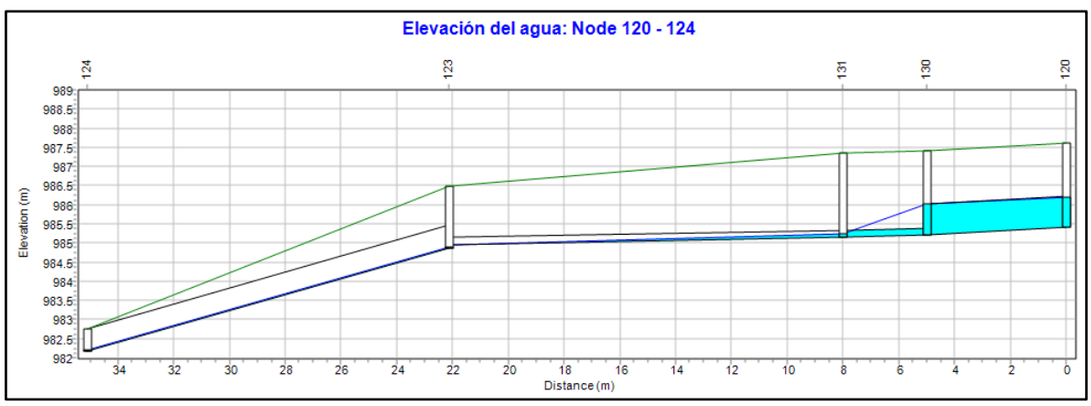
- **ALTERNATIVA 2:** REDISEÑO Y SUSTITUCION PARCIAL DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN EXISTENTE

La propuesta de la alternativa 2 en su planteamiento es igual a la alternativa 1. Sin embargo, se propone el cambio de una estructura de separación con doble vertedero lateral en vez de uno solo. Esto reduce a la mitad la longitud de la estructura.

PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA

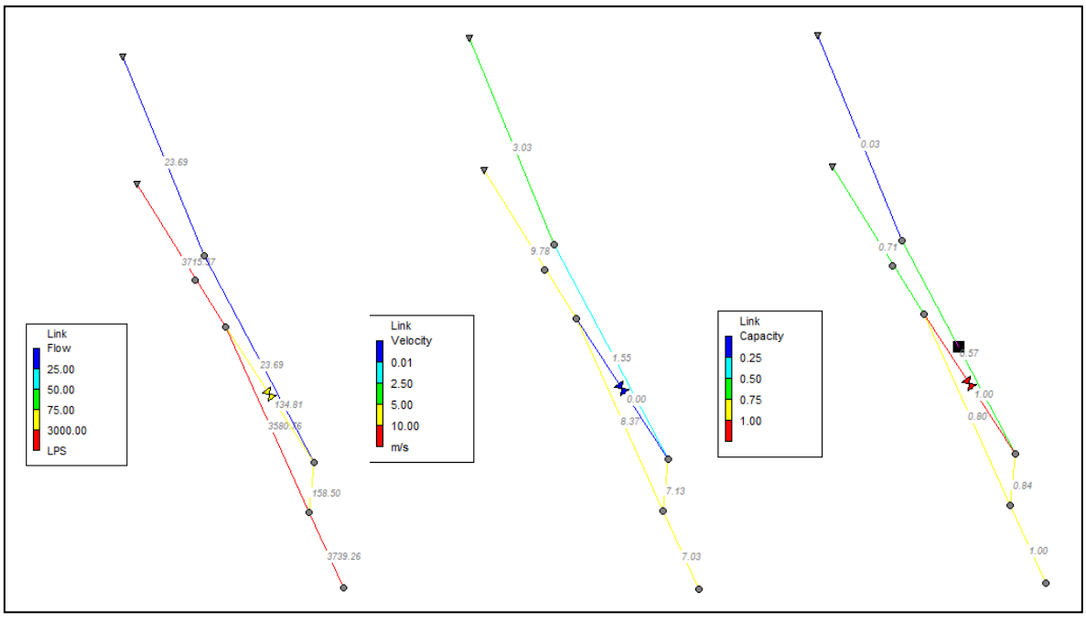
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 366,325,547.00

Figura 41. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #12 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

Figura 42. Esquema y caudales del modelo swmm EDS #12 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

En las siguientes tablas se evidencian los cálculos para determinar la matriz pareada, la matriz normalizada, el Vector promedio y el análisis de consistencia para la estructura de separación N° 12. Es pertinente mencionar que el análisis de consistencia se realiza para matrices con "n" a partir de tres (3); dicho esto, para la selección de la alternativa más favorable en la optimización y adecuación de las estructuras de separación existentes, en el análisis de las alternativas vs los criterios no se realiza análisis de consistencia, puesto que la matriz es de n=2 en cada una de ellas.

Tabla 62. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #12

¿Cuál opción requiere menor area de intervención?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 63. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #12

¿Cuál opción tiene mejor eficiencia hidráulica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/2	0,33	0,33	**0,33**
ALTERNATIVA 2	2	1	0,67	0,67	**0,67**
SUMA	**3,00**	**1,50**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 64. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #12

¿Cuál opción involucra un mayor cumplimento en parámetros técnicos?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 65. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #12

¿Cuál opción tiene menor impacto sobre la fuente hídrica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 66. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #12

¿Cuál opción representa menor riesgo biológico?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 67. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #12

¿Cuál opción requiere mayor inversión en la construccion?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	2	0,67	0,67	**0,67**
ALTERNATIVA 2	1/2	1	0,33	0,33	**0,33**
SUMA	**1,50**	**3,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 68. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #12

¿Cuál opción tiene menor costo de operación?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 69. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #12

¿Cuál opción menor costo de mantenimiento?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1	0,50	0,50	**0,50**
ALTERNATIVA 2	1	1	0,50	0,50	**0,50**
SUMA	**2,00**	**2,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

- Construcción de la Matriz de comparación pareada entre criterios. Para cotejar los criterios y subcriterios se realizó una comparación pareada para determinar el peso de cada uno con relación a los demás. Esta valoración se llevó a cabo utilizando la escala fundamental. De igual forma se generó la matriz Normalizada de criterios y se efectuó el análisis del Índice de consistencia. Las siguientes Tablas muestran la matriz referida.

Tabla 70. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #12

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO	ANALISIS DE CONSISTENCIA	
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3		VECTOR FILA TOTAL	CONCLUSION
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO			
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	1	1/7	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	**0,02**	0,14434597	SI CR <15% MATRIZ ES CONSISTENTE
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	7	1	1	1/2	1/2	1	1	1	**0,10**	0,88109113	
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	9	1	1	1	1	5	5	5	**0,22**	1,995658727	
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	9	1	1/5	1/5	1/5	1	1/2	1/2	**0,06**	0,533877605	
	E2	COSTO DE OPERACION	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	SUMA		58,00	9,14	4,71	4,24	4,24	21,11	18,61	18,61	**1,00**	**λmax**	**9,03**
										INDICE DE CONSISTENCIA		CI	0,147
										INDICE ALEATORIO		RI	1,404
										RELACION DE CONSISTENCIA		CR	0,105

Fuente: Consultor

Tabla 71. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #12

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	**0,02**
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	0,12	0,11	0,21	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	**0,10**
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	0,16	0,11	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	**0,06**
	E2	COSTO DE OPERACION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	SUMA										**1,00**

Fuente: Consultor

Luego de agrupar los valores de las matrices entre opciones y la matriz entre criterios, se genera la matriz de desempeño que agrupa los valores ponderados, dando como resultado un valor para cada una de las alternativas indicando la de mejor valoración con los criterios propuestos, como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 72. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #12

OPCIONES		CRITERIOS								
		TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			PRIORIZACION
		T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
		AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
ALTERNATIVA 1:	Rediseño y Rehabilitación de la Estructura de Separacion Existente	0,50	0,33	0,50	0,50	0,50	0,67	0,50	0,50	0,49
ALTERNATIVA 2:	Rediseño y Sustitución Parcial de la Estructura de Separacion Existente	0,50	0,67	0,50	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	0,51
PONDERACION		0,02	0,10	0,22	0,22	0,22	0,06	0,08	0,08	

Fuente: Consultor

- **DECISIÓN:** La alternativa que presenta un mejor desempeño de acuerdo con los criterios analizados en las matrices de decisión jerárquica, es la Opción 2 con un valor ponderado de 0,51; que corresponde al Rediseño y Sustitución Parcial de la Estructura de Separación.

7.13 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 13: P (2-K5-4)

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(KR4-CL2-KR5).

La estructura se localiza en la Calle 2 entre Carreras 4 y 5 del casco urbano municipal. Actualmente, recibe el aporte de un área de drenaje de 8.44 ha.

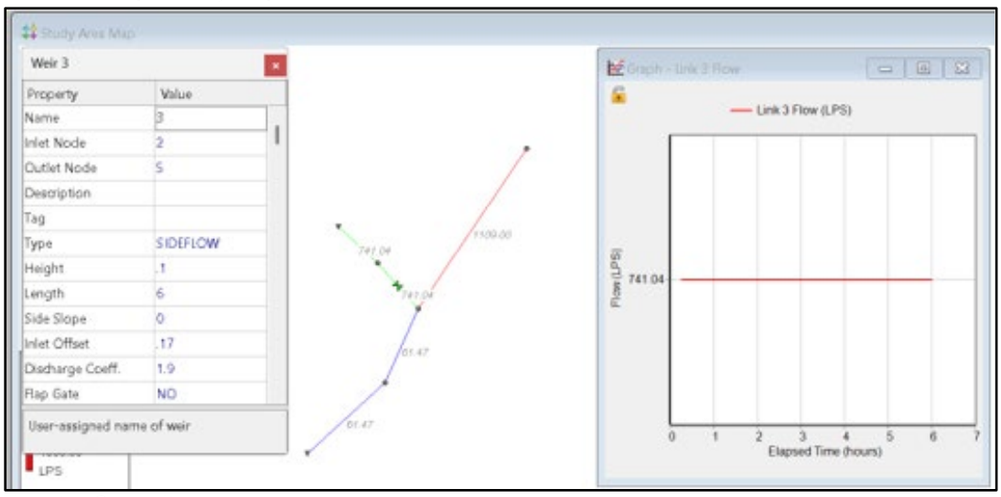
Teniendo en cuenta los inconvenientes que se están presentando en la estructura de separación Nº.13 P(2-K5-4) se plantea las siguientes propuestas de soluciones:

❖ **ALTERNATIVA 1:** AMPLIACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN EXISTENTE

Mantener la entrada de caudal combinada en diámetro d=27 pulgadas, aumentar la longitud de vertedero de L= 2,60 m a L= 6.0 m, y contraer el diámetro de salida de caudal sanitario diluido de 12 pulgadas a 200 mm. Así mismo, adaptar con cresta del vertedero tipo creager en la salida pluvial (vertido tipo torpedo). La reposición de la tubería sanitaria en 200 mm tiene una longitud de 6.0 m, con una estructura de conexión nueva en diámetro de 1,20 m y profundidad de 4,50 m. El Caudal aguas abajo diluido es del orden de 61 L/s, donde en las condiciones actuales se manejan operativamente hasta 168 L/s.

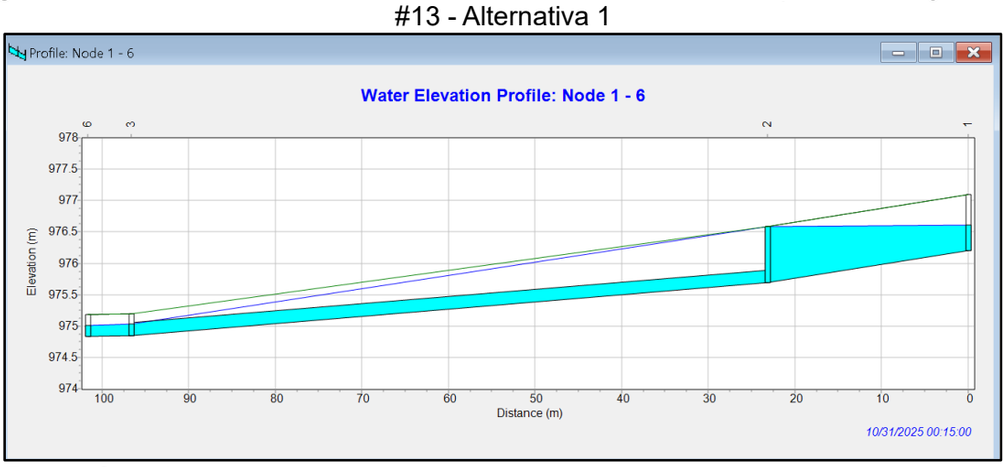
PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 292,684,722.00

Figura 43. Esquema y capacidad en los tramos del modelo swmm EDS #13 - Alternativa 1



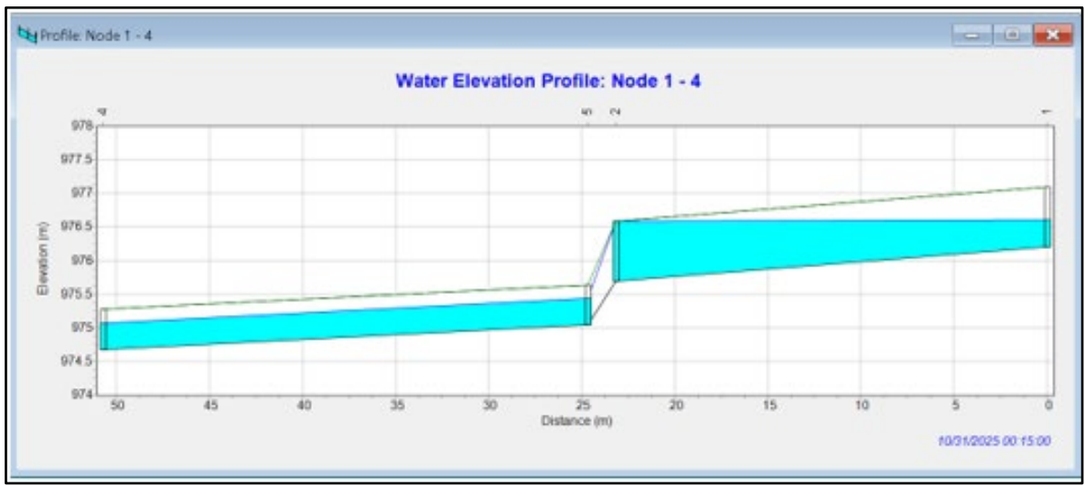
Fuente: Consultor

Figura 44. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #13 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

Figura 45. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #13 - Alternativa 1



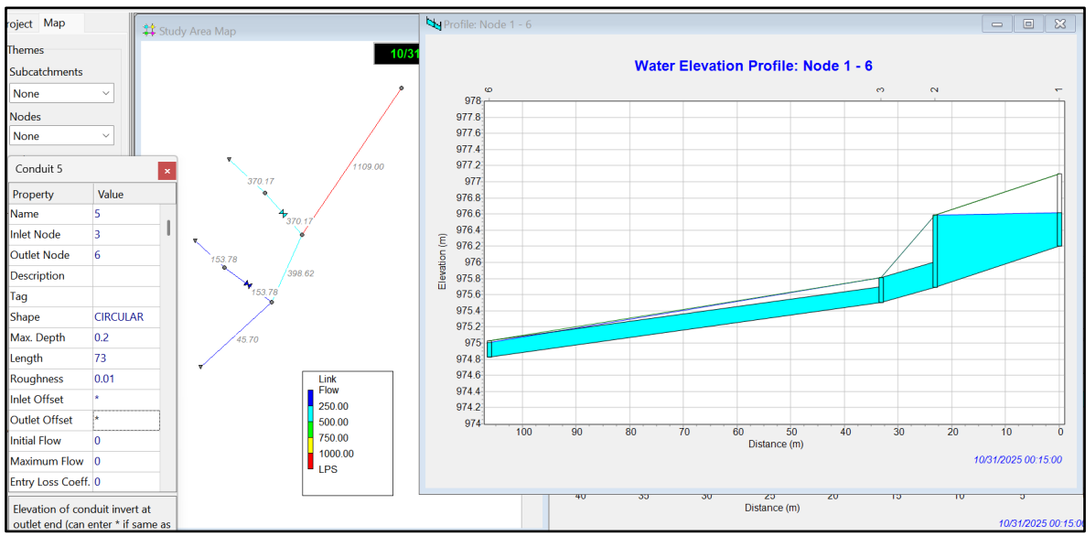
Fuente: Consultor

❖ **<u>ALTERNATIVA 2:</u>** REHABILITACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN

Modificar aguas abajo de la actual Estructura de Separación el diámetro de salida sanitaria de d=315 mm a d= 200 mm, sin eliminar la entrada lateral aferente a dicha estructura. Crear en el tramo nuevo aguas abajo un vertedero de longitud L=6.0 m. Construir un pozo de inspección que recoja el vertedero aguas abajo y lo conecte al sistema pluvial existente. Reponer el diámetro de 200 mm sanitario en una longitud aproximada de L= 10 metros aguas abajo de vertedero actual. El caudal sanitario diluido aguas abajo será del orden de 50 L/s.

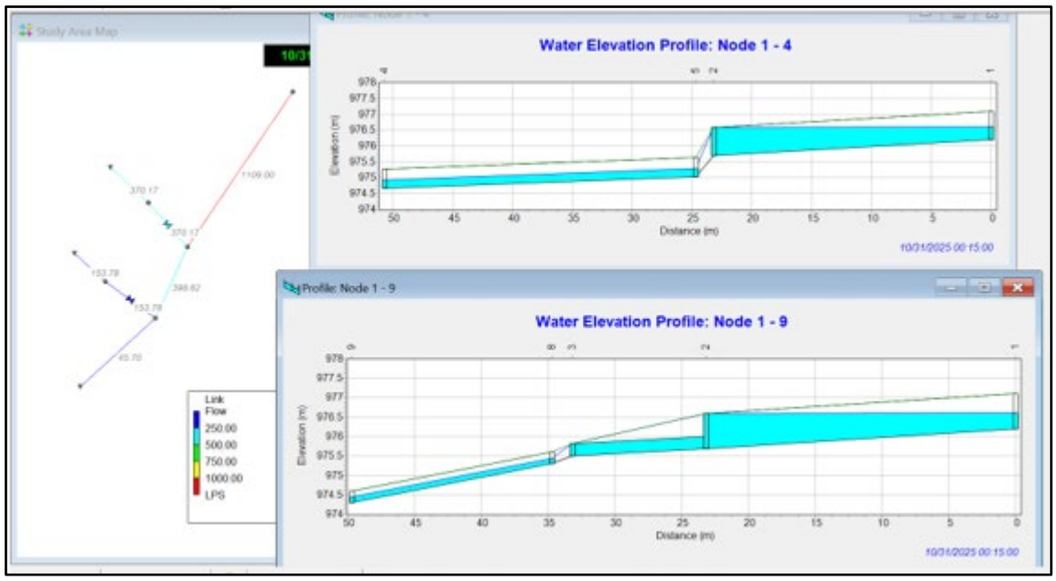
<u>PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA</u>
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 384,866,677.00

Figura 46. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #13 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

Figura 47. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #13 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

En las siguientes tablas se evidencian los cálculos para determinar la matriz pareada, la matriz normalizada, el Vector promedio y el análisis de consistencia para la estructura de separación N° 13. Es pertinente mencionar que el análisis de consistencia se realiza para matrices con "n" a partir de tres (3); dicho esto, para la selección de la alternativa más favorable en la optimización y adecuación de las estructuras de separación existentes, en el análisis de las alternativas vs los criterios no se realiza análisis de consistencia, puesto que la matriz es de n=2 en cada una de ellas.

Tabla 73. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #13

¿Cuál opción requiere menor area de intervención?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	6	0,86	0,86	**0,86**
ALTERNATIVA 2	1/6	1	0,14	0,14	**0,14**
SUMA	**1,17**	**7,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 74. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #13

¿Cuál opción tiene mejor eficiencia hidráulica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	6	0,86	0,86	**0,86**
ALTERNATIVA 2	1/6	1	0,14	0,14	**0,14**
SUMA	**1,17**	**7,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 75. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #13

¿Cuál opción involucra un mayor cumplimento en parámetros técnicos?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	2	0,67	0,67	**0,67**
ALTERNATIVA 2	1/2	1	0,33	0,33	**0,33**
SUMA	**1,50**	**3,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 76. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #13

¿Cuál opción tiene menor impacto sobre la fuente hídrica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	2	0,67	0,67	**0,67**
ALTERNATIVA 2	1/2	1	0,33	0,33	**0,33**
SUMA	**1,50**	**3,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 77. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #13

¿Cuál opción representa menor riesgo biológico?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	2	0,67	0,67	**0,67**
ALTERNATIVA 2	1/2	1	0,33	0,33	**0,33**
SUMA	**1,50**	**3,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 78. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #13

¿Cuál opción requiere mayor inversión en la construccion?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/6	0,14	0,14	**0,14**
ALTERNATIVA 2	6	1	0,86	0,86	**0,86**
SUMA	**7,00**	**1,17**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 79. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #13

¿Cuál opción tiene menor costo de operación?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	5	0,83	0,83	**0,83**
ALTERNATIVA 2	0,2	1	0,17	0,17	**0,17**
SUMA	**1,20**	**6,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 80. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #13

¿Cuál opción menor costo de mantenimiento?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	4	0,80	0,80	**0,80**
ALTERNATIVA 2	0,25	1	0,20	0,20	**0,20**
SUMA	**1,25**	**5,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

- Construcción de la Matriz de comparación pareada entre criterios. Para cotejar los criterios y subcriterios se realizó una comparación pareada para determinar el peso de cada uno con relación a los demás. Esta valoración se llevó a cabo utilizando la escala fundamental. De igual forma se generó la matriz Normalizada de criterios y se efectuó el análisis del Índice de consistencia. Las siguientes Tablas muestran la matriz referida.

Tabla 81. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #13

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO	ANALISIS DE CONSISTENCIA	
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3		VECTOR FILA TOTAL	CONCLUSION
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO			
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	1	1/7	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	**0,02**	0,14434597	SI CR <15% MATRIZ ES CONSISTENTE
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	7	1	1	1/2	1/2	1	1	1	**0,10**	0,88109113	
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	9	1	1	1	1	5	5	5	**0,22**	1,995658727	
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	9	1	1/5	1/5	1/5	1	1/2	1/2	**0,06**	0,533877605	
	E2	COSTO DE OPERACION	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	SUMA		58,00	9,14	4,71	4,24	4,24	21,11	18,61	18,61	**1,00**	**λmax**	**9,03**
										INDICE DE CONSISTENCIA		CI	0,147
										INDICE ALEATORIO		RI	1,404
										RELACION DE CONSISTENCIA		CR	0,105

Fuente: Consultor

Tabla 82. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #13

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	**0,02**
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	0,12	0,11	0,21	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	**0,10**
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	0,16	0,11	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	**0,06**
	E2	COSTO DE OPERACION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	SUMA										**1,00**

Fuente: Consultor

Luego de agrupar los valores de las matrices entre opciones y la matriz entre criterios, se genera la matriz de desempeño que agrupa los valores ponderados, dando como resultado un valor para cada una de las alternativas indicando la de mejor valoración con los criterios propuestos, como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 83. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #13

OPCIONES		CRITERIOS								
		TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			PRIORIZACION
		T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
		AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
ALTERNATIVA 1:	Ampliación de la Estructura de Separación Existente	0,86	0,86	0,67	0,67	0,67	0,14	0,83	0,80	0,68
ALTERNATIVA 2:	Rehabilitación de la Estructura de Separación	0,14	0,14	0,33	0,33	0,33	0,86	0,17	0,20	0,32
PONDERACION		0,02	0,10	0,22	0,22	0,22	0,06	0,08	0,08	

Fuente: Consultor

- **DECISIÓN:** La alternativa que presenta un mejor desempeño de acuerdo con los criterios analizados en las matrices de decisión jerárquica, es la Opción 1 con un valor ponderado de 0,68; que corresponde a la Ampliación de la Estructura de Separación Existente.

7.14 SELECCION DE LA ALTERNATIVA ESTRUCTURA # 14: PA (5A-5-K3)b

✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(KR3-CL6).

La estructura se localiza en la Calle 6 entre Carreras 5A y 5 del casco urbano municipal. Actualmente, recibe el aporte de un área de drenaje de 54.93 ha.

Teniendo en cuenta los inconvenientes que se están presentando en la estructura de separación Nº.14 PA (5A-5-K3)b se plantea las siguientes propuestas de soluciones:

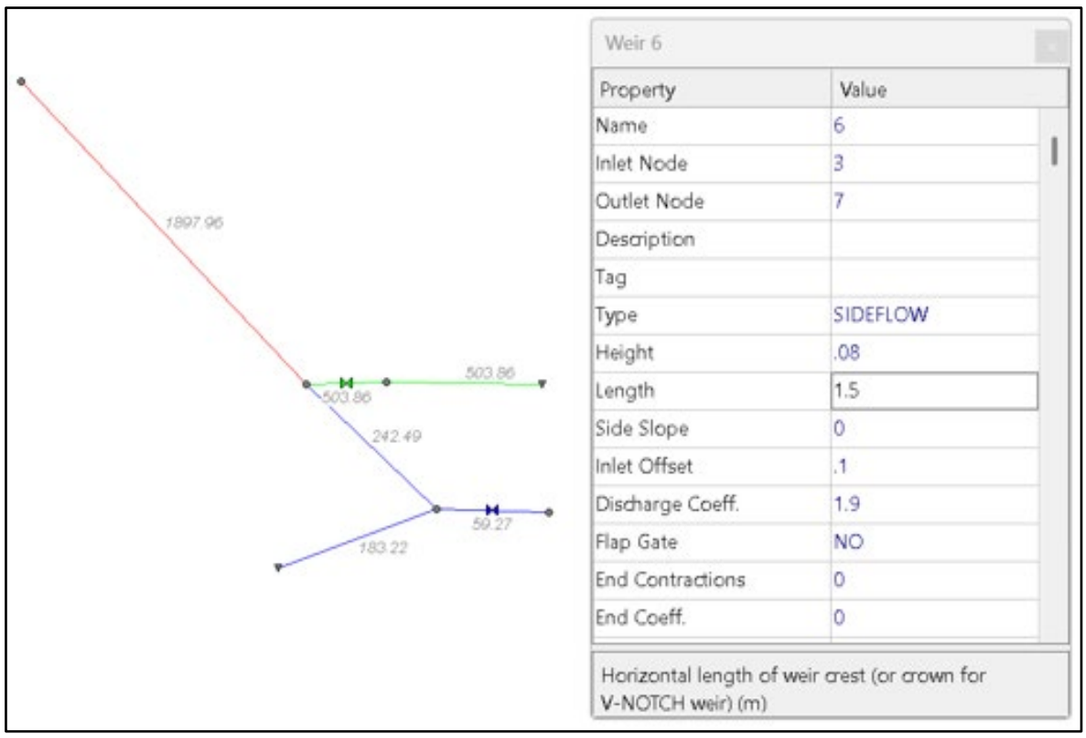
❖ **ALTERNATIVA 1:** AMPLIACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN EXISTENTE

Se propone mantener la Estructura de Separación actual, reduciendo la tubería sanitaria aguas abajo de diámetro d=315mm a 250 mm, dentro del que colocaría un vertedero adicional de 1,50 metros de longitud (con carga teórica de 8 cm de lámina de agua) con descarga a un pozo nuevo y de este emerge una tubería pluvial nueva conectando al mismo sistema de entrega actual. El caudal sanitario diluido es del orden de 180 L/s, con la ventaja de tener dos vertederos funcionando se optimiza el drenaje aguas abajo dentro sistema.

PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA

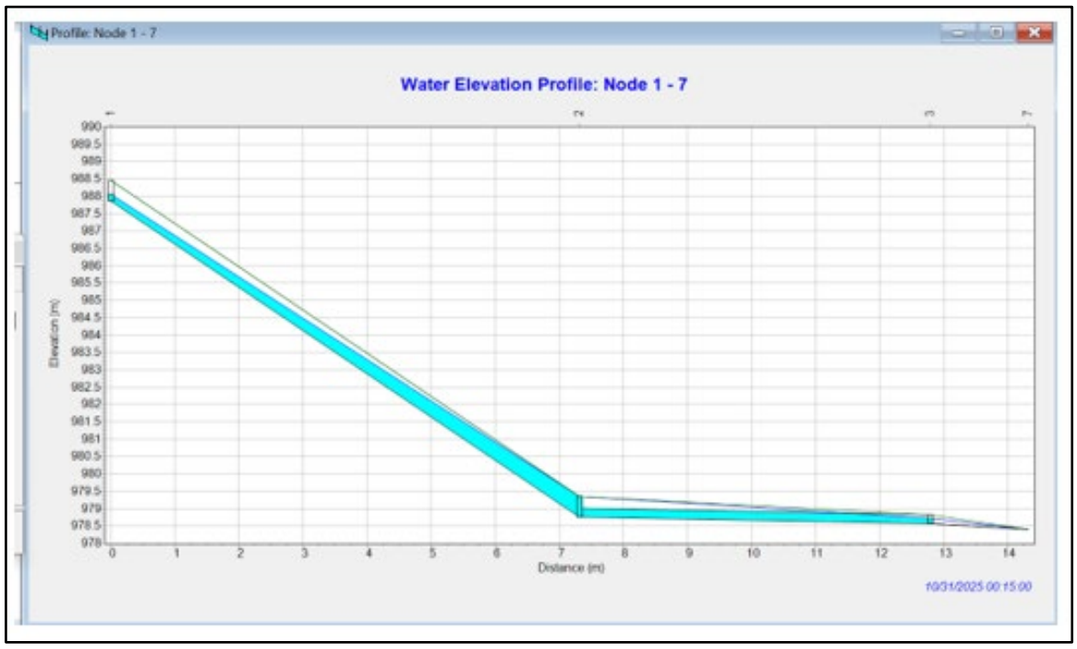
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 218,681,272.00

Figura 48. Esquema y capacidad en los tramos del modelo swmm EDS #14 - Alternativa 1



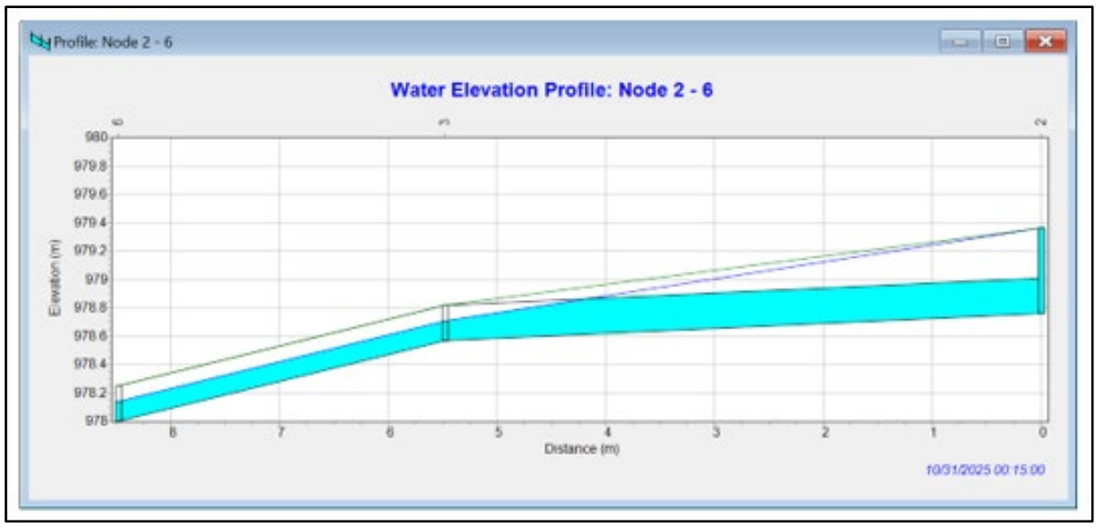
Fuente: Consultor

Figura 49. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #14 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

Figura 50. Perfil de tramo de alcantarillado pluvial con nivel de superficie de agua EDS #14 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

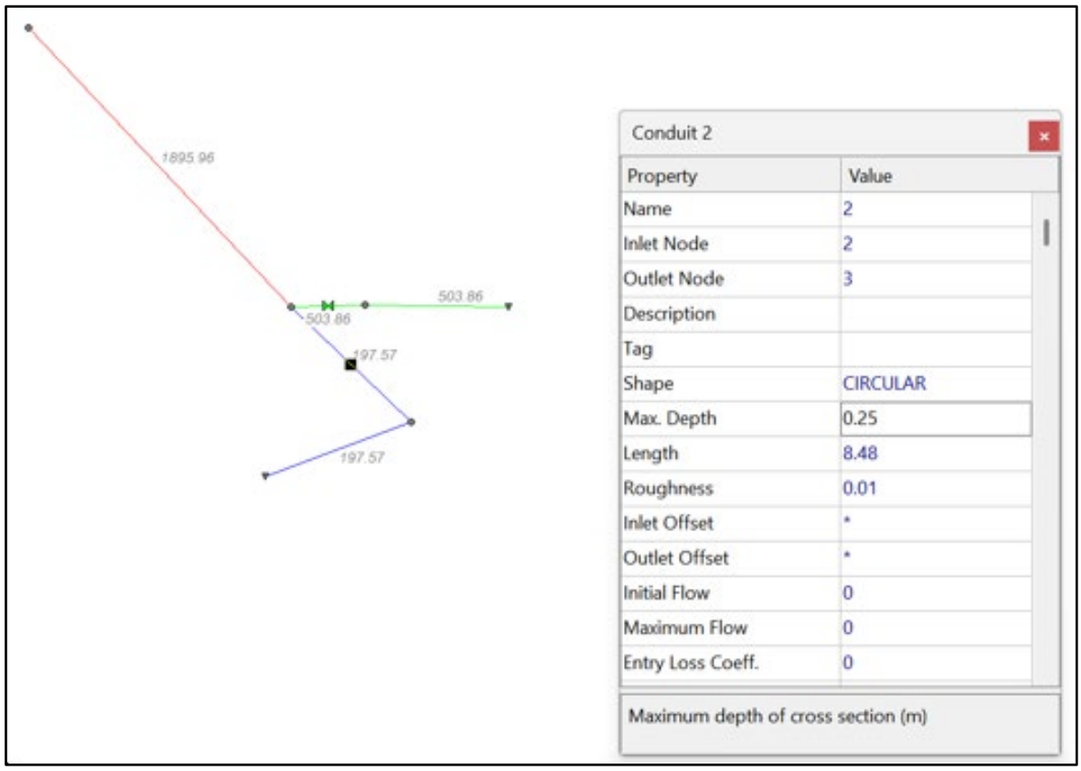
❖ **<u>ALTERNATIVA 2:</u>** REDISEÑO Y SUSTITUCION PARCIAL DE LA ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN EXISTENTE

Reponer el tramo de salida aguas debajo de la Estructura de diámetro d=315 mm (12 pulgadas) en material gress por tubería de 250 mm (10 pulgadas) en material PVC estructural. El caudal sanitario diluido será del orden de 200 L/s. Se requiere reconstruir la estructura de separación en su salida y el pozo de inspección de llegada para cambiar su diámetro (reducir).

PRESUPUESTO APROXIMADO DE OBRA

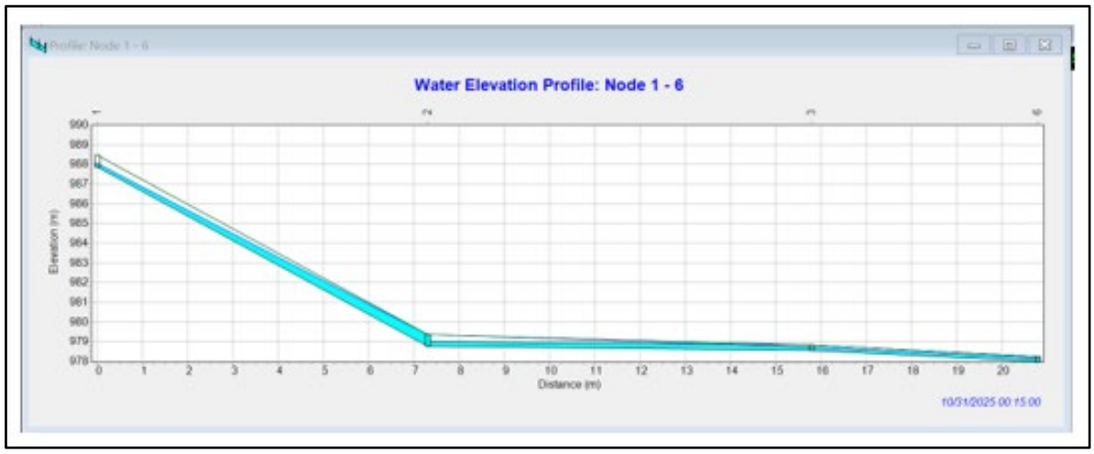
El presupuesto aproximado de la obra sin interventoría es de $ 89,894,284.00

Figura 51. Esquema y capacidad en los tramos del modelo swmm EDS #14 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

Figura 52. Perfil de tramo de alcantarillado sanitario con nivel de superficie de agua EDS #14 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

En las siguientes tablas se evidencian los cálculos para determinar la matriz pareada, la matriz normalizada, el Vector promedio y el análisis de consistencia para la estructura de separación N° 14. Es pertinente mencionar que el análisis de consistencia se realiza para matrices con "n" a partir de tres (3); dicho esto, para la selección de la alternativa más favorable en la optimización y adecuación de las estructuras de separación existentes, en el análisis de las alternativas vs los criterios no se realiza análisis de consistencia, puesto que la matriz es de n=2 en cada una de ellas.

Tabla 84. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T1. Area de Intervención – Selección de Alternativas EDS #14

¿Cuál opción requiere menor area de intervención?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/5	0,17	0,17	**0,17**
ALTERNATIVA 2	5	1	0,83	0,83	**0,83**
SUMA	**6,00**	**1,20**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 85. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T2. Eficiencia Hidráulica - Selección Alternativa EDS #14

¿Cuál opción tiene mejor eficiencia hidráulica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	5	0,83	0,83	**0,83**
ALTERNATIVA 2	1/5	1	0,17	0,17	**0,17**
SUMA	**1,20**	**6,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 86. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico T3.Cumplimiento Normativo - Selección Alternativa EDS #14

¿Cuál opción involucra un mayor cumplimento en parámetros técnicos?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	3	0,75	0,75	**0,75**
ALTERNATIVA 2	1/3	1	0,25	0,25	**0,25**
SUMA	**1,33**	**4,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 87. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A1. Protección Fuente Hídrica - Selección Alternativa EDS #14

¿Cuál opción tiene menor impacto sobre la fuente hídrica?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	3	0,75	0,75	**0,75**
ALTERNATIVA 2	1/3	1	0,25	0,25	**0,25**
SUMA	**1,33**	**4,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 88. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Ambiental A2. Alteración del Ecosistema - Selección Alternativa EDS #14

¿Cuál opción representa menor riesgo biológico?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	3	0,75	0,75	**0,75**
ALTERNATIVA 2	1/3	1	0,25	0,25	**0,25**
SUMA	**1,33**	**4,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 89. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E1. Costo de Construcción - Selección Alternativa EDS #14

¿Cuál opción requiere mayor inversión en la construccion?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	6	0,86	0,86	**0,86**
ALTERNATIVA 2	1/6	1	0,14	0,14	**0,14**
SUMA	**1,17**	**7,00**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 90. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E2. Costo de Operación - Selección Alternativa EDS #14

¿Cuál opción tiene menor costo de operación?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/2	0,33	0,33	**0,33**
ALTERNATIVA 2	2	1	0,67	0,67	**0,67**
SUMA	**3,00**	**1,50**			**1,00**

Fuente: Consultor

Tabla 91. Matriz para análisis de Alternativas vs Criterio Técnico E3. Costo de Mantenimiento - Selección Alternativa EDS #14

¿Cuál opción menor costo de mantenimiento?					
MATRIZ PAREADA			**MATRIZ NORMALIZADA**		**VECTOR PROMEDIO**
OPCIONES	**ALTERNATIVA 1**	**ALTERNATIVA 2**			
ALTERNATIVA 1	1	1/2	0,33	0,33	**0,33**
ALTERNATIVA 2	2	1	0,67	0,67	**0,67**
SUMA	**3,00**	**1,50**			**1,00**

Fuente: Consultor

- Construcción de la Matriz de comparación pareada entre criterios. Para cotejar los criterios y subcriterios se realizó una comparación pareada para determinar el peso de cada uno con relación a los demás. Esta valoración se llevó a cabo utilizando la escala fundamental. De igual forma se generó la matriz Normalizada de criterios y se efectuó el análisis del Índice de consistencia. Las siguientes Tablas muestran la matriz referida.

Tabla 92. Matriz Pareada de Comparación entre Criterios y Análisis de Consistencia EDS #14

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO	ANALISIS DE CONSISTENCIA	
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3		VECTOR FILA TOTAL	CONCLUSION
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO			
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	1	1/7	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	**0,02**	0,14434597	SI CR <15% MATRIZ ES CONSISTENTE
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	7	1	1	1/2	1/2	1	1	1	**0,10**	0,88109113	
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	9	1	1	1	1	5	5	5	**0,22**	1,995658727	
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	7	2	1	1	1	5	5	5	**0,22**	2,064516293	
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	9	1	1/5	1/5	1/5	1	1/2	1/2	**0,06**	0,533877605	
	E2	COSTO DE OPERACION	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	9	1	1/5	1/5	1/5	2	1	1	**0,08**	0,672109101	
	SUMA		58,00	9,14	4,71	4,24	4,24	21,11	18,61	18,61	**1,00**	**λmax**	**9,03**
										INDICE DE CONSISTENCIA		CI	0,147
										INDICE ALEATORIO		RI	1,404
										RELACION DE CONSISTENCIA		CR	0,105

Fuente: Consultor

Tabla 93. Matriz Normalizada de comparación entre criterios EDS #14

CRITERIOS			TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			VALOR PROMEDIO
			T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
			AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
TECNICO	T 1	AREA DE INTERVENCIÓN	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	**0,02**
	T 2	EFICIENCIA HIDRAULICA	0,12	0,11	0,21	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	**0,10**
	T 3	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	0,16	0,11	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
AMBIENTAL	A1	PROTECCION FUENTE HIDRICA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
	A2	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	0,12	0,22	0,21	0,24	0,24	0,24	0,27	0,27	**0,22**
ECONOMICO	E1	COSTO DE CONSTRUCCION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	**0,06**
	E2	COSTO DE OPERACION	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	E3	COSTO DE MANTENIMIENTO	0,16	0,11	0,04	0,05	0,05	0,09	0,05	0,05	**0,08**
	SUMA										**1,00**

Fuente: Consultor

Luego de agrupar los valores de las matrices entre opciones y la matriz entre criterios, se genera la matriz de desempeño que agrupa los valores ponderados, dando como resultado un valor para cada una de las alternativas indicando la de mejor valoración con los criterios propuestos, como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 94. Matriz de Desempeño de Selección de Alternativas – EDS #14

OPCIONES		CRITERIOS								
		TECNICO			AMBIENTAL		ECONOMICO			PRIORIZACION
		T 1	T 2	T 3	A1	A2	E1	E2	E3	
		AREA DE INTERVENCIÓN	EFICIENCIA HIDRAULICA	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	PROTECCION FUENTE HIDRICA	ALTERACION DEL ECOSISTEMA	COSTO DE CONSTRUCCION	COSTO DE OPERACION	COSTO DE MANTENIMIENTO	
ALTERNATIVA 1:	Ampliación de la Estructura de Separación Existente	0,17	0,83	0,75	0,75	0,75	0,86	0,33	0,33	0,69
ALTERNATIVA 2:	Rediseño y Sustitución Parcial de la Estructura de Separación	0,83	0,17	0,25	0,25	0,25	0,14	0,67	0,67	0,31
PONDERACION		0,02	0,10	0,22	0,22	0,22	0,06	0,08	0,08	

Fuente: Consultor

- **DECISIÓN:** La alternativa que presenta un mejor desempeño de acuerdo con los criterios analizados en las matrices de decisión jerárquica, es la Opción 1 con un valor ponderado de 0,69; que corresponde a la Ampliación de la Estructura de Separación Existente.

7.15 OPTIMIZACION Y ADECUACION DE LA ESTRUCTURA # 15: PA (5A-5-K3)f

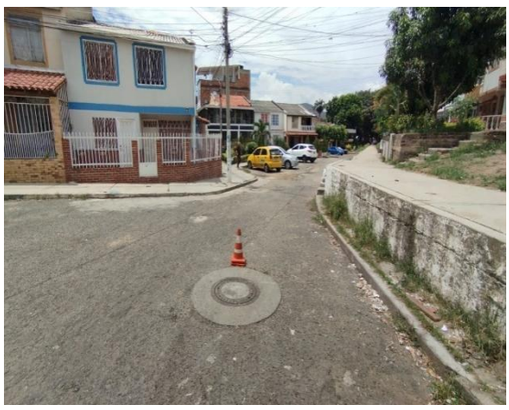
✓ Nombre de la estructura en el catastro de redes A(KR3-CL6-MZH).

La estructura de alivio N.º 15 se localiza entre las Calles 5A y 5 con Carrera 3 de barrio La Tachuela (Quebrada Mata de Guadua). Vierte las aguas pluviales en la margen izquierda de la Quebrada Villanueva; pero antes el sistema pluvial de la estructura entrega a un box culvert de dimensiones: ancho 2.25m y altura de 3.30m.

Según el diagnóstico técnico, estas son sus características físicas y condiciones actuales:

Figura 53. Diagnóstico físico de la Estructura de separación #15

	
15- PA (5A-5-K3) f	Vista Interna Estructura – Entrada del Sistema a Estructura – 42” CR
	
Vista Interna Estructura – Entrada del Sistema a Estructura – 42” CR	Vista Interna: Rampa – Vertedero.
	
Salida Pluvial- Entrega a BoxCulvert – 48” CR	Entrega Pluvial a BoxCulvert – 2.25m * 3.30m

	
Entrega Pluvial a BoxCulvert – 2.25m * 3.30m	P (5A-5-K3) e – Entrega a Estructura 15- PA (5A-5-K3) f
	
Vista Interna - P (5A-5-K3) e	P (5-3) – Recibe Estructura
	
Vista Interna - P (5-3)	Vista Interna - P (5-3)

Fuente: Consultor

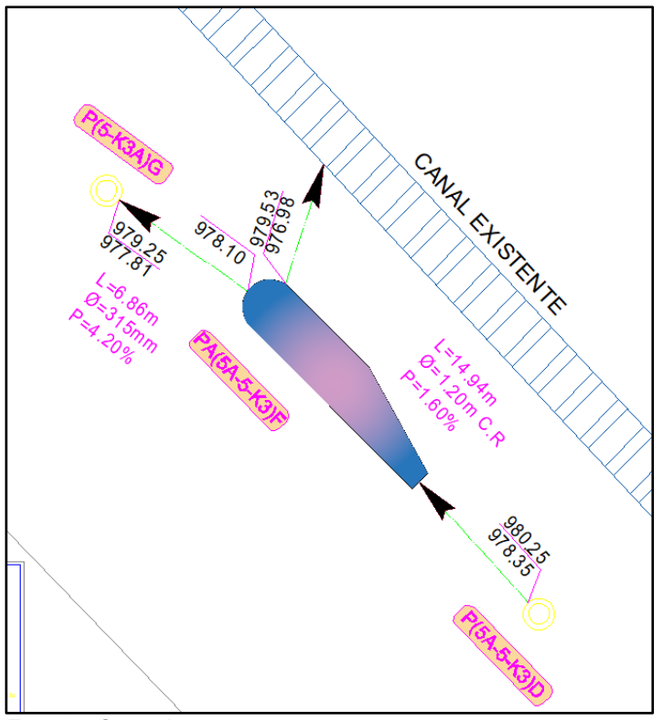
Esta EDS hace parte de un sistema de controles de aguas combinadas y se conecta al sistema de la EDS N° 14 PA (5A-5-K3)b. Para estas dos estructuras de separación (EDS #14 y EDS #15) el área aferente es de 54,992 Ha y los caudales de diseño 42,21 L/s, caudal diluido de 211 L/s.

Tabla 95. Caudales de diseño, pluvial y diluido EDS #14 y 15

Area Aferente (Ha)	Q_diseño (L/s)	Q_pluvial (L/s)	Q_diluido L/s
54,92	42,21	8446	211,05

Fuente: Consultor

Figura 54. Planta General de la Estructura de separación #15



Fuente: Consultor

Se identificaron las siguientes inconformidades técnicas respecto al RAS:

- Diámetros muy grandes, tanto en la entrada combinada, como en la salida sanitaria e incluso en la pluvial; por ello, en eventos de precipitaciones, el nivel de dilución aumenta.
- La solución a largo plazo es realizar un manejo como el propuesto para la estructura de separación N° 14; es decir, contrayendo el diámetro sanitario y generar en ese ducto sanitario contraído un nuevo vertedero de modo que se liberen mayores caudales al sistema pluvial.

En conclusión, la operatividad eficiente de la Estructura de Separación N.º 15 está condicionada a la optimización de los colectores de salida sanitaria.

❖ OPTIMIZACIÓN

Considerando las condiciones hidráulicas aguas abajo de la EDS #14, se recomienda:

- Modificar el diámetro sanitario de 315mm a 200mm.
- Situar un sistema pluvial de captación en el nuevo vertedero.
- Instalar un nuevo vertedero de longitud L= 2,0 m sobre la tubería sanitaria.

En conclusión, la operatividad eficiente de la Estructura de Separación N° 15 depende del manejo de diámetros aguas abajo de dicha estructura; previamente disponer de pozos de inspección y conductos que conduzcan las aguas pluviales, y a largo plazo hacer el nuevo vertedero aguas abajo del actual sobre la tubería contraída sanitaria, de modo, que en eventos de lluvias, tanto el vertedero actual como el proyectado, garanticen que aguas abajo del sistema sanitario se puedan conducir en conjunto con la EDS #14, un caudal diluido del orden de 211 L/s.

8. CONCLUSIONES

La aplicación de la matriz de evaluación permitió jerarquizar los indicadores clave para la evaluación y selección de la alternativa optima en cada Estructura de Separación, considerando criterios de sostenibilidad Técnica, Ambiental, Normativa y Económica. Los resultados reflejan la importancia relativa de cada indicador en función de su contribución a la resiliencia general del proyecto conformado por cada Estructura de Separación estudiada.

De acuerdo con los pesos obtenidos, se observa que el cumplimiento normativo y ambiental adquieren una ponderación significativa, lo que sugiere que tanto la preservación ambiental como el involucramiento de la normatividad técnica aplicable son factores determinantes en el fortalecimiento de la resiliencia del proyecto.

Por otro lado, el criterio de sostenibilidad económico, aunque relevante, tiene un peso ligeramente menor en el contexto de la matriz, indicando que su impacto es complementario a los otros factores.

En conjunto, el análisis evidencia que una estrategia integral que combine la conservación del ambiente, la gestión adecuada de parámetros técnicos y la normatividad establecida en el contexto del proyecto de optimización, operación y mantenimiento de las Estructuras de Separación maximiza la capacidad de recuperación de esta infraestructura frente a condiciones adversas de funcionamiento. Estos hallazgos orientan la toma de decisiones para priorizar acciones y recursos en las intervenciones propuestas.

Los subcriterios establecidos y determinados a través de la matriz de evaluación reflejan el grado en que las alternativas analizadas se ven afectadas por factores externos y problemas potenciales. Para su cálculo, se asignaron pesos específicos a los criterios de exposición mediante comparaciones pareadas, asegurando que la razón de consistencia fuera menor a 0.15, lo cual valida la coherencia de los juicios emitidos.

De este modo, los resultados obtenidos son confiables y permiten identificar con claridad cuáles alternativas presentan mayor vulnerabilidad ante riesgos técnicos, ambientales y económicos.

La interpretación del índice de priorización facilita la toma de decisiones, ya que resalta las soluciones que requieren mayor atención para el diseño y mitigación de riesgos.

Al integrar este análisis con los subcriterios y los demás criterios evaluados, se obtiene una visión integral de la efectividad y seguridad de cada alternativa propuesta, orientando el proceso hacia intervenciones más eficaces y sostenibles.

Después de aplicar el método de evaluación de Saaty y analizar los resultados obtenidos en la matriz de decisión final para cada Estructura de Separación analizada, se seleccionó la alternativa que obtuvo la mayor puntuación global, reflejando el mejor equilibrio entre preservación ambiental, parametrización técnica e hidráulica y normatividad vigente.

Estructura de Separación	Alternativa	PUNTUACIÓN
1. PA (10 - K17)2	1 Ampliación de la Estructura de Separación Existente	0.33
	2 Rehabilitación de la Estructura de Separación Existente	0.67
2. PA (6 - 5A - K15)	Optimización y Adecuación de la Estructura de Separación a largo plazo	
3. PA (5A-6-K15)	1 Rediseño de la Estructura de Separación Existente	0.46
	2 Rediseño y Sustitución Total de la Estructura de Separación Existente	0.54
4. PA (8 - 12)	1 Ampliación de la Estructura de Separación Existente	0.63
	2 Rediseño y Rehabilitación de la Estructura de Separación	0.37
5. PA (5 - 4 - K12)	Optimización y Adecuación de la Estructura de Separación a largo plazo	
6. PA (5 - 4 - K11)c	Optimización y Adecuación de la Estructura de Separación a largo plazo	
7. PA (4 - K11 - 10)b	Optimización y Adecuación de la Estructura de Separación a largo plazo	
8. PA (4 - 3B - K10)	Optimización y Adecuación de la Estructura de Separación a largo plazo	
9. PA (3B - 4 - K10)b	Optimización y Adecuación de la Estructura de Separación a largo plazo	
10. PA (2A - 10)	1 Rediseño y Sustitución Total del Pozo no Convencional Existente	0.58
	2 Sustitución Total de del Pozo no Convencional Existente	0.42
11. PA (4 - 3B - K9)c	1 Rehabilitación de la Estructura de Separación Existente	0.34
	2 Rediseño y Sustitución Total de la Estructura de Separación	0.66
12. PA (3A - 3 - K7)	1 Rediseño y Rehabilitación de la Estructura de Separación Existente	0.49
	2 Rediseño y Sustitución Parcial de la Estructura de Separación Existente	0.51
13. P (2 - K5 - 4)	1 Ampliación de la Estructura de Separación Existente	0.68
	2 Rehabilitación de la Estructura de Separación	0.32
14. PA (5A - 5 - K3)b	1 Ampliación de la Estructura de Separación Existente	0.69
	2 Rediseño y Sustitución Parcial de la Estructura de Separación	0.31
15. PA (5A - 5 - K3)f	Optimización y Adecuación de la Estructura de Separación a largo plazo	

9. BIBLIOGRAFIA

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR-10 (Decreto 926 de 2010). Bogotá, Colombia.

Instituto Nacional de Vías. (2013). Especificaciones generales de construcción de carreteras. INVIAS. Bogotá, Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2004). NTC 4026: Concretos. Ensayos de resistencia y durabilidad. ICONTEC. Bogotá, Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2007). NTC 550: Unidades de mampostería de arcilla y concreto. ICONTEC. Bogotá, Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2003). NTC 3329: Morteros para reparación estructural y no estructural. ICONTEC. Bogotá, Colombia.

Entidad Operadora del Sistema de Alcantarillado de Piedecuesta. (2025). Informe de investigación de estructuras de separación sanitarias – Municipio de Piedecuesta (Santander). Documento institucional interno.

Proceso Analítico Jerárquico - Analytic Hierarchy Process (AHP). Thomas L. Saaty.

Agregación de modelos de Proceso Analítico Jerárquico sobre similitudes en las preferencias de los decisores. Bullju, N. 2001.

ANEXOS

ANEXO 1. MODELACION HIDRAULICA EDS #1. ALTERNATIVA 1
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 2. MODELACION HIDRAULICA EDS #1. ALTERNATIVA 2
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 3. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #1. ALTERNATIVA 1

ANEXO 4. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #1. ALTERNATIVA 2

ANEXO 5. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #1. ALTERNATIVA 1

ANEXO 6. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #1. ALTERNATIVA 2

ANEXO 7. MODELACION HIDRAULICA EDS #3. ALTERNATIVA 1
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 8. MODELACION HIDRAULICA EDS #3. ALTERNATIVA 2
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 9. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #3. ALTERNATIVA 1

ANEXO 10. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #3. ALTERNATIVA 2

ANEXO 11. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #3. ALTERNATIVA 1

ANEXO 12. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #3. ALTERNATIVA 2

ANEXO 13. MODELACION HIDRAULICA EDS #4. ALTERNATIVA 1
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 14. MODELACION HIDRAULICA EDS #4. ALTERNATIVA 2
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 15. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #4. ALTERNATIVA 1

ANEXO 16. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #4. ALTERNATIVA 2

ANEXO 17. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #4. ALTERNATIVA 1

ANEXO 18. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #4. ALTERNATIVA 2

ANEXO 19. MODELACION HIDRAULICA EDS #10. ALTERNATIVA 1
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 20. MODELACION HIDRAULICA EDS #10. ALTERNATIVA 2
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 21. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #10. ALTERNATIVA 1

ANEXO 22. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #10. ALTERNATIVA 2

ANEXO 23. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #10. ALTERNATIVA 1

ANEXO 24. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #10. ALTERNATIVA 2

ANEXO 25. MODELACION HIDRAULICA EDS #11. ALTERNATIVA 1
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 26. MODELACION HIDRAULICA EDS #11. ALTERNATIVA 2
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 27. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #11. ALTERNATIVA 1

ANEXO 28. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #11. ALTERNATIVA 2

ANEXO 29. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #11. ALTERNATIVA 1

ANEXO 30. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #11. ALTERNATIVA 2

ANEXO 31. MODELACION HIDRAULICA EDS #12. ALTERNATIVA 1
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 32. MODELACION HIDRAULICA EDS #12. ALTERNATIVA 2
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 33. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #12. ALTERNATIVA 1

ANEXO 34. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #12. ALTERNATIVA 2

ANEXO 35. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #12. ALTERNATIVA 1

ANEXO 36. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #12. ALTERNATIVA 2

ANEXO 37. MODELACION HIDRAULICA EDS #13. ALTERNATIVA 1
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 38. MODELACION HIDRAULICA EDS #13. ALTERNATIVA 2
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 39. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #13. ALTERNATIVA 1

ANEXO 40. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #13. ALTERNATIVA 2

ANEXO 41. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #13. ALTERNATIVA 1

ANEXO 42. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #13. ALTERNATIVA 2

ANEXO 43. MODELACION HIDRAULICA EDS #14. ALTERNATIVA 1
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 44. MODELACION HIDRAULICA EDS #14. ALTERNATIVA 2
(Archivo en medio magnético)

ANEXO 45. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #14. ALTERNATIVA 1

ANEXO 46. MEMORIAS HIDRAULICAS PRELIMINAR EDS #14. ALTERNATIVA 2

ANEXO 47. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #14. ALTERNATIVA 1

ANEXO 48. COSTO APROXIMADO INVERSION EDS #14. ALTERNATIVA 2