

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DPTO. DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**



**“EVALUACIÓN DEL DRENAJE URBANO APLICADO AL CASCO  
CENTRAL DE LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**

**RAÚL TORREZ DOMÍNGUEZ**

Proyecto de Grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería Civil

**SEMESTRE I - 2023**

**TARIJA-BOLIVIA**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado con todo el amor a mis padres, por ser ese incentivo que uno necesita en la vida para lograr grandes cosas, por inculcarme el valor del sacrificio que hoy se ve reflejado en el cumplimiento de este gran objetivo.

## ÍNDICE GENERAL

### CAPÍTULO I

#### ANTECEDENTES

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 1.1. Introducción .....                     | 1             |
| 1.2. Justificación.....                     | 2             |
| 1.3. Planteamiento del problema.....        | 3             |
| 1.3.1. Situación problemática.....          | 3             |
| 1.3.2. Problema del estudio.....            | 4             |
| 1.4. Objetivos .....                        | 4             |
| 1.4.1. Objetivo general.....                | 4             |
| 1.4.2. Objetivos específicos .....          | 4             |
| 1.5. Alcance del estudio de aplicación..... | 4             |

### CAPÍTULO II

#### FUNDAMENTO TEÓRICO

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 2.1. Sistemas de drenaje pluvial urbano.....                          | 6             |
| 2.2. Importancia del drenaje en vías urbanas .....                    | 6             |
| 2.3. Daños en las vías urbanas por falta de drenaje .....             | 8             |
| 2.3.1. Deterioro de los pavimentos por humedad .....                  | 9             |
| 2.3.2. Fuentes de agua que afectan el pavimento.....                  | 10            |
| 2.4. Composición y funcionamiento del sistema de drenaje pluvial..... | 11            |
| 2.5. Elementos de un sistema de drenaje urbano .....                  | 13            |
| 2.5.1. Entrada a la red de drenaje .....                              | 14            |
| 2.5.1.1. Canales interceptores .....                                  | 14            |
| 2.5.1.2. Canales recolectores.....                                    | 14            |
| 2.5.1.3. Cunetas.....   | 14            |
| 2.5.1.4. Sumideros.....   | 21            |
| 2.5.1.5. Estaciones de bombeo .....                                   | 36            |
| 2.5.2. Obras de conducción.....                                       | 36            |

|  |    |
|--|----|
| 2.5.2.1. Tubería de conexión.....  | 42 |
| 2.5.2.2. Colector secundario.....  | 42 |
| 2.5.2.3. Colector principal.....   | 43 |
| 2.5.2.4. Canales .....   | 43 |
| 2.5.3. Entrega a la disposición final .....                              | 45 |
| 2.6. Diseño de un sistema de drenaje urbano .....                        | 47 |
| 2.6.1. Caracterización de la zona .....                                  | 47 |
| 2.6.2. Curvas de pavimento.....  | 49 |
| 2.6.3. Frecuencia de lluvias – periodo de retorno .....                  | 50 |
| 2.6.4. Tiempo de concentración .....                                     | 53 |
| 2.6.5. Intensidad - duración – frecuencia .....                          | 55 |
| 2.6.6. Coeficiente de escurrimiento.....                                 | 56 |
| 2.6.7. Estimación de caudal.....   | 57 |
| 2.6.7.1. Método racional .....   | 57 |
| 2.7. Índice de condición de pavimento asfáltico (PCI).....               | 59 |
| 2.7.1. Procedimiento de la evaluación de la condición de pavimentos..... | 60 |
| 2.7.2. Unidades de muestreo .....  | 60 |
| 2.7.3. Determinación de las unidades de muestreo para evaluación.....    | 61 |
| 2.7.4. Selección de las unidades de muestreo para inspección .....       | 62 |
| 2.7.5. Cálculo de valor del PCI.....                                     | 62 |
| 2.7.6. Fallas del pavimento asfáltico.....                               | 64 |

### **CAPÍTULO III**

#### **EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 3.1. Ubicación del área de estudio .....                                  | 66            |
| 3.2. Características del área de estudio .....                            | 67            |
| 3.3. Diagnóstico del drenaje urbano.....                                  | 68            |
| 3.3.1. Identificación de causas de los problemas del drenaje urbano ..... | 95            |
| 3.4. Topografía.....  | 96            |
| 3.4.1. Levantamiento topográfico .....                                    | 96            |
| 3.4.2. Determinación del sentido del flujo superficial .....              | 96            |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4.3. Delimitación tentativa de la zona.....  | 97  |
| 3.4.4. Ancho de las vías y altura de aceras.....                                       | 97  |
| 3.5. Estudio hidrológico e hidráulico .....  | 97  |
| 3.5.1. Periodo de retorno .....  | 98  |
| 3.5.2. Demarcación del área tributaria .....   | 98  |
| 3.5.3. Coeficiente de escurrimiento.....   | 101 |
| 3.5.4. Tiempo de concentración .....   | 104 |
| 3.5.5. Información pluviométrica disponible .....                                      | 107 |
| 3.5.6. Estimación de la intensidad.....  | 108 |
| 3.5.6.1. Prueba de bondad de ajuste de Smirnov – Kolmogorov .....                      | 108 |
| 3.5.6.2. Gumbell modificada.....   | 110 |
| 3.5.6.3 Intensidades máximas .....   | 113 |
| 3.5.7. Estimación de escurrimiento superficial .....                                   | 117 |
| 3.5.7.1. Método racional .....   | 117 |
| 3.5.8. Capacidad de calles y cunetas .....   | 120 |
| 3.5.9. Capacidad de sumideros.....   | 124 |
| 3.5.9.1. Sumidero de ventana.....  | 124 |
| 3.5.9.2. Sumidero de reja en cuneta .....  | 126 |
| 3.5.10. Evaluación de resultados.....  | 128 |
| 3.5.11. Planteamiento de la red de colectores en base a los resultados obtenidos ..... | 134 |
| 3.6. Evaluación del pavimento asfáltico (PCI).....                                     | 137 |
| 3.6.1. Ubicación de los puntos críticos de acumulación de agua.....                    | 137 |
| 3.6.2. Resultados y análisis de la evaluación de pavimento asfáltico .....             | 138 |

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
|                           | <b>Página</b> |
| 4.1. Conclusiones .....   | 148           |
| 4.2. Recomendaciones..... | 150           |

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ÍNDICE DE ANEXOS**

**Anexo I:** Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija.

**Anexo II:** Calculo de la prueba de bondad de ajuste de Smirnov – kolmogorov.

**Anexo III:** Cálculo del coeficiente de escorrentía.

**Anexo IV:** Resumen funcionamiento hidráulico de las redes de alcantarillado pluvial.

**Anexo V:** Cálculo del índice de condición del pavimento.

**Anexo VI:** Planos

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Figura 2.1. Captación de agua de lluvia mediante un sumidero .....                     | 8             |
| Figura 2.2. Hoyos en la capa asfáltica.....  | 8             |
| Figura 2.3. Grietas en la capa asfáltica. ....   | 9             |
| Figura 2.4. Encharcamiento iglesia Catedral .....                                      | 9             |
| Figura 2.5. Componentes de un sistema de drenaje pluvial.....                          | 11            |
| Figura 2.6. Sitio de disposición final zona garcía agreda .....                        | 12            |
| Figura 2.7. Quebrada el Monte .....  | 14            |
| Figura 2.8. Cuneta conduciendo agua superficial. ....                                  | 15            |
| Figura 2.9. Cuneta triangular .....  | 17            |
| Figura 2. 10. Otras secciones transversales de cunetas.....                            | 18            |
| Figura 2.11. Nomograma de Izzard para el cálculo de cunetas o canales triangulares.... | 19            |
| Figura 2.12. Sumidero de ventana av. Víctor Paz Zamora .....                           | 21            |
| Figura 2.13. Sumidero lateral o de ventana.....  | 26            |
| Figura 2.14. Ubicación de sumideros de ventana .....                                   | 27            |
| Figura 2.15. Sumidero colector simple o lateral .....                                  | 27            |
| Figura 2.16. Sumideros de reja .....   | 30            |
| Figura 2.17. Ubicación de reja .....   | 30            |
| Figura 2.18. Sumidero de reja con presencia de basura.....                             | 30            |
| Figura 2.19. Perímetro y área del sumidero con rejillas.....                           | 32            |
| Figura 2.20. Sumidero mixto o combinado.....   | 33            |
| Figura 2.21. Sumidero mixto calle San Juan .....                                       | 33            |
| Figura 2.22. Ubicación de sumidero mixto.....  | 33            |
| Figura 2.23. Sumidero en calzada .....   | 34            |
| Figura 2.24. Ubicación sumidero en calzada .....                                       | 34            |
| Figura 2.25. Relaciones geométricas de la sección circular parcialmente llena .....    | 41            |
| Figura 2.26. Disposición final a quebrada El Monte .....                               | 46            |
| Figura 2.27. Curvas de pavimento .....   | 50            |
| Figura 2.28. Curvas intensidad – duración - frecuencia (IDF) .....                     | 55            |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 2.29. Falla piel de cocodrilo .....  | 65  |
| Figura 3.1. Área de estudio (Barrios San Roque, Las Panosas, La Pampa y El Molino)..... | 66  |
| Figura 3.2. Boca de tormenta (ventana).....   | 68  |
| Figura 3.3. Sumidero de reja en cuneta.....   | 69  |
| Figura 3.4. Sumidero de ventana con tapa metálica.....                                  | 69  |
| Figura 3.5. Curvas precipitación máxima – duración – periodo de retorno.....            | 112 |
| Figura 3.6. Curvas intensidad – duración - frecuencia.....                              | 114 |
| Figura 3.7. Cuneta de estudio.....  | 121 |
| Figura 3.8. Capacidad hidráulica de las calles y cunetas – colector “F” .....           | 122 |
| Figura 3.9. Capacidad Hidráulica de las calles y cunetas – colector “F” .....           | 123 |
| Figura 3.10. Sumidero de ventana de estudio .....                                       | 124 |
| Figura 3.11. Sumidero de reja en cuneta de estudio .....                                | 126 |
| Figura 3.12. Comparación de diámetro actual y calculado de tramo B1 – B2 .....          | 128 |
| Figura 3.13. Comparación de diámetro actual y calculado de tramo C1´ – C3 .....         | 130 |
| Figura 3.14. Comparación de diámetro actual y calculado de tramo D2 – D3 .....          | 131 |
| Figura 3.15. Comparación de diámetro actual y calculado de tramo F1 – F2 .....          | 132 |
| Figura 3.16. Ubicación de lugares críticos.....   | 137 |
| Figura 3.17. Falla grieta transversal - calle Campero .....                             | 139 |
| Figura 3.18. Falla grieta transversal - calle General Trigo .....                       | 141 |
| Figura 3.19. Falla grieta longitudinal - calle Sucre.....                               | 143 |
| Figura 3.20. Falla grieta transversal - calle Daniel Campos .....                       | 145 |
| Figura 3.21. Falla piel de cocodrilo - calle Colón.....                                 | 147 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Tabla 2.1. Coeficientes de rugosidad de Manning.....   | 20            |
| Tabla 2.2. Valores para proyectos de calles y avenidas.....  | 20            |
| Tabla 2.3. Espaciamiento de sumideros en función de la pendiente.....                                    | 24            |
| Tabla 2.4. Valores de las rugosidades de las tuberías.....   | 41            |
| Tabla 2.5. Coeficiente de escurrimiento superficial.....   | 48            |
| Tabla 2.6. Coeficiente de escurrimiento superficial en función al crecimiento de la<br>urbanización..... | 49            |
| Tabla 2.7. Periodo de retorno o grado de protección (años).....  | 52            |
| Tabla 2.8. Coeficiente de retardo.....   | 54            |
| Tabla 2.9. Métodos hidrológicos en función a las áreas de la cuenca.....                                 | 59            |
| Tabla 2.10. Rangos de clasificación del PCI.....   | 60            |
| Tabla 2.11. Longitudes de unidades de muestreo asfálticas.....   | 61            |
| Tabla 2.12. Fallas en pavimentos asfálticos.....   | 65            |
| Tabla 3.1. Ficha de evaluación técnica sumidero b31.....   | 70            |
| Tabla 3.2. Ficha de evaluación técnica sumidero b30.....   | 71            |
| Tabla 3.3. Ficha de evaluación técnica sumidero b28.....   | 72            |
| Tabla 3.4. Ficha de evaluación técnica sumidero b24.....   | 73            |
| Tabla 3.5. Ficha de evaluación técnica sumidero b21.....   | 74            |
| Tabla 3.6. Ficha de evaluación técnica sumidero b17.....   | 75            |
| Tabla 3.7. Ficha de evaluación técnica sumidero b11.....   | 76            |
| Tabla 3.8. Ficha de evaluación técnica sumidero c53.....   | 77            |
| Tabla 3.9. Ficha de evaluación técnica sumidero c46.....   | 78            |
| Tabla 3.10. Ficha de evaluación técnica sumidero c48.....  | 79            |
| Tabla 3.11. Ficha de evaluación técnica sumidero c41.....  | 80            |
| Tabla 3.12. Ficha de evaluación técnica sumidero c2.....   | 81            |
| Tabla 3.13. Ficha de evaluación técnica sumidero d41.....  | 82            |
| Tabla 3.14. Ficha de evaluación técnica sumidero d46.....  | 83            |
| Tabla 3.15. Ficha de evaluación técnica sumidero d27.....  | 84            |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 3.16. Ficha de evaluación técnica sumidero d22 .....                                      | 85  |
| Tabla 3.17. Ficha de evaluación técnica sumidero d21 .....                                      | 86  |
| Tabla 3.18. Ficha de evaluación técnica sumidero f64 .....                                      | 87  |
| Tabla 3.19. Ficha de evaluación técnica sumidero f62 .....                                      | 88  |
| Tabla 3.20. Ficha de evaluación técnica sumidero f58 .....                                      | 89  |
| Tabla 3.21. Ficha de evaluación técnica sumidero f33 .....                                      | 90  |
| Tabla 3.22. Número de sumideros por colector .....  | 91  |
| Tabla 3.23. Resumen de boca tormentas dañadas.....  | 92  |
| Tabla 3.24. Área de aporte “colector B” – casco central de la ciudad de Tarija.....             | 99  |
| Tabla 3.25. Área de aporte “colector C” – casco central de la ciudad de Tarija.....             | 99  |
| Tabla 3.26. Área de aporte “colector D” – casco central de la ciudad de Tarija .....            | 100 |
| Tabla 3.27. Área de aporte “colector F” – casco central de la ciudad de Tarija .....            | 101 |
| Tabla 3.28. Coeficiente de escorrentía de estudio según la cuenca receptora .....               | 102 |
| Tabla 3.29. Coeficiente de escorrentía según la superficie .....                                | 103 |
| Tabla 3.30. Tiempo de concentración colector “B” – casco central de la ciudad<br>de Tarija..... | 105 |
| Tabla 3.31. Tiempo de concentración colector “C” – casco central de la ciudad<br>de Tarija..... | 105 |
| Tabla 3.32. Tiempo de concentración colector “D” – casco central de la ciudad<br>de Tarija..... | 106 |
| Tabla 3.33. Tiempo de concentración colector “F” – casco central de la ciudad<br>de Tarija..... | 106 |
| Tabla 3.34. Características de las estaciones pluviométricas.....                               | 108 |
| Tabla 3.35. Ubicación de las estaciones pluviométricas.....                                     | 108 |
| Tabla 3.36. Resultado prueba Smirnov - Kolmogorov .....   | 109 |
| Tabla 3.37. Altura de lluvias máximas diarias .....   | 111 |
| Tabla 3.38. Precipitaciones máximas horarias.....   | 112 |
| Tabla 3.39. Intensidades máximas mm/hrs .....   | 113 |
| Tabla 3.40. Intensidad colector “B” – casco central de la ciudad de Tarija .....                | 115 |
| Tabla 3.41. Intensidad colector “C” – casco central de la ciudad de Tarija .....                | 115 |
| Tabla 3.42. Intensidad colector “D” – casco central de la ciudad de Tarija .....                | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 3.43. Intensidad colector “F” – casco central de la ciudad de Tarija.....                                      | 116 |
| Tabla 3.44. Caudal de diseño colector “B” – casco central de la ciudad de Tarija.....                                | 118 |
| Tabla 3.45. Caudal de diseño colector “C” – casco central de la ciudad de Tarija.....                                | 118 |
| Tabla 3.46. Caudal de diseño colector “D” – casco central de la ciudad de Tarija .....                               | 119 |
| Tabla 3.47. Caudal de diseño colector “F” – casco central de la ciudad de Tarija .....                               | 119 |
| Tabla 3.48. Datos de las calles en lugares críticos a evaluar .....  | 122 |
| Tabla 3.49. Resultados capacidad hidráulica de las calles en lugares críticos.....                                   | 123 |
| Tabla 3.50. Resultado capacidad de sumidero de ventana – colector “F” .....  | 125 |
| Tabla 3.51. Resultado capacidad de sumidero de reja en cuneta – colector “F” .....                                   | 127 |
| Tabla 3.52. Evaluación del drenaje del casco central de la ciudad de Tarija – colector<br>“B” .....                  | 128 |
| Tabla 3.53. Evaluación del drenaje del casco central de la ciudad de Tarija – colector<br>“C” .....                  | 129 |
| Tabla 3.54. Evaluación del drenaje del casco central de la ciudad de Tarija – colector<br>“D” .....                  | 130 |
| Tabla 3.55. Evaluación del drenaje del casco central de la ciudad de Tarija – colector<br>“F” .....                  | 131 |
| Tabla 3.56. Evaluación de calles en lugares críticos casco central de la ciudad de<br>Tarija – colector “F” .....    | 133 |
| Tabla 3.57. Evaluación de sumideros en lugares críticos casco central de la ciudad de<br>Tarija – colector “F” ..... | 133 |
| Tabla 3.58. Dimensiones planteadas – colector “B” .....  | 134 |
| Tabla 3.59. Dimensiones planteadas – colector “C” .....  | 135 |
| Tabla 3.60. Dimensiones planteadas – colector “D” .....  | 135 |
| Tabla 3.61. Dimensiones planteadas – colector “F” .....  | 136 |
| Tabla 3.62. Puntos críticos georreferenciados. ....  | 137 |
| Tabla 3.63. Hoja de registro de la unidad de muestra calle Campero.....  | 138 |
| Tabla 3.64. Hoja de registro de la unidad de muestra calle General Trigo.....  | 140 |
| Tabla 3.65. Hoja de registro de la unidad de muestra calle Sucre .....   | 142 |
| Tabla 3.66. Cálculo del valor deducido calle Sucre.....  | 143 |
| Tabla 3.67. Hoja de registro de la unidad de muestra calle Daniel Campos.....  | 144 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 3.68. Cálculo del valor deducido calle Daniel Campos .....      | 145 |
| Tabla 3.69. Hoja de registro de la unidad de muestra calle Colón..... | 146 |
| Tabla 3.70. Cálculo del valor deducido calle Colón .....              | 147 |