

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO RACIONAL Y LA MODELACIÓN
HIDRODINÁMICA EN ALCANTARILLAS”

Por:

VÁSQUEZ RUIZ GUSTAVO RODRIGO

Proyecto 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

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO RACIONAL Y LA MODELACIÓN
HIDRODINÁMICA EN ALCANTARILLAS”**

Por:

VÁSQUEZ RUIZ GUSTAVO RODRIGO

SEMESTRE I – 2023

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mis hijos, Valentina, Santiago y Benjamín, que son la fuente de energía y motivación para superarme cada vez más y alcanzar todas mis metas.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Situación Problémica.....	2
1.2.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2.1.1 Estado del problema.....	3
1.2.1.2 Problema.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.3.3 Hipótesis.....	4
1.3.4 Variables.....	4
1.3.4.1 Variable independiente.....	4
1.3.4.2 Variable dependiente.....	5
1.3.5 Alcance.....	5
1.4 Diseño Metodológico.....	5
1.4.1 Unidad.....	5
1.4.2 Población.....	5
1.4.3 Muestra.....	5
1.4.4 Medios.....	5
1.4.5 Métodos.....	6

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE ALCANTARILLAS DE PASO EN CARRETERAS Y SUS MÉTODOS DE DISEÑO

	Página
2.1 Sistemas de Drenaje.....	7
2.1.1 Drenaje longitudinal.....	7

2.1.1.1 Cunetas.....	8
2.1.1.2 Zanjas de coronamiento y contracunetas.....	9
2.1.1.3 Bordillos.....	9
2.1.2 Drenaje transversal.....	10
2.1.2.1 Alcantarillas.....	11
2.1.2.2 Puentes.....	12
2.2 Diseño Hidráulico de Alcantarillas.....	13
2.2.1 Conceptos hidráulicos.....	13
2.2.1.1 Ubicación en planta.....	13
2.2.1.2 Perfil longitudinal.....	15
2.2.1.3 Elección del tipo de alcantarilla.....	17
2.2.1.4 Procedimiento para la selección del tamaño de una alcantarilla.....	20
2.3 Métodos de Diseño en Alcantarillas.....	21
2.3.1 Método racional.....	22
2.3.1.1 Tiempo de concentración.....	23
2.3.1.2 Coeficiente de escorrentía.....	24
2.3.1.3 Intensidad de precipitación.....	26
2.4 Diseño Hidráulico de Alcantarillas.....	31
2.4.1 Fórmula de Manning.....	31
2.4.1.1 Coeficiente de rugosidad (n).....	32
2.4.1.2 Radio hidráulico.....	33
2.4.1.3 Pendiente del canal.....	34
2.4.2 Número de Froude.....	35
2.4.3 Control de entrada y de salida.....	35
2.4.3.1 Carga hidráulica en la entrada o profundidad de remanso.....	36
2.4.3.2 Altura de agua a la salida.....	36
2.4.3.3 Velocidad en la salida.....	37
2.4.3.4 Alcantarillas con control de entrada.....	38
2.4.3.5 Alcantarillas con control de salida.....	41
2.5 Método de la Modelación Hidrodinámica.....	46
2.5.1 ¿Qué es Storm Water Management Model?.....	46

2.5.2	Características del modelo hidrológico.....	47
2.5.3	Aplicaciones típicas de SWMM.....	49
2.5.4	Herramientas utilizadas del programa SWMM.....	49
2.5.4.1	Ventana principal de SWMM.....	50
2.5.4.2	Las barras de herramientas.....	54
2.5.4.3	Barra de estado.....	57
2.5.4.4	El mapa del área de estudio.....	58
2.5.4.5	El visor de datos.....	59
2.5.4.6	El visor del mapa.....	60
2.5.4.7	El editor de propiedades.....	61
2.5.4.8	Fijar las preferencias del programa.....	62
2.5.4.9	Modelo conceptual utilizado por SWMM.....	64

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

		Página
3.1	Ubicación.....	83
3.2	Características del Área de Aplicación.....	85
3.2.1	Aspectos climatológicos.....	85
3.2.2	Recursos Hídricos superficiales.....	86
3.2.3	Patrones de comportamiento regional de la precipitación.....	87
3.3	Inventario de Alcantarillas Construidas.....	89
3.3.1	Resumen de las características de las alcantarillas.....	94
3.3.2	Alcantarillas con sus diferentes caudales de diseño por SEDECA.....	94
3.4	Características de las cuencas para diferentes alcantarillas.....	95
3.5	Análisis de consistencia de los datos de precipitación.....	96
3.6	Determinación del caudal de aporte.....	97
3.6.1	Determinación del periodo de retorno.....	98
3.6.2	Altura de lluvias máximas.....	99
3.6.3	Intensidad de la precipitación.....	100
3.6.4	Tiempo de concentración.....	101

3.6.5	Coeficiente de escorrentía.....	103
3.6.6	Caudal de aporte Método Racional.....	103
3.6.7	Cálculo de caudales por SWMM (modelo de gestión de aguas pluviales) 104	
3.7	Determinación de tirantes normales.....	105
3.7.1	Determinación de tirantes normales en las alcantarillas diseñadas por SEDECA.....	105
3.7.2	Determinación de tirantes normales en las alcantarillas del PROYECTO. 106	
3.7.3	Determinación de tirantes normales en las alcantarillas por el método SWMM (modelo de gestión de aguas pluviales).....	106
3.8	Análisis comparativo de los resultados.....	107
3.8.1	Comparación y análisis de altura de lluvias máximas.....	107
3.8.2	Comparación y análisis de la intensidad.....	108
3.8.3	Comparación y análisis del Tiempo de concentración.....	109
3.8.4	Comparación y análisis de caudales.....	110
3.8.5	Comparación de alturas normales en las alcantarillas y análisis.....	112

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página	
4.1	Conclusiones.....	114
4.2	Recomendaciones.....	116

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1: Informe de SWMM

ANEXO 2: Cap. 3.7 Estudio Hidrológico (SEDECA)

ANEXO 3: Reporte HY_8_1

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Vida útil de diseño para alcantarillas.....	19
Tabla 2. Fórmulas para el cálculo del Tiempo de Concentración.....	24
Tabla 3. Coeficientes de escurrimiento (C).....	25
Tabla 4. Coeficientes de escorrentía (c) para T=10 años.....	25
Tabla 5. Coeficiente de rugosidad.....	32
Tabla 6. Fórmulas más usuales para radios hidráulicos de diferentes secciones. 34	
Tabla 7. Carga hidráulica de diseño H _W o máx.....	36
Tabla 8. Velocidades máximas admisibles (m/s) en canales no revestidos.....	37
Tabla 9. Coeficientes de regresión para alcantarillas con control de entrada.....	40
Tabla 10. Coeficientes de pérdida de carga a la entrada con control de salida.....	42
Tabla 11. Comandos de Archivo.....	51
Tabla 12. Menú Edición.....	51
Tabla 13. Menú Ver.....	52
Tabla 14. Menú Proyectos.....	52
Tabla 15. Menú Informe.....	53
Tabla 16. Menú Herramienta.....	53
Tabla 17. Menú Ventana.....	53
Tabla 18. Menú ayuda.....	54
Tabla 19. Preferencias en el programa.....	63
Tabla 20. Dimensiones de tipo de suelos según el NRCS.....	74
Tabla 21. Número de Curva para escorrentía (CN) Según SCS.....	75
Tabla 22. Resumen Climatológico.....	86
Tabla 23. Precipitaciones Máximas Diarias (mm).....	88
Tabla 24. Características de las alcantarillas.....	94

Tabla 25. Caudales de diseño por SEDECA.....	94
Tabla 26. Características de las cuencas.....	95
Tabla 27. Test de bondad de ajuste.....	96
Tabla 28. Periodo de retorno.....	98
Tabla 29. Precipitaciones máximas diarias.....	99
Tabla 30. Precipitaciones máximas horarias (mm).....	100
Tabla 31. Intensidades máximas horarias (mm).....	100
Tabla 32. Tiempos de concentración.....	102
Tabla 33. Caudales de diseño, método racional.....	103
Tabla 34. Resultados proporcionados por SWMM.....	104
Tabla 35. Tirantes por HY-8 para las alcantarillas diseñadas por SEDECA.....	105
Tabla 36. Tirantes proporcionados por HY-8 para las alcantarillas del proyecto	106
Tabla 37. Resultados proporcionados por SWMM.....	107
Tabla 38. Precipitación máxima diaria, Método Gumbel.....	107
Tabla 39. Intensidad máxima para un periodo de retorno de 50 años.....	108
Tabla 40. Comparación de caudales.....	110
Tabla 41. Análisis de dimensionamientos de alcantarillas.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. A la derecha una cuneta, izquierda una zanja de coronamiento.....	8
Figura 2. Cuneta de hormigón.....	8
Figura 3. Zanja de coronamiento protegiendo viviendas.....	9
Figura 4. Bordillo en carretera.....	10
Figura 5. Drenaje en carreteras, puente contra alcantarilla en la misma ubicación	11
Figura 6. Alcantarillas en carreteras.....	12
Figura 7. Puentes que facilitan el curso normal del agua.....	13
Figura 8. Cauce con esviaje respecto del eje del camino.....	14

Figura 9. Ubicación de la alcantarilla respecto de la pendiente del cauce.....	16
Figura 10. Clasificación de tubos y cajones para el cálculo de H _W o.....	39
Figura 11. Escurrimientos en alcantarillas con control de salida.....	43
Figura 12. Vista General del espacio de trabajo de SWMM.....	50
Figura 13. Barra de Animación y descripción de sus controles.....	56
Figura 14. Barra de Estado.....	57
Figura 15. Mapa del área de Estudio.....	58
Figura 16. Componentes físicos de un Sistema de Drenaje.....	65
Figura 17. Diferentes secciones transversales de conductos disponibles.....	71
Figura 18. Visión conceptual del fenómeno de la escorrentía en SWMM.....	73
Figura 19. Modelo de las aguas subterráneas de dos zonas.....	77
Figura 20. Departamento de Tarija - Bolivia.....	83
Figura 21. Provincia Cercado - Tarija.....	84
Figura 22. Carretera de Tarija a San Pedro de Sola.....	84
Figura 23. Tramos en estudio.....	85
Figura 24. Imagen satelital de las cuencas.....	95

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica 1. Probabilidades de distribución.....	97
Gráfica 2. Curvas IDF para diferentes periodos de retorno.....	101
Gráfica 3. Tiempos de concentración por diferentes métodos.....	102
Gráfica 4. Caudales de proyecto vs. caudales del SEDECA.....	104
Gráfica 5. Precipitación máxima diaria del PROYECTO vs. SEDECA.....	108
Gráfica 6. Intensidad para periodo de retorno de 50 años.....	109
Gráfica 7. Tiempos de concentración por diferentes métodos.....	110
Gráfica 8. Caudales del SEDECA vs. Método Racional y el SWMM.....	111
Gráfica 9. Tirantes normales respecto a la altura de la alcantarilla.....	113