

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD CON EL SOFTWARE IBM
SPSS STATISTICS PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS DE
ALIVIO Y CRUCE EN CARRETERAS DEPARTAMENTALES”**

POR:

PAUL MARCELO JANCO TORREJÓN

SEMESTRE II – 2024

TARIJA - BOLIVIA

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD CON EL SOFTWARE IBM SPSS
STATISTICS PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS DE ALIVIO Y
CRUCE EN CARRETERAS DEPARTAMENTALES”**

ELABORADO POR:

PAUL MARCELO JANCO TORREJÓN

**PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV – 502 (M.
VÍAS)**

SEMESTRE II – 2024
TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mi familia y a mi pareja, por su incondicional amor y apoyo. Gracias por ser mi inspiración y fortaleza en cada momento. Este logro es tanto suyo como mío, y sin ustedes, nada de esto sería posible. Su fe en mí ha sido mi mayor motivación. Con todo mi cariño y gratitud.

INDICE
CAPITULO I
INTRODUCCION

1.1.GENERALIDADES	1
1.2.ANTECEDENTES.....	2
1.3.JUSTIFICACION	2
1.3.1. Justificación Académica	2
1.3.2. Justificación sobre la aplicación Técnica – Practica	3
1.3.3. Justificación e importancia social	4
1.4.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.4.1. Situación problemática	4
1.4.2. Delimitación temporal y espacial.....	5
1.4.2.1. Delimitación temporal.....	5
1.4.2.2.Delimitación espacial	5
1.4.3. Problema.....	5
1.5.OBJETIVO DE LA INVESTIGACION	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos.....	6
1.6.HIPOTESIS	7
1.7.VARIABLES	7
1.7.1. Identificación de variable	7
1.7.2. Definición operacional	8
1.8.ALCANCE DEL ESTUDIO DE APLICACIÓN	8

CAPÍTULO II
ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.1.MARCO CONCEPTUAL	10
2.1.1. PRINCIPIOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS	10
2.1.1.1.Tipos de flujo	10
2.1.1.1.1. Movimiento permanente	10

2.1.1.1.2. Movimiento uniforme.....	10
2.1.1.1.3. Movimiento gradualmente variado.....	10
2.1.1.1.4. Movimiento rápidamente variado	11
2.1.1.1.5. Ecuación de continuidad.....	11
2.1.1.2.Estado de flujo	13
2.1.1.2.1. Efecto de la viscosidad	13
2.1.1.2.2. Efecto de la gravedad.....	14
2.1.1.3.Regímenes de flujo.....	15
2.1.2. Estudios hidrológicos	15
2.1.2.1.Parámetros Morfológicos De La Cuenca Hidrográfica	17
2.1.2.1.1. Área y perímetro de la cuenca.....	18
2.1.2.1.2. Índice de compacidad o índice de gravelius	18
2.1.2.1.3. Rectángulo equivalente.....	19
2.1.2.1.4. Pendiente de la cuenca.....	19
2.1.2.1.5. Factor de forma	20
2.1.2.1.6. Densidad de drenaje.....	20
2.1.2.1.7. Factor de circularidad de Miller.....	21
2.1.2.1.8. Razón de elongación.....	21
2.1.2.1.9. Alejamiento medio	22
2.1.2.2.Pendiente del cauce	22
2.1.2.3.Metodología del estudio hidrológico y de drenaje.....	23
2.1.2.3.1. Periodo de retorno	24
2.1.2.3.2. Determinación de tormenta de diseño	24
2.1.2.3.3. Tiempo de concentración.....	25
2.1.2.3.4. Estimación de caudal máximo	26
2.1.2.3.5. Método racional.....	26
2.1.2.3.6. Método de Talbot	27
2.1.2.3.6.1.Fundamentos del método de Talbot	27
2.1.2.3.6.2.Aplicación del método de Talbot	28
2.1.2.3.6.3.Ventajas y limitaciones del método de Talbot	28

2.1.2.3.6.4.Ventajas del método de Talbot.....	28
2.1.2.3.6.5.Limitaciones del método de Talbot	29
2.1.2.3.6.6.Comparación con otros métodos	29
2.1.2.3.6.7.Descoles: corrientes naturales, pocetas o cajas colectoras.....	30
2.1.3. Diseño de alcantarillas.....	30
2.1.3.1.Criterios de diseño.....	31
2.1.3.1.1. Periodo de retorno	31
2.1.3.1.2. Caudales de diseño	31
2.1.3.1.3. Localización	32
2.1.3.2.Alcantarillas	33
2.1.3.3. Estructuras de entrada.....	36
2.1.3.3.1. Pocetas o cajas colectoras	36
2.1.3.3.2. Aletas, cabezotes y soleras.....	37
2.1.3.3.3. Obras complementarias: canales y escalones.....	37
2.1.3.4.Estructuras de salida.....	38
2.1.3.4.1. Aletas, cabezotes y soleras.....	38
2.1.3.4.2. En muros	38
2.1.3.4.3. Obras complementarias: canales y rápidas lisas o escalonadas	38
2.1.3.5.Diseño del conducto de la alcantarilla.....	39
2.1.3.5.1. Funcionamiento hidráulico	39
2.1.3.5.2. Flujo con control a la entrada.....	41
2.1.3.5.3. Flujo con control a la salida	42
2.1.3.5.4. Diseño de alcantarillas para cruce	45
2.1.4. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE ALCANTARILLAS DE ALIVIO Y CRUCE	47
2.1.4.1.Análisis de normalidad	47
2.1.4.2.Proceso del análisis de confiabilidad	48
2.1.4.2.1. Análisis descriptivo	48
2.1.4.2.2. Análisis de confiabilidad	49

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1.DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	51
3.1.1. Unidad de muestra; población y muestra.....	51
3.1.2. Muestra	51
3.1.3. Método y técnicas empleadas	52
3.1.3.1.Proceso de aplicación	54
3.2.ZONA DE ESTUDIO	56
3.2.1. Características del área de estudio	58
3.2.1.1.Topografía y Cartografía	58
3.2.1.2.Clima	59
3.2.1.3.Temperatura	60
3.2.1.4.Humedad Relativa	60
3.2.1.5.Precipitación pluvial.....	61
3.2.1.6.Heladas	61
3.3.RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	61
3.3.1. Recursos hídricos	65
3.3.2. Parámetros geomorfológicos de las cuencas	66
3.3.3. ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	66
3.3.3.1.Análisis de Consistencia de Datos	64
3.3.3.2.Distribución espacial de la precipitación.....	75
3.3.3.2.1. Polígono de Thiessen	76
3.3.3.2.2. Método de isoyetas	77
3.3.3.3.Funciones de probabilidad teóricas	79
3.3.3.3.1. Distribución Gumbel	79
3.3.3.3.2. Distribución pearson III	83
3.3.3.3.3. Distribución Log-Pearson III	87
3.3.3.3.4. Prueba de bondad de ajuste	91
3.3.3.3.4.1.Smironov – Kolmogorov	91
3.3.3.3.5. Chi Cuadrado	93

3.3.3.3.5.1. Yesera Sud	93
3.3.3.3.5.2. Yesera Norte.....	96
3.3.3.3.5.3. Junacas	99
3.3.3.3.5.4. Análisis de Chi Cuadrado	101
3.3.3.3.6. Anderson-Darling.....	102
3.3.3.3.6.1. Análisis de Anderson Darling	104
3.3.3.4. Caudales De Diseño	104
3.3.3.3.1. Precipitaciones de diseño.....	105
3.3.3.5. Intensidad, duración y frecuencia	107
3.3.3.6. Cálculo de la intensidad de precipitación.....	108
3.3.3.7. Estudio de Tiempo de Retorno a Utilizar	112
3.3.4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS.....	115
3.3.4.1. Método racional modificado	116
3.3.4.1.1. Determinación del Coeficiente de Escurrimiento	116
3.3.4.1.2. Tiempo de concentración.....	119
3.3.5. Análisis de confiabilidad de Caudales.....	123
3.3.5.1. Prueba de Normalidad	125
3.3.5.2. Prueba de Wilcoxon Signed-Rank para una Muestra.....	125
3.3.6. Análisis de Correlación	127
3.3.6.1. Correlación entre Caudal y el área	127
3.3.6.2. Correlación entre Caudal y el Intensidad	129
3.3.6.3. Correlación entre Caudal y el coeficiente C	131
3.3.6.4. Cuadro resumen del análisis de correlación	132

CAPITULO IV

DISEÑO Y ANÁLISIS

4.1. DISEÑO DE ALCANTARILLAS	128
4.1.1. Delimitación de las cuencas de aporte.....	128
4.1.2. Diseño hidráulico de la alcantarilla sección cajón N ^a 1	130
4.1.3. Diseño hidráulico de la alcantarilla sección circular N ^a 2.....	134
4.1.4. Diseño hidráulico de la alcantarilla sección bóveda N ^a 18.....	141

4.1.5. Diseño de alcantarillas por el método de Talbot.....	147
4.1.5.1.Diseño hidráulico de la alcantarilla sección circular N ^a 1	147
4.1.5.2.Diseño hidráulico de la alcantarilla sección cajón N ^a 18	149
4.1.5.3.Determinación del diámetro a usar en las alcantarillas de alivio y de cruce	154
4.1.5.3.1. Análisis Comparativo de Diámetros de Alcantarillas: Campo vs Cálculo	157
4.1.5.3.2. Descripción del Cuadro Comparativo	155
4.1.5.3.3. Análisis de las Variaciones	155
4.1.5.3.4. Justificación de las Diferencias	156
4.2. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	157
4.2.1. Análisis de confiabilidad de Caudales del Método Racional	162
4.2.1.1.Prueba de Normalidad	166
4.2.1.2.Prueba de Wilcoxon Signed-Rank para una Muestra.....	167
4.2.1.2.1. Prueba de Shapiro-Wilk para 25 años	168
4.2.1.2.2. Prueba de Shapiro-Wilk para 50 años	170
4.2.1.2.3. Prueba de Shapiro-Wilk para Caudal Talbot1	172
4.2.1.2.4. Prueba de Shapiro-Wilk para Y _n	174
4.2.1.3.Prueba Paramétricas para las Velocidades para una muestra	176
4.2.1.3.1. Prueba T para el método de Talbot.....	176
4.2.1.3.2. Prueba T para el método de Racional	177
4.2.2. RESULTADO FINAL DEL ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	179
4.2.2.1.Método racional modificado	177
4.2.2.2.Método de Talbot	180
4.2.2.3.Análisis de los resultados de confiabilidad.....	180
4.2.2.4.Comparación de métodos	180
4.3. OBTENCIÓN DE UNA ECUACIÓN DE INTENSIDAD	182

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	183
5.1. CONCLUSIONES	183
5.2. RECOMENDACIONES	187
BIBLIÓGRAFIA	189

ANEXOS

ANEXO N°1	INFORME FOTOGRAFICO
ANEXO N°2	PRUEBAS DE BONDAD
ANEXO N°3	INTENSIDAD DE PRECIPITACIONES
ANEXO N°4	DETERMINACION DEL COEF C DE ESCORRENTIA
ANEXO N°5	CALCULO DE ALCANTARILLAS METODO RACIONAL
ANEXO N°6	CALCULO DE ALCANTARILLAS METODO TALBOT
ANEXO N°7	DETERMINACION DE LA ECUACION DE INTENSIDAD- FRECUENCIA-TIEMPO
ANEXO N°8	PLANO DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS
ANEXO N°9	PLANOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Periodos de retorno.....	31
Tabla 2.2. Ecuación 1 funcionamiento de las alcantarillas	41
Tabla 2.3. Ecuación 2 funcionamiento de las alcantarillas	43
Tabla 2.4. Valores Del Coeficiente De Pérdidas A La Entrada Ke	44
Tabla 3.1 Estaciones climatológicas y pluviométricas	60
Tabla 3.2. Temperatura media mensual (°C)	60
Tabla 3.3. Humedad relativa media mensual (%)	60
Tabla 3.4. Precipitación media mensual (mm).....	61
Tabla 3.5. Coordenadas de las alcantarillas	62
Tabla 3.6. Estaciones meteorológicas	66
Tabla 3.7. Precipitaciones máximas Anuales En 24 Hrs. Yesera Sur	67
Tabla 3.8. Precipitaciones máximas anuales en 24 hrs. yesera norte	67
Tabla 3.9. Precipitaciones máximas anuales en 24 hrs. Junacas	68
Tabla 3.10. Precipitaciones Acumuladas Yesera Sud y Aeropuerto	70
Tabla 3.11. Precipitaciones Acumuladas Yesera Norte y Aeropuerto.....	72
Tabla 3.12. Precipitaciones Acumuladas Junacas y Aeropuerto	73
Tabla 3.13. Resultados de consistencia.....	75
Tabla 3.14. Estaciones climatológicas y pluviométricas	76
Tabla 3.15. Estaciones climatológicas y pluviométricas	77
Tabla 3.16. Estaciones Climatológicas y Pluviométricas	78
Tabla 3.17. Resumen de la Prueba Gumbel – yesera norte.....	80
Tabla 3.18. A-2.7. Tabla Resumen Prueba Gumbel – Junacas	81
Tabla 3.19. Resumen Prueba Gumbel – Yesera Sur.....	82
Tabla 3.20. Resumen Prueba Pearson III – Yesera Norte.....	84
Tabla 3.21. Resumen Prueba Pearson III – Junacas	85
Tabla 3.22. Prueba Pearson III – Yesera Sur	86
Tabla 3.23. Resumen de la Prueba Log-Pearson III – Yesera Norte.....	87
Tabla 3.24. Resumen de la Prueba Log-Pearson III – Junacas	89
Tabla 3.25. Resumen de la Prueba Log-Pearson III – Yesera Sur	90

Tabla 3.26. Modelo probabilístico de Log-Pearson III – Yesera Sur	92
Tabla 3.27. Modelo probabilístico de Log-Pearson III – Yesera Sur	92
Tabla 3.28. Cálculo de la estación de Yesera Sud para Chi Cuadrado	93
Tabla 3.29. Cálculo de Frecuencias de Yesera Sud	94
Tabla 3.30. Cálculo de Frecuencias de Yesera Sud	95
Tabla 3.31. Cálculo de Chi cuadrado de Yesera Sud	95
Tabla 3.32. Cálculo de la estación de Yesera Norte para Chi Cuadrado	96
Tabla 3.33. Cálculo de Frecuencias de Yesera Norte	98
Tabla 3.34. Cálculo de Frecuencias de Yesera Norte	98
Tabla 3.35. Cálculo de Chi cuadrado de Yesera Norte	98
Tabla 3.36. Cálculo de la estación de Junacas para Chi Cuadrado	99
Tabla 3.37. Cálculo de Frecuencias de Junacas	100
Tabla 3.38. Cálculo de Frecuencias de Junacas	100
Tabla 3.39. Cálculo de Chi cuadrado de Junacas	101
Tabla 3.40. Valor Critico de tabla de Chi Cuadrado	101
Tabla 3.41. Valor Critico de tabla de Chi Cuadrado	101
Tabla 3.42. Valor Critico de tabla de Anderson Darling	102
Tabla 3.43. Resumen del valor Crítico de la estación de Yesera Sur para Anderson Darling	103
Tabla 3.44. Resumen del valor Crítico de la estación de Yesera Norte para Anderson Darling	103
Tabla 3.45. Resumen del valor Crítico de la estación de Junacas para Anderson Darling	103
Tabla 3.46. Valor Critico de tabla de Chi Cuadrado	104
Tabla 3.47. Tabla Resumen del Método de Gumbel	105
Tabla 3.48. Máxima precipitación diaria de la distribución de mejor ajuste según Tr corregidos por periodo de observación y factor 1.13	106
Tabla 3.49. Lluvias máximas horarias (mm) correspondientes a diferentes tiempos (t)	107

Tabla 3.50. Intensidades máximas correspondientes a diferentes tiempos (t) y periodos de retorno (t) en años intensidades máximas (mm/hr) correspondientes a diferentes tiempos (t).....	109
Tabla 3.51. Resumen de precipitación de 24 hrs. e intensidad máximas periodo de retorno de 25 años.....	110
Tabla 3.52. Resumen de precipitación de 24 hrs. e intensidad máximas periodo de retorno de 50 años.....	111
Tabla 3.53. Periodos de retorno para diseño	114
Tabla 3.54. Periodos de retorno para diseño	115
Tabla 3.55. Tabla para determinar el Coeficiente de Escorrimento (C)	117
Tabla 3.56. Cálculo del Coeficiente de Escorrimento (C)	118
Tabla 3.57. Cálculo del Tiempo de Concentración	120
Tabla 3.58. Cálculo de caudal de diseño para 25 años	121
Tabla 3.59. Cálculo de caudal de diseño para 50 años	122
Tabla 3.60. Ordenamiento de datos de menor a mayor de los caudales	123
Tabla 3.61. Estadísticas Descriptivas de los Datos de Caudal	124
Tabla 3.62. Prueba de Shapiro-Wilk.....	125
Tabla 3.63. Prueba de Shapiro-Wilk.....	126
Tabla 3.64. Correlación entre Caudal y Área.....	128
Tabla 3.65. Correlación entre Caudal vs I.....	130
Tabla 3.66. Correlación entre Caudal vs C	131
Tabla 3.67. Cuadro resumen.....	133
Tabla 4.1. Diseño hidráulico de alcantarilla	145
Tabla 4.2. Diseño hidráulico de alcantarilla parte II.....	146
Tabla 4.3. Diseño hidráulico de alcantarilla para método de Talbot.....	153
Tabla 4.4. Tabla comparativa de diámetros entre campo y calculados	156
Tabla 4.5. Tabla de Frecuencia para 25 años	160
Tabla 4.6. Tabla de Frecuencia para 50 años	161
Tabla 4.7. Tabla de Frecuencia para Talbot.....	162

Tabla 4.8. Tabla de Frecuencia para Velocidad	163
Tabla 4.9. Estadística Descriptiva de caudales para 25 años	164
Tabla 4.10. Estadística Descriptiva de caudales para 50 años	165
Tabla 4.11. Estadística Descriptiva de caudales Talbot.....	165
Tabla 4.12. Estadística Descriptiva de Velocidades	166
Tabla 4.13. Prueba de Shapiro-Wilk.....	167
Tabla 4.14. Prueba de Shapiro-Wilk para 25 años	168
Tabla 4.15. Prueba de Shapiro-Wilk (Información de Campo Continuo)	169
Tabla 4.16. Prueba de Shapiro-Wilk para caudales de 50 años	170
Tabla 4.17. Prueba de Shapiro-Wilk (Información de Campo Continuo)	171
Tabla 4.18. Prueba de Shapiro-Wilk para caudales de Caudal Talbot	172
Tabla 4.19. Prueba de Shapiro-Wilk (Información de Campo Continuo)	173
Tabla 4.20. Prueba de Shapiro-Wilk para caudales de Yn.....	174
Tabla 4.21. Prueba de Shapiro-Wilk (Información de Campo Continuo)	175
Tabla 4.22. Prueba de T para la velocidad Método Talbot estadísticas.....	176
Tabla 4.23. Prueba de T para la velocidad Método Talbot para una muestra.....	177
Tabla 4.24. Prueba de T para la velocidad Método Racional estadísticas	177
Tabla 4.25. Prueba de T para la velocidad Método Racional para una muestra	178
Tabla 4.26. Tabla de intensidades –tiempo de duración de la ecuación	183

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Flujos permanentemente variados.....	11
Figura 2.2. Teorema de Bernoulli.....	12
Figura 2.3. Flujo en canales abiertos	12
Figura 2.4. Relación profundidad velocidad para regímenes de flujo	15
Figura 2.5. Delimitación de una cuenca y sus parámetros.....	17
Figura 2.6. Alternativas para localización en llanta de alcantarillas	32
Figura 2.7. Ilustración 1 flujo en alcantarilla	34
Figura 2.8. Ilustración 2 flujo en alcantarilla	35
Figura 2.9. Ilustración 3 flujo en alcantarilla	35
Figura 2.10. Ilustración 4 flujo en alcantarilla	36
Figura 2.11. Elementos típicos de estructura terminal en alcantarillas: cabezote	37
Figura 2.12. Control de entrada.....	39
Figura 2.13. Control de salida	40
Figura 3.1. Ubicación del proyecto.....	57
Figura 3.2. Área política del proyecto departamental.....	57
Figura 3.3. Curva doble masa yesera sud – aeropuerto	71
Figura 3.4. Curva doble masa yesera norte – aeropuerto.....	73
Figura 3.5. Curva doble masa Junacas – aeropuerto.....	74
Figura 3.6. Ajuste de la función de Gumbel – estación yesera norte	81
Figura 3.7. Ajuste de la función de Gumbel – Junacas.....	82
Figura 3.8. Ajuste de la función Gumbel – estación Yesera Sur.....	83
Figura 3.9. Ajuste de la función de Pearson III – estación Yesera Norte	84
Figura 3.10. Ajuste De La Función De Pearson III – Junacas	85
Figura 3.11. Ajuste De La Función De Gumbel – Yesera Sur.....	86
Figura 3.12. Ajuste De La Función De Log-Pearson III – Estación Yesera Norte	88
Figura 3.13. Ajuste De La Función De Log-Pearson II – Junacas	89
Figura 3.14. Ajuste De La Función De Log-Pearson – Yesera Sur.....	90
Figura 3.15. Precipitaciones máximas Horarias (mm)	108

Figura 3.16. Curvas de Intensidad- Duración – Frecuencia (IDF)	110
Figura 3.17. Curvas de riesgo como una función de capacidad y vida útil para estructuras hidráulicas	113
Figura 3.18. Grafica de Q_t vs Área	128
Figura 3.19. Grafica de Q_t vs I	130
Figura 3.20. Grafica de Q_t vs C	132
Figura 4.1 Identificación de microcuencas	129
Figura 4.2. Ubicación de alcantarillas de alivio y cruce	129
Figura 4.3. Áreas de aporte	130
Figura 4.4. Curvas idf de la ecuación	184