

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



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE
HIETOGRAMAS DE INTENSIDAD MÁXIMA DE DISEÑO, BASADOS EN
CURVAS I-D-F, EN LA CUENCA DEL RÍO TUPIZA”**

Por:

SERGIO SANTIAGO URZAGASTE OCAMPO

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- 2025

TARIJA – BOLIVIA

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

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE
HIETOGRAMAS DE INTENSIDAD MÁXIMA DE DISEÑO, BASADOS EN
CURVAS I-D-F, EN LA CUENCA DEL RÍO TUPIZA”**

Por:

SERGIO SANTIAGO URZAGASTE OCAMPO

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- 2025
TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mi querida madre, María Ocampo, por su amor incansable y su ejemplo de vida.

A mis hermanos Denis, Alex, Bernardo, Ana, Andrea y Ximena, por su apoyo incondicional.

Con todo mi cariño, les dedico este logro.

Índice de contenido

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.1.1 Antecedentes nacionales.....	2
1.1.2 Antecedentes internacionales.....	3
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	3
1.2.1 Planteamiento del problema.	3
1.2.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Objetivos generales y específicos.....	4
1.3.1 Objetivo general.	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Hipótesis.....	5
1.5 Justificación.	5
1.6 Alcance del trabajo.....	6
1.7 Método de trabajo.....	8
1.7.1 Obtención de las curvas I-D-F.....	9
1.7.2 Aplicación de los métodos basados en las curvas intensidad – duración – frecuencia (I-D-F).....	9
1.7.3 Análisis comparativo.	9
1.7.4 Validación.....	10
1.7.5 Selección del método óptimo.	10
1.7.6 Conclusiones y recomendaciones.....	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 Elementos fundamentales del análisis de las tormentas	13
2.2 Curvas de Intensidad Duración Frecuencia (I-D-F).....	15
2.3 Modelos matemáticos más comunes	15
2.3.1 Ecuación de Bernard	16
2.3.2 Ecuación de Sherman	16
2.3.3 Ecuación de Chow.....	16
2.3.4 Ecuación de Wenzel	16

2.3.5	Ecuación de Montana	16
2.3.6	Ecuación de Keifer-Chu	17
2.3.7	Ecuación usada en USA	17
2.4	Métodos para generar hietogramas de diseño	18
2.4.1	Hietograma bloques alternos	19
2.4.2	Hietograma rectangular	19
2.4.3	Hietograma triangular.....	20
2.4.4	Hietograma doble triángulo	21
2.4.5	Hietograma de Sifalda	24
CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO TUPIZA.....		26
3.1	Ubicación geográfica de la cuenca.....	27
3.2	Morfometría de la cuenca.....	28
3.2.1	Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.....	30
3.2.2	Cálculo del tiempo de concentración.....	31
3.3	Cobertura vegetal y uso de suelos	33
3.4	Fisiografía y topografía	34
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE LAS CURVAS I-D-F		37
4.1	Descripción de la muestra	38
4.2	Análisis estadístico y depuración de datos	40
4.2.1	Análisis de consistencia.....	40
4.3	Análisis de la pluviometría	43
4.3.1	Distribución Gumbel	43
4.3.2	Precipitación máxima media areal de la cuenca.....	45
4.4	Obtención de las curvas I-D-F.....	46
CAPÍTULO V. APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR HIETOGRAMAS		49
5.1	Aplicación del hietograma bloques alternos.....	51
5.2	Aplicación del hietograma rectangular.....	52
5.3	Aplicación del hietograma triangular	53
5.4	Aplicación del hietograma doble triángulo	55
5.5	Aplicación del hietograma de Sifalda.....	58

CAPÍTULO VI. COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DEL MÉTODO DE HIETOGRAMA MÁS APROPIADO.....	60
6.1 Intensidad máxima de precipitación	61
6.2 Volumen de lluvia acumulado.....	62
6.3 Comparación entre los caudales simulados a partir de los hietogramas y el caudal aforado en la Cuenca del río Tupiza	64
6.3.1 Hidrogramas asociados a los hietogramas.....	64
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
7.1 Conclusiones.....	73
7.2 Recomendaciones	74
Referencias bibliográficas	75
Webgrafía	77
Anexos.....	78

Índice de tablas

Tabla 1.1 Métodos a desarrollar	6
Tabla 1.2 Estaciones pluviométricas de la cuenca del río Tupiza	7
Tabla 2.1 Curvas I-D-F y volúmenes H (mm) recomendados por la INT 77-284	23
Tabla 3.1 Resumen de los parámetros morfométricos de la cuenca del río Tupiza	29
Tabla 3.2 Área de las unidades de cobertura de la tierra en la cuenca del río Tupiza.	33
Tabla 3.3 Distribución de áreas fisiográficas en la cuenca del río Tupiza	36
Tabla 4.1 Detalles técnicos de las estaciones pluviométricas.....	38
Tabla 4.2 Descripción de la muestra	39
Tabla 4.3 Muestra corregida.....	42
Tabla 4.4 Parámetros estadísticos distribución Gumbel.....	43
Tabla 4.5 Precipitación máxima esperada Est. Tupiza.....	44
Tabla 4.6 Precipitación máxima esperada Est. Mosoj Llajta Cotagaita	45
Tabla 4.7 Precipitación máxima esperada Est. Atocha	45
Tabla 4.8 Precipitación máxima media areal de la cuenca del río Tupiza	46
Tabla 5.1 Construcción del hietograma por bloques alternos	51
Tabla 5.2 Intensidad máxima asociada a los periodos de retorno obtenidos con la ecuación (4.3)	56
Tabla 5.3 Intensidades al inicio y el final de cada bloque, intervalos de tiempo y volumen acumulado.....	58
Tabla 6.1 Volúmenes acumulados para cada tormenta de diseño	63
Tabla 6.2 Número de curva ponderado para la cuenca del río Tupiza	65
Tabla 6.3 Características de los hidrogramas	67

Índice de figuras

Figura 1.1 Ubicación de las estaciones de cuenca del río Tupiza	8
Figura 2.1 Representación esquemática de las características de una tormenta.	12
Figura 2.2 Registro de un pluviograma	14
Figura 2.3 Curvas intensidad-duración-frecuencia.....	15
Figura 2.4 Ejemplos de hietogramas tipo doble triángulo.....	22
Figura 2.5 Tormenta de diseño doble triángulo. Período de retorno 5 años y duración 4 h.....	22
Figura 2.6 Delimitación de regiones pluviométricas en Francia según la INT 77-284	24
Figura 2.7 Hietograma de diseño propuesto por Sifalda	25
Figura 3.1 Mapa de ubicación y delimitación de las unidades hidrográficas de la cuenca del río Tupiza.....	28
Figura 3.2 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes de la cuenca del río Tupiza	30
Figura 3.3 Mapa de cobertura de la tierra de la cuenca Tupiza. elaborado con una imagen Sentinel del año 2019.....	34
Figura 3.4 Mapa de unidades fisiográficas de la cuenca del río Tupiza.....	36
Figura 4.1 Curva doble masa estación Atocha sin corregir.....	41
Figura 4.2 Curva doble masa estación Atocha corregido.....	41
Figura 4.3 Distribución de Gumbel para las 3 estaciones	44
Figura 4.4 Mapa de isoyetas de precipitación máxima media areal para un T= 10 años	46
Figura 4.5 Curvas I-D-F para diferentes periodos de retorno para la Cuenca Río Tupiza	47
Figura 5.1 Hietograma de bloques alternos ($\Delta t=1h$) y ($T=73$ años).....	52
Figura 5.2 Hietograma rectangular para ($D=10h$) y ($T=73$ años)	52
Figura 5.3 Hietograma rectangular discretizado para ($D=10h$) y ($T=73$ años)	53
Figura 5.4 Hietograma triangular para ($D=10h$) y ($T=73$ años).....	54
Figura 5.5 Hietograma Triangular discretizado c/1h.....	55
Figura 5.6 Intensidades para (0.5h) y (10h)	56
Figura 5.7 Centrado de la intensidad máxima	56

Figura 5.8 Intersección del punto de inicio y final de la intensidad máxima con la intensidad media.....	57
Figura 5.9 Hietograma doble triángulo para (D=10h) y (T=73 años)	57
Figura 5.10 Hietograma doble triángulo discretizado c/1h para (D=10h) y (T=73 años)	58
Figura 5.11 Hietograma de Sifalda para (D=10h) y (T=73 años)	59
Figura 5.12 Hietograma de Sifalda discretizado c/1h para (D=10h) y (T=73 años) ...	59
Figura 6.1 Comparación de intensidades máximas (mm/h) de distintos métodos	61
Figura 6.2 Volumen acumulado durante la duración del evento (%).....	64
Figura 6.3 Mapa de vegetación y uso de suelos para la cuenca del río Tupiza.....	65
Figura 6.4 Hidrogramas resultantes de las tormentas de diseño para una (D=10h) y (T=73 años)	66
Figura 6.5 Caudales asociados a las tormentas de diseño para (T=73 años).....	68
Figura 6.6 Hietogramas de diseño para una (D=10 h) y (T=73 años).....	68

Índice de anexos

Anexo 1 Datos de precipitación máxima diaria de las estaciones, Tupiza, Cotagaita
Mosoj Llajta y Atocha

Anexo 2 Curvas I-D-F ajustadas a la cuenca del río Tupiza

Anexo 3 Hietogramas generados

Anexo 4 Hidrogramas generados asociados a cada hietograma

Anexo 5 Cálculos complementarios

Anexo 6 Guía de Simulación de Caudales en HEC-HMS basada en Hietogramas
Intensidad-Duración-Frecuencia

Anexo 7 Justificación de la ecuación de Dyck y Peschke