

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



**“ESTIMACIÓN DE HIETOGRAMAS DE DISEÑO DE
PRECIPITACIÓN, PARA LA ESTACIÓN DE LA MERCED”**

Realizado por:

SAMUEL VICENTE LUIS

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

Diciembre 2012.

TARIJA – BOLIVIA

HOJA DE EVALUACIÓN

EVALUACIÓN CONTINUA:

Fecha de presentación:

Calificación numeral:

Calificación literal:

.....

Ing. Juan Carlos Loza Vélez
Docente de la materia

EVALUACIÓN FINAL:

Fecha de presentación y defensa:

Calificación numeral:

Calificación literal:

Ing. Jaime Zenteno
TRIBUNAL 1

Ing. Henry Monzón
TRIBUNAL 2

Ing. Moisés Perales
TRIBUNAL 3

V°B°

.....

Ing. Juan Carlos Loza
PROFESOR DE CIV-502

.....

MSc. Ing. Luís Alberto Yurquina
**DECANO FACULTAD
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....

Ing. Gustavo Succi Aguirre
**VICEDECANO FACULTAD
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**APROBADA POR:
TRIBUNAL**

.....

Ing. Jaime Zenteno
TRIBUNAL I

.....

Ing. Henry Monzón
TRIBUNAL II

.....

Ing. Moisés Perales.
TRIBUNAL III

El docente y tribunal evaluador del presente Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado con todo mi cariño a mis padres: Isidro Vicente , Eusebia Luis, mis hermanos Wilfredo y Esposa, Iber Carlos y mi hermana Zulma, por el apoyo y paciencia, a mis queridos sobrinos Celeste, Luis y Camila que me brindaron ternura y a toda la familia Vicente.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida.

A la institución de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y en forma particular al personal que trabaja en ella: Ing. Víctor Carrillo (Director de Senamhi Tarija), Ing. Xavier Raúl Gutiérrez, Sr. Ivar Farfán y Sr. Ramiro Álvarez por haberme cooperado y facilitado en la investigación.

A mis padrinos Ernesto Vicente Ulpana y Esposa Santusa Cardenas Villca por el apoyo que me brindaron para culminar mis estudios.

A mis amigos Sacerdotes Padre Garvín, Grech, † Padre Guillermo Terán y Padre Hermman Gasser quienes tuvieron Fe en mí y me alentaron en todo momento.

A mis mejores amigos y la vez compañeros Mauro Garnica y Paola Vania, con quienes he compartido y he recibido ayuda en mis estudios y a mi cuna Zaida Vargas.

A la familia Garnica Mendez, que me han abierto las puertas de su casa como si fuera la mía y me han tratado como uno más de la familia.

A todo los docentes de Ing. Civil, especialmente a los de mención hidráulica de quienes he recibido toda la sabiduría.

PENSAMIENTO

*“El sabio no dice todo lo que piensa,
pero siempre piensa todo lo que dice”*

Aristóteles

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°1 Información pluviométricos

Anexo N°2 Imágenes de las bandas pluviográficas

Anexo N°3 Lluvias máximas

Anexo N°4 Comparación y verificación de datos

Anexo N°5 Lectura de precipitaciones máximas e intensidades.

Anexo N°6 Area bajo la curva normal (ley normal)

Anexo N°7 Prueba de bondad de ajuste Smirnov – Kolmogorov Ley Gumbel

Anexo N°8 Prueba de bondad de ajuste Smirnov – Kolmogorov Ley Log-Normal

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

	Página
Figura 1.1 Ubicación geográfica de estación en estudio (La Merced)	3
Figura 1.2 Proceso de análisis de datos	6

CAPITULO II

	Página
Figura 2.1 Ciclo hidrológico	13
Figura 2.2 Formas de precipitación	14
Figura 2.3 Precipitación conectiva	18
Figura 2.4 Precipitación orográfica	18
Figura 2.5 Precipitación ciclónica	18
Figura 2.6 Esquema de posición de un pluviómetro	19
Figura 2.7 Imagen del pluviógrafo	20
Figura 2.8 Banda del pluviógrafo (pluviograma)	21
Figura 2.9 Curva doble masa	21
Figura 2.10 Hietograma de altura de precipitación	28
Figura 2.11 Curva masa de precipitación	29
Figura 2.12 Hietograma de precipitación	31
Figura 2.13 Ajuste de un hietograma mediante curvas	32
Figura 2.14 Perfiles de tormenta	36
Figura 2.15 Curva lluvia total acumulada-duración	38
Figura 2.16 Curva Intensidad – Duración - Frecuencia	44
Figura 2.17 Función de probabilidad discreta	46
Figura 2.18 Función de probabilidad acumulada	47
Figura 2.19 Probabilidad de excedencia y no excedencia	48
Figura 2.20 Probabilidad de un evento $a \leq x \leq b$	49
Figura 2.21 Probabilidad continúa	49

Figura 2.22 Función de distribución acumulada	50
Figura 2.23 Función de densidad de la distribución normal	51
Figura 2.24 Función de densidad de la distribución Log – Normal	54
Figura 2.25 Función de densidad de la distribución Pearson Tipo III	57
Figura 2.26 Función de densidad de la distribución Gumbel	59

CAPITULO III

	Página
Figura 3.1 Regla elaborada para la medición de intervalos de tiempo	67

CAPITULO IV

	Página
Figura 4.1 Curva Doble másica La merced Vs Aeropuerto	88
Figura 4.2 Curva Doble másica La merced Vs Aeropuerto Bermejo	89
Figura 4.3 Curvas IDF aplicando Weibull	94
Figura 4.4 Curvas IDF para diferentes periodos de retorno, aplicando la distribución Gumbel	98
Figura 4.5 Curva I.D.F para T = 6.5 y 13 Años para la Ley Gumbel	99
Figura 4.6 Curvas IDF para diferentes periodos de retorno, aplicando la distribución Log-Normal Curva I.D.F para	103
Figura 4.7. T = 6.5 y 13 Años para Log-Normal	104
Figura 4.8 Grafico de los hietogramas de diseño	108
Figura 4.9. Hietograma de diseño de precipitación para T = 5 años y d = 60 min	109
Figura 4.10 Hietograma de diseño de precipitación para T = 5 años y d = 120 min	110
Figura 4.11 Grafico de los hietogramas de diseño para una duración de 2 hrs. de tormenta, para los periodos	

de retorno planteados (Método de bloques alternos)	119
Figura 4.12 Curva de precipitación acumulada-duración	120
Figura 4.13 Curva lluvia total acumulada-duración de la tormenta	121
Figura 4.14 Hietograma de diseño de precipitación	119
Figura 4.15 Grafico de los hietogramas de diseño para una duración de 2 hrs. de tormenta, para los periodos de retorno planteados (método de Tholin-Keifer)	127
Figura 4.16 Grafico de los hietogramas de diseño para una duración de 2 hrs. de tormenta, para los periodos de retorno planteados	131

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II

	Página
Tabla 2.1 Cuartiles y porcentajes de picudez	36
Tabla 2.2 Ecuación que relaciona intensidad con la duración	43
Tabla 2.3 Ecuaciones que relación la intensidad-duración-frecuencia	44

CAPITULO III

Tabla 3.1 Tabla tipo para la comparación de datos	66
Tabla 3.2 FRA para diferentes duraciones y porciones de área	79

CAPITULO IV

	Página
Tabla 4.1 Las 10 precipitaciones máximas del año 2000, según el registro del pluviómetro	81
Tabla 4.2 Tablas de comparación entre el registro de tatos entre el pluviómetro y pluviógrafo	82
Tabla 4.3 Análisis de conciencia La Meced versus Aeropuerto de Tarija	88
Tabla 4.3 Análisis de conciencia La Meced versus Aeropuerto de Bermejo	89
Tabla 4.4 Obtención de precipitación máxima correspondiente al 7 de Dic.	90
Tabla 4.5 Resumen de precipitaciones máximas del año 2005	91
Tabla 4.6 Resumen de precipitaciones máximas.	92
Tabla 4.7 Intensidades máximas	93
Tabla 4.8 Aplicación de la Formula de Weibull para determinar T	94
Tabla 4.10 Prueba de Bondad de ajuste de Smirnov Kolmogorov	

para la distribución Gumbel para duración a 45 min	95
Tabla 4.11 Intensidades para diferentes periodos de retorno	97
Tabla 4.12 Tabla de ecuación para diferentes periodos de retorno, la ley Gumbel	99
Tabla 4.13 Prueba de Bondad de ajuste de Smirrnov Kolmogorov para la distribución Gumbel para duración a 15.	100
Tabla 4.14 Áreas bajo la curva normal.	101
Tabla 4.15 Parámetros de la ley log-normal	102
Tabla 4.16 Intensidades para diferentes periodos de retorno, ley log-normal	103
Tabla 4.17 ecuación para diferentes periodos de retorno, de la distribución Log-Normal	104
Tabla 4.18 Intensidad para T=6.5 y T=13 Años	106
Tabla 4.19 Comparación de Curvas IDF Gumbel versus Log-Normal	107
Tabla 4.20 Intensidad para T = 5 años	108
Tabla 4.21 Para generar hietogramas de diseño de precipitación por el método de bloques alternos	109
Tabla 4.22 Parámetros estadísticos de la lluvia	120
Tabla 4.23 Proceso de dicretizacion	121
Tabla 4.24 Valores de precipitación e intensidad para T años	123
Tabla 4.25 Factor de ajuste por periodo de retorno (T)	128

ÍNDICE GENERAL

Hoja de advertencia
Espacio para la Dedicatoria
Espacio para Agradecimiento
Espacio para un Pensamiento
Resumen o Abstract
Índice
Índice de Figuras
Índice de Cuadros
Índice de Anexos

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Ubicación del tema de investigación.....	2
1.3. Definición del tema de investigación.....	4
1.4 El problema de investigación.....	5
1.4.1. Planteamiento del problema.....	5
1.4.2. Formulación del problema.....	6
1.4.3. Sistematización del problema.....	6
1.5. Objetivos de la investigación.....	7
1.5.1 Objetivo general.....	7
1.5.2. Objetivos específicos.....	7
1.6. Justificación de la investigación.....	8
1.6.1. Justificación teórica (académica).....	8
1.6.2. Justificación metodológica (técnica).....	8

1.6.3. Justificación practica.....	9
------------------------------------	---

CAPÍTULO II
MARCO TEORICO
HIDROLOGÍA DE TORMENTA DE DISEÑO

	Página
2.1. Marco conceptual.....	10
2.1.1. Definiciones de hidrología.....	10
2.1.2. Importancia de hidrología.....	11
2.1.3. Ciclo hidrológico.....	12
2.1.4. Precipitación.....	13
2.1.5. Formas de precipitación.....	14
2.1.6 Tipos de precipitación.....	16
2.1.6.1. Precipitación Ciclónica.....	16
2.1.6.2. Precipitación Conectiva.....	16
2.1.6.3. Precipitación Orográfica.....	17
2.1.7. Medición de la precipitación.....	19
2.1.7.1 Pluviómetro.....	19
2.1.7.2 Pluviógrafo.....	20
2.1.8 Análisis de consistencia.....	21
2.2 Tormenta de diseño.....	23
2.2.1. Tormenta puntual.....	23
2.2.2. Tormenta asociada a áreas de diferente tamaño.....	24
2.2.3 Tormenta regional.....	25
2.2.4 Importancia del análisis de las tormentas.....	26
2.2.5 Hietograma.....	27
2.2.6 Curva masa de precipitación.....	28

2.2.7	Métodos para estimar hietogramas de diseño.....	29
2.2.7.1	Método del bloque alterno.....	29
2.2.7.2	Método de intensidad instantánea.....	31
2.2.7.3	Método de la curva altura precipitación – duración.....	34
2.2.7.4	Método estadístico.....	34
2.2.7.5	Método de Tholin – Keifer.....	37
2.3	Curvas Intensidad – Duración –Periodo de retorno.....	39
2.3.1	Conceptos generales.....	39
2.3.2	Intensidad.....	40
2.3.3	Periodo de retorno o frecuencia.....	40
2.3.4	Duración.....	41
2.3.5	Probabilidad de excedencia.....	42
2.3.6	Construcción de curvas I.D. T.	42
2.4	Probabilidad y estadística en hidrología.....	45
2.4.1	Probabilidades.....	45
2.4.2	Función de probabilidad.....	46
2.4.2.1	Funciones de probabilidad discreta.....	46
2.4.2.2	Funciones de probabilidad continua.....	47
2.4.3	Funciones de distribución acumulada.....	47
2.4.4	Funciones de distribución de probabilidades usadas en hidrología.....	50
2.4.4.1	Distribución normal.....	51
2.4.4.1.1	Aplicaciones en hidrología.....	52
2.4.4.2	Distribución Log-Normal.....	53
2.4.4.2.1	Aplicaciones en hidrología.....	55
2.4.4.3	Distribución Gama de 2 y 3 parámetros.....	55
2.4.4.3.1	Aplicaciones en hidrología.....	58
2.4.4.4	Distribución Log-Pearson tipo III.....	58
2.4.4.5	Distribución Gumbel o de valores extremos.....	58
2.4.4.2.1	Aplicaciones en hidrología.....	60
2.4.4.6	Pruebas de bondad de ajuste.....	60

2.4.4.6.1 Test de Smirnov Kolmogoro.....	60
--	----

CAPÍTULO III
PROCEDIMIENTO Y METODOLOGIA

	Página
3.1 Selección de la estación pluviográfica.....	63
3.2 Recolección de la información requerida.....	64
3.3 Selección de precipitación máxima.....	64
3.4 Análisis de consistencia.....	64
3.5 Análisis comparativo de altura de precipitación entre el pluviómetro y pluviógrafo	64
3.6 Determinación de intensidades máximas.....	67
3.6.1 Obtención de las precipitaciones máximas.....	67
3.6.2 Intensidad máxima	69
3.7 Curvas I.D.T.	69
3.7.1 Formula de Weibull.....	69
3.7.2 Distribución de la ley Gumbel.....	70
3.7.3 Distribución de la ley Log-Normal.....	72
3.8 Análisis y comparación de resultados de curvas I.D.T.	74
3.8.1 Leyes probabilísticos versus la formula de Weibull.....	74
3.8.2 Ley Gumbel versus la ley Log-Normal.....	74
3.9 Estimación de hietogramas de diseño.....	75
3.9.1 Aplicación de los métodos.....	75
3.9.1 .1Metodo de bloques alternos.....	76
.9.1.2 Método de Tholin – Keifer	77
3.1.3 Método de la curva acumulada de precipitación - duración Justificación de métodos.....	78

CAPÍTULO IV
RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

	Página
4.1. Lluvias máximas del pluviómetro.....	81
4.2. Análisis comparativo de registro.....	81
4.3 Fallas en las bandas de los pluviógrafos.....	84
4.4 Análisis de consistencia.....	88
4.5 Obtención de la altura de precipitación máxima.....	90
4.6 Intensidades máximas.....	92
4.7 Curvas I.D.T. para diferentes periodos de retorno.....	94
4.7. Curvas IDT utilizando la formula de Weibull.....	94
4.7.2 Aplicando la ley de Gumbel.....	95
4.7.2.1 Prueba de bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov.....	95
4.7.2.2 Intensidades aplicando la ley Gumbel.....	96
4.7.3 Curvas I.D.T. aplicando la Log-Normal de 2 parámetros.....	100
4.7.3.1 Prueba de bondad de ajuste Smirnov Kolmogorov.....	100
4.7.3.2 Intensidades aplicando la ley Log-Normal.....	101
4.8 Análisis comparativo de las curva IDF.....	105
4.8.1 Leyes probabilísticas versus formula de Weibull.....	105
4.8.2 Ley Log-Normal versus ley Gumbel.....	107
4.9 Hietogramas de diseño de precipitación.....	108
4.91 Método de bloques alternos.....	108
4.9.2 Método de Tholin-Keifer.....	120
4.9.3 Método de curva precipitación acumulada-duración.....	125
4.10 Análisis comparativo de resultados.....	132
4.1 Aplicación de los resultados.....	132
Conclusiones y recomendaciones.....	139
Conclusiones.....	139
Recomendaciones.....	140