
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



**“ESTIMACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LAS ECUACIONES INTENSIDAD –
DURACIÓN – FRECUENCIA PARA LAS PRINCIPALES CIUDADES Y
POBLACIONES DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA”**

REALIZADO POR:

ABSALON HARMIN MAMANI FITA

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

DICIEMBRE DEL 2011

TARIJA–BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OO.SS.

**“ESTIMACION Y ACTUALIZACION DE LAS ECUACIONES INTENSIDAD
– DURACION – FRECUENCIA PARA LAS PRINCIPALES CIUDADES Y
POBLACIONES DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA”**

Realizado por:

ABSALON HARMIN MAMANI FITA

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502
Gestión académica II / 2011

TARIJA – BOLIVIA

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado la vida.

A mis queridos padres: Sebastián y Delia,
por el apoyo brindado durante mi vida.

A mis hermanas Olga, Yobana, Cesia y
Daniel por la motivación de toda la vida.

A mis tíos, abuelos y todos los que me
apoyaron constantemente en mis estudios.

A todos los docentes que me brindaron sus
conocimientos en toda mi carrera
estudiantil.

HOJA DE APROBACION

V°B°

Ing. Juan Carlos Loza Vélez
DOCENTE DE LA MATERIA

Ing. José A. Navia Ojeda
DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO
DE OBRAS HIDRAULICAS Y SANITARIAS

Ing. Luis A. Yurquina Flores
DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Lic. Gustavo Succi Aguirre
VICEDECANO FACULTAD
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

APROBADO POR:

TRIBUNAL:

TRIBUNAL 1

TRIBUNAL 2

TRIBUNAL 3

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:

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 Dios, por haberme dado tantos regalos entre ellos a mis padres: Sebastián, Delia, mis hermanas Olga, Yobana, Cesia, y mi hermano menor Luis Daniel. Que con su paciencia y su apoyo incondicional de todos ellos que confiaron en mí y tuvieron la fe necesaria para que Yo pueda llegar a mi meta.

PENSAMIENTO

“Nunca consideres al estudio como una obligación, sino como una oportunidad de este maravilloso mundo del saber y que Dios nos dio”

Harmin Absalón Mamani Fita

ÍNDICE

Dedicatoria
Agradecimiento
pensamiento
Resumen

CAPÍTULO I

Página

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades	1
1.2. Motivo de realización del proyecto	4
1.3. Información sobre la situación actual	5
1.3.1. Departamento de Tarija	5
1.3.1.1. Hidrografía de Tarija	6
1.3.2. Provincia Cercado	7
1.3.2.1. Hidrografía (Ríos)	8
1.3.3. Provincia Gran Chaco	8
1.3.3.1. Hidrografía (Ríos)	9
1.3.4. Provincia Avilés	9
1.3.4.1. Hidrografía (Ríos)	10
1.3.5. Provincia Burnet O'Connor	10
1.3.5.1. Hidrografía (Ríos)	11
1.3.6. Provincia Arce	11
1.3.6.1. Hidrografía (Ríos)	12
1.3.7. Provincia Méndez	11
1.3.7.1. Hidrografía (Ríos)	12
1.4. Alcance y Limitaciones del presente proyecto	13
1.5. Objetivos	14
1.5.1. Objetivo General	14
1.5.1. Objetivos Específicos	14
1.6. Información del Proyecto	15

1.7. Justificación del Proyecto	16
1.7.1. Justificación Metodológica	16

CAPÍTULO II

Página

HIDROLOGÍA DE TORMENTA DE DISEÑO

2.1. Importancia de las Tormentas de Diseño	18
2.2. Definiciones de la hidrología	18
2.2.1. Definición y Variables de las Tormentas de Diseño	19
2.2.2. Precipitación	20
2.2.3. Proceso de formación de la precipitación	20
2.2.4. Formas de precipitación	21
2.2.5. Tipos de precipitación	23
2.2.5.1. Precipitación Ciclónica	23
2.2.5.2. Precipitación Convectiva	24
2.2.5.3. Precipitación Orográfica	24
2.2.6. Pluviograma	25
2.3. Curvas Características de Precipitación	26
2.3.1. Hietograma	27
2.3.2. Análisis de los datos de precipitación	27
2.4. Prueba Estadística de Homogeneidad	28
2.4.1. Test de Mann-Kendall	28
2.5. Análisis de Consistencia curva doble masa	29
2.6. Relaciones Precipitación-Duración-Frecuencia	31
2.6.1. Índices de Desagregación	31
2.7. Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia	33
2.7.1. Selección de Intensidades Máximas	34
2.7.2. Ajuste de los datos a una función de distribución de probabilidad	35
2.7.3. Pruebas de bondad de ajuste	37
2.7.3.1. Test de Kolmogorov – Smirnov	37

CAPÍTULO III

Página

CARACTERIZACION DE LA ZONA DEL PROYECTO

3.1. Regionalización de las curvas IDF	40
3.1.1. Ciudades de la provincia Cercado	43
3.1.1.1. Ciudad de Tarija	43
3.1.2. Ciudades de la provincia Arce	45
3.1.2.1. Ciudad de Bermejo	45
3.1.2.2. Ciudad de Padcaya	46
3.1.3. Ciudades de la provincia Gran Chaco	48
3.1.3.1. Ciudad de Yacuiba	48
3.1.3.2. Ciudad de Villamontes	49
3.1.3.3. Ciudad de Caraparí	49
3.1.4. Ciudades de la provincia O'Connor	51
3.1.4.1. Ciudad de Entre Ríos	51
3.1.5. Ciudades de la provincia Méndez	53
3.1.5.1. Ciudad de Iscayachi	53
3.1.5.2. Ciudad de El Puente	54
3.1.5.3. Ciudad de San Lorenzo	55
3.1.6. Ciudades de la provincia Avilés	56
3.1.6.3. Ciudad de El Valle de la Concepción	56
3.2. Zonificación Pluviométrica	58

CAPÍTULO IV

Página

ESTUDIO DE LAS ECUACIONES INTENSIDAD – DURACION - FRECUENCIA

4.1. Conceptos Generales	60
4.2. Modelos matemáticos para representar las curvas I-D-F	62
4.2.1. Ecuaciones que relacionan la intensidad y su duración	62
4.2.2. Ecuaciones que asocian intensidad – duración – frecuencia	63
4.3. Componentes de las curvas I-D-F	65

4.3.1. Periodo de retorno	65
4.3.2. Duración de la lluvia	67
4.3.3. Intensidad de la lluvia	67
4.4. Desarrollo de las metodologías propuestas	67
4.4.1. Proceso de recolección de eventos extremos de lluvias	67
4.4.2. Determinación matemática de las curvas I-D-F	68
4.4.3. Procedencia de los modelos de las ecuaciones I-D-F	70
4.4.3.1. Modelo de Bernard	70
4.4.3.2. Modelo de Koytsoyiannis et al	70
4.4.3.3. Modelo de Sherman	71
4.4.3.4. Modelo de Wenzel	71
4.4.3.5. Modelo de Chow et al	72
4.4.3.6. Modelo de Talbot	72
4.4.4. Método de Bernard o regresión lineal múltiple	73
4.4.5. Método de Talbot	74
4.4.6. Método de Sherman	75
4.4.7. Estimación de la ecuación Intensidad – Duración para un “T”	75
4.4.8. Ecuaciones para validar los modelos de Bernard y Sherman en Tja.	77
4.4.8.1. Ecuación de alcantarillado pluvial para Tarija	77
4.4.8.2. Ecuación de la empresa eléctrica ENDE	78

CAPÍTULO V

Página

INGENIERIA DEL PROYECTO

5.1. Estudio Estadístico	79
5.2. Estimación de las Curvas PDF para las ciudades en estudio	80
5.2.1. Criterio de la elección de α y β	80
5.2.1.1. Equivalente de lluvia diaria α	80
5.2.1.2. Gradiente de precipitación β	81
5.3. Estimación de las Curvas IDF para las ciudades en estudio	82
5.4. Estimación de ecuaciones Intensidad-Duración-Frecuencia	83

5.4.1. Modelo propuesto por Bernard	83
5.4.2. Modelo propuesto por Sherman	84
5.4.3. Modelo propuesto por Talbot	84
5.4.3.1. Ciudad de Tarija	85
5.4.3.2. Ciudad de Yacuiba	85
5.4.3.3. Ciudad de Bermejo	86
5.4.3.4. Ciudad de Padcaya	86
5.4.3.5. Ciudad de Iscayachi	87
5.4.3.6. Ciudad de Villamontes	87
5.4.3.7. Ciudad de Caraparí	88
5.4.3.8. Ciudad de Valle de la Concepción	88
5.4.3.9. Ciudad de Entre Ríos	89
5.4.3.10. Ciudad de San Lorenzo	89
5.4.3.11. Ciudad de El Puente	90
5.5. Ecuaciones IDF para las principales ciudades del departamento de Tja.	92
5.5.1. Ecuaciones IDF mediante el modelo de Bernard	92
5.5.2. Ecuaciones IDF mediante el modelo de Sherman	93

CAPÍTULO VI

Página

VALIDACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

6.1. Validación de las ecuaciones IDF mediante bandas pluviográficas	95
6.2. Validación mediante la ecuación de alcantarillado pluvial	101
6.3. Validación mediante la ecuación de la empresa ENDE	103
6.4. Comparación de las curvas IDF de los modelos estimados para diferentes “T”	106
6.5. Discusión de resultados	109
6.6. Conclusiones del proyecto	111
6.7. Recomendaciones del proyecto	112
6.8. Bibliografía del proyecto	113

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I	Página
Figura 1.1 Rotura del puente en Medellín - Colombia	4
Figura 1.2 Inundación Urbana en Concepción - Chile	4
Figura 1.3 Mapa de ubicación de los principales ríos del departamento de TJA.	5
Figura 1.4 Mapa orográfico e hidrográfico del departamento de Tarija	5
Figura 1.5 Mapa Hidrográfico de la provincia Cercado	7
Figura 1.6 Mapa Hidrográfico de la provincia Gran Chaco	8
Figura 1.7 Mapa Hidrográfico de la provincia Avilés	9
Figura 1.8 Mapa Hidrográfico de la provincia O'Connor	10
Figura 1.9 Mapa Hidrográfico de la provincia Arce	11
Figura 1.10 Mapa Hidrográfico de la provincia Méndez	12
CAPITULO II	Página
Figura 2.1 Formación de la precipitación en las nubes	21
Figura 2.2 Formas de precipitación	21
Figura 2.3 Precipitación ciclónica	24
Figura 2.4 Precipitación convectiva	24
Figura 2.5 Precipitación orográfica	25
Figura 2.6 Registro de un pluviograma	25
Figura 2.7 Curva masa de precipitación	26
Figura 2.8 Hietograma de alturas de precipitación	27
Figura 2.9 Histograma de intensidades	27
Figura 2.10 Análisis de la curva doble masa	29
Figura 2.11 Curva Precipitación – Duración – Frecuencia	32
Figura 2.12 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia	35
CAPITULO II	Página
Figura 3.1 Mapa de ubicación de estaciones pluviométricas	47
Figura 3.2 Mapa de ubicación de estaciones pluviométricas	48

Figura 3.3 Isotermas de la provincia Cercado	50
Figura 3.4 Isoyetas de la provincia Cercado	50
Figura 3.5 Isotermas de la provincia Arce	53
Figura 3.6 Isoyetas de la provincia Arce	53
Figura 3.7 Isotermas de la provincia Gran Chaco	56
Figura 3.8 Isoyetas de la provincia Gran Chaco	56
Figura 3.9 Isotermas de la provincia O'Connor	58
Figura 3.10 Isoyetas de la provincia O'Connor	58
Figura 3.11 Isotermas de la provincia Méndez	61
Figura 3.12 Isoyetas de la provincia Méndez	61
Figura 3.13 Isotermas de la provincia Avilés	62
Figura 3.14 Isoyetas de la provincia Avilés	63

CAPITULO V

Página

Figura 5.1 Mapa de Isoyetas a nivel departamental	85
---	----

CAPITULO VI

Página

Figura 6.1 Interpretación de la banda pluviográfica de El Tejar	95
Figura 6.2 Estimación de la curva IDF por Bernard	96
Figura 6.3 Estimación de la curva IDF por Sherman	97
Figura 6.4 Correlación entre resultados del pluviógrafo y Bernard	98
Figura 6.5 Correlación entre resultados del pluviógrafo y Sherman	98
Figura 6.6 Interpretación de la banda pluviográfica de AASANA	99
Figura 6.7 Correlación entre resultados del pluviógrafo y Bernard	100
Figura 6.8 Correlación entre resultados del pluviógrafo y Sherman	100
Figura 6.9 Correlación entre el pluviógrafo y la ecuación del alcantarillado Pluv.	102
Figura 6.10 Correlación entre Bernard y la ecuación del alcantarillado Pluv.	102
Figura 6.11 Correlación entre Sherman y la ecuación del alcantarillado Pluv.	103
Figura 6.12 Correlación entre el pluviógrafo y la ecuación de ENDE	104
Figura 6.13 Correlación entre Bernard y la ecuación de ENDE.	105
Figura 6.14 Correlación entre Sherman y la ecuación de ENDE	105

Figura 6.15 Comparación de resultados de las curvas IDF para T = 2 años	106
Figura 6.16 Comparación de resultados de las curvas IDF para T = 5 años	106
Figura 6.17 Comparación de resultados de las curvas IDF para T = 10 años	107
Figura 6.18 Comparación de resultados de las curvas IDF para T = 20 años	107
Figura 6.19 Comparación de resultados de las curvas IDF para T = 50 años	108

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II	Página
Tabla 2.1 V_{crit} para diferentes niveles de significación de α	36
CAPITULO III	Página
Tabla 3.1 Municipios y zonas geográficas homogéneas del departamento	48
Tabla 3.2 Condiciones climatológicas de las zonas geográficas	49
CAPITULO IV	Página
Tabla 4.1 Intensidades máximas anuales de precipitación para cada duración	75
Tabla 4.2 Coeficiente de la ecuación de la empresa eléctrica ENDE	84
CAPITULO V	Página
Tabla 5.1 Resultados del modelo de Bernard	88
Tabla 5.2 Resultados del modelo de Sherman	88
Tabla 5.3 Resultados del modelo Talbot para la ciudad de Tarija	89
Tabla 5.4 Resultados del modelo Talbot para la ciudad de Yacuiba	89
Tabla 5.5 Resultados del modelo Talbot para la ciudad de Bermejo	90
Tabla 5.6 Resultados del modelo Talbot para la ciudad de Padcaya	90
Tabla 5.7 Resultados del modelo Talbot para la ciudad de Iscayachi	91
Tabla 5.8 Resultados del modelo Talbot para la ciudad de Villamontes	91
Tabla 5.9 Resultados del modelo Talbot para la ciudad de Caraparí	92
Tabla 5.10 Resultados del modelo Talbot para la ciudad del Valle de la Concep.	92
Tabla 5.11 Resultados del modelo Talbot para la ciudad de Entre Ríos	93
Tabla 5.12 Resultados del modelo Talbot para la ciudad de San Lorenzo	93
Tabla 5.13 Resultados del modelo Talbot para la ciudad de El Puente	94
Tabla 5.14 Resultados del modelo de Bernard corregidos	94
Tabla 5.15 Resultados del modelo de Sherman corregidos	95
Tabla 5.16 Curvas IDF determinadas por Talbot para la ciudad de Tarija	95

CAPITULO VI

Página

Tabla 6.1 Interpretación de la banda pluviográfica de El Tejar	96
Tabla 6.2 Intensidades estimadas por Bernard para la ciudad de Tarija	97
Tabla 6.3 Intensidades estimadas por Sherman para la ciudad de Tarija	98
Tabla 6.4 Interpretación de la Banda pluviográfica de AASANA	100
Tabla 6.5 Intensidades determinadas por la fórmula del Alcantarillado Pluvial	102
Tabla 6.6 Coeficientes de la ecuación de la empresa ENDE	104
Tabla 6.7 Intensidades determinadas por la fórmula de la empresa ENDE	105

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°1	Datos pluviométricos y pluviográficos.....
Anexo N°2	Zonificación.....
Anexo N°3	Prueba de Smirnov Kolgomorov distribución Gumbell.....
Anexo N°4	Prueba de Smirnov Kolgomorov distribución Galton.....
Anexo N°5	Análisis de consistencia curva doble masa.....
Anexo N°6	Prueba de homogeneidad.....
Anexo N°7	Estimación de Curvas IDF y lluvias menores a dos horas.....
Anexo N°8	Aplicación de las metodologías de cálculo Bernard y Sherman.....
Anexo N° 9	Aplicación de la metodología de Talbot.....
Anexo N°10	Interpretación de Bandas Pluviográficas – coeficiente de desagregación.....
Anexo N°11	Validación de los modelos aplicando a la ciudad de Tarija.....
Anexo N°12	Software de estimación y actualización de ecuaciones I-D-F.....