



Esta obra está bajo una [Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/)

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA
DE DRENAJE DE LA CARRETERA DEPARTAMENTAL SM-110 METAL –
MARCOS, DISTRITO SHUNTE, PROVINCIA TOCACHE – SAN MARTÍN**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Bach. Sally Banessa Díaz Vargas

Asesor:

Ing. Dr. José Del Carmen Pizarro Baldera

TOMO I

TARAPOTO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LA CARRETERA DEPARTAMENTAL SM-110 METAL – MARCOS, DISTRITO SHUNTE, PROVINCIA TOCACHE – SAN MARTÍN

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Bach. Sally Banessa Díaz Vargas

Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el día 08 de agosto del 2018

Handwritten signature of Ramiro Vásquez Vásquez in blue ink.

.....
Ing. Mg. RAMIRO VÁSQUEZ VÁSQUEZ
Presidente

Handwritten signature of Carlos Segundo Huamán Torrejón in blue ink.

.....
Ing. CARLOS SEGUNDO HUAMÁN TORREJÓN
Secretario

Handwritten signature of Carlos Enrique Chung Rojas in blue ink.

.....
Ing. CARLOS ENRIQUE CHUNG ROJAS
Vocal

Handwritten signature of José del Carmen Pizarro Baldera in blue ink.

.....
Dr. Ing. JOSÉ DEL CARMEN PIZARRO BALDERA
Asesor

Declaratoria de Autenticidad


Sally Banessa Diaz Vargas identificado con el DNI N° 47963479, egresada de la facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LA CARRETERA DEPARTAMENTAL SM-110 METAL – MARCOS, DISTRITO SHUNTE, PROVINCIA TOCACHE – SAN MARTÍN.**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 08 de agosto del 2018



.....
DNI N° 47963479

DECLARACIÓN JURADA

Sally Banessa Diaz Vargas identificado con el DNI N° 47963479 con domicilio legal Ca. Las Chiras N° 210 – Urb. California, Víctor Larco Herrera, Trujillo, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **DECLARO BAJO JURAMENTO**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis y/o Informe de Ingeniería, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por la cual me someto a lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 08 de agosto del 2018



.....

Firma

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: DIAZ VARGAS SALLY BARESA	
Código de alumno : 090143	Teléfono: 966 893058
Correo electrónico : sobadiazvargas@gmail.com	DNI: 47963479

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de: INGENIERÍA CIVIL

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LA CARRETERA DEPARTAMENTAL SH 110 - METAL - TARECO, DISTRITO SHUNTE, PROVINCIA TUCUME - SAN MARTÍN .
Año de publicación: 2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

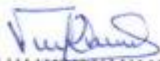
7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

15, 11, 2018



Firma del Responsable de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

* **Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

A mi madre Aydé Vargas Meléndez, la mujer que más admiro, por haberme formado, para ser la persona que ahora soy, por brindarme su apoyo y cuidados incondicionales en todo momento. Este logro es tuyo mami.

A mis hermanos Odális y Daniel, por permitirme conocer el amor fraternal, la complicidad y la importancia de la tolerancia, los quiero con toda el alma.

A mi asesor, el Ing. Pizarro, por brindarme su apoyo y compartir generosamente su vasto conocimiento, el cual me abrió la mente para poder desarrollar el presente Proyecto.

Sally Banessa

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer sinceramente a aquellas personas que compartieron sus conocimientos conmigo para hacer posible la conclusión de esta tesis.

Especialmente agradezco a mi asesor Dr. Ing. José Del Carmen Pizarro Baldera por su apoyo, por sus ideas y recomendaciones respecto a esta investigación.

Agradezco a todo el personal docente de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil por compartir sus conocimientos y experiencias, las cuales sin duda fueron parte vital en mi formación profesional.

Sally Banessa

ÍNDICE

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad problemática	1
1.1.1.Aspectos generales del estudio	1
1.1.1.1.Ubicación geográfica donde se desarrollará el proyecto.....	1
1.1.1.2.Altitud	3
1.1.1.3.Suelos.....	3
1.1.1.4.Relieve	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.5.Condiciones climáticas, precipitación y temperatura.....	3
1.1.1.6.Acceso y vías de comunicación.....	4
1.1.1.7.Hidrografía.....	4
1.2.Trabajos previos/ antecedentes	6
1.3.Teorías relacionadas al tema.....	7
1.3.1. Hidrología	7
1.3.1.1. El ciclo hidrológico.....	8
1.3.1.2. Precipitación	10
1.3.1.1.Escurrimiento.....	16
1.3.1.2.Infiltración.....	17
1.3.1.4. Cuenca hidrológica	20
1.3.5. Análisis estadístico de datos hidrológicos	23
1.3.5.1. Algunos conceptos de probabilidad y estadística	23
1.3.5.2. Modelos de distribución.....	25
1.3.5.3. Pruebas de bondad de ajuste	30
1.3.6.1. Estudios de campo	32
1.3.6.2. Evaluación de la información hidrológica	33
1.3.6.3. Área del proyecto - estudio de la(s) cuenca(s) hidrográfica(s).....	34
1.3.6.4. Selección del período de retorno.....	34
1.3.7. Drenaje.....	36

1.3.7.1. Drenaje superficial	36
1.3.7.2.Drenaje subterráneo	63
1.4.Formulación del problema	67
1.5.Justificación del estudio	68
1.5.1. Justificación teórica.	68
1.5.2. Justificación práctica.....	68
1.6.Hipótesis	69
1.7.Objetivos	69
1.7.1.Objetivo General	69
1.7.2.Objetivos Específicos.....	69
CAPÍTULO II MÉTODO	70
2.1.Diseño de investigación	70
2.2.Variables, operacionalización	71
2.3.Población y muestra	72
Población.....	72
Muestra	72
2.4.Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	72
2.4.1.Fuentes Técnicas:.....	72
2.4.2.Análisis de contenido documental:	72
2.4.3.Fuentes Informantes:.....	73
2.4.4.Instrumentos de recolección de información de trabajo de campo.....	73
2.4.5.Instrumentos bibliográficos	74
2.5.Métodos de análisis de datos.....	74
2.6.Aspectos éticos.....	74
CAPÍTULO III RESULTADOS.....	75
3.1.Delimitación de microcuencas y cálculo de áreas colectoras	75
3.2.Cálculo de la precipitación máxima y la intensidad de diseño	76
3.3.Cálculo de la precipitación máxima por el método de Gumbel.....	78
3.4. Diseño hidráulico de las estructuras de drenaje	95
3.4.1. Diseño hidráulico de las alcantarillas	95
3.4.1.1. Cálculo de los caudales por el método racional.....	95
3.4.2. Diseño hidráulico de las cunetas.....	103
3.4.2.1. Sección geométrica típica de la cuneta	103
3.4.2.2. Taludes en la cuneta.....	103

3.4.2.3. Pendiente longitudinal de la cuneta	105
3.4.2.4. Revestimiento de la cuneta	105
3.4.2.5. Desague de la cuneta.....	105
3.4.2.6. Cálculo de caudal de diseño de la cuneta.....	105
3.4.2.7. Cálculo de sección de la cuneta	107
3.4.3. Diseño hidráulico de las cunetas de coronación	108
3.4.3.1. Ubicación de las cunetas de coronación	108
3.4.3.2. Revestimiento de las cunetas de coronación.....	109
3.4.3.3. Cálculo de sección de las cunetas de coronación.....	109
3.4.4. Diseño hidráulico de las alcantarillas de alivio.....	111
3.4.4.1. Ubicación de las alcantarillas de alivio.....	111
3.4.5. Diseño hidráulico de de sub drenes	112
3.4.5.1. Diseño hidráulico de sub drenes	112
CAPÍTULO IV DISCUSIÓN.....	113
4.1.- Resultado de los valores de intensidad máxima calculada	113
4.2.- Resultado del diseño hidráulico de las alcantarillas	113
4.3.- Resultado del dimensionamiento hidráulico de las cunetas	116
4.4.- Resultado del diseño hidráulico de las cunetas de coronación	116
4.5.- Resultado del diseño hidráulico de las alcantarillas de alivio	117
CONCLUSIÓN	117
RECOMENDACIONES.....	119
REFERENCIAS.....	120
ANEXOS.....	122
Instrumentos.....	122
Validación de los instrumentos.....	122
Matriz de consistencia.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 :Valores críticos “d” para la prueba Kolmogorov-Smirnov de bondad del ajuste.....	32
Tabla 2 :Valores de Periodo de Retorno T (Años)	35
Tabla 3 :Valores recomendados de Riesgo Admisible de Obras de Drenaje	36
Tabla 4 :Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning (n).....	44
Tabla 5 :Velocidades máximas admisibles (m/s) en conductos revestidos	45
Tabla 6 :Velocidades máximas admisibles (m/s) en canales no revestidos.....	46
Tabla 7 :Velocidad máxima del agua	53
Tabla 8 :Inclinaciones máximas del talud (V:H) interior de la cuneta	55
Tabla 9 :Valores de K más usados.....	56
Tabla 10 :Velocidades límites admisibles	56
Tabla 11 :Dimensiones mínimas.....	57
Tabla 12 : Características geomorfológicas de las cuenca margen derecha del río Tocache	76
Tabla 13 : Precipitación máxima de 24 horas.....	77
Tabla 14 : Resumen de precipitación máxima de 24 horas	77
Tabla 15 : Cálculos de Desviación Estándar de la muestra	79
Tabla 16 : Estadístico Smirnov-Kolmogorov	80
Tabla 17 :Valores de Yn y Gn en función de la longitud del registro, N, en años.	81
Tabla 18 : Cálculo de Precipitación máxima para distintos periodos de retorno	81
Tabla 19 : Cálculo de tiempo del tiempo de concentración (en horas), para cada microcuenca.	83
Tabla 20 : Ubicación de las alcantarillas proyectadas, y la microcuenca a la que pertenece.....	84
Tabla 21 :Periodos de retorno para diseño de obras de drenaje en caminos de bajo volumen de tránsito	87
Tabla 22 :Coeficientes de duración: Lluvias entre 48 y una hora	87
Tabla 23 : Distribución porcentual de la Imáx.	88
Tabla 24 : Cálculo de parámetros de ajuste, para un periodo de retorno de 2 años.....	90
Tabla 25 : Curvas IDF, correspondientes a un periodo de retorno de 2 años.....	90
Tabla 26 : Cálculo de parámetros de ajuste, para un periodo de retorno de 10 años.....	91

Tabla 27 : Curvas IDF, correspondientes a un periodo de retorno de 10 años.....	91
Tabla 28 : Cálculo de parámetros de ajuste, para un periodo de retorno de 20 años.....	92
Tabla 29 : Curvas IDF, correspondientes a un periodo de retorno de 20 años.....	92
Tabla 30 : Cálculo de parámetros de ajuste, para un periodo de retorno de 50 años.....	93
Tabla 31 : Curvas IDF, correspondientes a un periodo de retorno de 50 años.....	93
Tabla 32 : Resumen de aplicación de regresión potencial.....	94
Tabla 33 : Regresión potencial	94
Tabla 34 :Valores para determinar el Coeficiente de escorrentía	96
Tabla 35 :Coeficientes de escorrentía.....	96
Tabla 36 : Cálculo del caudal máximo para cada alcantarilla, empleando el método racional.....	97
Tabla 37 : Cálculo del diámetro de las alcantarillas, y su equivalencia en perfiles comerciales.....	99
Tabla 38 : Resumen de las dimensiones de las alcantarillas.....	101
Tabla 39 :Dimensiones mínimas de las cunetas	103
Tabla 40 :Inclinaciones máximas del talud (V:H) interior de la cuneta	104
Tabla 41 : Intensidad máxima para diferentes Periodos de Retorno	113
Tabla 42 : Secciones de las alcantarillas proyectadas	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 :Ubicación del proyecto	3
Figura 2 : Representación pictórica del ciclo hidrológico	9
Figura 3 :Representación esquemática del ciclo hidrológico	9
Figura 4 :Pluviómetro.....	12
Figura 5 :Pluviograma	13
Figura 6 :Métodos para calcular precipitaciones medias sobre una cuenca	15
Figura 7 :Cuenca del Punto P	20
Figura 8 :Tipos de Cuencas	23
Figura 9 :Relación Intesidad- duración	25
Figura 10 :Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño.....	26
Figura 11 :Ubicación típica de Alcantarillas respecto a la pendiente del cauce.....	40
Figura 12 :Sección típica de Cuneta triangular	50
Figura 13 :Dimensiones mínimas de cuneta triangular típica	58
Figura 14 :Detalle típico de zanja de coronación	59
Figura 15 :Detalle de zanja de coronación en pendientes muy pronunciadas	60
Figura 16 :Detalle típico de zanja de drenaje	61
Figura 17 :Detalle de cuneta de banquetta.....	61
Figura 18 :Detalle típico de bordillo de concreto armado	62
Figura 19 :Drenaje Subterráneo.....	64
Figura 20 :Drenes subterráneos	64
Figura 21 :Drenaje subterráneo	66
Figura 22 :Subdren de aguas subterráneas con geotextil (Recomendada para drenar suelos de naturaleza granular).....	67
Figura 23 :Sección típica de cuneta triangular	104
Figura 24 :Sección de cuneta típica.....	107
Figura 25 :Sección típica de Cuneta de Coronación.....	109
Figura 26 :Sección típica de alcantarilla de alivio.....	112
Figura 27 :Sección típica de la cuneta diseñada	116
Figura 28 :Sección típica de la cuneta de coronación proyectada.....	117
Figura 29 :Sección típica de alcantarilla de alivio proyectada	117

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	: Ubicación y Localización.....	PUB-01
Plano 2	: Plano clave.....	PC-01
Plano 3	: Secciones Típicas.....	ST-01
Plano 4	: Planta y Perfil Longitudinal KM 00 + 000 - KM 01 + 000.....	PPL-01
Plano 5	: Planta y Perfil Longitudinal KM 01 + 000 - KM 02 + 000.....	PPL-02
Plano 6	: Planta y Perfil Longitudinal KM 02 + 000 - KM 03 + 000.....	PPL-03
Plano 7	: Planta y Perfil Longitudinal KM 03 + 000 - KM 04 + 000.....	PPL-04
Plano 8	: Planta y Perfil Longitudinal KM 04 + 000 - KM 05 + 000.....	PPL-05
Plano 9	: Planta y Perfil Longitudinal KM 05 + 000 - KM 06 + 000.....	PPL-06
Plano 10	: Planta y Perfil Longitudinal KM 06 + 000 - KM 07 + 000.....	PPL-07
Plano 11	: Planta y Perfil Longitudinal KM 07 + 000 - KM 08 + 000.....	PPL-08
Plano 12	: Planta y Perfil Longitudinal KM 08 + 000 - KM 09 + 000.....	PPL-09
Plano 13	: Planta y Perfil Longitudinal KM 09 + 000 - KM 10 + 000.....	PPL-10
Plano 14	: Planta y Perfil Longitudinal KM 10 + 000 - KM 11 + 000.....	PPL-11
Plano 15	: Planta y Perfil Longitudinal KM 11 + 000 - KM 12 + 000.....	PPL-12
Plano 16	: Planta y Perfil Longitudinal KM 12 + 000 - KM 13 + 000.....	PPL-13
Plano 17	: Planta y Perfil Longitudinal KM 13 + 000 - KM 14 + 000.....	PPL-14
Plano 18	: Planta y Perfil Longitudinal KM 14 + 000 - KM 15 + 000.....	PPL-15
Plano 19	: Planta y Perfil Longitudinal KM 15 + 000 - KM 16 + 000.....	PPL-16
Plano 20	: Planta y Perfil Longitudinal KM 16 + 000 - KM 17 + 000.....	PPL-17
Plano 21	: Planta y Perfil Longitudinal KM 17 + 000 - KM 18 + 000.....	PPL-18
Plano 22	: Planta y Perfil Longitudinal KM 18 + 000 - KM 19 + 000.....	PPL-19
Plano 23	: Planta y Perfil Longitudinal KM 19 + 000 - KM 20 + 000.....	PPL-20
Plano 24	: Planta y Perfil Longitudinal KM 20 + 000 - KM 21 + 000.....	PPL-21
Plano 25	: Planta y Perfil Longitudinal KM 21 + 000 - KM 22 + 000.....	PPL-22
Plano 26	: Planta y Perfil Longitudinal KM 22 + 000 - KM 23 + 000.....	PPL-23
Plano 27	: Planta y Perfil Longitudinal KM 23 + 000 - KM 24 + 000.....	PPL-24
Plano 28	: Planta y Perfil Longitudinal KM 24 + 000 - KM 25 + 000.....	PPL-25
Plano 29	: Planta y Perfil Longitudinal KM 25 + 000 - KM 26 + 000.....	PPL-26
Plano 30	: Planta y Perfil Longitudinal KM 26 + 000 - KM 27 + 000.....	PPL-27
Plano 31	: Esquema de drenaje KM 0 + 000 - KM 5 + 000.....	D-01

Plano 32 : Esquema de drenaje KM 5 + 000 - KM 10 + 000.....	D-02
Plano 33 : Esquema de drenaje KM 10 + 000 - KM 15 + 000.....	D-03
Plano 34 : Esquema de drenaje KM 15 + 000 - KM 20 + 000.....	D-04
Plano 35 : Esquema de drenaje KM 20 + 000 - KM 25 + 000.....	D-05
Plano 36 : Esquema de drenaje KM 25 + 000 - KM 27 + 446.83.....	D-06
Plano 37 : Ubicación Zanjas de Coronación.....	ZC-01
Plano 38 : Ubicación de Cunetas Lado Izquierdo.....	CU-01
Plano 39 : Ubicación de Cunetas Lado Derecho.....	CU-02
Plano 40 : Ubicación de Sub Drenes.....	SD-01
Plano 41 : Alcantarillas Proyectadas KM 0+000.00 - KM 2+030.00.....	AP-01
Plano 42 : Alcantarillas Proyectadas KM 2+030.00 - KM 3+580.00.....	AP-02
Plano 43 : Alcantarillas Proyectadas KM 3+580.00 - KM 6+540.00.....	AP-03
Plano 44 : Alcantarillas Proyectadas KM 6+540.00 - KM 8+060.00.....	AP-04
Plano 45 : Alcantarillas Proyectadas KM 8+060.00 - KM 9+205.40.....	AP-05
Plano 46 : Alcantarillas Proyectadas KM 9+205.40 - KM 11+120.00.....	AP-06
Plano 47 : Alcantarillas Proyectadas KM 11+120.00 - KM 12+380.00.....	AP-07
Plano 48 : Alcantarillas Proyectadas KM 12+380.00 - KM 13+172.90.....	AP-08
Plano 49 : Alcantarillas Proyectadas KM 13+172.90 - KM 14+535.30.....	AP-09
Plano 50 : Alcantarillas Proyectadas KM 14+535.30 - KM 15+380.00.....	AP-10
Plano 51 : Alcantarillas Proyectadas KM 15+380.00 - KM 16+138.90.....	AP-11
Plano 52 : Alcantarillas Proyectadas KM 16+138.90 - KM 17+280.00.....	AP-12
Plano 53 : Alcantarillas Proyectadas KM 17+280.00 - KM 17+760.00.....	AP-13
Plano 54 : Alcantarillas Proyectadas KM 17+280.00 - KM 19+245.60.....	AP-14
Plano 55 : Alcantarillas Proyectadas KM 19+245.60 - KM 20+200.00.....	AP-15
Plano 56 : Alcantarillas Proyectadas KM 20+200.00 - KM 20+880.00.....	AP-16
Plano 57 : Alcantarillas Proyectadas KM 20+880.00 - KM 21+520.00.....	AP-17
Plano 58 : Alcantarillas Proyectadas KM 21+520.00 - KM 23+120.00.....	AP-18
Plano 59 : Alcantarillas Proyectadas KM 23+120.00 - KM 24+661.90.....	AP-19
Plano 60 : Alcantarillas Proyectadas KM 24+661.90 - KM 24+870.00.....	AP-20
Plano 61 : Alcantarillas Proyectadas KM 24+870.00 - KM 27+090.90.....	AP-21
Plano 62 : Detalles De Refuerzo Alcantarilla Tipo MCA 2.00 X 1.50.....	AMCA-01
Plano 63 : Detalles De Refuerzo Alcantarilla Tipo MCA 2.25 X 1.50.....	AMCA-02
Plano 64 : Detalles De Refuerzo Alcantarilla Tipo MCA 2.50 X 2.00.....	AMCA-03
Plano 65 : Detalles De Refuerzo Alcantarilla Tipo MCA 3.00 X 2.00.....	AMCA-04

- Plano 66** : Detalles De Refuerzo Alcantarilla Tipo MCA 3.50 X 2.50.....AMCA-05
- Plano 67** : Detalles De Refuerzo Alcantarilla TIPO TMC Ø 36" - 0.91m.....ATMC-01
- Plano 68** : Detalles De Refuerzo Alcantarilla TIPO TMC Ø 48" - 1.22m.....ATMC-02
- Plano 69** : Detalles De Refuerzo Alcantarilla TIPO TMC Ø 60" - 1.52m.....ATMC-03
- Plano 70** : Detalles De Refuerzo Alcantarilla TIPO TMC Ø 72" - 1.83m.....ATMC-04

RESUMEN

El presente proyecto de tesis denominado **Estudio hidrológico e hidráulico para el diseño del sistema de drenaje de la carretera departamental SM-110 Metal – Marcos, distrito Shunte, provincia Tocache – San Martín**, se desarrolló en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Surgió ante la necesidad de realizar el estudio hidrológico e hidráulico, que permita el diseño de un sistema de drenaje vial lo más adecuado posible a las condiciones morfológicas y topográficas en donde se emplazará el eje de la vía, así como también, considerar los regímenes de lluvias que ocurren a lo largo de los doce meses del año que generan escurrimiento superficial en toda la red hidrográfica que cruza la vía conformada desde pequeñas hondonadas, quebradas, riachuelos y hasta ríos de gran caudal.

Ya que en la Selva siempre han existido una serie de limitaciones relacionadas con la hidrografía, hidráulica, geología y geotecnia, condiciones que afectan de forma negativa el estado de las vías terrestres existentes, se precisa que dichas vías cuenten con un adecuado sistema de drenaje pluvial, el cual asegure que las carreteras cumplan cabalmente su función aún en condiciones de intensas lluvias

Palabras claves: Diseño, drenaje, carretera, hidráulica, cuenca.

ABSTRACT

The present thesis project called **Hydrological and hydraulic study for the design of the drainage system of the departmental road SM-110 Metal - Marcos, Shunte district, Tocache province - San Martín**, It was developed in the Faculty of Civil Engineering of the National University of San Martín - Tarapoto.

It arose from the need to carry out the hydrological and hydraulic study, that allows the design of a road drainage system as appropriate as possible to the morphological and topographic conditions of the place where the axis of the road will be located, as well as, consider the rainfall regimes that occur throughout the twelve months of the year, the same ones that generate surface runoff in the entire hydrographic network that crosses the formed path.

This hydrographic network, is formed from small hollows, streams, streams and even rivers of great flow.

In the region of the Jungle, there has always been a limitation in terms of information related to hydrography, Hydraulics, geology and geotechnics at the time of the development of engineering projects, so the present study will serve as a technical contribution with regard to hydraulic dimensioning of all the drainage works of the road to which reference is made.

Keywords: Design, drainage, road, hydraulic, basin.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El comportamiento de una carretera se encuentra íntimamente ligado al desempeño de las obras de arte y drenaje. Tal es así que muchas carreteras han colapsado justamente en los lugares donde están ubicados las obras de drenaje mal diseñadas, ocasionando problemas de libre flujo vehicular y costos de reparación urgente.

Por lo que se tiene que los estudios hidrológicos son fundamentales para:

Dimensionar y diseñar de manera adecuada las obras hidráulicas, para efectuar estos estudios se utilizan frecuentemente modelos matemáticos que representan el comportamiento de toda la cuenca en estudio.

El correcto conocimiento del comportamiento hidrológico de un río, arroyo, o de un lago es fundamental para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos; así como para prever un correcto diseño de obras de infraestructura vial.

1.1.1. Aspectos Generales del Estudio

1.1.1.1 Ubicación geográfica donde se desarrollará el proyecto

Departamento : San Martín

Provincia : Tocache

Distrito : Shunté

Localidades : Metal – Marcos

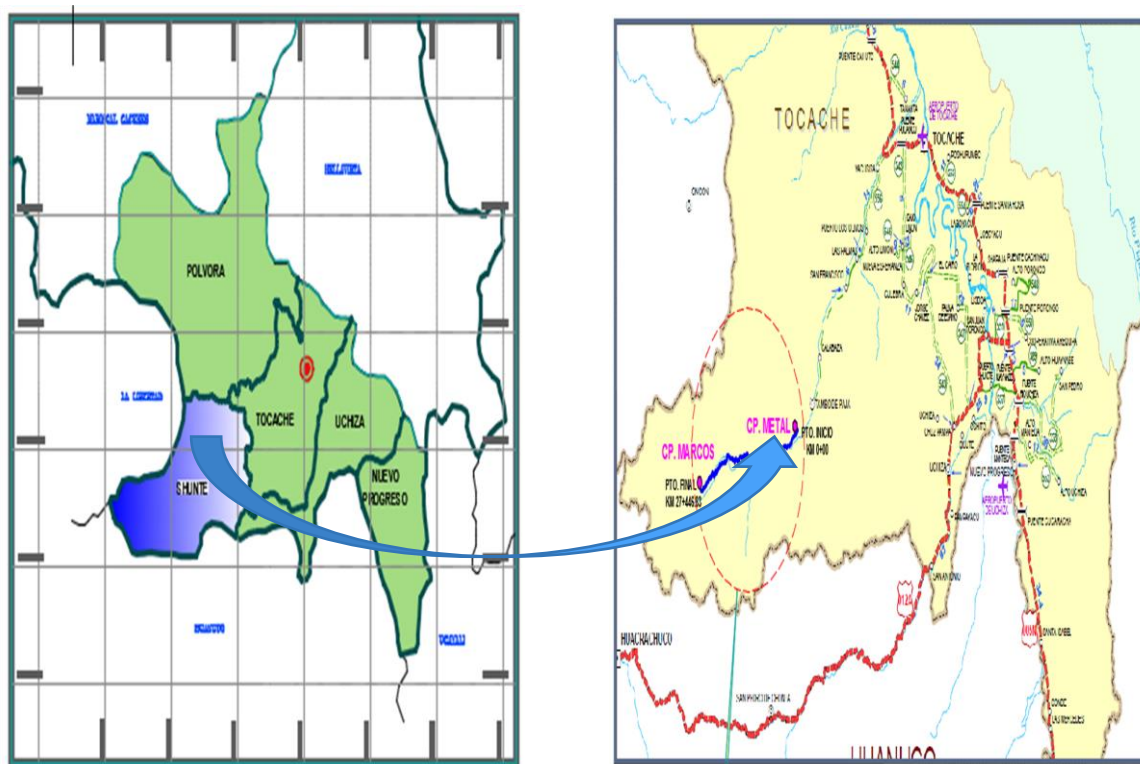
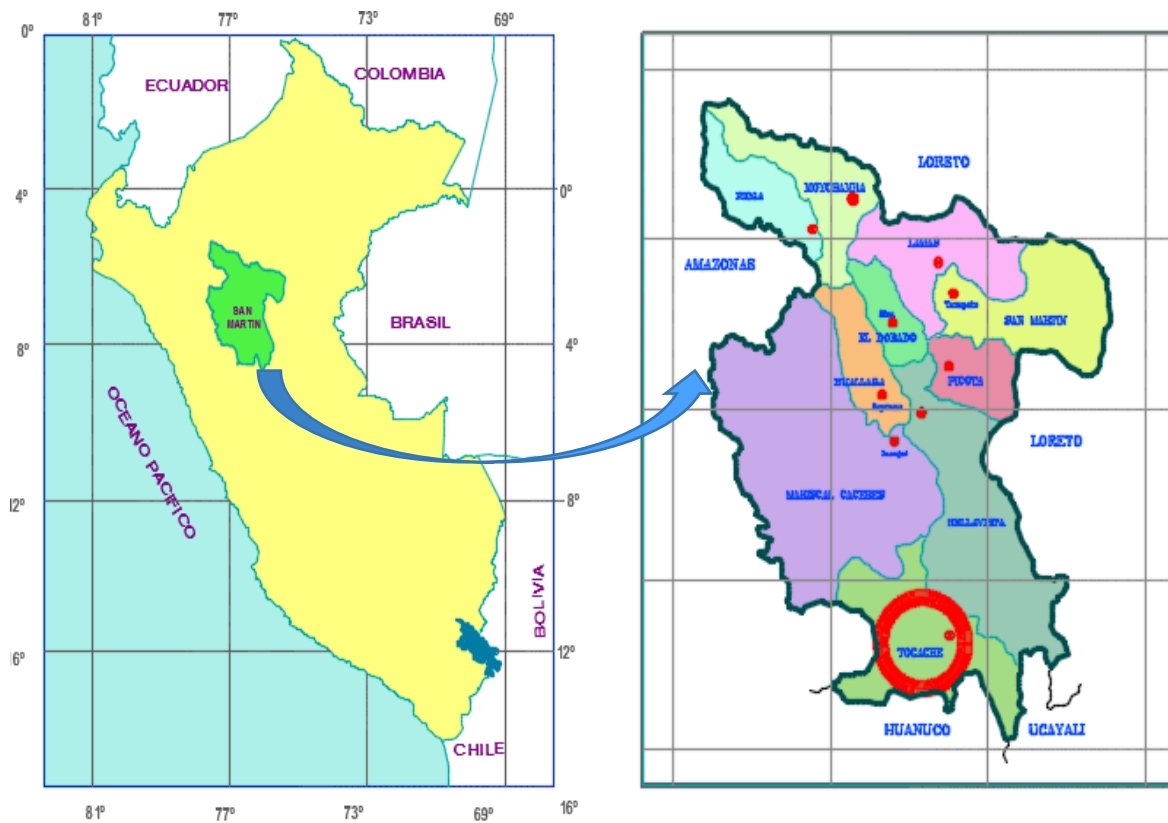


Figura 1: Ubicación del proyecto

1.1.1.2 Altitud

Geográficamente se ubica entre los paralelos 08°24'28" de latitud sur y los meridianos 76°44'48" de longitud oeste, con una altitud promedio de 1295 m.s.n.m., iniciándose el tramo en la Localidad de Metal, continuando por el suroeste hasta la localidad de Marcos límite con el departamento de La Libertad.

Inicio: 0+000.00 (Metal)		Fin: 27+446.83 (Marcos)	
Distrito	: Shunté	Distrito	: Shunté
Provincia	: Tocache	Provincia	: Tocache
Región	: San Martín	Región	: San Martín
Altitud	: 1302 msnm.	Altitud	: 2441 msnm.
Coord. UTM Este	: 307,397	Coord. UTM Este	: 286,627
Coord. UTM Norte	: 9'069,211	Coord. UTM Norte	: 9'062,999

1.1.1.3 Suelos

Los suelos están compuestos predominantemente por arcillas, limos arenas y gravas.

1.1.1.4 Relieve

El proyecto está comprendido desde una altitud de 1,302 m.s.n.m. (Caserío Metal) hasta los 2,441.00 msnm (Sector Marcos). El área del proyecto, presenta zonas de colinas y montañas altas con abundante vegetación, en cuyas faldas se encuentran numerosos ríos, quebradas y arroyos que van a desembocar por la margen derecha en el río Tocache, principal curso de agua del presente proyecto. Por esta margen va el trazo del eje vial en estudio.

1.1.1.5 Condiciones climáticas, precipitación y temperatura

Se aprecia que el clima, predominante dentro del área de estudio, corresponde a un bosque muy húmedo Premontano tropical (bum-PT), con ambiente cálido y húmedo, caracterizado por pequeñas variaciones de temperaturas durante el día.

El clima de la zona es bastante similar donde se alcanza un promedio de alrededor de 26 °C. Igualmente, la variabilidad térmica en el curso del año es uniforme, no pudiéndose establecer diferencias estacionales por causa de la temperatura.

Los promedios regionales en el Alto Huallaga, presenta un mínimo de 15 °C y los máximos alcanzan hasta 36 °C, En las partes altas las temperaturas descienden hasta alcanzar promedios anuales de 23 °C.

La precipitación este alrededor del 2000 mm. Las altitudes, varían entre los 1000 - 2000 m.s.n.m, donde por la Ubicación geográfica podemos darnos cuenta que se encuentra ubicado en la selva andina con temperaturas que varían entre 18 - 22 ° C y Registro de la precipitación máxima diaria (mm) de la Estación Ubicada en la Localidad de Tocache, categoría PE, el cual está a una altitud de 450 m.s.n.m, y el promedio de la precipitación anual es de 2317.90 mm., anuales para dicha estación.

1.1.1.6 Acceso y vías de comunicación

El acceso a la zona en estudio, es partiendo de la ciudad de Tarapoto, como se describe a continuación: Se recorre 117 Km de carretera asfaltada en buen estado por la carretera Fernando Belaunde Terry – Sur (Tarapoto – Juanjui), continuando mediante carretera afirmada en regular estado (la carretera Fernando Belaunde Terry – Sur) que se dirige hacia Tocache recorriendo 112 Km, de aquí, mediante una bifurcación hacia la derecha se accede a la carretera Departamental SM 110 cuya plataforma cuenta con material de afirmado, pasando por las localidades de Pucayacu, Yacusisa, Los Olivos, Las Palmas, San Francisco, Nuevo Belén, Montecristo, Shunte hasta la localidad de Metal (37.00 Km.), lugar desde donde como continuación de la Carretera Departamental SM-110 se proyecta la construcción del tramo Metal – Marcos de 27,446.83 Km de longitud.

1.1.1.7 Hidrografía

La hidrografía está conformada principalmente por las siguientes cuencas:

Río Tocache

El principal curso de agua que corresponde a la zona del proyecto es el Río Tocache, tributario principal del Río Huallaga por la margen izquierda y de vital importancia para el desarrollo de la Provincia de Tocache.

Nace en la Cordillera Oriental y tiene recorrido SO-NE. De tipo entrelazado con desembocadura en el Huallaga en forma de Delta.

El flujo de agua, tiene una velocidad promedio de 1.5 m/s, caudal medio de 45.00 m³/s y lecho pedregoso.

En toda su longitud el Eje Vial en estudio (Km 00 + 000 al Km 27+446.83), se puede apreciar que va paralelo al Río Tocache, inclusive el C.P. Metal y todos los demás centros poblados que están antes que él, están ubicados en la margen derecha de este Río.

Se identificaron sólo los afluentes de la margen derecha que es la margen donde se construirá la carretera en estudio en su totalidad.

Sus principales afluentes son:

Características Geomorfológicas

Longitud del Cauce : Su longitud total es aproximadamente 100.00 km.

Área de la Cuenca : Tiene un área de 137.41 km².

Pendiente del Cauce : 0.0372.

Principales Afluentes

Afluentes Margen Izquierda

Por la margen izquierda existen numerosas corrientes de agua que no fueron identificadas porque el eje Vial recorre la margen derecha del río Tocache, así como también por la dificultad de acceso hacia esta margen y por la poca transitabilidad de los pobladores lugareños.

Afluentes Margen Derecha

En base a la información cartográfica se han identificado y delimitado 15 microcuencas cuyos cursos de agua, aportan al río Tocache:

C-01: Quebrada Blanco

C-09: Río Grueso

C-02: Quebrada Rosario

C-10: Quebrada Santa Rosa

C-03: Quebrada Amarillo

C-11: Quebrada Shilco

C-04: Río Metal

C-12: Quebrada Catarata Zancudo

C-05: Río Culebra

C-13: Quebrada Zancudo

C-06: Quebrada Chamion

C-14: Quebrada Alpay

C-07: Quebrada 06

C-15: Río Tambo Grande

C-08: Quebrada Oso

1.2. Trabajos previos/ Antecedentes

García García, Henry Alfonso, en su Informe de Ingeniería presentado para optar el título profesional de Ingeniero Civil, titulado: *“Sistema de drenaje de Carretera Vecinal Capirona-Soledad Tramo I: Km. 0+000 – Km. 6+240”*, llega a las siguientes conclusiones:

El conocimiento básico de diseño, es imprescindible, pues nos permite proponer desde el campo algunas alternativas de construcción que por su sencillez suponen menor costo.

Las obras de drenaje se diseñaron para un periodo de retorno de 25 años, debido a que en el presente estudio tenemos estructuras menores que no ameritan periodos mayores.

La pendiente ideal para una alcantarilla es la que no ocasiona sedimento ni velocidad excesiva, y evita la erosión; es aquella que exige menor longitud y facilita el reemplazo del conducto en caso necesario.

Chávez Iglesias, Alan Ángel, en su Tesis, presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil, titulada *“Diseño del drenaje pluvial de la localidad de Pilluana, provincia de Picota, Región de San Martín”*, llega a las siguientes conclusiones:

El análisis y procesamiento de información hidrológica para el cálculo de la intensidad máxima es de mucha importancia, sirviéndonos para determinar el caudal de diseño, para con este determinar las dimensiones de cualquier estructura hidráulica, los cuales nos van a prevenir de posibles estragos que produzcan las precipitaciones pluviales.

La topografía del lugar y los datos de precipitación han sido uno de los factores importantes para el dimensionamiento de las estructuras proyectadas, las mismas que se han diseñado teniendo en cuenta la seguridad y la economía.

Velázquez Portocarrero, Oscar Maximiliano, en su Informe de Ingeniería para optar el título profesional de Ingeniero Civil, titulado “*Consideraciones técnicas utilizadas en el diseño y construcción de drenes sub-superficiales en la Carretera Marginal Tarapoto-Rioja (Tramo Km 16+000 al 22+000)*”, llega a las siguientes conclusiones:

Los drenes sub-superficiales han demostrado un óptimo comportamiento en la protección o rehabilitación de las plataformas de rodadura y por ende del pavimento.

Los agregados usados para propósitos de drenaje sub-superficial deben satisfacer requerimientos de filtro, siendo suficientemente grueso para transportar el agua a través de ellos sin ninguna resistencia significativa. Para satisfacer el criterio de filtro, puede ser necesario usar diferentes agregados. El geotextil debe prevenir que el suelo adyacente migre o tubifique el tubo receptor. (geotextil no tejido)

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Hidrología

Es la ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.

Los estudios hidrológicos son fundamentales para:

El diseño de obras hidráulicas, para efectuar estos estudios se utilizan frecuentemente modelos matemáticos que representan el comportamiento de toda la cuenca en estudio.

El correcto conocimiento del comportamiento hidrológico de un río, arroyo, o de un lago es fundamental para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos; así como para prever un correcto diseño de obras de infraestructura vial. (MTC, 2008.)

1.3.1.1. El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida.

La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y por sublimación (paso directo del agua sólida a vapor de agua). La cantidad de agua movida, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación a las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina evapotranspiración. El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1000 km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitación.

La precipitación puede ocurrir en la fase líquida (lluvia) o en la fase sólida (nieve o granizo). El agua precipitada en la fase sólida se presenta con una estructura cristalina, en el caso de la nieve, y con estructura granular, regular en capas, en el caso del granizo. La precipitación incluye el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (rocío) o por congelación del vapor (helada) y por intercepción de las gotas de agua de las nieblas. El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, escorrentía superficial, que se concentra en surcos y va a originar las líneas de agua. El agua restante se infiltra penetrando en el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas.

Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua que desembocan en lagos y en océanos. La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen.

Las Figuras 1 y 2 son una representación muy simplificada de los procesos del sistema hidrológico general. Se puede suponer con fines didácticos que el ciclo empieza con la evaporación del agua de los océanos. El vapor del agua que resulta de la evaporación es trasladado por las masas de aire en movimiento y puede enfriarse, condensar y formar nubes. Si las condiciones son favorables al proceso de condensación continúa y aumentan los núcleos hasta que alcanzan una dimensión suficiente para precipitarse. Parte de esta precipitación puede evaporarse en la atmósfera antes de llegar a la superficie de la tierra. Una gran parte de la precipitación cae directamente sobre los océanos y otra parte cae en la tierra.

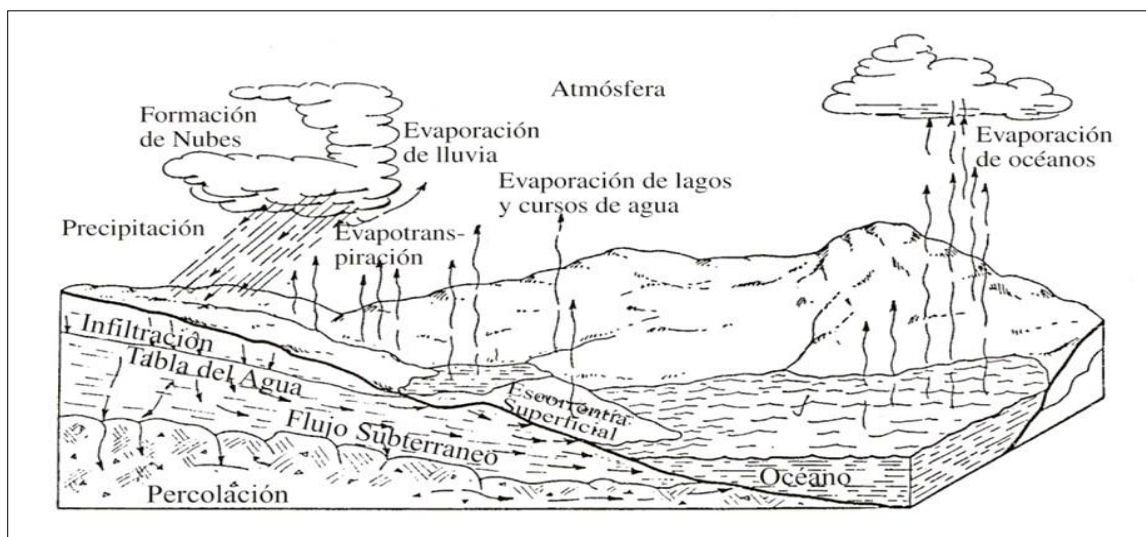


Figura 2: Representación pictórica del ciclo hidrológico (Fuente: Sergio Fattorelli, Pedro C. Fernández – Diseño Hidrológico)

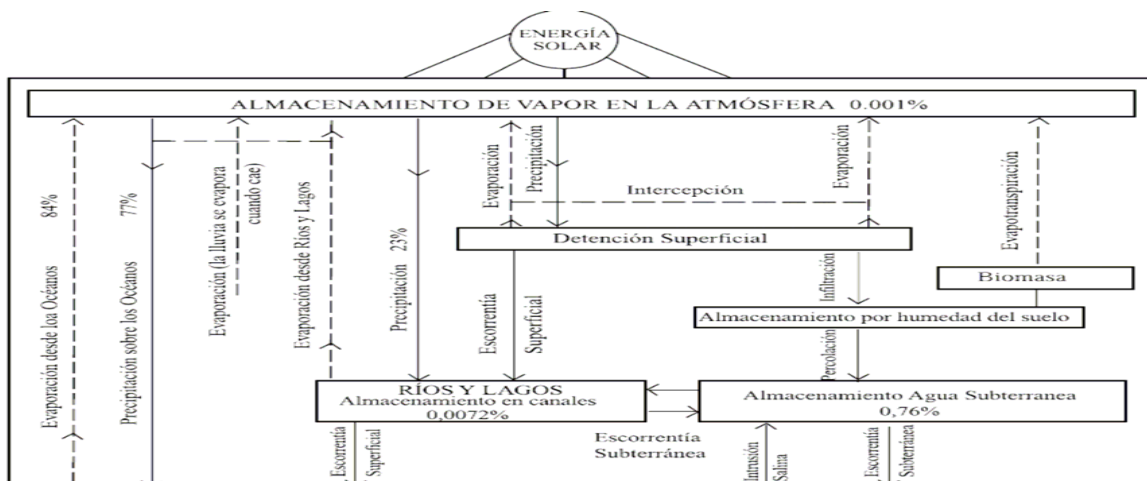


Figura 3: Representación esquemática del ciclo hidrológico (Fuente: Sergio Fattorelli, Pedro C. Fernández – Diseño Hidrológico)

1.3.1.2. Precipitación

Se define precipitación a toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición, las lluvias, las granizadas, las garúas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación. En Estados Unidos, la lluvia se identifica según su intensidad, en:

Ligera, para tasas de caída de hasta 2.5 mm/h

Moderada, desde 2.5 hasta 7.6 mm/h

Fuerte, por encima de 7.6 mm/h (Chereque, W; 2003)

1.3.1.2.1. Formación de la precipitación

Para que la humedad, presente en la atmósfera, se transforme en precipitación, se requieren tres condiciones: producirse un estado de saturación (generalmente por enfriamiento), un cambio de fase del vapor de agua a líquido o sólido, y un crecimiento de las pequeñas gotas o cristales de hielo que permitan su caída.

Como resultado de las dos primeras condiciones se forman las nubes, pero no necesariamente la precipitación, para que se formen gotas, de suficiente tamaño y peso deben existir núcleos de condensación, constituidos por polvo atmosférico o cristales de sales. En los procesos que inducen lluvias artificialmente, se siembran nubes (mediante cohetes ó aviones) con cristales microscópicos de sales como el ioduro de plata.

El enfriamiento se produce por efecto de ascenso de una masa de aire, el cual define los tipos de precipitaciones. (Fattorelli S. y Fernández P.; 2011)

1.3.1.2.2. Mantenimiento de la precipitación

Lo que se acaba de exponer explica la formación de las gotas de lluvia dentro de la masa de la nube, pero esto no quiere decir que las gotas así formadas llegarán a la superficie terrestre, o, en otras palabras, que el volumen de agua contenido en la nube es igual al volumen de agua llovida. Mediciones realizadas demuestran que lo normal es que el agua de lluvia que cae a tierra sea mucho mayor que el agua contenida en la nube. La única explicación es que las nubes se rehacen continuamente durante el proceso mismo de la formación de las precipitaciones, lo que significa una alimentación constante a partir del vapor de agua de los alrededores; esto se produce principalmente:

- cuando existe una turbulencia dentro de la nube que provoca y facilita la renovación del vapor de agua;
- cuando hay movimiento del aire húmedo desde las partes bajas, es decir un movimiento vertical ascendente.

1.3.1.2.3. Tipos de precipitaciones

(Chereque, W; 2003) en su texto menciona que existen tres tipos de precipitaciones: ciclónica, orográfica y convectiva. A continuación, se describen con mayor detalle.

1.3.1.2.3.1. Convectivas

Son causadas por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias de temperatura pueden ser sobre todo el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie o en la capa superior de la capa de aire. La precipitación convectiva es puntual y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros.

1.3.1.2.3.2. Orográfica

Resultan del ascenso del aire cálido hacia una cadena de montañas. Las regiones que quedan del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias, puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado de donde ellas provienen.

Es el caso de la Selva Alta de nuestro país, la región más lluviosa, donde las nubes provienen de la Selva Baja.

1.3.1.2.3.3. Ciclónicas

Se producen cuando hay un encuentro de nubes de diferentes temperaturas: las más calientes son impulsadas a las partes más altas donde precipitan.

En la naturaleza, los efectos de estos tres tipos de enfriamiento están inter-relacionados y la precipitación resultante no puede identificarse como de un solo tipo.

1.3.1.2.4. Medición de la precipitación

(Chereque, W; 2003.), considera que fundamentalmente, existen tres tipos de instrumentos:

1.3.1.2.4.1. Pluviómetros simples. - En principio cualquier recipiente abierto de paredes verticales puede servir de pluviómetro, porque lo que interesa es retener el agua llovida para luego medirla. En el sistema métrico se mide en milímetros y décimos de milímetro. Sin embargo, es importante que las dimensiones de estos instrumentos sean normalizadas para poder comparar las medidas tomadas en diferentes localidades.

El pluviómetro estándar del U.S. National Weather Service (Fig. 3) consta de un recipiente cilíndrico (a), un embudo colector (b) de diámetro 8" y un tubo medidor (c) de área igual a un décimo del área del embudo colector; de esta manera, 1 mm. de lluvia llenará el tubo medidor 10 mm. con el cual se mejora la precisión de la lectura. Con una regla graduada en mm. es posible estimar hasta los décimos de mm.

Cuando se espera que nieve se retiran tanto el embudo como el tubo y se recibe la nieve en el depósito cilíndrico; después que la nieve se ha fundido se vierte en el tubo medidor.

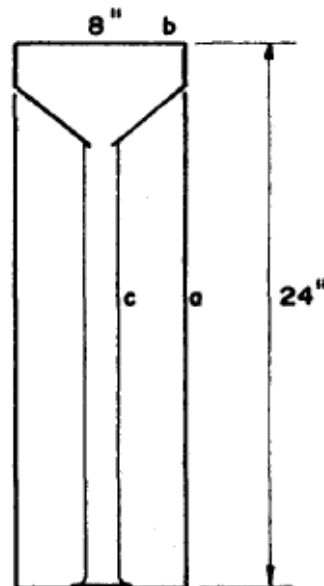


Figura 4: Pluviómetro (Fuente: Wendor Chereque Morán – Hidrología)

1.3.1.2.4.2. Pluviómetros registradores (pluviógrafo). - Los pluviómetros simples solo registran la cantidad de lluvia caída; no nos dicen nada acerca de la intensidad que ella adquiere en el transcurso de la precipitación, lo cual se consigue con los pluviógrafos.

Básicamente, el agua es recibida por un embudo y conducida a un depósito con doble compartimiento, oscilante alrededor de un pivote.

El movimiento oscilante del depósito es transmitido a una aguja que va marcando su trazo en un papel enrollado sobre un tambor que gira gracias a un mecanismo de relojería. El gráfico resultante recibe el nombre de pluviograma. El de la fig. 4 ha sido tomado de la referencia.

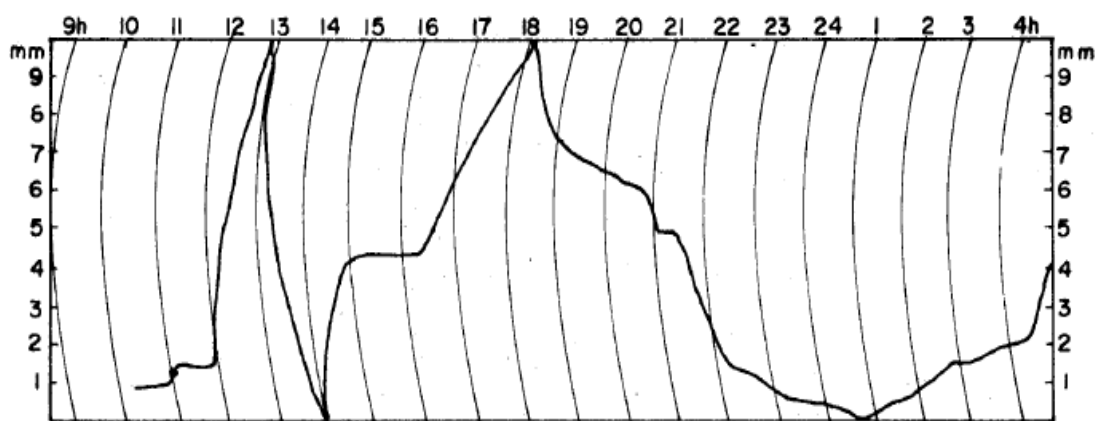


Figura 5: Pluviograma (Fuente: Wendor Chereque Morán – Hidrología)

1.3.1.2.4.3. Pluviómetros totalizadores. - Se utilizan cuando hay necesidad de conocer la pluviometría mensual o estacional de una zona de difícil acceso, donde sólo se va unas pocas veces al año. Estos pluviómetros acumulan el agua llovida durante un período de tiempo más o menos largo. Para proteger el agua de la congelación se usa cloruro de calcio u otro anticongelante, y para protegerla de la evaporación una capa de aceite.

Instalación. - Deben evitarse las instalaciones en los tejados y laderas con mucho viento. El mejor lugar para instalar un pluviómetro será aquí donde haya una superficie plana rodeada con arbustos o árboles que sirvan de protectores contra el viento, pero estos no deben estar tan cerca al pluviómetro que lo obstruyan.

1.3.1.2.5.- Análisis de los Datos de Precipitación

1.3.1.2.5.1. Lluvia media

En general, la altura de lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos. Los aparatos descritos anteriormente la lluvia puntual, es decir, la que se produce en el punto en que está instalado el aparato y, para los cálculos ingenieriles, es necesario conocer la lluvia media en una zona dada, como puede ser una cuenca. (Aparicio, F.;1992)

Para calcular la lluvia media de una tormenta dada, existen tres métodos de uso generalizado:

1.3.1.2.5.1.1. Método aritmético

Consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis:

$$\bar{h}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{pi} \dots\dots\dots(1)$$

donde h_p es la altura de precipitación media, h_{pi} es la altura de precipitación registrada en la estación i y n es el número de estaciones bajo análisis.

1.3.1.2.5.1.2. Polígonos de Thiessen

Este método consiste en lo siguiente:

Unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí (líneas discontinuas en la figura 5). Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.

Trazar líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos (líneas rectas continuas en la figura 5). Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.

Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso 2, que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca (ver figura 5).

El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente.

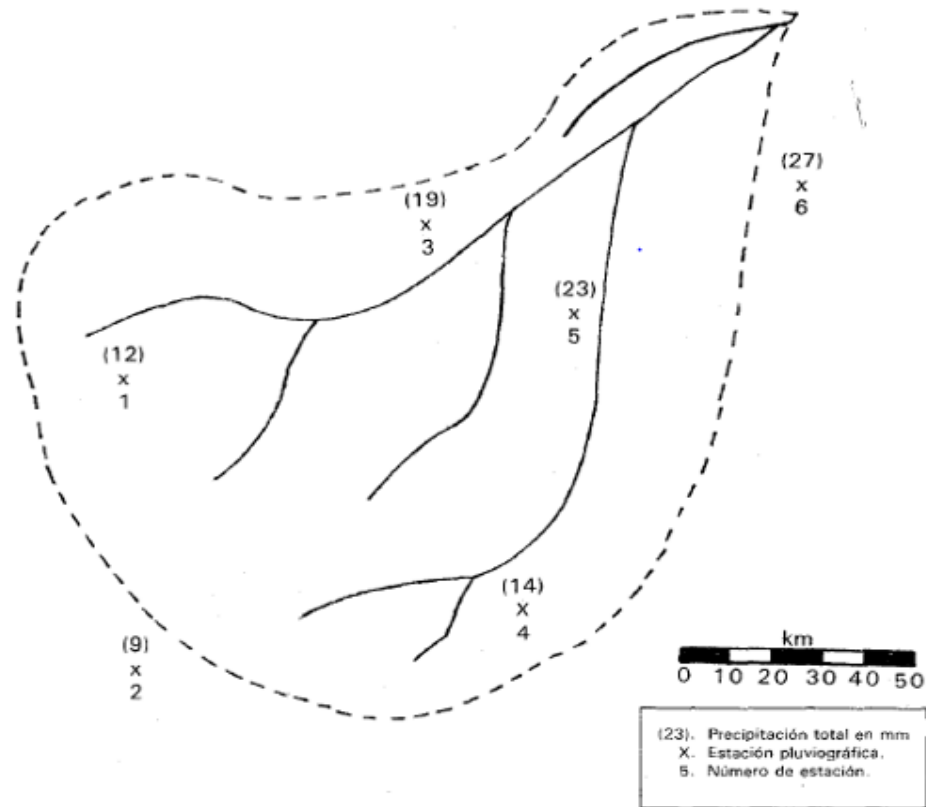


Figura 6: Métodos para calcular precipitaciones medias sobre una cuenca (Fuente: Francisco J. Aparicio Mijares – Fundamentos de Hidrología de superficie)

1.3.1.2.5.1.3. Método de las isoyetas

Este método consiste en trazar, con la información registrada en las estaciones, líneas que unen puntos de igual altura de precipitación llamadas isoyetas, de modo semejante a como se trazan las curvas de nivel en topografía.

La precipitación media se calcula en forma similar a la ecuación que se emplea en el Método Aritmético, pero ahora el peso es el área A_i entre cada dos isoyetas y el parteaguas de la cuenca y la cantidad que se pesa es la altura de precipitación promedio entre las dos isoyetas,

h_{pi} :

$$\bar{h}_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^{n'} (\bar{h}_{pi} A'_i) \dots\dots\dots(2)$$

donde n' es el número de áreas A_i consideradas.

1.3.1.2.5.2. Curva masa media

Los métodos descritos anteriormente se han planteado cuando se requiere conocer la altura total de precipitación que, en promedio, se produce en la cuenca durante una tormenta. Cuando se desea conocer la variación en el tiempo de la precipitación media en la cuenca, es necesario determinar una curva masa media de precipitación. Esta curva se construye aplicando el método aritmético o el de polígonos de Thiessen a las alturas de precipitación acumuladas en cada estación para diferentes tiempos. El resultado será una curva masa media y se puede refinar calculando la precipitación media de toda la tormenta con el método de las isoyetas y multiplicando cada ordenada de la curva masa media por el factor de ajuste:

$$F_a = \frac{\overline{h_{pis}}}{\overline{h_{po}}} \dots\dots\dots(3)$$

Donde $\overline{h_{pis}}$ es la altura de precipitación media de toda la tormenta calculada con el método de las isoyetas y $\overline{h_{po}}$ es la misma altura, pero calculada con el método aritmético o el de polígonos de Thiessen. Con esto se obtiene una curva llamada curva masa media ajustada.

1.3.1.3 Escurrimiento

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre -una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada- sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres clases: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo. (Aparicio, F.; 1992)

Fuentes de los diferentes tipos de escurrimiento

Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan. Posteriormente, se comienzan a llenar las depresiones del terreno y, al mismo tiempo, el agua comienza a escurrir sobre su superficie. Este escurrimiento, llamado *flujo en la superficie del terreno*, se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos (es decir, que no desaparecen entre dos tormentas sucesivas).

En su trayectoria hacia la corriente más próxima, el agua que fluye sobre el terreno se sigue infiltrando, e incluso se evapora en pequeñas cantidades. Una vez que llega a un cauce bien definido se convierte en *escurrimiento en corrientes*.

El flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes, forma el escurrimiento superficial. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial, la otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina *escurrimiento subterráneo*.

De los tres tipos de escurrimiento, el superficial es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca. Por ello está relacionado directamente con una tormenta particular y entonces se dice que proviene de la *precipitación en exceso o efectiva* y que constituye el *escurrimiento directo*. El escurrimiento subterráneo es el que de manera más lenta llega hasta la salida de la cuenca (puede tardar años en llegar), y, en general, difícilmente se le puede relacionar con una tormenta particular, a menos que la cuenca sea demasiado pequeña y su suelo muy permeable. Debido a que se produce bajo el nivel freático, es el único que alimenta a las corrientes cuando no hay lluvias y por eso se dice que forma el *escurrimiento base*.

El escurrimiento sub superficial puede ser casi tan rápido como el superficial o casi tan lento como el subterráneo, dependiendo de la permeabilidad de los estratos superiores del suelo; por ello es difícil distinguido de los otros dos. Cuando es relativamente rápido se le trata junto con el escurrimiento superficial, y cuando es relativamente lento se le considera parte del subterráneo.

1.3.1.4 Infiltración

Se define como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares.

La diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre por su salida recibe el nombre genérico de pérdidas. En general, las pérdidas están constituidas por la intercepción en el follaje de las plantas y en los techos de las construcciones, la retención en depresiones o charcos (que posteriormente se evapora o se infiltra), la evaporación y la infiltración. (Aparicio, F.; 1992)

Descripción del proceso de infiltración

El proceso de infiltración puede describirse de la siguiente manera:

Considérese un área de suelo suficientemente pequeña, de modo que sus características (tipo de suelo, cobertura vegetal, etc.), así como la intensidad de la lluvia en el espacio puedan considerarse uniformes, aunque la última cambie en el tiempo.

Supóngase que, al inicio de una tormenta, el suelo está de tal manera seco que la cantidad de agua que puede absorber en la unidad de tiempo (es decir, su capacidad de infiltración) es mayor que la intensidad de la lluvia en esos primeros instantes de la tormenta. Bajo estas condiciones, se infiltraría toda la lluvia, es decir:

$$\text{Si } i < f_p ; \quad f = i \quad \dots\dots\dots(4)$$

f = infiltración, expresada como lámina por unidad de tiempo, por ejemplo, mm/h.

f_p = capacidad de infiltración; en las mismas unidades.

i = intensidad de la lluvia.

En esta parte del proceso las fuerzas producidas por la capilaridad predominan sobre las gravitatorias. Al avanzar el tiempo, si la lluvia es suficientemente intensa, el contenido de humedad del suelo aumenta hasta que su superficie alcanza la saturación. En este momento se empiezan a llenar las depresiones del terreno, es decir, se originan charcos y comienza a producir flujo sobre la superficie. A este instante se le llama *tiempo de encharcamiento* y se denota como t_p .

Después del tiempo de encharcamiento, si la lluvia sigue siendo intensa, las fuerzas capilares pierden importancia frente a las gravitatorias, pues el contenido de humedad del suelo aumenta y la capacidad de infiltración disminuye con el tiempo. Además, bajo estas condiciones, la infiltración se hace independiente de la variación en el tiempo de la intensidad de la lluvia, en tanto que ésta sea mayor que la capacidad de transmisión del suelo, de manera que:

$$\text{Si } i > f_p ; \quad t > t_p ; \quad f = f_p \quad \dots\dots\dots(5)$$

Donde f_p decrece con el tiempo. Nótese que las dos primeras desigualdades de (5) son interdependientes.

Bajo las condiciones anteriores, la capa saturada - que en el tiempo de encharcamiento era muy delgada y estaba situada en la superficie del suelo - se ensancha a medida que su límite inferior, denominado frente húmedo, baja.

Entonces, dado que cada vez una mayor parte del suelo está saturada, las fuerzas capilares pierden importancia paulatinamente hasta que llega un momento, teóricamente en $t = \infty$, en que, el estar todo el medio saturado, el movimiento del agua se produce sólo por la acción de la gravedad y la capacidad de infiltración se hace constante.

La descripción anterior es, de rigor, válida solamente para una columna de suelo homogénea donde el nivel freático esté muy profundo; sin embargo, se verifica con una precisión aceptable en la mayoría de los casos prácticos.

Si después del tiempo de encharcamiento la tormenta entra en un periodo de calma, es decir, su intensidad disminuye hasta hacerse menor que la capacidad de infiltración, el tirante de agua existente sobre la superficie del suelo, de haberlo, disminuye hasta desaparecer y el agua contenida en los charcos también se infiltra, y en menor grado se evapora.

Cuando ya no hay agua sobre la superficie del terreno, el contenido de humedad de las capas de suelo cercanas al frente húmedo se difunde, haciendo que dicho frente avance hacia arriba hasta que la superficie deja de estar saturada.

Posteriormente, la lluvia puede volver a intensificarse y alcanzar otro tiempo de encharcamiento repitiéndose todo el ciclo descrito.

Factores que afectan la capacidad de infiltración

La forma precisa en que se realiza el proceso descrito depende de un gran número de factores, entre los que destacan:

Textura del suelo.

Contenido de humedad inicial.

Contenido de humedad de saturación.

Cobertura vegetal.

Uso del suelo.

Aire atrapado.

Lavado de material fino.

Compactación.

Temperatura, sus cambios y diferencias.

1.3.1.5. Cuenca hidrológica

Se define cuenca el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido. (Chereque, W.; 2003)

La delimitación de una cuenca se hace sobre un plano a curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium acuarum o líneas de las altas cumbres. En la fig. 6 se ha delimitado la cuenca del río x correspondiente al punto P.

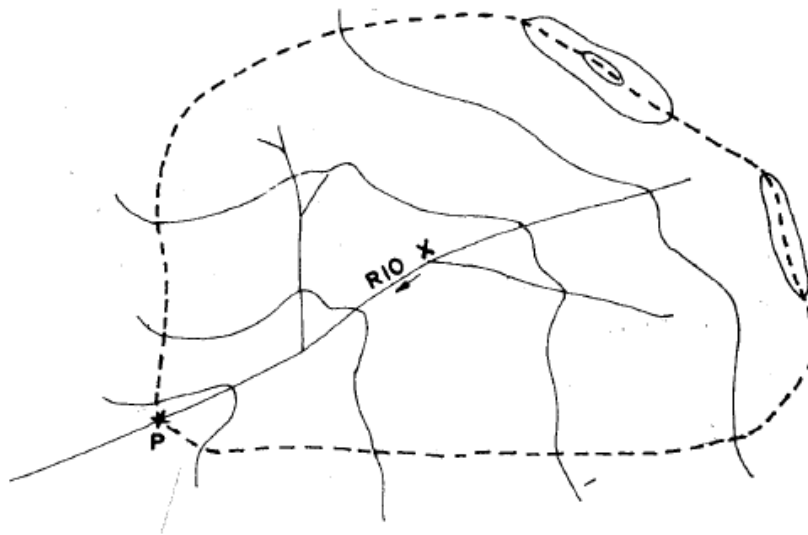


Figura 7: Cuenca del Punto P (Fuente: Wendor Chereque Morán – Hidrología)

1.3.1.5.1. Características fisiográficas de una cuenca

En general, para estudiar una cuenca hidrológica se requieren métodos cuantitativos y cualitativos. En el primer caso, es fundamental definir parámetros que representen algunas características particulares importantes, que pueden ofrecer una información relevante acerca de las variables y los procesos hidrológicos. (Breña A., Jacobo M.; 2006)

Algunos de los parámetros característicos de mayor interés se presentan a continuación:

- 1.3.1.5.1.1. Parteaguas.** - Línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa dos cuencas adyacentes. Se refiere al área proyectada en un plano horizontal. Se determina con planímetro.
- 1.3.1.5.1.2. Área de la cuenca.** - Es la proyección del parteaguas a un plano horizontal, caracterizándose así el tamaño de la cuenca. El valor del área se obtiene de los mapas topográficos a través del uso del planímetro o de otros métodos.
- 1.3.1.5.1.3. Corriente principal.** - Es la corriente de mayor longitud que pasa por la salida de la cuenca hidrológica.
- 1.3.1.5.1.4. Corrientes tributarias.** - Serie de corrientes tributarias con un diferente grado de bifurcación.
- 1.3.1.5.1.5. Orden de corrientes.** - Se determina a partir del grado de bifurcación de las corrientes tributarias.
- Corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones;
 - Corriente de orden 2 solo tiene corrientes de orden uno.
 - Y así sucesivamente dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 2 forman una de orden 3, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc.
- 1.3.1.5.1.6. Longitud del eje mayor de la cuenca.** - Es la máxima longitud que va desde el punto de la descarga o salida de la cuenca al punto más lejano de la cuenca. Este parámetro es importante, ya que da una idea de la forma de la cuenca. Los procesos hidrológicos, por ejemplo, el escurrimiento superficial, responden de manera diferente en una cuenca alargada que a la que se aproxima a una forma circular.

1.3.1.5.1.7. Ancho de la cuenca. - Es la longitud perpendicular a la longitud del eje mayor de la cuenca y para su estimación se miden las longitudes perpendiculares representativas de cada parte de la cuenca, tomando como referencia la recta que se ha trazado para la longitud del eje mayor.

1.3.1.5.1.8. Orientación de la cuenca. - Es el ángulo de orientación a partir del norte geográfico y para su determinación se toma como punto de referencia la descarga o salida de la cuenca y utilizando la recta que representa a la longitud del eje mayor, se determina el ángulo de la orientación a partir del norte geográfico. Este parámetro es importante, ya que los sistemas de circulación atmosférica son fundamentales en lo que respecta al régimen pluviométrico de una cuenca.

1.3.1.5.1.9. Índice de forma. - Es la relación del perímetro de la cuenca entre el perímetro que tendría un círculo con el mismo valor de área. Con este parámetro se determina cuanto se aleja la forma de la cuenca de un círculo.

1.3.1.5.1.10. Relación de alargamiento. - Es la relación del diámetro de un círculo que tiene el mismo valor de área de la cuenca entre la longitud del eje mayor.

1.3.1.5.2. Tipos de cuenca

Desde el punto de vista de su salida existen dos tipos de cuencas:

1.3.1.5.2.1. Endorreicas (cerradas). - En el primer tipo, el punto de salida se ubica dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago.

1.3.1.5.2.2. Exorreicas (abiertas). - En este tipo, el punto de salida se localiza en los límites de la cuenca y a su vez la descarga se vierte en una corriente o en el mar, tal como se observa en la figura 7.

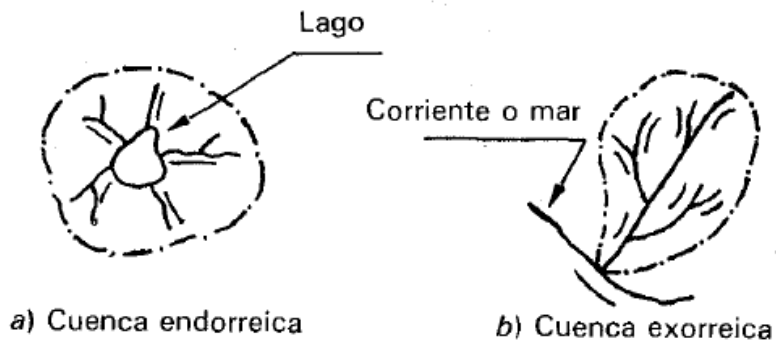


Figura 8: Tipos de Cuencas (Fuente: Francisco J. Aparicio Mijares – Fundamentos de Hidrología de superficie)

1.3.5. Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos

1.3.5.1. Algunos conceptos de probabilidad y estadística

1.3.5.1.1. Probabilidad

Aparicio, sustenta que, si un experimento tiene n resultados posibles y mutuamente excluyentes y si de ellos los resultados tienen un atributo a, entonces la probabilidad de que ocurra un evento A con el atributo a es:

$$P(A) = \frac{n_a}{n} \dots\dots\dots (6)$$

1.3.5.1.2. Periodo de retorno

Es el inverso de que la precipitación sea igualada o excedida en un año cualquiera.

$$T = \frac{1}{P} \dots\dots\dots (7)$$

1.3.5.1.3. Curvas i-d-T

El método más usado para determinas las curvas de intensidad – duración – Tiempo de retorno, es el que relaciona simultáneamente las tres variables en una familia de curvas cuya ecuación es:

$$i = \frac{k T^m}{(d + c)^n} \dots\dots\dots (8)$$

donde k, m, n y c son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple.

Si se toman logaritmos de la ecuación (8) se obtiene:

$$\log i = \log k + m \log T - n \log (d + c)$$

o bien: $y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \dots\dots\dots (9)$

Donde:

$$y = \log i, a_0 = \log k, a_1 = m, x_1 = \log T, \\ a_2 = -n, x_2 = \log (d + c)$$

La ecuación es la de una familia de líneas rectas de pendientes α_2 , ordenada al origen α_0 y espaciamiento α_1 (Figura 8)

Si los datos registrados de i, δ, T se dibujan en papel algorítmico, usualmente se agrupan en torno a líneas rectas. A veces las líneas resultan ligeramente curvas, lo que se puede corregir agregando a las duraciones un valor constante χ , o bien, en algunos casos, cuando la pendiente de las líneas varía mucho, dividiendo la línea para cada periodo de retorno en dos rectas. Si los datos se agrupan lo suficiente en torno a líneas rectas, el valor de χ puede tomarse como cero.

Al hacer un ajuste de correlación lineal múltiple de una serie de tres tipos de datos, se obtiene un sistema de ecuaciones como el siguiente:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma y &= Na_0 + a_1 \Sigma x_1 + a_2 \Sigma x_2 \\ \Sigma(x_1 y) &= a_0 \Sigma x_1 + a_1 \Sigma (x_1^2) + a_2 \Sigma (x_1 x_2) \\ \Sigma(x_2 y) &= a_0 \Sigma x_2 + a_1 \Sigma (x_1 x_2) + a_2 \Sigma (x_2)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

Donde N es el número de datos y las incógnitas son α_0, α_1 y α_2 ; ξ_1, ξ_2 y y son, respectivamente, los logaritmos del periodo de retorno, la duración (con el valor de χ agregado de ser necesario) y la intensidad, obtenidos de un registro de precipitación. Una vez calculados los coeficientes α_0, α_1 y α_2 es posible valuar los parámetros k, m y n de la ecuación (8).

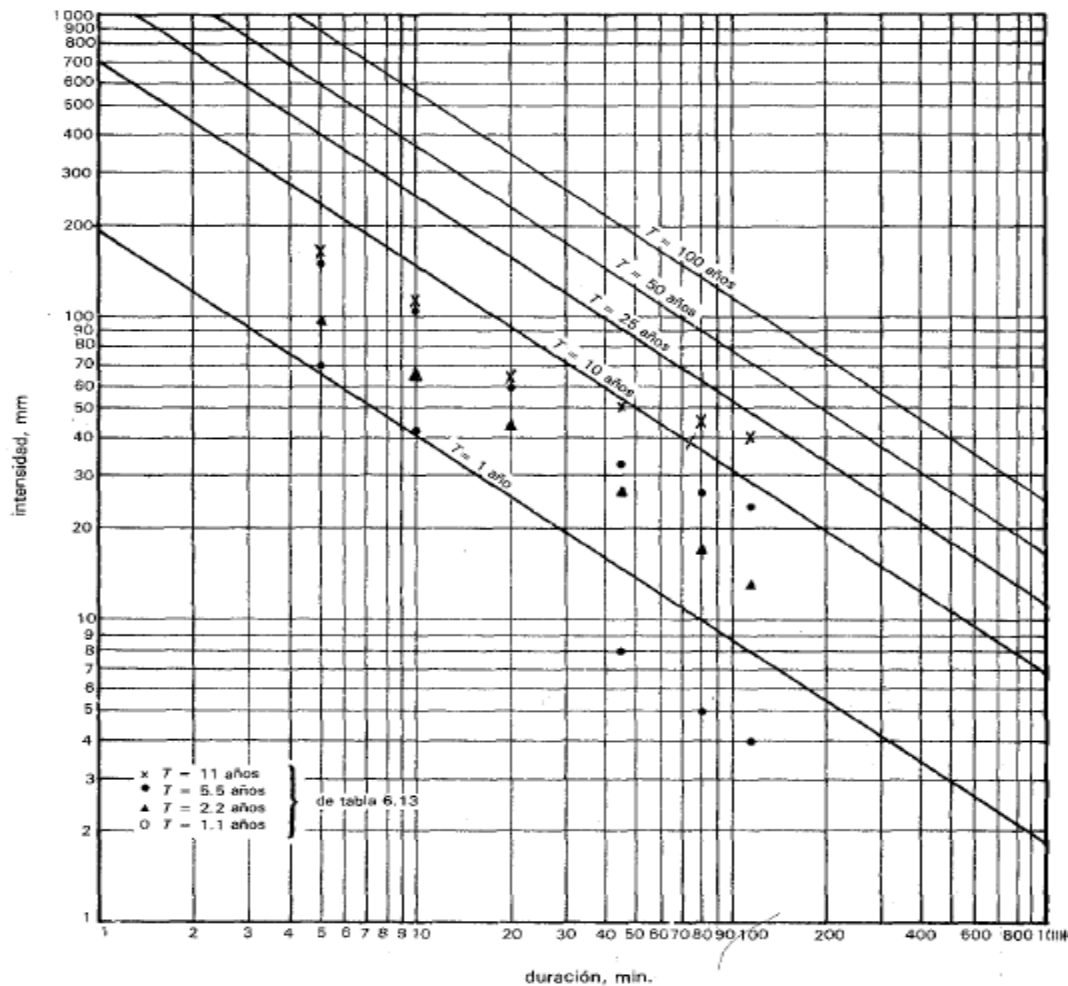


Figura 9: Relación Intensidad- duración (Fuente: Francisco J. Aparicio Mijares – Fundamentos de Hidrología de superficie)

1.3.5.2. Modelos de distribución

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos. (MTC)

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones:

1.3.5.2.1. Distribución Normal

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2S^2}}, -\infty < x < \infty \dots\dots\dots(11)$$

Donde:

$f(x)$ = función densidad normal de la variable x

X = variable independiente

μ = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x .

S = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x .

1.3.5.2.2. Distribución Log Normal 2 Parámetros

La función de distribución de probabilidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\frac{-(x-\bar{X})^2}{2S^2}} dx \dots\dots\dots (12)$$

Donde \bar{X} y S son los parámetros de la distribución.

Si la variable x de la ecuación (2) se reemplaza por una función $y=f(x)$, tal que $y=\log(x)$, la función puede normalizarse transformándose en una ley de probabilidades denominada log-normal, $N(Y, S_y)$. Los valores originales de la variable aleatoria x , deben ser transformados a $y = \log x$, de tal manera que:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log x_i / n \dots\dots\dots(13)$$

Donde \bar{Y} es la media de los datos de la muestra transformada.

$$S_y = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(14)$$

Donde S_y es la desviación estándar de los datos de la muestra transformada.

1.3.5.2.3. Distribución Log Normal 3 Parámetros

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0) \sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-1/2 \left(\frac{\ln(x-x_0) - u_y}{S_y} \right)^2} \dots\dots\dots(15)$$

Para $x > x_0$

Donde:

X_0 : parámetro de posición

U_y : parámetro de escala o media

S_y^2 : parámetro de forma o varianza

1.3.5.2.4. Distribución Gamma 2 Parámetros

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \dots\dots\dots(16)$$

Válido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Donde:

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

1.3.5.2.5. Distribución Gamma 3 Parámetros

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \dots\dots\dots(17)$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_o < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_o : origen de la variable x, parámetro de posición

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

1.3.5.2.6. Distribución Log Pearson Tipo III

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_o)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_o)}{\beta}}}{x\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \dots\dots\dots(18)$$

Válido para:

$$x_o \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_o < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_o : parámetro de posición

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

1.3.5.2.6. Distribución Gumbel

La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \dots\dots\dots(19)$$

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Donde:

α : Parámetro de concentración

β : parámetro de localización

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x \dots\dots\dots(20)$$

Donde:

x : Valor con una probabilidad dada.

\bar{x} : Media de la serie.

k : Factor de frecuencia.

1.3.5.2.7. Distribución Log Gumbel

La variable aleatoria reducida log gumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \dots\dots\dots(21)$$

Con lo cual, la función acumulada reducida log gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots(22)$$

(Aparicio, F.; 1992) señala que las funciones normal y lognormal son generalmente apropiadas para variables aleatorias que cubren todo el rango de valores de los resultados posibles del experimento bajo análisis, como por ejemplo los volúmenes de escurrimiento mensual en un río. Las funciones Gumbel se desarrollaron para el análisis de los valores extremos de dichos resultados, como los gastos máximos o mínimos anuales. La función Pearson III ocupa un lugar intermedio.

1.3.5.3. Pruebas de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida.

En la teoría estadística, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son la χ^2 y la Kolmogorov – Smirnov, las cuales se describen a continuación. (APARICIO, F.; 1992)

1.3.5.3.1. Prueba χ^2

Esta prueba fue propuesta por Karl Pearson en 1900, se aplica para verificar bondad de las distribuciones normales y log normales.

Para aplicar la prueba, el primer paso es dividir los datos en un número k de intervalos de clase. Luego se calcula el parámetro estadístico:

$$D = \sum_{i=1}^k (\theta_i - \varepsilon_i)^2 / \varepsilon_i \quad \dots\dots\dots(23)$$

Donde:

θ_i es el número observado de eventos en el intervalo i y ε_i es el número esperado de eventos en el mismo intervalo.

ε_i se calcula como:

$$\varepsilon_i = n[F(S_i) - F(I_i)] \quad i=1,2,\dots,k \quad \dots\dots\dots(24)$$

Asimismo; $F(I_i)$ es la función de distribución de probabilidad en el límite superior del intervalo $F(S_i)$ es la misma función en el límite inferior y n es el número de eventos.

Una vez calculado el parámetro D para cada función de distribución considerada, se determina el valor de una variable aleatoria con distribución χ^2 para $v = k-1-m$ grados de libertad y un nivel de significancia α , donde m es el número de parámetros estimados a partir de los datos.

Para aceptar una función de distribución dada, se debe cumplir:

$$D \leq X_{1-\alpha, k-1-m}^2 \dots\dots\dots(25)$$

El valor de $X_{1-\alpha, k-1-m}^2$ se obtiene de tablas de la función de distribución χ^2 .

Cabe recalcar que la prueba del χ^2 , desde un punto de vista matemático solo debería usarse para comprobar la normalidad de las funciones normal y Log normal.

El valor más común de α es de 0.05; para este nivel de significancia suelen aceptarse varias funciones de distribución de probabilidad. De ser el caso, y si se usa solamente este criterio para aceptar una función, se escogería la que tiene el menor valor de D.

1.3.5.3.2. Prueba Kolmogorov – Smirnov

Método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, asimismo permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste.

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $F_o(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$:

$$D = \text{máx}|F_o(x_m) - F(x_m)| \dots\dots\dots(26)$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado (Tabla N° 01). Si $D < d$, se acepta la hipótesis nula. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba de χ^2 de que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_o(x_m) = 1 - \frac{m}{n+1} \dots\dots\dots(27)$$

Donde m es el número de orden de dato x_m en una lista de mayor a menor y n es el número total de datos.

Tabla 1

Valores críticos “d” para la prueba Kolmogorov-Smirnov de bondad del ajuste.

Tamaño de la muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.3	0.34	0.4
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
n grande	1.22/ \sqrt{n}	1.36/ \sqrt{n}	1.63/ \sqrt{n}

Fuente: Francisco J. Aparicio Mijares – Fundamentos de Hidrología de superficie

1.3.6. Factores hidrológicos y geológicos que inciden en el diseño hidráulico de las obras de drenaje

Los factores que influyen en la obtención de diseños adecuados que garanticen el buen funcionamiento del sistema de drenaje proyectado, acorde a las exigencias hidrológicas de la zona de estudio, son los siguientes:

El primer factor a considerar se refiere al tamaño de la cuenca como factor hidrológico, donde el caudal aportado estará en función a las condiciones climáticas, fisiográficas, topográficas, tipo de cobertura vegetal, tipo de manejo de suelo y capacidad de almacenamiento.

Los factores geológicos e hidrogeológicos que influyen en el diseño se refieren a la presencia de aguas subterráneas, naturaleza y condiciones de las rocas permeables y de los suelos: su homogeneidad, estratificación, conductividad hidráulica, compresibilidad, etc. y también a la presencia de zonas proclives de ser afectadas por fenómenos de geodinámica externa de origen hídrico. (MTC, 2008)

1.3.6.1. Estudios de Campo

Los estudios de campo deben efectuarse con el propósito de identificar, obtener y evaluar la información referida: al estado actual de las obras de drenaje existentes, condiciones topográficas e hidrológicas del área de su emplazamiento. Asimismo, el estudio de reconocimiento de campo permite identificar y evaluar los sectores críticos actuales y

potenciales, de origen hídrico como deslizamientos, derrumbes, erosiones, huaycos, áreas inundables, asentamientos, etc. que inciden negativamente en la conservación y permanencia de la estructura vial (carreteras y/o puentes).

Se debe evaluar las condiciones de las estaciones pluviométricas e hidrométricas, así como la consistencia de los datos registrados.

Por otro lado, el estudio de reconocimiento de campo permite localizar y hacer el estudio correspondiente de todas las cuencas y/o microcuencas hidrográficas, cuyos cursos naturales de drenaje principal interceptan el eje vial en estudio.

1.3.6.2. Evaluación de la Información Hidrológica

Dado que el país tiene limitaciones en la disponibilidad de datos ya sea hidrométricos como pluviométricos y la mayor parte de las cuencas hidrográficas no se encuentran instrumentadas, generalmente se utilizan métodos indirectos para la estimación del caudal de diseño.

De acuerdo a la información disponible se elegirá el método más adecuado para obtener estimaciones de la magnitud del caudal, el cual será verificado con las observaciones directas realizadas en el punto de interés, tales como medidas de marcas de agua de crecidas importantes y análisis del comportamiento de obras existentes.

La representatividad, calidad, extensión y consistencia de los datos es primordial para el inicio del estudio hidrológico, por ello, se recomienda contar con un mínimo de 25 años de registro que permita a partir de esta información histórica la predicción de eventos futuros con el objetivo que los resultados sean confiables, asimismo dicha información deberá incluir los años en que se han registrado los eventos del fenómeno “El Niño”, sin embargo dado que durante el evento del fenómeno del niño la información no es medida ya que normalmente se estiman valores extraordinarios, esta información debe ser evaluada de tal manera que no se originen sobredimensionamientos en las obras.

1.3.6.3. Área del Proyecto - Estudio de la(s) Cuenca(s) Hidrográfica(s)

El estudio de cuencas está orientado a determinar sus características hídricas y geomorfológicas respecto a su aporte y el comportamiento hidrológico. El mayor conocimiento de la dinámica de las cuencas permitirá tomar mejores decisiones respecto al establecimiento de las obras viales.

Es importante determinar las características físicas de las cuencas como son: el área, forma de la cuenca, sistemas de drenaje, características del relieve, suelos, etc. Estas características dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), los tipos de suelos, la cobertura vegetal, la geología, las prácticas agrícolas, etc. Estos elementos físicos proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico. El estudio de cuencas hidrográficas deberá efectuarse en planos que cuenta el IGN en escala 1:100,000 y preferentemente a una escala de 1/25,000, con tal de obtener resultados esperados.

1.3.6.4. Selección del Período de Retorno

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años. (MTC,2008)

Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

El criterio de riesgo es la fijación, a priori, del riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil, lo cual implica que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante el primer año, durante el segundo, y así sucesivamente para cada uno de los años de vida de la obra.

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n \quad \dots\dots\dots (28)$$

Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T , fijando el riesgo de falla admisible R , el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra. (Ver Figura 9)

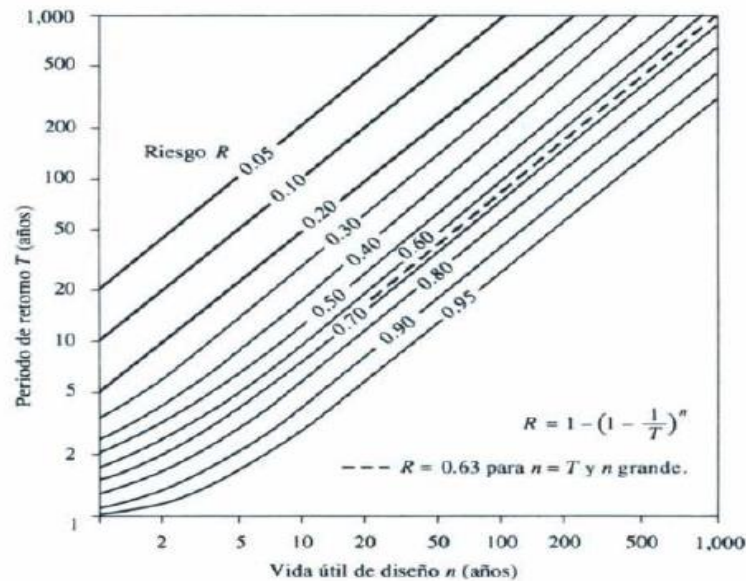


Figura 10: Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño (Fuente: Ven te Chow – Hidrología Aplicada)

En la Tabla 2 se presenta el valor T para varios riesgos permisibles R y para la vida útil n de la obra.

Tabla 2

Valores de período de retorno t (años)

RIESGO ADMISIBLE	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0,01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0,02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0,05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0,10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0,20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0,25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0,50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0,75	1.3	2	2,7	4,1	7,7	15	18	37	73	144
0,99	1	1,11	1,27	1,66	2,7	5	5,9	11	22	44

Fuente: Monsalve, 1999.

De acuerdo a los valores presentados en la Tabla 3 se recomienda utilizar como máximo, los siguientes valores de riesgo admisible de obras de drenaje:

Tabla 3

Valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje

Tipo de obra	Riesgo admisible (**) (%)
Puentes (*)	22
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	39
Alcantarillas de paso de quebradas menores y descarga de agua de cunetas	64
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	64
subdrenes	72
Defensas ribereñas	22

Fuente: MTC – Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

1.3.7. Drenaje

El drenaje en carreteras consiste en la evacuación de las aguas superficiales y en ocasiones de las aguas freáticas lejos del área de influencia de la carretera, a fin de proteger en forma conveniente, segura y económica la inversión realizada en la construcción, la vida de las personas y las propiedades.

Las estructuras de las carreteras que controlan el drenaje comprenden el pavimento, el ancho de la faja vial, los taludes, cunetas y contracunetas longitudinales, las alcantarillas y los puentes.

1.3.7.1. Drenaje superficial

1.3.7.1.1. Drenaje transversal de la carretera

El drenaje transversal de la carretera tiene como objetivo evacuar adecuadamente el agua superficial que intercepta su infraestructura, la cual discurre por cauces naturales o artificiales, en forma permanente o transitoria, a fin de garantizar su estabilidad y permanencia. (MTC, 2008)

El elemento básico del drenaje transversal se denomina *alcantarilla*, considerada como una estructura menor, su densidad a lo largo de la carretera resulta importante e incide en los costos, por ello, se debe dar especial atención a su diseño.

Las otras estructuras que forman parte del drenaje transversal es el badén y el puente, siendo éste último de gran importancia.

El objetivo principal en el diseño hidráulico de una obra de drenaje transversal es determinar la sección hidráulica más adecuada que permita el paso libre del flujo líquido y flujo sólido que eventualmente transportan los cursos naturales y conducirlos adecuadamente, sin causar daño a la carretera y a la propiedad adyacente.

1.3.7.1.1.1. Premisas para el estudio

1.3.7.1.1.1.1. Características topográficas

Para el caso de obras de cruce menores (alcantarillas), el levantamiento topográfico realizado para la carretera, deberá cubrir aquellos sectores donde se emplazarán dichas obras, de tal manera que permita definir el perfil longitudinal del cauce tanto aguas arriba y aguas abajo de la sección de cruce.

En el caso de obras de cruce mayores como puentes, se recomienda que el levantamiento topográfico debe incluir la estructura existente, niveles de agua actuales, marcas de agua en la estructura existente, toma del perfil longitudinal del curso natural, secciones transversales del curso natural espaciados no mayor a 0.5 veces el ancho del cauce principal del curso natural y otros aspectos y/o singularidades de relevancia para el estudio hidráulico, teniendo en cuenta además la forma irregular que generalmente presentan las secciones transversales de los cauces naturales, el levantamiento topográfico deberá representar la zona en estudio adecuadamente de tal manera que permita identificar puntos altos, bajos e irregularidades del lecho como islotes, zonas de depresión asociadas a socavación, etc.

1.3.7.1.1.1.2. Estudio de cuencas hidrográficas

Se refiere a la identificación de las cuencas hidrográficas que interceptan el alineamiento de la carretera, con el objetivo de establecer los caudales de diseño y efectos de las crecidas. Se deberá indicar la superficie, pendiente y longitud del cauce principal, forma, relieve, tipo de cobertura vegetal, calidad y uso de suelos, asimismo; los cambios que han sido realizados

por el hombre, tales como embalses u otras obras de cruce que pueden alterar significativamente las características del flujo.

1.3.7.1.1.1.3. Características del cauce

Se refiere a las características del lecho, tales como forma, tipo de suelo, tipo de cobertura vegetal, tipo de material de arrastre, sólidos flotantes, fenómenos de geodinámica externa y otros factores que inciden en el tamaño y durabilidad de la obra de cruce.

1.3.7.1.1.1.4. Datos de crecidas

La información hidrológica y meteorológica deberá ser proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología (SENAMHI). Como información adicional se analizarán y evaluarán las marcas dejadas por crecidas o eventos anteriores. Adicionalmente, se recopilará la información proporcionada por lugareños, con la finalidad de contar con información adicional de campo.

1.3.7.1.1.1.5. Evaluación de obras de drenaje existentes

Antes de efectuar la evaluación de las obras de drenaje existentes, se debe conocer o tomar en cuenta lo siguiente:

Nivel de intervención sobre la vía en estudio, tomar en cuenta las conclusiones de los estudios de pre-inversión, para la coherencia del ciclo del proyecto de inversión.

Contar con las progresivas del proyecto en campo.

La evaluación hidráulica de las estructuras existentes, deberá ser complementada con las evaluaciones del estado estructural de los elementos de una obra de drenaje existente.

El resultado de la evaluación de las obras de drenaje será presentado en fichas técnicas de campo.

La evaluación del comportamiento desde el punto de vista hidráulico estructural de estructuras ubicadas aguas arriba o aguas abajo de la estructura proyectada es de mucha utilidad, porque permite contar con información relevante para lograr diseños adecuados, tomando cuenta su funcionamiento ante la presencia de procesos geomorfológicos como erosión, sedimentación u otros fenómenos, a los que han estado sometidas.

1.3.7.1.1.2. Tipos de Estructuras de Drenaje transversal

1.3.7.1.1.2.1. Alcantarillas

Se define como alcantarilla a la estructura cuya luz sea menor a 6.0 m y su función es evacuar el flujo superficial proveniente de cursos naturales o artificiales que interceptan la carretera.

La densidad de alcantarillas en un proyecto vial influye directamente en los costos de construcción y de mantenimiento, por ello, es muy importante tener en cuenta la adecuada elección de su ubicación, alineamiento y pendiente, a fin de garantizar el paso libre del flujo que intercepta la carretera, sin que afecte su estabilidad.

La ubicación óptima de las alcantarillas depende de su alineamiento y pendiente, la cual se logra proyectando dicha estructura siguiendo la alineación y pendiente del cauce natural. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que el incremento y disminución de la pendiente influye en la variación de la velocidad de flujo, que a su vez incide en la capacidad de transporte de materiales en suspensión y arrastre de fondo.

En la proyección e instalación de alcantarillas el aspecto técnico debe prevalecer sobre el aspecto económico, es decir que no pueden sacrificarse ciertas características hidráulicas sólo con el objetivo de reducir los costos. Sin embargo, es recomendable que la ubicación, alineamiento y pendiente que se elija para cada caso, estará sujeta al buen juicio del especialista, quien deberá estudiar los aspectos hidrológicos, hidráulicos, estructurales y fenómenos de geodinámica externa de origen hídrico, para obtener finalmente la solución más adecuada compatible con los costos, operatividad, servicialidad y seguridad de la carretera.

1.3.7.1.1.2.1.1. Ubicación en planta

La ubicación en planta ideal es la que sigue la dirección de la corriente, sin embargo, la ubicación natural puede desplazarse, lo cual implica el acondicionamiento del cauce, a la entrada y salida con la construcción de obras de encauzamiento u otras obras complementarias.

1.3.7.1.1.2.1.2. Pendiente longitudinal

La pendiente longitudinal de la alcantarilla debe ser tal que no altere desmesuradamente los procesos geomorfológicos, como la erosión y sedimentación, por ello, los cambios de

pendiente deben ser estudiados en forma cuidadosa, para no incidir en dichos procesos que pueden provocar el colapso de la estructura.

En la Figura 11, se aprecia la ubicación típica de alcantarillas respecto a la pendiente del cauce.

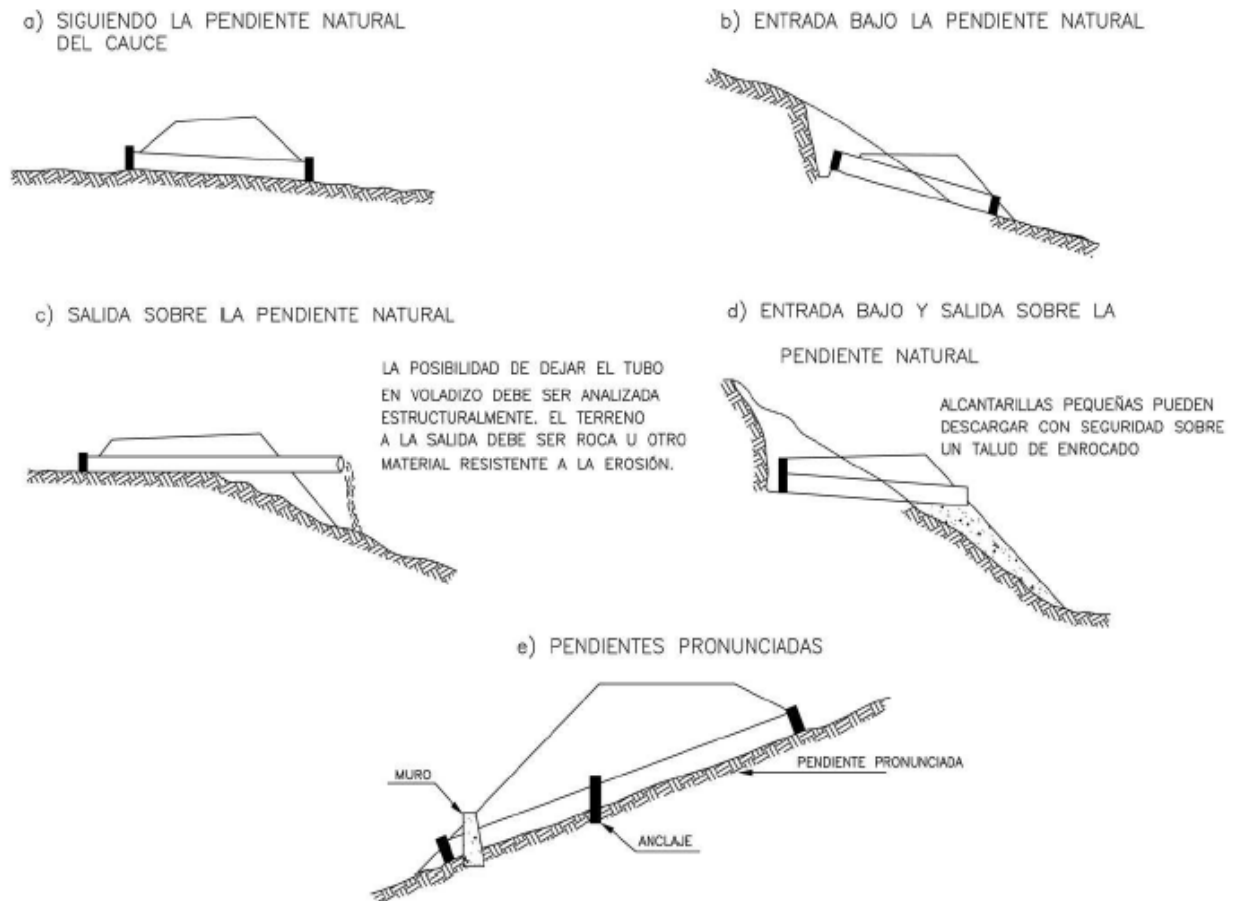


Figura 11 : Ubicación típica de Alcantarillas respecto a la pendiente del cauce

(Fuente: Manual de Carreteras, MTC)

1.3.7.1.1.2.1.3. Elección del tipo de alcantarilla

1.3.7.1.1.2.1.3.1. Tipo y sección

Los tipos de alcantarillas comúnmente utilizadas en proyectos de carreteras en nuestro país son; marco de concreto, tuberías metálicas corrugadas, tuberías de concreto y tuberías de polietileno de alta densidad.

Las secciones más usuales son circulares, rectangulares y cuadradas. En ocasiones especiales que así lo ameriten puede usarse alcantarillas de secciones parabólicas y abovedadas.

En carreteras de alto volumen de tránsito y por necesidad de limpieza y mantenimiento de las alcantarillas, se adoptará una sección mínima circular de 0.90 m (36") de diámetro o su equivalente de otra sección, salvo en cruces de canales de riego donde se adoptarán secciones de acuerdo a cada diseño particular.

Las alcantarillas tipo marco de concreto de sección rectangular o cuadrada pueden ubicarse a niveles que se requiera, como colocarse de tal manera que el nivel de la rasante coincida con el nivel superior de la losa o debajo del terraplén. Generalmente, se recomienda emplear este tipo de alcantarillas cuando se tiene la presencia de suelos de fundación de mala calidad.

Es importante instalar alcantarillas permanentes con un tamaño lo suficientemente grande como para desalojar las avenidas de diseño más los escombros que se puedan anticipar.

En cauces naturales que presentan caudales de diseño importantes donde la rasante no permite el emplazamiento de una alcantarilla de dimensión considerable, se suelen colocar alcantarillas múltiples, sin embargo, este diseño debe tener en cuenta la capacidad de arrastre del curso natural (palizada, troncos y material de cauce) y su pendiente longitudinal para evitar obstrucciones, recomendándose utilizar obras con mayor sección transversal libre, sin subdivisiones.

En el caso del proceso constructivo de tuberías para alcantarillas múltiples, se recomienda que la separación de los tubos, medida entre las superficies externas, deberá ser tal que facilite la compactación del material de relleno igual a la mitad del diámetro de la tubería con un máximo de 1.0 m y 0.4 m como mínimo.

Asimismo, en cauces naturales con caudales de diseño considerables, pendiente longitudinal reducida y transporte de palizada como es el caso de cursos naturales ubicados en la región selva de nuestro país, se recomienda la colocación de obras con la mayor sección hidráulica posible que dependiendo del aspecto económico podrán utilizarse alcantarillas tipo arcos parabólicos o abovedadas.

1.3.7.1.1.2.1.3.2. Materiales

La elección del tipo de material de la alcantarilla depende de varios aspectos, entre ellos podemos mencionar el tiempo de vida útil, costo, resistencia, rugosidad, condiciones del terreno, resistencia a la corrosión, abrasión, fuego e impermeabilidad. En conclusión no es posible dar una regla general para la elección del tipo de material a emplear en la construcción de la alcantarilla, sino que además de los aspectos mencionados anteriormente depende del tipo de suelo, del agua y principalmente de la disponibilidad de materiales en el lugar.

1.3.7.1.1.2.1.3.3. Recomendaciones y factores a tomar en cuenta para el diseño de una alcantarilla

A continuación, se presentan algunas recomendaciones prácticas y factores que intervienen para el diseño adecuado de una alcantarilla.

Utilizar el período de retorno para el diseño, empleando las fórmulas establecidas.

Para asegurar la estabilidad de la carretera ante la presencia de asentamientos provocados por filtraciones de agua, la alcantarilla debe asegurar la impermeabilidad.

Asimismo, dentro de los factores se mencionan los siguientes:

Como factores físicos y estructurales, tenemos: la durabilidad, altura de relleno disponible para la colocación de la alcantarilla, cargas actuantes sobre la alcantarilla y calidad y tipo de terreno existente.

Dentro de los factores hidráulicos, tenemos: el caudal de diseño, pendiente del cauce, velocidad de flujo, material de arrastre, pendiente de la alcantarilla y rugosidad del conducto.

Otros factores importantes que deben ser tomados en cuenta para la elección del tipo de alcantarilla, son la accesibilidad a la zona del proyecto y la disponibilidad de materiales para su construcción.

1.3.7.1.1.2.1.3.4. Diseño hidráulico

El cálculo hidráulico considerado para establecer las dimensiones mínimas de la sección para las alcantarillas a proyectarse, es lo establecido por la fórmula de Robert Manning para canales abiertos y tuberías, por ser el procedimiento más utilizado y de fácil aplicación, la cual permite obtener la velocidad del flujo y caudal para una condición de régimen uniforme mediante la siguiente relación.

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} \dots\dots\dots(24)$$

$$R = A/P \dots\dots\dots(25)$$

$$Q = VA \dots\dots\dots(26)$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

V: Velocidad media de flujo (m/s)

A: Área de la sección hidráulica (m²)

P: Perímetro mojado (m)

R: Radio hidráulico (m)

S: Pendiente de fondo (m/m)

n: Coeficiente de Manning (Ver Tabla 4)

Tabla 4*Valores del coeficiente de rugosidad de manning (n)*

		TIPO DE CANAL	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
A. CONDUCTO CERRADO CON ESCURRIMIENTO PARCIALMENTE LLENO	A.1. METÁLICOS	a. Bronce Polido	0.009	0.010	0.013
		b. Acero soldado	0.010	0.012	0.014
		con remaches	0.013	0.016	0.017
		c. Metal corrugado sub - dren	0.017	0.019	0.021
		dren para aguas lluvias	0.021	0.024	0.030
	A.2 NO METÁLICOS	a. Concreto tubo recto y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
		tubo con curvas, conexiones afinado	0.011	0.012	0.014
		0.013	0.015	0.017	
		tubo de alcantarillado con cámaras, entradas.	0.012	0.013	0.014
		Tubo con moldaje de acero.	0.012	0.014	0.016
		Tubo de moldaje madera cepillada	0.015	0.017	0.020
		Tubo con moldaje madera en bruto			
		b. Madera duelas	0.010	0.012	0.014
laminada y tratada		0.015	0.017	0.020	
0.018		0.025	0.030		
c. Albañilería de piedra.					
B.1 METAL	a. Acero liso sin pintar	0.011	0.012	0.014	
	pintado	0.012	0.013	0.017	
	0.021	0.025	0.030		
	b. Corrugado				
B. CANALES REVESTIDOS	B.2 NO METÁLICO	a. Madera Sin tratamiento	0.010	0.012	0.014
		Tratada	0.011	0.012	0.015
		Planchas	0.012	0.015	0.018
		b. Concreto afinado con plana	0.011	0.013	0.015
		0.015	0.017	0.020	
		afinado con fondo de grava	0.014	0.017	0.020
	sin afinar	0.017	0.020		
	excavado en roca de buena calidad	0.022	0.027		
	excavado en roca descompuesta				
	c. Albañilería	0.017	0.025	0.030	
	0.023	0.032	0.035		
	pedra con mortero				
pedra sola					
C. EXCAVADO	a. Tierra, recto y uniforme	nuevo	0.016	0.018	0.020
		grava	0.022	0.025	0.030
		con algo de vegetación	0.022	0.027	0.033
		b. Tierra, sinuoso	0.023	0.025	0.030
		sin vegetación	0.025	0.030	0.033
		con malezas y pasto	0.030	0.035	0.040
	maleza tupida, plantas	0.025	0.035	0.040	
	fondo pedregoso - malezas.				
	c. Roca suave y uniforme	0.025	0.035	0.040	
	irregular	0.035	0.040	0.050	
	d. Canales sin mantención	0.050	0.080	0.120	
	maleza tupida	0.040	0.050	0.080	
	Fondo limpio, bordes con vegetación				

D. CORRIENTES NATURALES	D.1. CORRIENTES MENORES (ANCHO SUPERF. < 30 m)	a. Ríos en planicies rectos, sin zonas muertas	0.025	0.030	0.033	
		rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.030	0.036	0.040	
		Sinuoso, vegetación y piedras	0.035	0.045	0.050	
		Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.045	0.050	0.060	
		Abundante vegetación, sinuoso.	0.075	0.100	0.150	
		b. Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos.	0.030	0.040	0.050	
		Árboles y arbustos sumergidos	0.040	0.050	0.070	
		Parcialmente en crecidas con piedras y Pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo.				
		D.2 PLANICIES DE INUNDACION	a. con pasto sin arbusto pastizales bajos	0.025	0.030	0.035
		pastizales altos	0.030	0.035	0.050	
	b. áreas cultivadas sin cultivo	0.020	0.030	0.040		
	con cultivos	0.030	0.040	0.050		
	c. Arbustos y Malezas escasos	0.040	0.060	0.080		
	densos	0.070	0.100	0.160		
	d. Arboles sauces	0.110	0.150	0.200		
	tierra despejada con troncos	0.030	0.040	0.050		
	D3 Ríos Principales (ancho superior a 30 m)	Secciones Regulares	0.025	-	0.060	
	Secciones Irregulares	0.035	-	0.100		

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow, 1983.

Se debe tener en cuenta la velocidad, parámetro que es necesario verificar de tal manera que se encuentre dentro de un rango, cuyos límites se describen a continuación.

Tabla 5

Velocidades máximas admisibles (m/s) en conductos revestidos

Tipo de revestimiento	Velocidad (m/s)
Concreto	3.0 - 6.0
Ladrillo con concreto	2.5 - 3.5
Mampostería de piedra y concreto	2.0

Fuente: H Canales, Máximo Villón B.

Se deberá verificar que la velocidad mínima del flujo dentro del conducto no produzca sedimentación que pueda incidir en una reducción de su capacidad hidráulica, recomendándose que la velocidad mínima sea igual a 0.25 m/s.

Asimismo, se debe tener muy en cuenta la velocidad de flujo a la salida de la alcantarilla, generalmente esta velocidad es mayor que la velocidad de escurrimiento en el cauce natural

y debe limitarse a fin de evitar procesos de socavación del cauce aguas abajo de la estructura y no afecte su estabilidad.

A continuación, se presenta una tabla con valores máximos admisibles de velocidades de flujo según el tipo de material donde se desplaza.

Tabla 6

Velocidades máximas admisibles (m/s) en canales no revestidos

Tipo de revestimiento	Flujo intermitente (m/s)	Flujo permanente (m/s)
Arena fina (no coloidal)	0.75	0.75
Arcilla arenosa (no coloidal)	0.75	0.75
Arcilla limosa (no coloidal)	0.90	0.90
Arcilla fina	1.00	1.00
Ceniza volcánica	1.20	1.00
Grava fina	1.50	1.20
Arcilla dura (colodial)	1.80	1.40
Material graduado (no colodial)		
Desde arcilla a grava	2.00	1.50
Desde limoa grava	2.10	1.70
Grava	2.30	1.80
Grava gruesa	2.40	2.00
Desde grava a piedra (< 15cm)	2.70	2.10
Desde grava a piedra (>20cm)	3.00	2.40

Fuente: Manual de Carreteras de California

1.3.7.1.1.2.1.3.5. Consideraciones para el diseño

1.3.7.1.1.2.1.3.5.1. Material sólido de arrastre

La palizada, material sólido y hasta desperdicios arrojados a los cauces naturales y que son arrastrados por la corriente, son elementos muy perjudiciales si se acumulan en la alcantarilla e inciden en su comportamiento hidráulico. No solamente afecta a la alcantarilla, también afecta las zonas aledañas de la carretera.

Consecuentemente, es importante que las carreteras cuenten con un programa de mantenimiento rutinario, a fin de identificar los sectores vulnerables, propensos de ser afectados por este fenómeno.

Durante el diseño de la alcantarilla, se pueden adoptar todo tipo de medidas para evitar estos problemas, en primer lugar, se puede evitar la acumulación de palizada y material sólido mediante la construcción de obras adicionales, como disipadores o cámaras especiales que

permitan retener sólidos, desperdicios y ramas, para luego efectuar su limpieza. Otra alternativa es dejar pasar los sólidos, desperdicios y ramas mediante la construcción de alcantarillas de mayor sección hidráulica acorde al estudio puntualizado de la cuenca de aporte. Se recomienda en lo posible, no modificar la pendiente natural del curso de agua a lo largo de la alcantarilla.

1.3.7.1.1.2.1.3.5.2. Borde libre

El borde libre en alcantarillas es un parámetro muy importante a tomar en cuenta durante su diseño hidráulico, por ello, las alcantarillas no deben ser diseñadas para trabajar a sección llena, ya que esto incrementa su riesgo de obstrucción, afectando su capacidad hidráulica.

Se recomienda que el diseño hidráulico considere como mínimo el 25 % de la altura, diámetro o flecha de la estructura.

1.3.7.1.1.2.1.3.5.3. Socavación local a la salida de la alcantarilla

Si la velocidad del flujo a la entrada y particularmente a la salida de la alcantarilla es alta, puede producir procesos de socavación local que afecte su estabilidad, por ello, se recomienda la protección del cauce natural mediante la construcción de emboquillados de piedra, enchapado de rocas acomodadas u otros tipos de revestimientos, los cuales deberán extenderse hasta zonas donde la socavación local no tenga incidencia sobre la protección.

Una medida para reducir la velocidad del flujo, es la construcción de aliviaderos de entrada y salida de la alcantarilla en forma escalonada con el objetivo de disipar la energía hidráulica.

A continuación, se presenta la fórmula de Laushey que permite calcular el diámetro medio de los elementos de protección a la salida de alcantarillas en función de la velocidad del flujo.

$$d_{50} = \frac{V^2}{(3.1g)} \dots\dots\dots(27)$$

Donde:

d_{50} : Diámetro medio de los elementos de protección (m)

V : Velocidad media del flujo a la salida de la alcantarilla (m/s)

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

1.3.7.1.1.2.1.3.5.4. Mantenimiento y limpieza

Las dimensiones de las alcantarillas deben permitir efectuar trabajos de mantenimiento y limpieza en su interior de manera factible. Es importante realizar estos trabajos con la finalidad que funcionen adecuadamente, tal como se ha previsto en el diseño.

Es necesario efectuar un programa de mantenimiento que incluyan inspecciones antes y después de períodos lluviosos para comprobar el estado hidráulico estructural de la obra y obtener datos como marcas dejadas por las crecidas, acumulación de material, depósito de sedimentos, presencia de palizada, socavación de cauce y daños estructurales.

Las inspecciones permitirán tomar las medidas correctivas que conlleven al planteamiento de soluciones, necesidad de nuevos diseños, reposiciones o construcción de obras adicionales.

1.3.7.1.1.2.1.3.5.5. Abrasión

La abrasión es una acción mecánica de rozamiento que consiste en la erosión del material de la alcantarilla por la acción de sólidos flotantes transportados por el cauce natural. Este fenómeno depende del carácter y cantidad de material de arrastre, duración, frecuencia y velocidad del flujo.

Es importante tomar en cuenta este fenómeno al momento de elegir el tipo de material del cual estará constituida la alcantarilla.

1.3.7.1.1.2.1.3.5.6. Corrosión

La corrosión se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno y puede manifestarse como consecuencia de la acción de elementos activos presentes en el suelo, agua o atmósfera.

Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión.

Las condiciones ambientales que contribuyen a la corrosión de alcantarillas son condiciones alcalinas y ácidas presentes en el suelo y en el agua, y la conductividad eléctrica del suelo.

El agua con alta salinidad causa intensa corrosión a corto plazo en el acero.

Es importante señalar que cualquier material utilizado en la construcción de alcantarillas expuesto al agua de mar o cuando las alcantarillas se ubiquen en zonas costeras cercanas al mar requieren algún tipo de protección para asegurar su vida útil. Lo mismo, sucede con los ácidos producidos por minas de carbón u otras operaciones mineras.

Se indica, asimismo que los suelos con alto contenido de materia orgánica son nocivos para los metales ya que se corroen.

En el caso de alcantarillas de metal corrugado generalmente se utiliza capas protectoras tales como recubrimientos asfálticos, sin embargo, esta medida muchas veces no es suficiente, por lo que un material de mayor resistencia sería el más adecuado para actuar en medios muy agresivos.

1.3.7.1.1.2.1.3.5.7. Seguridad y vida útil

El diseño de alcantarillas debe garantizar la adecuada y correcta evacuación del flujo que discurre hacia a la carretera mediante la obtención de diseños hidráulicos adecuados.

Existen medidas para prolongar la vida útil de las alcantarillas y mejorar sus condiciones de servicio.

Las medidas que se utilizan con mayor frecuencia se mencionan a continuación:

Con la finalidad de proteger las alcantarillas constituidas por tubos metálicos corrugados de la presencia de agentes exteriores que puedan afectarlas, se recomienda el uso de recubrimiento asfáltico, de esta manera se logra incrementar su vida útil.

Cuando las condiciones de exposición son muy agresivas, tales como velocidades excesivas con presencia de elementos abrasivos en el flujo, presencia de aguas salinas o ácidas provenientes de establecimientos mineros, suelos alcalinos y suelos con presencia de turba, el recubrimiento asfáltico no ofrece una protección suficiente, se recomienda el uso de otros materiales para la construcción de alcantarillas, como concreto de alta resistencia o tubos de alta densidad.

1.3.7.1.1.2.2. Badenes

Las estructuras tipo badén son soluciones efectivas cuando el nivel de la rasante de la carretera coincide con el nivel de fondo del cauce del curso natural que intercepta su alineamiento, porque permite dejar pasar flujo de sólidos esporádicamente que se presentan

con mayor intensidad durante períodos lluviosos y donde no ha sido posible la proyección de una alcantarilla o puente.

Los materiales comúnmente usados en la construcción de badenes son la piedra y el concreto, pueden construirse badenes de piedra acomodada y concreto que forman parte de la superficie de rodadura de la carretera y también con paños de losas de concreto armado.

Los badenes con superficie de rodadura de paños de concreto se recomiendan en carreteras de primer orden, sin embargo, el tipo de material a usar está directamente relacionado con el tipo de material que transporta el curso natural.

Se recomienda evitar la colocación de badenes sobre depósitos de suelos finos susceptibles de ser afectados por procesos de socavación y asentamientos.

El diseño de badenes debe contemplar necesariamente la construcción de obras de protección contra la socavación y uñas de cimentación en la entrada y salida, así como también losas de aproximación en la entrada y salida del badén.

Dependiendo del tipo de material de arrastre que transporte el curso natural donde se ubicará el badén, se pueden adoptar diseños mixtos, es decir badén – alcantarilla, que permitan evacuar flujos menores en épocas de estiaje y a su vez flujos de materiales sólidos en períodos extraordinarios, sin embargo, estos diseños deben ser estudiados minuciosamente para poder ser empleados, mediante un estudio integral de la cuenca que drenará el badén, ya que el material transportado puede originar represamientos, poniendo en riesgo su estabilidad y permanencia.

La ventaja de las estructuras tipo badén es que los trabajos de mantenimiento y limpieza se realizan con mayor eficacia, siendo el riesgo de obstrucción muy bajo.

1.3.7.1.1.2.2.1.Consideraciones para el diseño

1.3.7.1.1.2.2.1.1. Material sólido de arrastre

El material de arrastre es un factor importante en el diseño del badén, recomendándose que no sobrepase el perímetro mojado contemplado y no afecte los lados adyacentes de la carretera.

Debido a que el material sólido de arrastre constituido por lodo, palizada u otros objetos flotantes, no es posible cuantificarlo, se debe recurrir a la experiencia del especialista, a la recopilación de antecedentes y al estudio integral de la cuenca, para lograr un diseño adecuado y eficaz.

1.3.7.1.1.2.2.1.2. Protección contra la socavación

El diseño del badén también deberá contemplar uñas de cimentación tanto a la entrada como a la salida de la estructura, dichas uñas deberán desplantarse preferentemente sobre material resistente a procesos erosivos.

1.3.7.1.1.2.2.1.3. Pendiente longitudinal del badén

El diseño hidráulico del badén debe adoptar pendientes longitudinales de ingreso y salida de la estructura de tal manera que el paso de vehículos a través de él, sea de manera confortable y no implique dificultades para los conductores y daño a los vehículos.

1.3.7.1.1.2.2.1.4. Pendiente transversal del badén

Para permitir una adecuada evacuación del flujo, se recomienda pendientes transversales para el badén entre 2 y 3%.

1.3.7.1.1.2.2.1.5. Borde libre

Generalmente, el borde libre se asume igual a la altura de agua entre el nivel de flujo máximo esperado y el nivel de la línea de energía, sin embargo, se recomienda adoptar valores entre 0.30 y 0.50m.

1.3.7.1.1.2.2.2. Diseño hidráulico

Para el diseño hidráulico se idealizará el badén como un canal trapezoidal con régimen uniforme.

Este tipo de flujo tiene las siguientes propiedades:

La profundidad, área de la sección transversal, velocidad media y gasto son constantes en la sección del canal.

La línea de energía, el eje hidráulico y el fondo del canal son paralelos, es decir, las pendientes de la línea de energía, de fondo y de la superficie del agua son iguales. El flujo uniforme que se considera es permanente en el tiempo. Aún cuando este tipo de flujo es muy raro en las corrientes naturales, en general, constituye una manera fácil de idealizar el flujo en el badén, y los resultados tienen una aproximación práctica adecuada.

La velocidad media en un flujo uniforme cumple la ecuación de Manning.

1.3.7.1.1.2.3. Puentes

Los puentes son las estructuras mayores que forman parte del drenaje transversal de la carretera y permiten salvar o cruzar un obstáculo natural, el cual puede ser el curso de una quebrada o un río.

Es importante tener en cuenta que un puente no será estable si no lo es el tramo fluvial comprometido. El río es por naturaleza esencialmente móvil y cambiante. En consecuencia, el estudio de un puente que interactúa con un río no puede independizarse del correspondiente estudio de Hidráulica Fluvial. La estabilidad fluvial, lograda durante cientos o miles de años por el río, puede verse seriamente alterada por la construcción de un puente.

La profundidad del estudio hidráulico tiene que depender de ciertas características del puente en particular, como podrían ser: su importancia dentro de la red vial, consecuencias de su falla, costo, tipo de estructura, riesgos aceptables, etc. A las que debe añadirse las correspondientes al río.

1.3.7.1.2. Drenaje longitudinal de la carretera

El agua que fluye a lo largo de la superficie de la plataforma, tanto de la propia carretera como de lo aportado por los taludes superiores adyacentes, debe ser encauzada y evacuada de tal forma que no se produzcan daños a la carretera ni afecte su transitabilidad.

Para evitar el impacto negativo de la presencia del agua, en la estabilidad, durabilidad y transitabilidad, dentro de ello se considerará los distintos tipos de obras necesarios para captar y eliminar las aguas que se acumulan en la plataforma de la carretera, las que pueden provenir de las precipitaciones pluviales y/o de los terrenos adyacentes.

1.3.7.1.2.1. Factores a considerar

1.3.7.1.2.1.1. Periodo de retorno

Se considerará usando las fórmulas establecidas.

1.3.7.1.2.1.2. Riesgo de obstrucción

Las condiciones de funcionamiento del drenaje longitudinal se verán afectadas por obstrucción debido al material sólido arrastrado por la corriente, por ello, debe efectuarse un adecuado diseño, que su vez permita realizar un adecuado mantenimiento.

1.3.7.1.2.1.3. Velocidad máxima del agua

La pendiente longitudinal (i) debe estar comprendida entre la condición de autolimpieza y la que produciría velocidades erosivas, es decir:

$$0.5 \% < i < 2\% \dots\dots\dots(28)$$

La corriente no debe producir daños importantes por erosión en la superficie del cauce o conducto si su velocidad media no excede de los límites fijados en la Tabla N° 7 en función de la naturaleza de dicha superficie.

Tabla 7

Velocidad máxima del agua

Tipo de superficie	Máxima velocidad admisible (m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.20 - 0.60
Arena arcillosa dura, mangas duras	0.60 - 0.90
Terreno parcialmente cubierta de vegetación	0.60 - 1.20
Arcilla, grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.20 - 1.50
Hierba	1.20 - 1.80
Conglomerado, pizarra duras, rocas blandas	1.40 - 2.40
Mampostería, rocas duras	3.00 - 4.50*
Concreto	4.50 - 6.00*

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito-MTC

1.3.7.1.2.2. Tipos de Estructuras de Drenaje longitudinal

1.3.7.1.2.2.1. Cunetas

Las cunetas son zanjas longitudinales revestidas o sin revestir abiertas en el terreno, ubicadas a ambos lados o a un solo lado de la carretera, con el objeto de captar, conducir y evacuar adecuadamente los flujos del agua superficial.

Se proyectarán para todos los tramos al pie de los taludes de corte, longitudinalmente paralela y adyacente a la calzada del camino y serán de concreto vaciadas en el sitio, prefabricados o de otro material resistente a la erosión.

Serán del tipo triangular, trapezoidal o rectangular, siendo preferentemente de sección triangular, donde el ancho es medido desde el borde de la rasante hasta la vertical que pasa por el vértice inferior. La profundidad es medida verticalmente desde el nivel del borde de la rasante al fondo o vértice de la cuneta.

El encuentro de la superficie de rodadura con el talud interno de la cuneta, debe ser tal que la superficie de rodadura (concreto asfáltico, etc.) no cubra todo el espesor de pared de la cuneta, tal como se aprecia en la Figura 10.

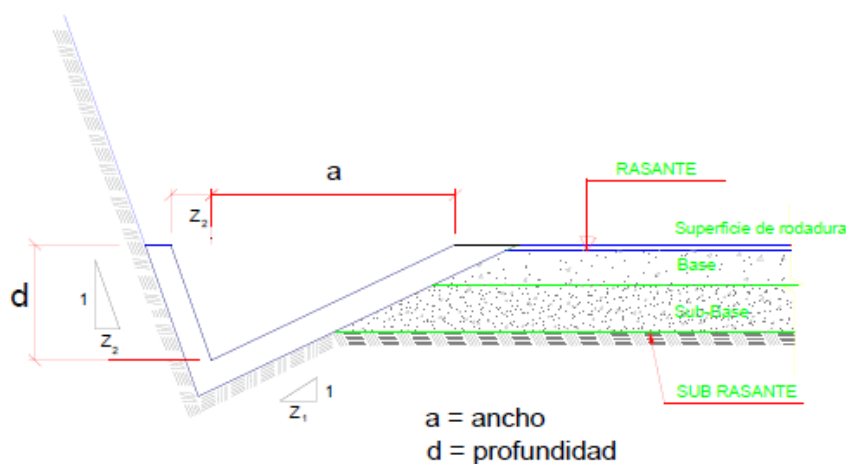


Figura 12: Sección típica de Cuneta triangular

(Fuente: Manual de Carreteras, Hidrología, Hidráulica y Drenaje-MTC)

La inclinación del talud interior de la cuneta (V/H) (1:Z1) dependerá, por condiciones de seguridad, de la velocidad y volumen de diseño de la carretera, Índice Medio Diario Anual IMDA (veh/día); según lo indicado en la Tabla 8.

Tabla 8*Inclinaciones máximas del talud (V:H) interior de la cuneta*

V.D. (km/h)	I.M.D.A (VEH./DIA)	
	< 750	>750
<70	1:02	(*)
	1:03	
>70	1:03	1:04

(*) Sólo en casos muy especiales

Fuente: Manual de Diseño geométrico DG-2001.

La inclinación del talud exterior de la cuneta (V/H) (1:Z2) será de acuerdo al tipo de inclinación considerada en el talud de corte.

1.3.7.1.2.2.1.1. Capacidad de las cunetas

Se rige por dos límites:

- Caudal que transita con la cuneta llena
- Caudal que produce la velocidad máxima admisible

Para el diseño hidráulico de las cunetas utilizaremos el principio del flujo en canales abiertos, usando la ecuación de Manning:

$$Q = AV = \frac{(AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}})}{n} \dots\dots\dots(29)$$

Donde:

Q : Caudal (m³/seg)

V : Velocidad media (m/s)

A : Área de la sección (m²)

P : Perímetro mojado (m)

R_h : A/P Radio hidráulico (m) (área de la sección entre el perímetro mojado)

S : Pendiente del fondo (m/m)

n : Coeficiente de rugosidad de Manning

Los valores de Manning (n) más usados, se presentan en la Tabla 9 del presente manual.

También se utiliza el Coeficiente de Strickler (K) cuya expresión es (1/n) (Ver Tabla 10)

Tabla 9*Valores de K más usados*

Cunetas excavadas en el terreno	k=33
Cuneta en roca	k=25
Cunetas de concreto	k=67

Fuente: Ingeniería Vial I de Hugo Morales Sosa.**Velocidades límites admisibles****Tabla 10***Velocidades límites admisibles*

Tipo de superficie	Máxima velocidad admisible (m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.20 - 0.60
Arena arcillosa dura, mangas duras	0.60 - 0.90
Terreno parcialmente cubierta de vegetación	0.60 - 1.20
Arcilla, grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.20 - 1.50
Hierba	1.20 - 1.80
Conglomerado, pizarra duras, rocas blandas	1.40 - 2.40
Mampostería, rocas duras	3.00 - 4.50*
Concreto	4.50 - 6.00*

* Para flujos de muy corta duración

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito - MTC.**1.3.7.1.2.2.1.2. Caudal Q de aporte**

Es el caudal calculado en el área de aporte correspondiente a la longitud de cuneta. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{CxIx A}{3.6} \dots\dots\dots(30)$$

Donde:Q : Caudal en m³/s

C : Coeficiente de escurrimiento de la cuenca

A : Área aportante en Km²

I : Intensidad de la lluvia de diseño en mm/h

1.3.7.1.2.2.1.3. Dimensiones mínimas

Las dimensiones serán fijadas de acuerdo a las condiciones pluviales.

De elegir la sección triangular, las dimensiones mínimas serán las indicadas en la Tabla 11.

Tabla 11

Dimensiones mínimas

Región	Profundidad (D) (M)	Ancho (A) (M)
Seca (< 400 mm/año)	0.20	0.50
Lluviosa (De 400 a < 1600 mm/año)	0.30	0.75
Muy lluviosa (De 1600 a < 3000 mm/año)	0.40	1.20
Muy lluviosa (>3000 mm/año)	0.30*	1.20

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito - MTC.

Para lograr el funcionamiento adecuado de la sección hidráulica, se requiere que en los proyectos viales se considere:

La construcción de una berma exterior de recepción con ancho mínimo de 60 cm (entre la cuneta y pie del talud de corte), con la finalidad de recepcionar la posible caída de materiales del talud superior, los cuales, al impactar, deterioran las losas, y colmatan la sección hidráulica.

Así mismo es necesario establecer la necesidad de mantenimiento de cunetas por lo menos dos veces al año (antes y después del período de lluvia, especialmente en zonas de sierra y selva del país).

Cuando existan limitaciones de ancho de la plataforma se podrá proyectar cunetas con doble función:

Drenaje, y Área de emergencia (berma)

Para los cuales se buscará la solución más adecuada tales como: cunetas cubiertas, berma-cuneta, cuneta tipo batea, etc.

REGION	PROFUNDIDAD (d) mts.	ANCHO (a) mts.
Seca (<400mm/año)	0.20	0.50
Lluviosa (De 400 a <1600mm/año)	0.30	0.75
Muy lluviosa (De 1600 a <3000mm/año)	0.40	1.20
Muy lluviosa (>3000mm/año)	0.30*	1.20

* Sección Trapezoidal con un ancho mínimo de fondo de 0.30m

Figura 13: Dimensiones mínimas de cuneta triangular típica

(Fuente: Manual de Carreteras, Hidrología, Hidráulica y Drenaje-MTC)

1.3.7.1.2.2.1.4. Desagüe de las cunetas

La descarga de agua de las cunetas se efectuará por medio de alcantarillas de alivio. En región seca o poca lluviosa la longitud de las cunetas será de 250m como máximo, las longitudes de recorridos mayores deberán justificarse técnicamente; en región muy lluviosa se recomienda reducir esta longitud máxima a 200m. Salvo justificaciones técnicas, cuando se tenga presencia de áreas agrícolas, viviendas ubicadas sobre el talud inferior de la carretera que pueden ser afectadas por descargas de alcantarillas de alivio.

1.3.7.1.2.2.1.5. Revestimiento de las cunetas

Las cunetas deben ser revestidas, para evitar la erosión de la superficie del cauce o conducto, productos de corrientes de agua que alcancen velocidades medias superiores a los límites fijados en la Tabla 11; o cuando el terreno es muy permeable que permite la filtración hacia el pavimento, y consecuentemente su deterioro. El revestimiento de las cunetas puede ser de concreto, o de ser el caso de mampostería de piedra, previa verificación de velocidades de acuerdo a las pendientes finales del trazo geométrico. Se recomienda un revestimiento de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y espesor de 0.075m.

1.3.7.1.2.2. Cunetas o zanjas de coronación

Las cunetas o zanjas de coronación son canales que se construyen en la parte superior de los taludes de corte, para recoger las aguas que bajan por las pendientes naturales y conducir las hacia la quebrada o descarga más próxima del sistema general de drenaje, evitando de este modo la erosión del terreno, especialmente en zonas de pendiente pronunciada.

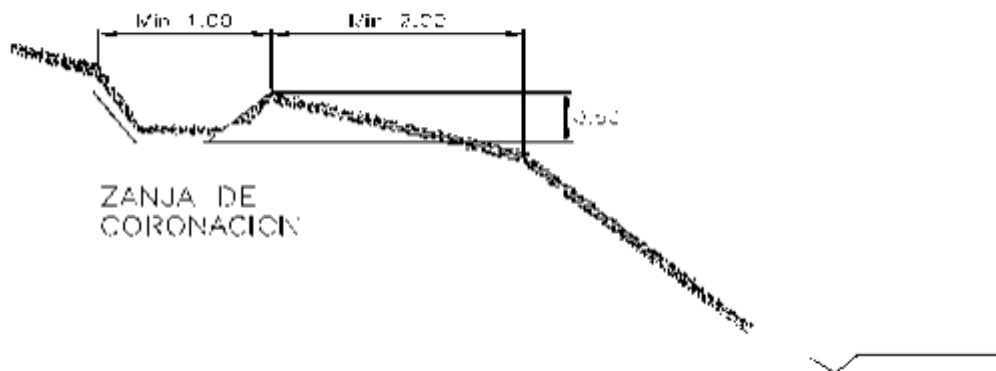


Figura 14: Detalle típico de zanja de coronación

(Fuente: Manual de Carreteras, Hidrología, Hidráulica y Drenaje-MTC)

Normalmente son de forma rectangular, pero también pueden ser trapezoidales, si se requiere un mayor tamaño.

Es importante sembrar especies naturales a ambos lados de la cuneta (pastos, ichu, maleza, raíces, árboles, etc); o ramas cortadas amarradas entre sí en forma de estructuras alargadas, las cuales se entierran o se colocan como estacas siguiendo el contorno de un talud), para evitar que el agua erosione bajo la cuneta y ésta se obstruya con sedimentos.

Si la pendiente es mayor que 2%, es necesario que el canal tenga recubrimiento de concreto simple o enrocado, teniendo en cuenta además del área mojada y la rugosidad del canal. Para pendientes mayores, las zanjas deben ser escalonadas con emboquillado de piedra bajo la caída.

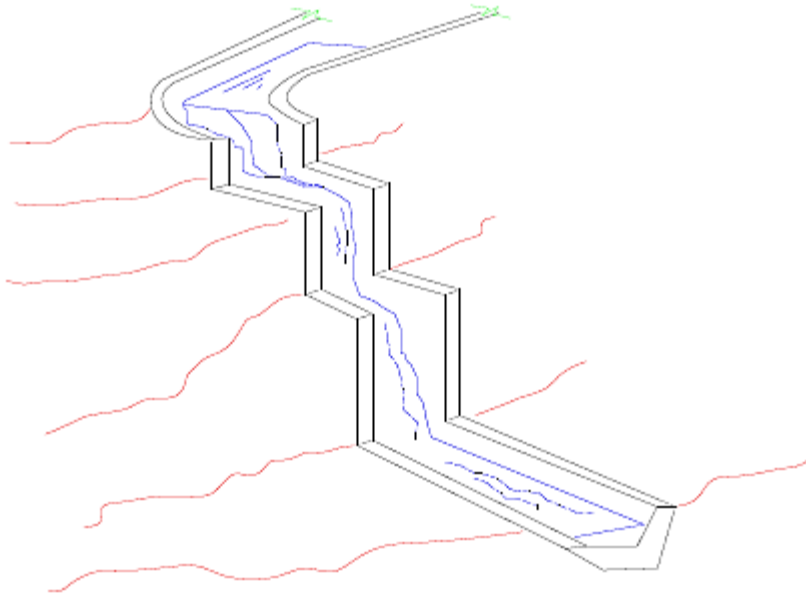


Figura 15: Detalle de zanja de coronación en pendientes muy pronunciadas
(Fuente: Manual de Carreteras, Hidrología, Hidráulica y Drenaje-MTC)

No es recomendable colocar estas zanjas, paralelas totalmente a la carretera, porque los tramos finales de la cuneta quedan con una pendiente excesiva, en la que se tienen que ejecutar tramos escalonados, como se observa en la Figura N° 15, sino por el contrario, se trazará la cuneta hacia el interior de la quebrada, siguiendo las pendientes admisibles para el tipo de terreno o revestimiento.

Se puede prescindir de las cunetas de coronación en taludes de suelos resistentes a la erosión con declives de 1:2 (V :H) o menores, o cuando durante la construcción se hayan adoptado medidas efectivas de control de la erosión.

1.3.7.1.2.2.3. Zanjas de drenaje

Las zanjas de drenaje son canales que se construyen en la parte inferior de los taludes de relleno en forma longitudinal lateral o transversal al alineamiento de la carretera, para recoger las aguas que bajan por el talud y terrenos adyacentes para conducir las hacia la quebrada o descarga más próxima del sistema general de drenaje, evitando de este modo la erosión del terreno.

Normalmente son de forma rectangular, pero también pueden ser trapezoidales, si se requiere una mayor dimensión.

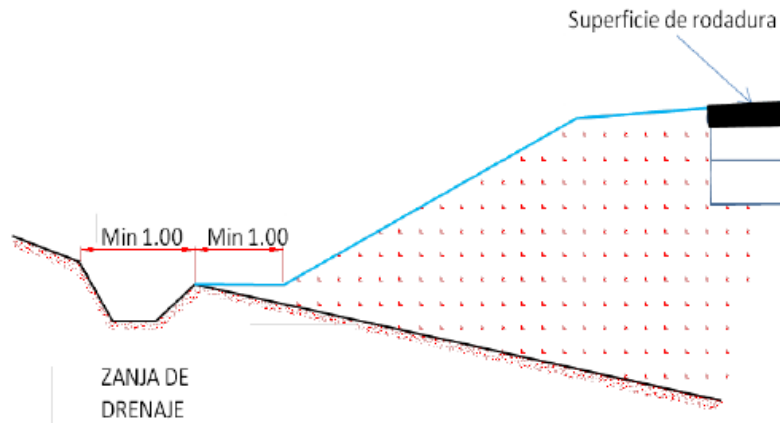


Figura 16: Detalle típico de zanja de drenaje

(Fuente: Manual de Carreteras, Hidrología, Hidráulica y Drenaje-MTC)

1.3.7.1.2.2.4. Cunetas de banqueteta

Son aquellas que se ubican al pie del talud inclinado de cada banqueteta, las cuales consisten en la construcción de una o más terrazas sucesivas con el objetivo de estabilizar un talud.

Pueden tener sección triangular, rectangular o trapezoidal, de acuerdo al caudal de escorrentía superficial que transportará y su descarga se efectuará hacia un curso natural o mediante caídas escalonadas hacia las cunetas.

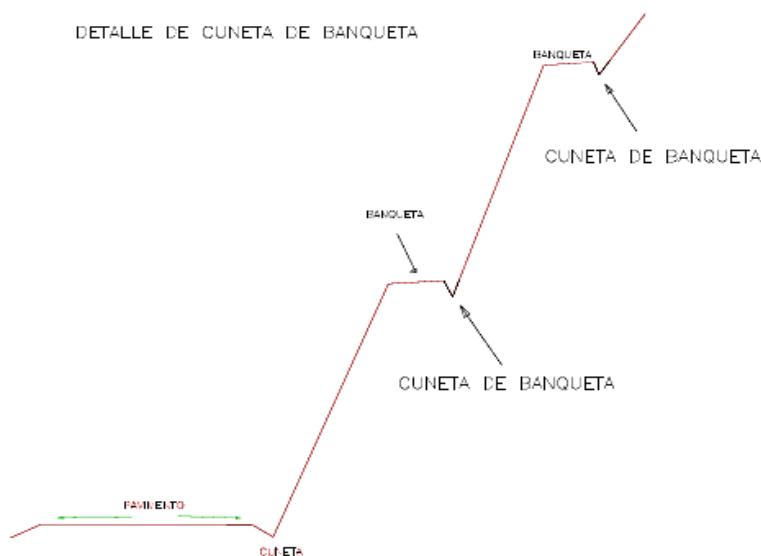


Figura 17: Detalle de cuneta de banqueteta

Fuente: Manual de Carreteras, Hidrología, Hidráulica y Drenaje-MTC

1.3.7.1.2.2.5. Bordillos

Los bordillos son elementos que interceptan y conducen el agua que por efecto del bombeo discurren sobre la plataforma de la carretera, descargándola mediante aliviaderos en sitios adecuados con el objetivo de evitar la erosión de los taludes de terraplenes que estén conformados por material erosionable.

Se construirán en los terraplenes mayores de 1.5m de altura, ubicándolas longitudinalmente en ambos lados en los terraplenes que se encuentren en tangente, o en la parte interna de los terraplenes en curva horizontal. Asimismo, se ubicarán sobre la corona del talud inferior cuando la carretera se desarrolla en corte a media ladera.

Se emplazarán en el lado exterior de la plataforma y generalmente tienen una sección trapezoidal con base inferior de veinte (20) centímetros, base superior de quince (15) centímetros y altura de cuarenta (40) centímetros, sobresaliendo de la superficie de rodadura quince (15) centímetros.

En los tramos en tangente se dejará un espacio libre para la descarga del escurrimiento hacia aliviaderos adecuadamente ubicados a una distancia de entre cincuenta (50) y cien (100) metros.

Los bordillos pueden ser de concreto, reforzados con varillas de construcción en forma de malla simple de $\phi 3/8''$ cada 0.20m, tal como se observa en a Figura 16.

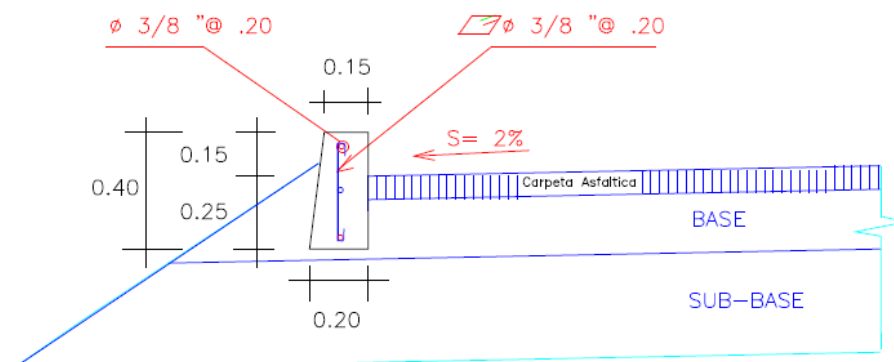


Figura 18: Detalle típico de bordillo de concreto armado

(Fuente: Manual de Carreteras, Hidrología, Hidráulica y Drenaje-MTC)

1.3.7.1.2.2.6. Canales de drenaje

Un sistema de drenaje superficial de una vía diseñado adecuadamente debe interceptar con efectividad todo el escurrimiento directo superficial y de la cuenca, para conducirla a través de canales y cunetas que tengan el diseño adecuado para su descarga final en los cursos de agua naturales.

En zonas bajas o con depresiones en su topografía, hay acumulaciones de aguas que pueden deberse a diferentes causas: por precipitaciones copiosas, por escurrimiento superficial o por elevación de la napa freática causada por riego o crecida de un río cercano, por tanto para captar y evacuar estas aguas acumuladas, se proyectarán diferentes canales en red de drenaje, dentro del área que presenta estos problemas.

Esta red de drenaje está compuesta por:

Canales principales, que son los “drenes” o cauces naturales, los cuales se amplían en función del caudal a evacuar.

Canales secundarios, se proyectan para ampliar la red, y están conectados con los canales principales.

Canales terciarios, son los canales colectores, estos recogen el agua del área a evacuar y los trasladan hacia los canales secundarios.

Los canales pueden ser de concreto fraguado en el terreno ó de canales prefabricados de concreto.

1.3.7.2. Drenaje subterráneo

1.3.7.2.1. Condiciones generales

En el “Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito (2008). MTC” se aconseja que el drenaje subterráneo debe proyectarse para controlar y/o limitar la humedad de la plataforma de la carretera y de los diversos elementos del pavimento de una carretera.

Sus funciones serán alguna o varias de las siguientes:

Interceptar y desviar corrientes subsuperficiales y/o subterráneas antes de que lleguen al lecho de la carretera.

Hacer descender el nivel freático.

Sanear las capas del pavimento.

En la figura 18 se muestra la disposición general que deben tener los drenes subterráneos.

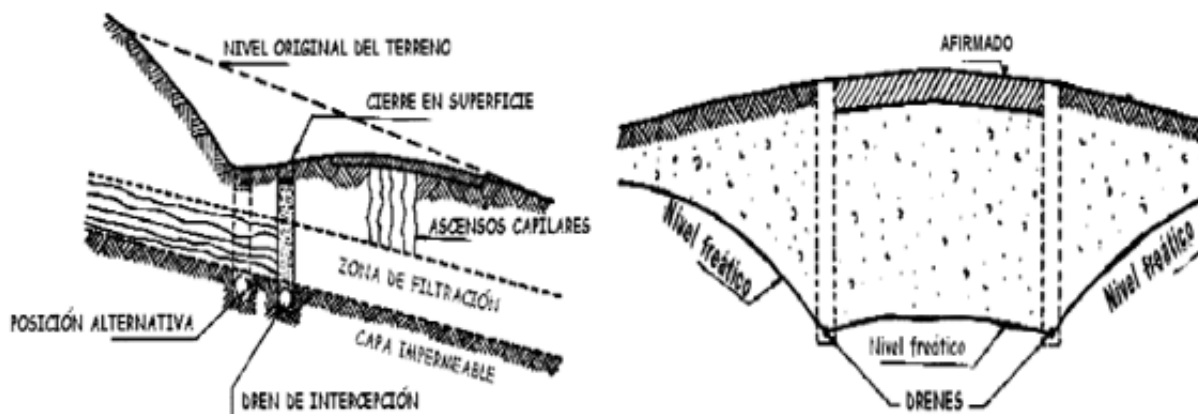


Figura 19: Drenaje Subterráneo

(Fuente: Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito -MTC)

1.3.7.2.2. Drenes subterráneos

El dren subterráneo estará constituido por una zanja en la que se colocará un tubo con orificios perforados, juntas abiertas, o de material poroso. Se rodeará de un material permeable, material filtro, compactado adecuadamente, y se aislará de las aguas superficiales por una capa impermeable que ocupe y cierre la parte superior de la zanja (Figura 19).

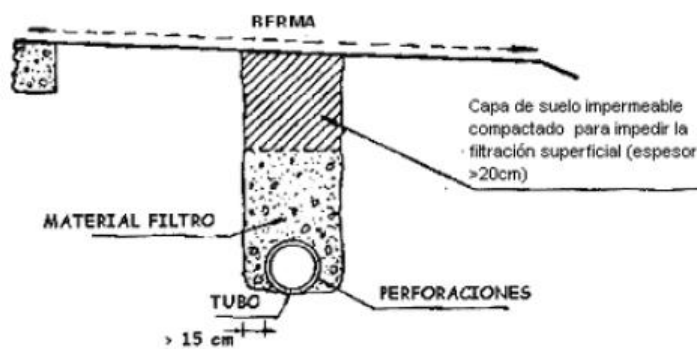


Figura 20: Drenes subterráneos

(Fuente: Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito -MTC)

Las paredes de la zanja serán verticales o ligeramente inclinadas, salvo en drenes transversales o en espina de pez en que serán admisibles, incluso convenientes, pendientes más fuertes. En casos normales, el talud máximo no superará el valor 1/5. (H/V)

1.3.7.2.3. Rellenos de zanjas

Cuando el fondo de la zanja se encuentre en terreno impermeable, para evitar la acumulación de agua bajo la tubería se preverá la colocación de una capa de material, perfectamente apisonado, y que puede ser del mismo terreno, alrededor del tubo, sin que alcance el nivel de las perforaciones, o se asentará sobre un solado. En caso de tuberías con juntas abiertas, estas pueden cerrarse en su tercio inferior y dar a la capa impermeable el espesor correspondiente.

Si el fondo de la zanja se encuentra en terreno permeable, no son necesarias las anteriores precauciones.

La composición granulométrica del material permeable, material filtro, con el que se rellene, la zanja del dren requiere una atención especial, pues de ella depende su buen funcionamiento.

Si d_n es el diámetro del elemento de suelo o filtro tal que $n\%$ de sus elementos en peso son menores que d_n deben cumplirse las siguientes condiciones:

Para impedir el movimiento de las partículas del suelo hacia el material filtrante.

$$d_{15} \text{ del filtro} / d_{85} \text{ del suelo} < 5$$

$$d_{50} \text{ del filtro} / d_{50} \text{ del suelo} < 25$$

En el caso de terreno natural de granulometría uniforme, se sustituirá la primera relación por:

$$d_{15} \text{ del filtro} / d_{85} \text{ del suelo} < 4$$

Para que el agua alcance fácilmente el dren: $d_{15} \text{ del filtro} / d_{15} \text{ del suelo} > 5$

Para evitar el peligro de colmatación de los tubos por el material filtro.

En los tubos con perforaciones circulares:

$$d_{85} \text{ del filtro} / \text{diámetro del orificio del tubo} > 1.0$$

En los tubos con juntas abiertas:

$$d_{85} \text{ del material filtro / ancho de la junta} > 1.2$$

En los tubos de concreto poroso, se debe respetar la siguiente condición:

$$d_{85} \text{ del árido del dren poroso / } d_{85} \text{ del filtro} < 5$$

En caso de terrenos cohesivos, el límite superior para d_{15} del filtro se establecerá en 0.1 mm. Cuando sea preciso, deberán utilizarse en el proyecto dos o más materiales de filtros. Ordenados estos desde el terreno natural a la tubería, deben satisfacer, cada uno con respecto al contiguo, las condiciones exigidas anteriormente entre el material filtro y el suelo a drenar. El último, que será el que rodea el tubo, deberá satisfacer, además, las condiciones que se han indicado en relación con el ancho de las juntas o diámetro de los orificios de dichos tubos.

Para impedir cambios en la composición granulométrica o segregaciones del material filtro por movimiento de sus finos, debe utilizarse material de coeficiente de uniformidad (d_{60}/d_{10}) inferior a 20, cuidadosamente compactado. El dren subterráneo se proyectará cumpliendo las disposiciones que se detallan en la figura 20, según se encuentre en terreno permeable o impermeable y sean necesarios uno o dos materiales filtro.

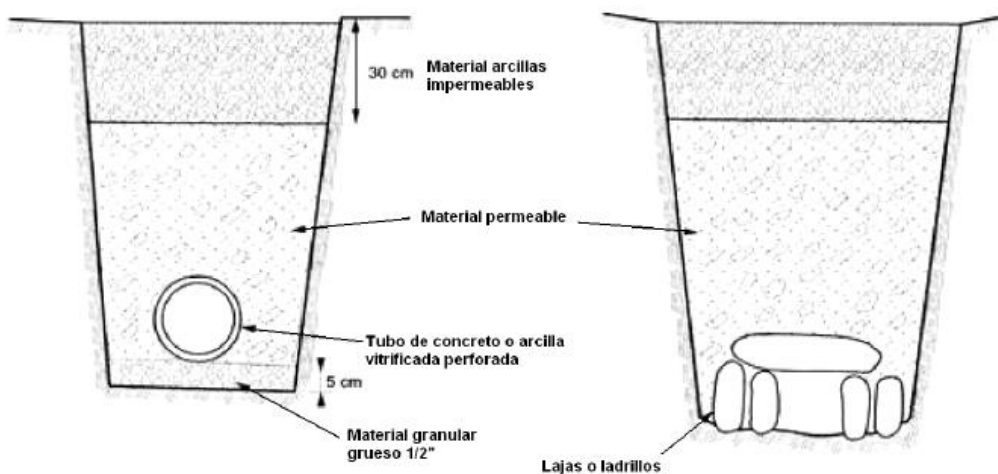


Figura 21: Drenaje subterráneo

(Fuente: Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito -MTC)

Como alternativa del procedimiento anterior, se podrá rellenar la zanja con material granular (grava) envuelto con tela sintética (geotextil) cuyo diseño deberá circunscribirse a lo establecido en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000), recomendándose este tratamiento para el diseño de subdrenes en suelos granulares.

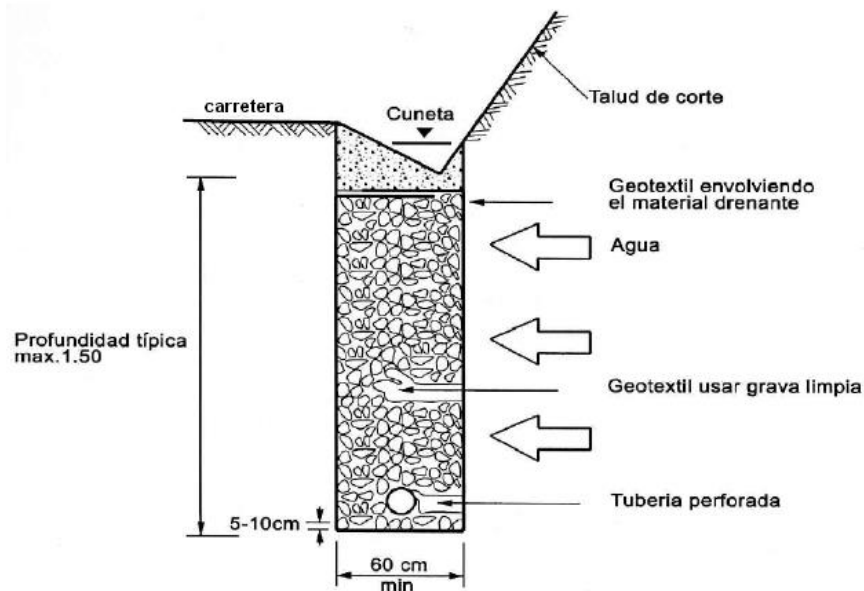


Figura 22: Subdren de aguas subterráneas con geotextil (Recomendada para drenar suelos de naturaleza

(Fuente: Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito -MTC)

1.4. Formulación del problema

En la actualidad se ha dado inicio al desarrollo del proceso constructivo de la vía Metal – Marcos a cargo del PEHCBM, sin embargo es necesario considerar un sistema de drenaje vial lo más adecuado posible a las condiciones morfológicas y topográficas en donde se emplazara el eje de la vía, así como también, considerar los regímenes de lluvias que ocurren a lo largo de los doce meses del año que generan escurrimiento superficial en toda la red hidrográfica que cruza la vía conformada desde pequeñas hondonadas, quebradas, riachuelos y hasta ríos de gran caudal, para lo cual es necesario realizar el estudio hidrológico e hidráulico. En mérito a ello, se plantea la siguiente interrogante:

¿Con la elaboración del estudio Hidrológico e Hidráulico, será factible diseñar el sistema de drenaje de la carretera Metal – Marcos, en el Distrito Shunte, Provincia Tocache – San Martín?

1.5. Justificación del estudio

En la actualidad, Gobierno Regional de San Martín, tiene como prioridad la construcción de nuevas vías terrestres para intercomunicar los diferentes centros poblados y dinamizar la economía de la región, siendo una de estas vías la carretera Metal - Marcos ubicada en el valle del Alto Huallaga.

La justificación de desarrollar el presente trabajo investigación o Tesis, se sustenta en tres aspectos fundamentales, como son: teórico, práctico y social.

1.5.1. Justificación teórica.

El desarrollo del estudio Hidrológico e Hidráulico, para el dimensionamiento de los componentes estructurales de las obras del sistema de drenaje vial se sustentará en la aplicación de las teorías de Topografía en la ingeniería civil, la Mecánica de Suelos, de la Hidráulica Fluvial y de la Hidrología superficial o de escurrimiento en cauces naturales.

1.5.2. Justificación práctica.

Para solucionar la carencia del estudio Hidrológico e Hidráulico necesario para la definición del planteamiento Hidráulico del sistema de drenaje vial, estos serán realizados siguiendo las prácticas de ingeniería y una vez obtenido sus resultados, facilitarán el diseño hidráulico.

1.5.3. Justificación social.

La investigación tiene relevancia social, toda vez que los resultados obtenidos de ella serán un aporte a la FICA – UNSM al PEHCBM, ya que facilitarán la elaboración a nivel constructivo del proyecto Sistema de Drenaje vial carretera Metal – Marcos, lo que contribuirá a garantizar la sostenibilidad durante la vida útil y conservación de la obra vial mejorar la calidad de vida de la población.

Por todo lo expuesto, la ejecución de este proyecto de investigación es de vital importancia para planificar (elaborar el planteamiento hidráulico), diseñar y construir el sistema de drenaje de la vía en mención a lo largo de toda su longitud, puesto que su ejecución a corto, mediano o largo plazo contribuirá en el buen estado y conservación de la vía, garantizando su transitabilidad.

1.6. Hipótesis

Con la elaboración del estudio Hidrológico e Hidráulico, será factible diseñar el sistema de drenaje de la carretera Metal – Marcos, en el Distrito Shunte, Provincia Tocache – San Martín.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Realizar el Estudio Hidrológico e Hidráulico para el diseño del sistema de drenaje de la carretera Metal – Marcos ubicada en el Distrito de Shunte, Provincia Tocache, en la región San Martín.

1.7.2. Objetivos Específicos

Recopilación y evaluación de información pluviométrica, topográfica, cartográfica y estudios hidrológicos de cuencas cercanas al área de estudio.

Delimitar la cuenca y sub cuencas de la carretera a proyectar del tramo METAL-MARCOS y determinación de sus respectivos parámetros fisiográficos e hidrológicos.

Determinar los parámetros fisiográficos e hidrológicos a ser utilizados en el cálculo de los caudales máximos de ocurrencia en la micro red hidrográfica que atraviesa el eje de la vía en estudio.

Mediante la aplicación de la metodología adecuada para tal fin, determinar el caudal de diseño para las diferentes obras de arte que conformarán la red de drenaje transversal y longitudinal de la Carretera Departamental Metal –Marcos.

Determinar los parámetros hidráulicos que permitan definir la orientación o emplazamiento de las obras de arte, así como aportar con información para la determinación de los niveles o profundidades de cimentación, altura libre de estribos, así como la luz de las obras de arte proyectadas en los cursos principales.

CAPÍTULO II

MÉTODO

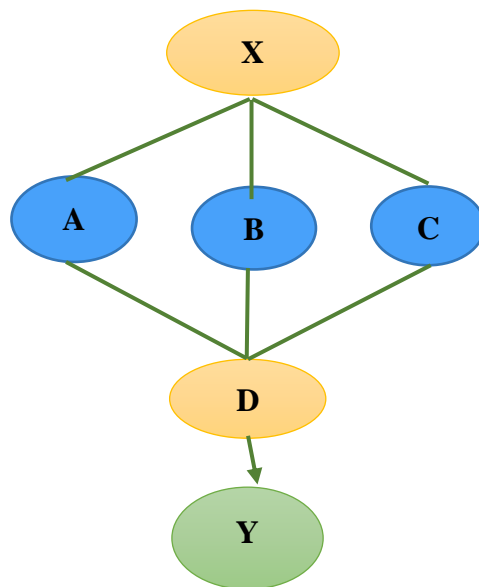
2.1. Diseño de investigación

Esta investigación se llevará a cabo en tres etapas, que se detalla a continuación:

La primera, corresponde al estudio topográfico y cartográfico de la zona.

La segunda, corresponde al estudio hidrológico e hidráulico.

La tercera, corresponde al dimensionamiento hidráulico de las estructuras de drenaje.



- X** : **Situación inicial problemática que requiere la intervención de estudio.**
- A** : Estudio topográfico y cartográfico
- B** : Estudio hidrológico e Hidráulico
- C** : Dimensionamiento de las estructuras de drenaje
- D** : Contratación de alternativas que respaldarán la toma de decisiones para definir el mejor sistema de solución.

Y : Resultado de la investigación que conlleva a la validación de la hipótesis enunciada: Diseño hidráulico del sistema de drenaje de la carretera Metal - Marcos.

2.2. Variables, operacionalización

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
1. Variable Independiente: Estudio Hidrológico e Hidráulico	Fenómeno a la que se le va a evaluar su capacidad para influir, incidir o afectar a otras variables	1.1. Características del sistema de drenaje actual	1.1.1. Realizar un recorrido para identificar las obras hidráulicas existentes.
		1.2. Características de la zona pertenecientes al tramo en estudio	1.2.1. Recopilar información topográfica y cartográfica. 1.2.2. Delimitar las sub cuencas pertenecientes al tramo en estudio 1.2.3. Recopilar información hidrológica y meteorológica del SENAMHI.
		1.3. Análisis estadístico de Datos hidrológicos	1.3.1. Calcular la Intensidad máxima de diseño.
2. Variable Dependiente: Elaboración del sistema de drenaje pluvial	Es el factor cambiante dentro del estudio cuyo comportamiento termina siendo afectado por los factores que el experimentador manipula	2.1. Caudales máximos de diseño	2.1.1. Calcular los caudales máximos de diseño por el Método Racional 2.2.1. Precisar el tipo de obra hidráulica a diseñar.
		2.2. Dimensionamiento de las estructuras de drenaje	2.2.2. Cálculo de sección de las estructuras hidráulicas. 2.2.2. Cálculo de pendientes y taludes adecuados para cada obra.
		2.3. Materiales de construcción.	2.3.1. Precisar los materiales a utilizar en las obras hidráulicas

2.3. Población y muestra

Población

Red vial regional.

Muestra

Carretera Metal – Marcos de 27.446 Km de longitud.

2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

En cuanto a los instrumentos de selección de datos no existe un instrumento específico dado que la investigación no es experimental, pero si la utilización de equipos de topografía, obtención de información de fuentes confiables y tomas de datos referenciales respecto a la caracterización hidrológica y morfológica del tramo donde se emplaza el eje de la vía en estudio.

2.4.1. Fuentes Técnicas:

Levantamiento topográfico

En lo que respecta a la información topográfica se hizo uso de los planos vista en planta, así como los perfiles longitudinales del eje de trazo desde la progresiva Km 00 + 000 hasta la progresiva Km 27 + 446.83, es decir el 100% de la longitud total de la vía en estudio. Esta información ha sido proporcionada por el PEHCBM.

2.4.2. Análisis de contenido documental:

Información cartográfica

Se ha recopilado para el estudio, la **Hoja N° 1554 (17-j)** denominada: **Tocache Nuevo** de la Carta Nacional a escala 1:100,000 elaborada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) en la cual se ha identificado la ruta que sigue el eje de la vía en estudio.

De la revisión y análisis de la información cartográfica se puede apreciar que, el eje de la carretera presenta una particularidad que en todo su recorrido es adyacente y paralelo a un curso de agua principal que es el río Tocache, desde el inicio del tramo vial en la localidad

de Metal (Km 00+000), hasta su término en el Centro Poblado Alto Marcos (Km 27+446.83).

La zona en la cual descansa el eje de la vía en estudio, presenta una configuración morfológica accidentada, conformada por colinas y cerros, característica propia de zonas ubicadas en selva alta.

La información cartográfica se ha recopilado para la determinación de los parámetros hidrofisiográficos de las microcuencas que conforman la red hidrográfica que atraviesa el eje de la vía, la misma que será reforzada con el reconocimiento de campo realizado al área del proyecto.

Información pluviométrica

El área donde se ubica el tramo vial, cuenta con información pluviométrica parcial registrada por el SENAMHI –SAN MARTÍN, en la Estación Pluviométrica Tananta, que se ubican dentro del ámbito de influencia del área de Estudio y cuyos radios de influencia según el SENAMHI es de 35 km a la redonda. Las características de la estación son las siguientes:

Asesoramiento Profesional especializado

Brindado por el Ing. Dr. Ing. José del Carmen Pizarro Baldera.

2.4.3. Fuentes Informantes:

Municipalidad Provincial de Tocache

SENAMHI San Martín

PEHCBM

Instituto Geográfico Nacional

2.4.4. Instrumentos de recolección de información de trabajo de campo

Libreta de campo

Instrumentos de campo : Equipos de topografía.

2.4.5. Instrumentos bibliográficos

Se recurrió a distintas fuentes, entre las cuales se tiene: libros y manuales de Hidrología, Drenaje, y diseño hidráulico, que se encuentran en la biblioteca de la FICA – UNSM, Normas peruanas para el diseño de carreteras del MTC, entre otros. Así como también libros virtuales que se citan en las Referencias.

2.5. Métodos de análisis de datos

Se empleó la estadística como herramienta para determinar la confiabilidad de los datos de precipitaciones máximas registradas del SENAMHI San Martín.

2.6. Aspectos éticos

Para la elaboración de la presente tesis se consideraron las políticas públicas, las cuales hacen posible su desarrollo, ya que el estudio hidráulico e hidrológico de las sub cuencas del río Tocache, son estudios totalmente factibles.

Asimismo, se cuenta con los recursos necesarios para el desarrollo de la misma, siendo cubiertos en su totalidad por la tesista.

Para acceder a la información pluviométrica del SENAMHI SAN MARTÍN, la tesista se comprometió a utilizar los datos de “Precipitación máxima de 24 horas” únicamente para fines de investigación, respetando los acuerdos de confiabilidad pactados con dicha Institución.

En el caso de la información brindada por el PEHCBM, IGN, y la Municipalidad Provincial de Tocache, se trata de documentos de conocimiento público, los cuales fueron obtenidos por las vías convencionales.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

En base al estudio realizado y a los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de laboratorio estos se presentan a continuación de manera detallada teniendo en cuenta los objetivos planeados inicialmente a realizar.

3.1. Delimitación de microcuencas y cálculo de áreas colectoras

La delimitación de las micro-cuencas se realizó sobre el plano de la Carta Nacional (curvas de nivel) a una escala de 1/20 000, correspondiente a la zona donde se ubica el Eje Vial en estudio (Km 00 + 000 al Km 27+446.83), encontrándose que en toda su longitud se desarrolla en forma paralela al Río Tocache, inclusive el C.P. Metal y todos los demás centros poblados que están antes que él, están ubicados en la margen derecha de este Río.

La cuenca del río Tocache, presenta las siguientes Características:

Longitud del Cauce principal : 100.00 km.

Área total de la Cuenca : 137.41 km².

Pendiente media del Cauce principal : 3.72%.

Sus principales afluentes:

Afluentes Margen Izquierda

Por la margen izquierda existen numerosas corrientes de agua que no fueron identificadas porque el Eje Vial va paralelo a la margen derecha del Río Tocache, la dificultad de acceso hacia esta margen y por la poca transitabilidad de la gente por esta margen.

Afluentes Margen Derecha

Sus principales afluentes por esta margen desde Metal a Marcos y que cortan al eje vial en consideración se presentan en los siguientes cuadros:

Tabla 12*Características geomorfológicas de las cuencas margen derecha del río Tocache*

CUENCA		Área	Perímetro	Longitud	Cota	Cota	Pend	Índice	de	Factor	Desnivel
		Km2	Km	cauce	Max	Min					
				Km	msnm	msnm	%				
Río Blanco	C-01	4.91	9.66	4.24	2,782	1,345	0.34	1.23		0.27	1,437
Río Rosario	C-02	1.49	6.19	2.86	2,275	1,360	0.32	1.43		0.18	915
Río Amarillo	C-03	1.60	6.05	2.77	2,300	1,440	0.31	1.35		0.21	860
Río Metal	C-04	43.52	27.88	11.66	4,100	1,540	0.22	1.19		0.32	2,560
Río Culebra	C-05	42.02	37.19	14.77	4,100	1,575	0.17	1.62		0.19	2,525
Río Chamión	C-06	2.45	6.42	2.52	2,988	1,780	0.48	1.16		0.39	1,208
Río 06	C-07	0.14	3.39	1.66	2,625	1,830	0.48	2.53		0.05	795
Río Oso	C-08	8.56	13.21	6.10	3,550	1,750	0.30	1.27		0.23	1,800
Río Grueso	C-09	100.72	56.29	20.73	4,000	1,750	0.11	1.58		0.23	2,250
Qda Santa Rosa	C-10	5.53	11.29	4.74	3,894	1,990	0.40	1.35		0.25	1,904
Qda Shilco	C-11	2.01	8.90	4.08	3,894	2,000	0.46	1.77		0.12	1,894
Qda Zancudo I	C-12	0.32	2.41	1.12	2,950	2,096	0.76	1.21		0.26	854
Qda Zancudo II	C-13	2.09	9.49	4.60	3,894	2,150	0.38	1.85		0.10	1,744
Qda Alpay	C-14	7.27	11.03	4.19	3,783	2,335	0.35	1.15		0.41	1,448
Río Tambo Gde	C-15	180.32	87.25	29.83	4,450	2,370	0.07	1.83		0.20	2,080

Fuente: Elaboración propia

3.2. Cálculo de la precipitación máxima y la intensidad de diseño

Con la información pluviométrica precipitación máxima caída en 24 horas, proporcionada por el SENAMHI San Martín (Estación Meteorológica Tananta - Pólvora), para los últimos 15 años, considerando para el trabajo los valores máximos de cada año, determinamos los parámetros, realizando un análisis estadístico haciendo uso del método de Gumbel de las precipitaciones máximas en 24 horas, cuyos datos son los siguientes:

Tabla 13*Precipitación máxima de 24 horas*

ESTACIÓN: CP TANANTA

LATITUD: 08° 06' 54.86" S
LONGITUD: 76° 34' 49.77" W
ALTITUD: 480 msnmDPTO.: San Martín
PROV.: Tocache
DIST.: Polvora

PARÁMETRO: Precipitación Max. 24 Hras (mm)												Periodo 2002 - 2016	
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Die	
1 2002	114.6	77.0	70.0	51.2	22.7	1.2	30.8	11.4	59.6	68.3	86.8	91.7	
2 2003	86.2	56.0	84.7	47.6	36.4	26.9	28.8	28.8	59.2	62.4	52.2	51.5	
3 2004	60.5	71.6	51.9	34.0	41.7	26.2	63.0	22.8	35.2	S/D	S/D	95.9	
4 2005	48.9	61.6	65.3	38.9	7.3	39.5	17.2	6.4	15.1	49.5	51.0	60.8	
5 2006	53.6	50.7	46.2	56.8	37.8	36.3	48.2	23.3	64.7	29.6	60.0	70.5	
6 2007	27.7	56.5	71.1	27.9	45.1	24.5	44.6	41.3	13.8	73.2	68.8	46.8	
7 2008	73.9	68.3	61.4	63.5	28.1	49.9	14.3	36.6	61.8	56.8	74.5	62.2	
8 2009	86.7	174.2	72.1	52.0	75.5	11.5	29.9	17.3	16.2	50.5	44.6	55.5	
9 2010	49.3	91.3	85.3	80.7	84.1	22.2	41.8	21.8	47.8	66.5	62.9	30.0	
10 2011	69.5	146.6	32.7	34.9	52.8	64.9	59.7	16.1	18.4	50.4	45.3	65.1	
11 2012	79.4	104.2	19.7	33.0	33.4	16.3	27.6	39.7	85.1	70.9	124.6	40.7	
12 2013	32.4	97.9	42.3	65.7	48.5	34.4	21.7	57.2	72.1	56.7	73.3	45.3	
19 2014	64.5	64.1	61.4	36.9	51.3	22.0	23.6	21.6	46.7	42.0	75.1	63.9	
14 2015	51.2	47.7	60.4	48.3	62.2	35.8	37.4	33.7	19.3	38.7	44.7	59.1	
15 2016	100.5	43.9	45.3	63.2	40.8	51.3	9.7	79.3	74.1	112.2	96.4	74.2	

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima
SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)
S/D: SIN DATOS**Fuente:** SENAMHI SAN MARTÍN

De la tabla 13 se toma el mayor valor de las precipitaciones máximas en 24 horas por cada año, como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14*Resumen de precipitación máxima de 24 horas*

AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (m.m.)
2002	114.60
2003	86.20
2004	95.90
2005	65.30
2006	70.50
2007	73.20
2008	74.50
2009	174.20
2010	91.30
2011	146.60
2012	124.60
2013	97.90
2014	75.10
2015	62.20
2016	112.20

Fuente: Elaboración propia

3.3. Cálculo de la precipitación máxima por el método de Gumbel

Con los datos de las precipitaciones máximas en 24 horas por cada año elaboramos un cuadro ordenándolos de mayor a menor.

Nº DE ORDEN (m)	PRECIPITACIÓN DE MAYOR A MENOR (Yi)
1	174.20
2	146.60
3	124.60
4	114.60
5	112.20
6	97.90
7	95.90
8	91.30
9	86.20
10	75.10
11	74.50
12	73.20
13	70.50
14	65.30
15	62.20
	1464.30

Fuente: Elaboración propia

Luego realizamos el análisis estadístico, con la finalidad de determinar ciertos parámetros hidrológicos:

Cálculo del valor de la intensidad máxima promedio \hat{Y}

$$\hat{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} = \frac{1464.30}{15}$$

$$\hat{Y} = 97.62 \text{ mm}$$

Cálculo del valor de la desviación estándar S_y

$$S_y = ((\sum (Y_i - \hat{Y})^2) / (n - 1))^{1/2} = (14\ 338.42 / 14)^{1/2}$$

$$S_y = 32.00 \text{ mm}$$

Los demás cálculos se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 15*Cálculos de Desviación Estándar de la muestra*

AÑO	PRECIPITACIÓN (m.m.)	Nº DE ORDEN (m)	PRECIPITACIÓN DE MAYOR A MENOR (Yi)	(Yi - Y)	(Yi - Y)2
2002	114.60	1	174.20	76.58.	5864.50.
2003	86.20	2	146.60	48.98.	2399.04.
2004	95.90	3	124.60	26.98.	727.92.
2005	65.30	4	114.60	16.98.	288.32.
2006	70.50	5	112.20	14.58.	212.58.
2007	73.20	6	97.90	0.28.	0.08.
2008	74.50	7	95.90	-1.72.	2.96.
2009	174.20	8	91.30	-6.32.	39.94.
2010	91.30	9	86.20	-11.42.	130.42.
2011	146.60	10	75.10	-22.52.	507.15.
2012	124.60	11	74.50	-23.12.	534.53.
2013	97.90	12	73.20	-24.42.	596.34.
2014	75.10	13	70.50	-27.12.	735.49.
2015	62.20	14	65.30	-32.32.	1044.58.
2016	112.20	15	62.20	-35.42.	1254.58.
Sumatoria			1,464.30		14338.42.

Fuente: Elaboración propia**Verificación de la Confiabilidad de los Datos de la Muestra**

Se verifica por el método analítico de Smirnov – Kolmogorov. Se ordena los datos de menor a mayor, utilizando las siguientes fórmulas:

$$\mu = \hat{Y} - 0.45 * S_y$$

$$\alpha = 0.78 * S_y$$

$$F(G) = e^{-e^{-Y(i)}}$$

Se tiene que:

$$\mu = 97.62 - 0.45 * 32$$

$$\mu = 83.22$$

Dónde:

 \hat{Y} = Media aritmética

F(G) = Probabilidad de la distribución de ajuste.

 S_y = Desviación estándar de la muestra Δ = Estadístico Smirnov-Kolmogorov

$$\alpha = 0.78 * 32$$

$$\alpha = 24.96$$

Tabla 16*Estadístico Smirnov-Kolmogorov*

N	P(x)= m/(n+1)	Datos			
		Precipitación de menor a mayor (x)	Y(i)=(X-U)/α	F(G)=e ^{-Y(i)}	Δ = F(G)-P(x)
1	0.0625	62.2	-0.8421	0.0982	0.0357
2	0.1250	65.3	-0.7179	0.1287	0.0037
3	0.1875	70.5	-0.5096	0.1893	0.0018
4	0.2500	73.2	-0.4014	0.2245	0.0255
5	0.3125	74.5	-0.3493	0.2422	0.0703
6	0.3750	75.1	-0.3253	0.2505	0.1245
7	0.4375	86.2	0.1194	0.4117	0.0258
8	0.5000	91.3	0.3237	0.4851	0.0149
9	0.5625	95.9	0.5080	0.5479	0.0146
10	0.6250	97.9	0.5881	0.5739	0.0511
11	0.6875	112.2	1.1610	0.7311	0.0436
12	0.7500	114.6	1.2571	0.7524	0.0024
13	0.8125	124.6	1.6577	0.8265	0.0140
14	0.8750	146.6	2.5390	0.9241	0.0491
15	0.9375	174.2	3.6447	0.9742	0.0367

Fuente: Elaboración propia

Por la significancia de α : 0.05; N= 15 años $\Delta_0 = 0.34$

Entonces:

$\Delta_{cal} < \Delta_0$ OK

0.1245 < 0.34; por lo tanto, se concluye que los datos de probabilidad se ajustan a la probabilidad normal, con un nivel de significancia del 5% a una probabilidad del 95%.

Calculando la Precipitación de Diseño para varios Periodos de Retorno

Se usa la siguiente fórmula:

$$\hat{Y} = \hat{Y} - S_y [Y_n + L_n \cdot L_n(T_m / (T_m - 1))] / \sigma_n \dots (31)$$

Dónde:

\hat{Y} = Precipitación máxima en 24 horas (mm)

\hat{Y} = Media Aritmética

L_n = Logaritmo natural

S_y = Desviación estándar

Y_n = Dato de tabla N° 01 Para n=15 (Hallado por interpolación)

σ_n = Dato de tabla N° 01 Para n=15 (Hallado por interpolación)

T_m = Tiempo de retorno

Para n= 15 años (total de datos) de Tabla 12 (Ver anexo), se tiene:

Tabla 17

Valores de Y_n y G_n en función de la longitud del registro, N , en años.

N	10	20	30	40	50	100
Y_n	0.4952	0.5236	0.5362	0.5436	0.5485	0.5600
G_n	0.9497	1.0628	1.1124	1.1413	1.1607	1.2065

Fuente: Drenaje CAA-2014-II/ FIC-UNSM-Tarapoto

Interpolando valores, para n=15 datos, se obtiene:

$$Y_n = 0.5094$$

$$G_n = 1.00625$$

Reemplazando en (31) periodo de retorno de 5, 10, 20, 50, 100

Tabla 18

Cálculo de Precipitación máxima para distintos periodos de retorno

Período de retorno en años	Precipitación máxima cada 24 h (mm)
5	129.12
10	152.99
20	175.88
25	183.15
30	189.05
50	205.52
100	227.72

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, se tiene que:

Para un período de retorno de 50 años, la precipitación máxima en 24 horas de **205.52 mm**.

Calculando del Tiempo de concentración

En el “Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito (2008). MTC” se menciona que las dimensiones de los elementos del drenaje superficial serán establecidas mediante métodos teóricos conocidos de acuerdo a las características hidrológicas de la zona por donde pasa la carretera tomando en cuenta la información pluviométrica disponible.

El método de estimación de los caudales asociados a un período de retorno depende del tamaño y naturaleza de la cuenca tributaria. Por su naturaleza, representan casos especiales la presencia de lagos, embalses y zonas inundables que retengan o desvíen la esorrentía.

Cuando las cuencas son pequeñas, se considera apropiado el método de la fórmula racional para la determinación de los caudales Se consideran cuencas pequeñas a aquellas en que el tiempo de concentración es igual o menor a 6 horas. El tiempo de recorrido del flujo en el sistema de cauces de una cuenca o tiempo de concentración relacionado con la intensidad media de precipitación se puede deducir por la fórmula:

$$T_c = 0.3(L/J^{1/4})^{3/4} \dots(32)$$

Dónde:

T_c= Tiempo de concentración (hr.)

L= Longitud del cauce principal (Km.)

J= Pendiente media del lecho (m/m.)

Esta fórmula no es aplicable al flujo sobre la plataforma de la carretera dado que este flujo es difuso y lento.

Tabla 19

Cálculo de Tiempo del Tiempo de concentración (en Horas), para cada microcuenca.

Cuenca	Área Km2	Perímetro Km	Longitud Km	Pend %	Desnivel m	Tc Hr	
Río Blanco	C-01	4.91	9.66	4.24	0.34%	1,437	2.57
Qda. Rosario	C-02	1.49	6.19	2.86	0.32%	915	1.94
Qda. S/N	C-03	1.6	6.05	2.77	0.31%	860	1.9
Río Metal	C-04	43.52	27.88	11.66	0.22%	2,560	5.96
Río Culebra	C-05	42.02	37.19	14.77	0.17%	2,525	7.46
Río Chamión	C-06	2.45	6.42	2.52	0.48%	1,208	1.63
Qda. Seis	C-07	0.14	3.39	1.66	0.48%	795	1.19
Río Oso	C-08	8.56	13.21	6.1	0.30%	1,800	3.47
Río Grueso	C-09	100.72	56.29	20.73	0.11%	2,250	10.48
Qda. Santa Rosa	C-10	5.53	11.29	4.74	0.40%	1,904	2.71
Qda. Shilco	C-11	2.01	8.9	4.08	0.46%	1,894	2.36
Qda. Zancudo I	C-12	0.32	2.41	1.12	0.76%	854	0.81
Qda. Zancudo II	C-13	2.09	9.49	4.6	0.38%	1,744	2.68
Qda. Alpay	C-14	7.27	11.03	4.19	0.35%	1,448	2.54
Río Tambo Gde	C-15	180.32	87.25	29.83	0.07%	2,080	14.96

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20, se tiene que los tiempos de concentración para todas las microcuencas son menores a 6 Hrs, excepto para la C-15, Tambo Grande.

En el cuadro 8, se observa que en las microcuencas C-3, y C-15 no se proyectará ninguna alcantarilla, por lo tanto se tiene que todos los tiempos de concentración a para todas las microcuencas a emplear son menores a 6 Hrs, lo cual significa que se trata de cuencas muy pequeñas.

Es por ello que, para el desarrollo de la presente tesis, se ha considerado un tiempo de concentración (Tc) de 15 min., uniforme para todos los casos, por tratarse de cuencas muy pequeñas.

Tabla 20

Ubicación de las alcantarillas proyectadas, y la microcuenca a la que pertenece.

CUENCA	ALC. N°	Progresiva (Expediente Técnico)
<i>C-01</i>	<i>1</i>	0+293.90
<i>C-02</i>	<i>2</i>	0+840.60
<i>C-02</i>	<i>3</i>	1+626.30
<i>C-02</i>	<i>4</i>	2+054.40
<i>C-02</i>	<i>5</i>	2+174.50
<i>C-04</i>	<i>6</i>	4+260.00
<i>C-04</i>	<i>7</i>	4+940.00
<i>C-04</i>	<i>8</i>	5+170.00
<i>C-05</i>	<i>9</i>	6+400.00
<i>C-05</i>	<i>10</i>	6+540.00
<i>C-05</i>	<i>11</i>	6+756.00
<i>C-05</i>	<i>12</i>	6+980.80
<i>C-05</i>	<i>13</i>	7+080.00
<i>C-05</i>	<i>14</i>	7+140.00
<i>C-05</i>	<i>15</i>	7+420.00
<i>C-05</i>	<i>16</i>	7+500.00
<i>C-05</i>	<i>17</i>	7+572.00
<i>C-05</i>	<i>18</i>	7+720.00
<i>C-05</i>	<i>19</i>	7+850.00
<i>C-06</i>	<i>20</i>	8+502.10
<i>C-07</i>	<i>21</i>	8+964.40
<i>C-07</i>	<i>22</i>	9+056.70
<i>C-07</i>	<i>23</i>	9+085.90
<i>C-07</i>	<i>24</i>	9+205.40

<i>C-07</i>	25	9+561.10
<i>C-07</i>	26	9+823.80
<i>C-07</i>	27	10+280.70
<i>C-07</i>	28	10+550.90
<i>C-08</i>	29	11+120.00
<i>C-09</i>	30	12+703.10
<i>C-09</i>	31	12+846.60
<i>C-09</i>	32	12+909.20
<i>C-09</i>	33	13+015.40
<i>C-09</i>	34	13+172.90
<i>C-09</i>	35	13+860.90
<i>C-09</i>	36	13+951.90
<i>C-09</i>	37	14+064.90
<i>C-09</i>	38	14+127.50
<i>C-09</i>	39	14+294.80
<i>C-09</i>	40	14+535.30
<i>C-09</i>	41	14+698.00
<i>C-09</i>	42	15+351.30
<i>C-09</i>	43	15+505.80
<i>C-09</i>	44	15+684.20
<i>C-09</i>	45	15+760.00
<i>C-09</i>	46	15+874.60
<i>C-09</i>	47	15+964.90
<i>C-09</i>	48	16+138.90
<i>C-09</i>	49	16+221.90
<i>C-09</i>	50	16+287.80
<i>C-10</i>	51	17+124.90
<i>C-10</i>	52	17+445.50
<i>C-10</i>	53	17+492.50

<i>C-10</i>	54	17+544.40
<i>C-11</i>	55	18+084.10
<i>C-11</i>	56	18+333.20
<i>C-11</i>	57	19+245.60
<i>C-11</i>	58	19+301.90
<i>C-11</i>	59	19+398.10
<i>C-11</i>	60	19+613.90
<i>C-11</i>	61	20+200.00
<i>C-12</i>	62	20+730.80
<i>C-13</i>	63	21+031.70
<i>C-13</i>	64	21+368.80
<i>C-13</i>	65	21+456.20
<i>C-13</i>	66	21+755.50
<i>C-13</i>	67	22+007.90
<i>C-13</i>	68	22+277.60
<i>C-13</i>	69	22+711.00
<i>C-13</i>	70	23+120.00
<i>C-14</i>	71	24+661.90
<i>C-14</i>	72	25+136.00
<i>C-14</i>	73	25+458.80
<i>C-14</i>	74	26+025.60
<i>C-14</i>	75	26+388.10
<i>C-14</i>	76	26+423.00
<i>C-14</i>	77	26+612.00
<i>C-14</i>	78	27+090.90

Fuente: Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo, Estudio de Factibilidad y Expediente técnico)

Periodos de Retorno

Se ha considerado un periodo de retorno igual a 50 años para Alcantarillas de Paso, 20 años para Alcantarillas de alivio y 10 años en drenaje de plataforma. Ver tabla N° 13.

Tabla 21

Periodos de retorno para diseño de obras de drenaje en caminos de bajo volumen de tránsito

Tipo de obra	Periodo de retorno en años
Puentes y pontones	100(mínimo)
Alcantarillas de paso y badenes	50
Alcantarillas de alivio	10 - 20
Drenaje de la plataforma	10.0

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. 2008. MTC

Cálculo de la Intensidad de Diseño

Para los cálculos de la presente tesis, la intensidad máxima de diseño, se calculará considerando la Precipitación de Diseño para un Periodo de Retorno de 50 años, para el diseño de alcantarillas, respetando los periodos de retorno aconsejables, que se muestran en la tabla 14.

Tabla 22

Coefficientes de duración: Lluvias entre 48 y una hora

Duración de la precipitación en horas	Coefficiente
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.4
5	0.5
6	0.56
8	0.64
10	0.7
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1.00
48	1.32

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito - MTC.

En el “Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. 2008. MTC” se menciona que, en nuestro país, debido a la escasa cantidad de información pluviográfica con que se cuenta, pues solo se cuenta con lluvias máximas en 24 horas, por lo que el valor de la Intensidad de la precipitación pluvial máxima generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración; en la tabla 14 se muestran coeficientes de duración, entre 1 hora y 48 horas, los mismos que podrán usarse, con criterio y cautela para el cálculo de la intensidad, cuando no se disponga de mejor información.

Aplicando los coeficientes de duración de la tabla 4, a la precipitación máxima calculada en el cuadro 6. $I_{máx} = 205.52 \text{ mm/hr}$, se obtiene los resultados del siguiente cuadro:

Tabla 23

Distribución porcentual de la $I_{máx}$.

Duración en horas	Coficiente	Precipitación (mm)	Precipitación acumulada (mm)
1	0.25	51.38	51.38
2	0.31	63.71	115.09
3	0.38	78.10	193.19
4	0.4	90.43	283.61
5	0.5	102.76	386.37
6	0.56	115.09	501.46
8	0.64	131.53	632.99
10	0.7	150.03	783.0
12	0.79	162.36	945.37
14	0.83	170.58	1115.95
16	0.87	178.8	1294.75
18	0.90	184.96	1479.72
20	0.93	191.13	1670.85
22	0.97	199.35	1870.20
24	1.00	205.52	2075.71
48	1.32	271.28	2346.99

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se tiene que para una hora la precipitación de diseño es:

$$(205.52 \text{ mm})(0.25) = 51.38 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$I_{\text{diseño}} = 51.38 \text{ mm}$$

Cálculo de la Intensidad Máxima de Diseño

Para hallar la Intensidad Máxima, se emplea el método de las curvas I-D-T, que relaciona las variables Intensidad (i), duración (d) y Periodo de retorno (T), en una familia de curvas, cuya ecuación es Se calcula empleando la fórmula (Sherman,1931 y Bernard 1932):

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{a * T^b}{t^c} \dots(33)$$

En la cual:

I = Intensidad (mm/hr)

t = Duración de la lluvia (min)

T = Período de retorno (años)

a,b,c = Parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable:

$$d = a * T^b$$

De donde:

$$I = \frac{d}{t^c} \Rightarrow I = d * t^{-c}$$

Según el estudio de miles de estaciones - año de datos de lluvia, realizado por L. L. Welss, los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con lluvias máximas anuales tomadas en un único y fijo intervalo de observación, al ser incrementados en un 13% conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basado en lluvias máximas verdaderas. Por tanto el valor representativo adoptado para la cuenca será multiplicado por 1.13 para ajustarlo por intervalo fijo y único de observación.

Entonces, calculando para diferentes Periodos de retorno:

Para Tiempo de retorno 2 años:

Tabla 24

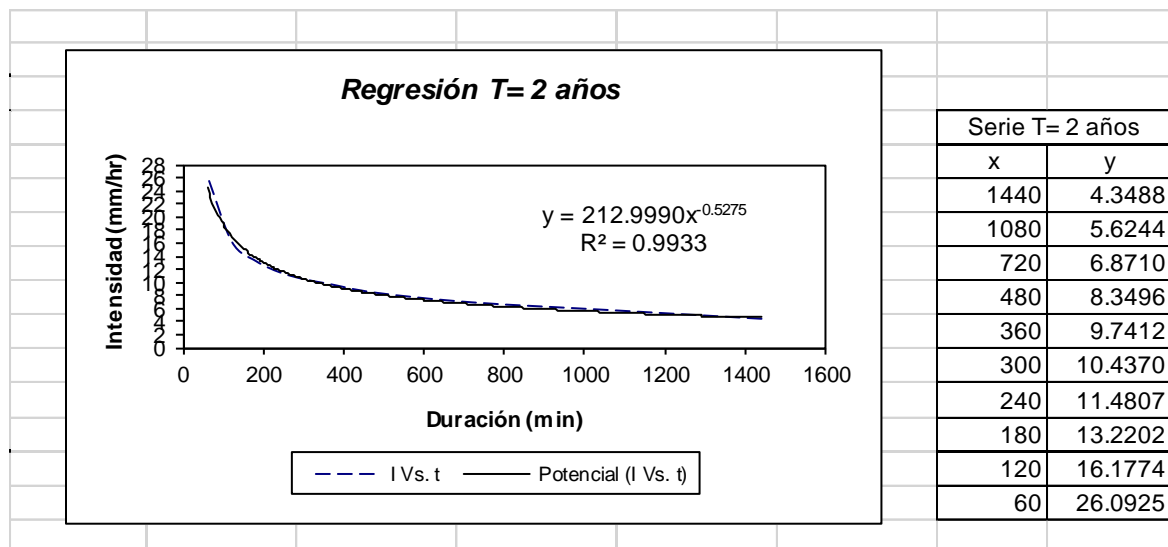
Cálculo de parámetros de ajuste, para un Periodo de retorno de 2 años.

Periodo de retorno para $T = 2$ años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	4.3488	7.2724	1.4699	10.6896	52.8878
2	1080	5.6244	6.9847	1.7271	12.0634	48.7863
3	720	6.8710	6.5793	1.9273	12.6803	43.2865
4	480	8.3496	6.1738	2.1222	13.1021	38.1156
5	360	9.7412	5.8861	2.2764	13.3989	34.6462
6	300	10.4370	5.7038	2.3454	13.3774	32.5331
7	240	11.4807	5.4806	2.4407	13.3764	30.0374
8	180	13.2202	5.1930	2.5817	13.4069	26.9668
9	120	16.1774	4.7875	2.7836	13.3265	22.9201
10	60	26.0925	4.0943	3.2616	13.3543	16.7637
10	4980	112.3427	58.1555	22.9359	128.7758	346.9435
$Ln(A) =$	5.3613	$A =$	212.9990	$B =$	-0.5275	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25

Curvas IDF, correspondientes a un Periodo de retorno de 2 años.



Fuente: Elaboración propia

Para Tiempo de retorno 10 años:

Tabla 26

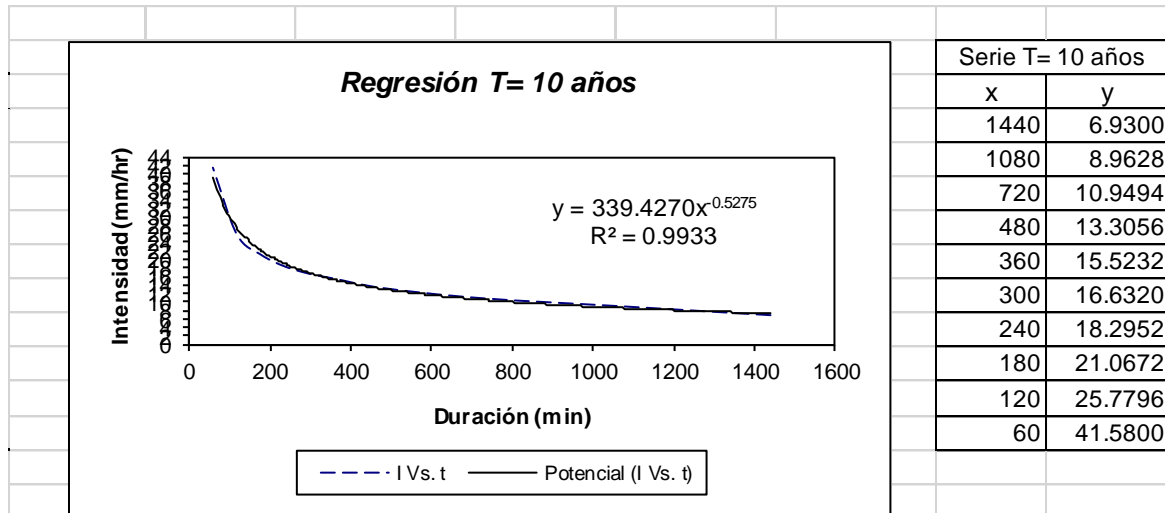
Cálculo de parámetros de ajuste, para un Periodo de retorno de 10 años.

Periodo de retorno para $T = 10$ años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	6.9300	7.2724	1.9359	14.0783	52.8878
2	1080	8.9628	6.9847	2.1931	15.3181	48.7863
3	720	10.9494	6.5793	2.3933	15.7460	43.2865
4	480	13.3056	6.1738	2.5882	15.9789	38.1156
5	360	15.5232	5.8861	2.7423	16.1417	34.6462
6	300	16.6320	5.7038	2.8113	16.0352	32.5331
7	240	18.2952	5.4806	2.9066	15.9302	30.0374
8	180	21.0672	5.1930	3.0477	15.8267	26.9668
9	120	25.7796	4.7875	3.2496	15.5574	22.9201
10	60	41.5800	4.0943	3.7276	15.2622	16.7637
10	4980	179.0250	58.1555	27.5956	155.8746	346.9435
$Ln(A) =$	5.8273	$A =$	339.4270	$B =$	-0.5275	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

Curvas IDF, correspondientes a un periodo de retorno de 10 años.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Cálculo de parámetros de ajuste, para un periodo de retorno de 20 años.

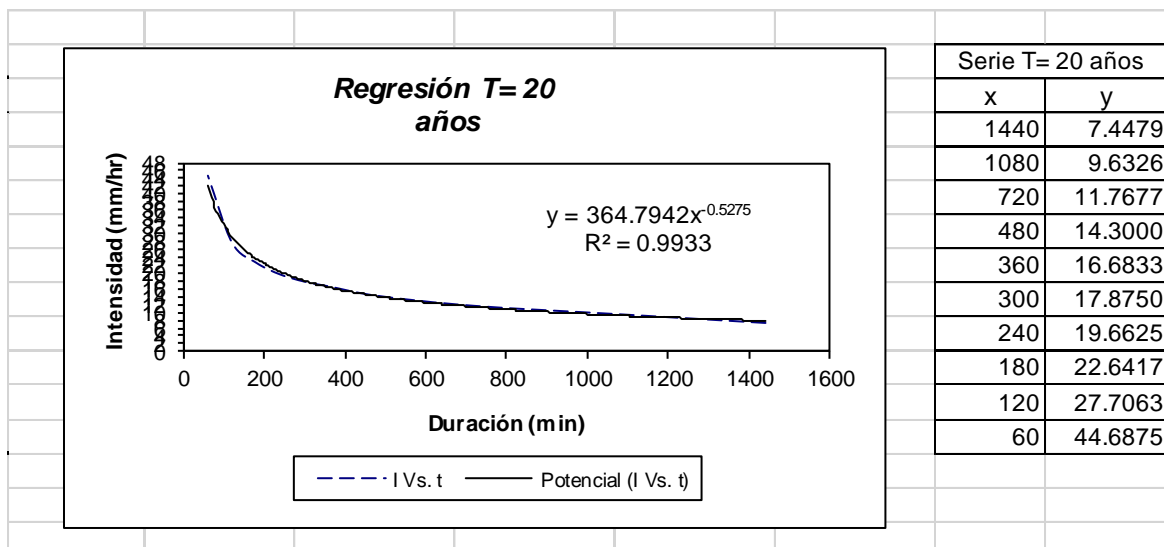
Periodo de retorno para T = 20 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	7.4479	7.2724	2.0079	14.6025	52.8878
2	1080	9.6326	6.9847	2.2652	15.8215	48.7863
3	720	11.7677	6.5793	2.4654	16.2202	43.2865
4	480	14.3000	6.1738	2.6603	16.4239	38.1156
5	360	16.6833	5.8861	2.8144	16.5659	34.6462
6	300	17.8750	5.7038	2.8834	16.4463	32.5331
7	240	19.6625	5.4806	2.9787	16.3253	30.0374
8	180	22.6417	5.1930	3.1198	16.2009	26.9668
9	120	27.7063	4.7875	3.3217	15.9024	22.9201
10	60	44.6875	4.0943	3.7997	15.5573	16.7637
10	4980	192.4045	58.1555	28.3164	160.0661	346.9435
Ln (A) =	5.8993	A =	364.7942	B =	-0.5275	

Fuente: Elaboración propia

Para Tiempo de retorno 20 años:

Tabla 29

Curvas IDF, correspondientes a un periodo de retorno de 20 años.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 30

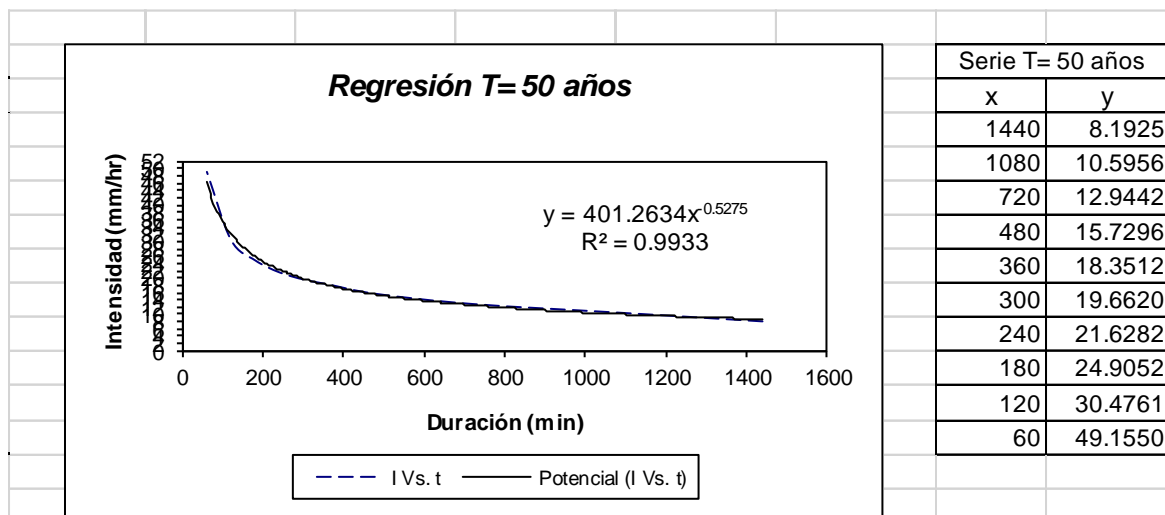
Cálculo de parámetros de ajuste, para un periodo de retorno de 50 años.

Periodo de retorno para $T = 50$ años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	8.1925	7.2724	2.1032	15.2954	52.8878
2	1080	10.5956	6.9847	2.3604	16.4870	48.7863
3	720	12.9442	6.5793	2.5606	16.8471	43.2865
4	480	15.7296	6.1738	2.7555	17.0121	38.1156
5	360	18.3512	5.8861	2.9097	17.1268	34.6462
6	300	19.6620	5.7038	2.9787	16.9898	32.5331
7	240	21.6282	5.4806	3.0740	16.8475	30.0374
8	180	24.9052	5.1930	3.2151	16.6958	26.9668
9	120	30.4761	4.7875	3.4169	16.3586	22.9201
10	60	49.1550	4.0943	3.8950	15.9474	16.7637
10	4980	211.6396	58.1555	29.2692	165.6075	346.9435
$Ln(A) =$	5.9946	$A =$	401.2634	$B =$	-0.5275	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31

Curvas IDF, correspondientes a un periodo de retorno de 50 años.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 32*Resumen de aplicación de regresión potencial*

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Período de retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. De regresión ©
2	212.99904901111	-0.5274990151
5	278.21988500858	-0.5274990151
10	339.42698833027	-0.5274990151
20	364.79421695549	-0.5274990151
50	401.26343461700	-0.5274990151
75	439.96439349798	-0.5274990151
100	456.61534108576	-0.5274990151
500	549.45861718215	-0.5274990151
Promedio =	380.34274069979	-0.5274990151

Fuente: Elaboración propia

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

$$d = a * T^b$$

Tabla 33*Regresión potencial*

Regresión potencial							
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²	
1	2	212.9990	0.6931	5.3613	3.7162	0.4805	
2	5	278.2199	1.6094	5.6284	9.0586	2.5903	
3	10	339.4270	2.3026	5.8273	13.4178	5.3019	
4	20	364.7942	2.9957	5.8993	17.6728	8.9744	
5	50	401.2634	3.9120	5.9946	23.4511	15.3039	
6	75	439.9644	4.3175	6.0867	26.2792	18.6407	
7	100	456.6153	4.6052	6.1238	28.2013	21.2076	
8	500	549.4586	6.2146	6.3089	39.2075	38.6214	
8	762	3042.7419	26.6502	47.2304	161.0045	111.1206	
	$Ln (A) =$	6.9040	$A =$	$10^{2.999}$	$B =$	0.1040	
				997.7001			
	Termino constante de regresión (a) = $10^{2.999}$						
	Coef. de regresión (b) = 0.104000						

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se tiene la ecuación de intensidad válida para la cuenca:

$$i \max = \frac{10^{2.999} x T^{0.104}}{(t)^{0.750}}$$

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)

T = Periodo de Retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Siendo los resultados:

Imáx = 196.61 mm/h, Para periodo de retorno igual a 50 años.

Imáx = 178.75 mm/h, Para periodo de retorno igual a 20 años.

Imáx = 166.32 mm/h, Para periodo de retorno igual a 10 años.

Como se verifica que la **Idiseño = 51.38 mm**, es menor a la **Imáx = 196.62 mm/h**, por tanto, se trabajará con esta última.

3.4. Diseño hidráulico de las estructuras de drenaje**3.4.1. Diseño hidráulico de las alcantarillas**

Cuando las cuencas son pequeñas (microcuencas), se considera apropiado el método de la fórmula racional para la determinación de los caudales máximos.

3.4.1.1. Cálculo de los caudales por el método racional

Se puede calcular empleando la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6} \dots(34)$$

Donde:

Q= caudal, en m³/s. (para cuencas pequeñas)

C= Coeficiente de escorrentía, que se pueden estimar mediante el análisis de datos de relaciones escorrentía/precipitación obtenidas en cuencas de características similares a la de estudio. (Ver Tablas N° 15 y 16)

I = Intensidad de la precipitación pluvial máxima, previsible, correspondiente a una duración igual al tiempo de concentración y a un periodo de retorno dado, en mm/h

A= Superficie de la cuenca, en km²

Tabla 4*Valores para determinar el Coeficiente de escorrentía*

Condición	Valores			
1. Relieve del terreno	K1=40 Muy accidentado pendiente superior al 30%	K1=30 Accidentado pendiente entre 10% y 30%	K1=20 Ondulado pendiente entre 5% y 10%	K1=10 Liano pendiente inferior al 5%
2. Permeabilidad del suelo	K2=20 Muy impermeable Roca sana	K2=15 Bastante impermeable arcilla	K2=10 Permeable	K2=5 Muy Permeable
3. Vegetación	K3=20 Sin vegetación	K3=15 Poca menos del 10% de la superficie	K3=10 Bastante hasta el 50% de la superficie	K3=5 Mucha hasta el 90% de la superficie
4. Capacidad de retención	K4=20 Ninguna	K4=15 Poca	K4=10 Bastante	K4=5 Mucha

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. 2008. MTC

Tabla 5*Coeficientes de escorrentía*

K= K1+K2+K3+K4	C
100	0.80
75	0.65
50	0.50
30	0.35
25	0.20

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. 2008. MTC

Para determinar el Coeficiente de escorrentía “C”, se consideró las características de la cuenca, observadas durante la visita de campo, teniéndose que los siguientes resultados en los aspectos de:

K1	= <u>Relieve del terreno.</u> - Accidentado Pendiente entre 10% y 30%	⇒	30
K2	= <u>Permeabilidad del terreno.</u> - Permeable	⇒	10
K3	= <u>Vegetación.</u> - Mucha Hasta el 90% de la superficie	⇒	05
K4	= <u>Capacidad de retención.</u> - Mucha	⇒	05

Por lo tanto $K = K1 + K2 + K3 + K4$

K= 30+10+5+5



K=50

Entonces, revisando la Tabla 16, se tiene que el Coeficiente de escorrentía “C”, para K= 50, viene a ser $C= 0.50$

Tabla 36

Cálculo del Caudal máximo para cada alcantarilla, empleando el método Racional

ALC. Nº	PROGRESIVA EXPEDIENTE TECNICO	COEFIC. DE ESCORRENTÍA	DE INTENSIDAD DE DISEÑO (mm/h).	AREA DRENADA (Km2)	CAUDAL m3/s.
1	0+293.90	0.5	196.62	0.0249	0.68
2	0+840.60	0.5	196.62	0.4147	11.32
3	1+626.30	0.5	196.62	0.2208	6.03
4	2+054.40	0.5	196.62	0.1788	4.88
5	2+174.50	0.5	196.62	0.1061	2.90
6	4+260.00	0.5	196.62	0.0291	0.79
7	4+940.00	0.5	196.62	0.1306	3.57
8	5+170.00	0.5	196.62	0.1041	2.84
9	6+400.00	0.5	196.62	0.0838	2.29
10	6+540.00	0.5	196.62	0.0736	2.01
11	6+756.00	0.5	196.62	0.1285	3.51
12	6+980.80	0.5	196.62	0.0878	2.40
13	7+080.00	0.5	196.62	0.1239	3.38
14	7+140.00	0.5	196.62	0.1103	3.01
15	7+420.00	0.5	196.62	0.0896	2.45
16	7+500.00	0.5	196.62	0.0283	0.77
17	7+572.00	0.5	196.62	0.0388	1.06
18	7+720.00	0.5	196.62	0.4081	11.14
19	7+850.00	0.5	196.62	0.1567	4.28
20	8+502.10	0.5	196.62	0.0663	1.81
21	8+964.40	0.5	196.62	0.0141	0.39
22	9+056.70	0.5	196.62	0.0146	0.40
23	9+085.90	0.5	196.62	0.7684	20.98
24	9+205.40	0.5	196.62	0.1423	3.89
25	9+561.10	0.5	196.62	0.0825	2.25
26	9+823.80	0.5	196.62	0.0777	2.12
27	10+280.70	0.5	196.62	0.1268	3.46
28	10+550.90	0.5	196.62	0.2375	6.49
29	11+120.00	0.5	196.62	0.0957	2.61
30	12+703.10	0.5	196.62	0.105	2.87
31	12+846.60	0.5	196.62	0.0479	1.31
32	12+909.20	0.5	196.62	0.0109	0.30
33	13+015.40	0.5	196.62	0.1022	2.79
34	13+172.90	0.5	196.62	0.3097	8.46

35	13+860.90	0.5	196.62	0.0242	0.66
36	13+951.90	0.5	196.62	0.0429	1.17
37	14+064.90	0.5	196.62	0.0107	0.29
38	14+127.50	0.5	196.62	0.3662	10.00
39	14+294.80	0.5	196.62	0.0987	2.70
40	14+535.30	0.5	196.62	0.1281	3.50
41	14+698.00	0.5	196.62	0.2527	6.90
42	15+351.30	0.5	196.62	0.0613	1.67
43	15+505.80	0.5	196.62	1.0535	28.77
44	15+684.20	0.5	196.62	0.0576	1.57
45	15+760.00	0.5	196.62	0.0208	0.57
46	15+874.60	0.5	196.62	0.1269	3.47
47	15+964.90	0.5	196.62	0.2175	5.94
48	16+138.90	0.5	196.62	0.0462	1.26
49	16+221.90	0.5	196.62	0.0269	0.73
50	16+287.80	0.5	196.62	0.1676	4.58
51	17+124.90	0.5	196.62	0.0984	2.69
52	17+445.50	0.5	196.62	0.0225	0.61
53	17+492.50	0.5	196.62	0.0037	0.10
54	17+544.40	0.5	196.62	0.0148	0.40
55	18+084.10	0.5	196.62	1.663	45.41
56	18+333.20	0.5	196.62	0.2684	7.33
57	19+245.60	0.5	196.62	0.0204	0.56
58	19+301.90	0.5	196.62	0.0588	1.61
59	19+398.10	0.5	196.62	0.1357	3.71
60	19+613.90	0.5	196.62	0.8298	22.66
61	20+200.00	0.5	196.62	0.0542	1.48
62	20+730.80	0.5	196.62	0.0387	1.06
63	21+031.70	0.5	196.62	0.0435	1.19
64	21+368.80	0.5	196.62	0.2287	6.25
65	21+456.20	0.5	196.62	0.1713	4.68
66	21+755.50	0.5	196.62	0.124	3.39
67	22+007.90	0.5	196.62	0.1277	3.49
68	22+277.60	0.5	196.62	1.8927	51.69
69	22+711.00	0.5	196.62	0.1218	3.33
70	23+120.00	0.5	196.62	0.0543	1.48
71	24+661.90	0.5	196.62	0.3259	8.90
72	25+136.00	0.5	196.62	0.1993	5.44
73	25+458.80	0.5	196.62	0.5354	14.62
74	26+025.60	0.5	196.62	1.1779	32.17
75	26+388.10	0.5	196.62	0.122	3.33
76	26+423.00	0.5	196.62	1.0185	27.81
77	26+612.00	0.5	196.62	0.1453	3.97
78	27+090.90	0.5	196.62	0.4275	11.67

Fuente: Elaboración propia

Para cada progresiva, se proyectarán alcantarilla de Tuberías De Sección Circular, siempre que los diámetros sean comerciales. Para los casos donde la sección no permita el uso de diámetros comerciales, se proyectarán alcantarillas Tipo Marco de Concreto Armado, ese análisis se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 37

Cálculo del diámetro de las alcantarillas, y su equivalencia en perfiles comerciales.

CUENCA	ALC. N°	Progresiva (Expediente Técnico)	Caudal a tomar	Ø	Ø	Ø
			para diseño (m3/s)	calculado (m)	calculado (plg)	comercial (plg)
C-01	1	0+293.90	0.68	0.69	27.13	36 "
C-02	2	0+840.60	11.32	-	-	-
C-02	3	1+626.30	6.03	1.56	61.50	72 "
C-02	4	2+054.40	4.88	1.44	56.82	60 "
C-02	5	2+174.50	2.90	1.19	46.72	48 "
C-04	6	4+260.00	0.79	0.73	28.76	36 "
C-04	7	4+940.00	3.57	1.28	50.50	60 "
C-04	8	5+170.00	2.84	1.18	46.39	48 "
C-05	9	6+400.00	2.29	1.09	42.76	48 "
C-05	10	6+540.00	2.01	1.03	40.73	48 "
C-05	11	6+756.00	3.51	1.28	50.20	60 "
C-05	12	6+980.80	2.40	1.11	43.52	48 "
C-05	13	7+080.00	3.38	1.26	49.52	60 "
C-05	14	7+140.00	3.01	1.20	47.40	48 "
C-05	15	7+420.00	2.45	1.11	43.85	48 "
C-05	16	7+500.00	0.77	0.72	28.46	36 "
C-05	17	7+572.00	1.06	0.81	32.04	36 "
C-05	18	7+720.00	11.14	-	-	-
C-05	19	7+850.00	4.28	1.37	54.08	60 "
C-06	20	8+502.10	1.81	0.99	39.17	48 "
C-07	21	8+964.40	0.39	0.56	21.92	36 "
C-07	22	9+056.70	0.40	0.56	22.21	36 "
C-07	23	9+085.90	20.98	-	-	-
C-07	24	9+205.40	3.89	1.32	52.16	60 "
C-07	25	9+561.10	2.25	1.08	42.51	48 "
C-07	26	9+823.80	2.12	1.06	41.57	48 "
C-07	27	10+280.70	3.46	1.27	49.95	60 "
C-07	28	10+550.90	6.49	1.61	63.20	72 "
C-08	29	11+120.00	2.61	1.14	44.95	48 "
C-09	30	12+703.10	2.87	1.18	46.54	48 "
C-09	31	12+846.60	1.31	0.88	34.67	36 "

C-09	32	12+909.20	0.30	0.51	19.90	36	"
C-09	33	13+015.40	2.79	1.17	46.07	48	"
C-09	34	13+172.90	8.46	1.77	69.82	72	"
C-09	35	13+860.90	0.66	0.68	26.84	36	"
C-09	36	13+951.90	1.17	0.84	33.27	36	"
C-09	37	14+064.90	0.29	0.50	19.76	36	"
C-09	38	14+127.50	10.00	-	-	-	"
C-09	39	14+294.80	2.70	1.15	45.47	48	"
C-09	40	14+535.30	3.50	1.27	50.14	60	"
C-09	41	14+698.00	6.90	1.64	64.69	72	"
C-09	42	15+351.30	1.67	0.97	38.03	40	"
C-09	43	15+505.80	28.77	-	-	-	"
C-09	44	15+684.20	1.57	0.94	37.15	40	"
C-09	45	15+760.00	0.57	0.64	25.36	36	"
C-09	46	15+874.60	3.47	1.27	49.96	60	"
C-09	47	15+964.90	5.94	1.55	61.15	72	"
C-09	48	16+138.90	1.26	0.87	34.21	36	"
C-09	49	16+221.90	0.73	0.71	27.93	36	"
C-09	50	16+287.80	4.58	1.41	55.46	60	"
C-10	51	17+124.90	2.69	1.15	45.42	48	"
C-10	52	17+445.50	0.61	0.66	26.12	36	"
C-10	53	17+492.50	0.10	0.34	13.27	36	"
C-10	54	17+544.40	0.40	0.57	22.32	36	"
C-11	55	18+084.10	45.41	-	-	-	"
C-11	56	18+333.20	7.33	1.68	66.17	72	"
C-11	57	19+245.60	0.56	0.64	25.17	36	"
C-11	58	19+301.90	1.61	0.95	37.44	48	"
C-11	59	19+398.10	3.71	1.30	51.24	60	"
C-11	60	19+613.90	22.66	-	-	-	"
C-11	61	20+200.00	1.48	0.92	36.32	48	"
C-12	62	20+730.80	1.06	0.81	32.01	36	"
C-13	63	21+031.70	1.19	0.85	33.44	36	"
C-13	64	21+368.80	6.25	1.58	62.31	72	"
C-13	65	21+456.20	4.68	1.42	55.91	60	"
C-13	66	21+755.50	3.39	1.26	49.53	60	"
C-13	67	22+007.90	3.49	1.27	50.08	60	"
C-13	68	22+277.60	51.69	-	-	-	"
C-13	69	22+711.00	3.33	1.25	49.20	60	"
C-13	70	23+120.00	1.48	0.92	36.34	48	"
C-14	71	24+661.90	8.90	1.81	71.16	72	"
C-14	72	25+136.00	5.44	1.50	59.18	60	"
C-14	73	25+458.80	14.62	-	-	-	"
C-14	74	26+025.60	32.17	-	-	-	"
C-14	75	26+388.10	3.33	1.25	49.23	60	"
C-14	76	26+423.00	27.81	-	-	-	"
C-14	77	26+612.00	3.97	1.34	52.57	60	"
C-14	78	27+090.90	11.67	-	-	-	"

Cuadro 38*Resumen de las dimensiones de las alcantarillas*

CUENCA	ALC. N°	Progresiva (Expediente Técnico)	Obra de arte	Caudal a tomar para diseño (m3/s)	Ø comercial (plg) BxH (m)
C-01	1	0+293.90	Alcantar. TMC	0.68	36 "
C-02	2	0+840.60	Alcantar. MCA	11.32	2.00x1.50
C-02	3	1+626.30	Alcantar. TMC	6.03	72 "
C-02	4	2+054.40	Alcantar. TMC	4.88	60 "
C-02	5	2+174.50	Alcantar. TMC	2.90	48 "
C-04	6	4+260.00	Alcantar. TMC	0.79	36 "
C-04	7	4+940.00	Alcantar. TMC	3.57	60 "
C-04	8	5+170.00	Alcantar. TMC	2.84	48 "
C-05	9	6+400.00	Alcantar. TMC	2.29	48 "
C-05	10	6+540.00	Alcantar. TMC	2.01	48 "
C-05	11	6+756.00	Alcantar. TMC	3.51	60 "
C-05	12	6+980.80	Alcantar. TMC	2.40	48 "
C-05	13	7+080.00	Alcantar. TMC	3.38	60 "
C-05	14	7+140.00	Alcantar. TMC	3.01	48 "
C-05	15	7+420.00	Alcantar. TMC	2.45	48 "
C-05	16	7+500.00	Alcantar. TMC	0.77	36 "
C-05	17	7+572.00	Alcantar. TMC	1.06	36 "
C-05	18	7+720.00	Alcantar. MCA	11.14	2.00x1.50
C-05	19	7+850.00	Alcantar. TMC	4.28	60 "
C-06	20	8+502.10	Alcantar. TMC	1.81	48 "
C-07	21	8+964.40	Alcantar. TMC	0.39	36 "
C-07	22	9+056.70	Alcantar. TMC	0.40	36 "
C-07	23	9+085.90	Alcantar. MCA	20.98	2.50x2.00
C-07	24	9+205.40	Alcantar. TMC	3.89	60 "
C-07	25	9+561.10	Alcantar. TMC	2.25	48 "
C-07	26	9+823.80	Alcantar. TMC	2.12	48 "
C-07	27	10+280.70	Alcantar. TMC	3.46	60 "
C-07	28	10+550.90	Alcantar. TMC	6.49	72 "
C-08	29	11+120.00	Alcantar. TMC	2.61	48 "
C-09	30	12+703.10	Alcantar. TMC	2.87	48 "
C-09	31	12+846.60	Alcantar. TMC	1.31	36 "
C-09	32	12+909.20	Alcantar. TMC	0.30	36 "
C-09	33	13+015.40	Alcantar. TMC	2.79	48 "
C-09	34	13+172.90	Alcantar. TMC	8.46	72 "
C-09	35	13+860.90	Alcantar. TMC	0.66	36 "
C-09	36	13+951.90	Alcantar. TMC	1.17	36 "
C-09	37	14+064.90	Alcantar. TMC	0.29	36 "
C-09	38	14+127.50	Alcantar. MCA	10.00	2.00x1.50
C-09	39	14+294.80	Alcantar. TMC	2.70	48 "
C-09	40	14+535.30	Alcantar. TMC	3.50	60 "

C-09	41	14+698.00	Alcantar. TMC	6.90	72 "
C-09	42	15+351.30	Alcantar. TMC	1.67	48 "
C-09	43	15+505.80	Alcantar. MCA	28.77	3.00x2.00
C-09	44	15+684.20	Alcantar. TMC	1.57	48 "
C-09	45	15+760.00	Alcantar. TMC	0.57	36 "
C-09	46	15+874.60	Alcantar. TMC	3.47	60 "
C-09	47	15+964.90	Alcantar. TMC	5.94	72 "
C-09	48	16+138.90	Alcantar. TMC	1.26	36 "
C-09	49	16+221.90	Alcantar. TMC	0.73	36 "
C-09	50	16+287.80	Alcantar. TMC	4.58	60 "
C-10	51	17+124.90	Alcantar. TMC	2.69	48 "
C-10	52	17+445.50	Alcantar. TMC	0.61	36 "
C-10	53	17+492.50	Alcantar. TMC	0.10	36 "
C-10	54	17+544.40	Alcantar. TMC	0.40	36 "
C-11	55	18+084.10	Alcantar. MCA	45.41	3.50x2.50
C-11	56	18+333.20	Alcantar. TMC	7.33	72 "
C-11	57	19+245.60	Alcantar. TMC	0.56	36 "
C-11	58	19+301.90	Alcantar. TMC	1.61	48 "
C-11	59	19+398.10	Alcantar. TMC	3.71	60 "
C-11	60	19+613.90	Alcantar. MCA	22.66	2.50x2.00
C-11	61	20+200.00	Alcantar. TMC	1.48	48 "
C-12	62	20+730.80	Alcantar. TMC	1.06	36 "
C-13	63	21+031.70	Alcantar. TMC	1.19	36 "
C-13	64	21+368.80	Alcantar. TMC	6.25	72 "
C-13	65	21+456.20	Alcantar. TMC	4.68	60 "
C-13	66	21+755.50	Alcantar. TMC	3.39	60 "
C-13	67	22+007.90	Alcantar. TMC	3.49	60 "
C-13	68	22+277.60	Alcantar. MCA	51.69	3.50x2.50
C-13	69	22+711.00	Alcantar. TMC	3.33	60 "
C-13	70	23+120.00	Alcantar. TMC	1.48	48 "
C-14	71	24+661.90	Alcantar. TMC	8.90	72 "
C-14	72	25+136.00	Alcantar. TMC	5.44	60 "
C-14	73	25+458.80	Alcantar. MCA	14.62	2.25x1.50
C-14	74	26+025.60	Alcantar. MCA	32.17	3.00x2.00
C-14	75	26+388.10	Alcantar. TMC	3.33	60 "
C-14	76	26+423.00	Alcantar. MCA	27.81	3.00x2.00
C-14	77	26+612.00	Alcantar. TMC	3.97	60 "
C-14	78	27+090.90	Alcantar. MCA	11.67	2.00x1.50

Fuente: Elaboración propia

Con las dimensiones obtenidas, se cumple con dejar pasar el agua entre las alcantarillas, e inclusive se deja un borde libre en caso de presentarse un caudal mayor al calculado.

3.4.2. Diseño hidráulico de las cunetas

3.4.2.1. Sección geométrica típica de la cuneta

En el “Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito - MTC”, se recomienda que las cunetas tendrán en general sección triangular y se proyectarán para todos los tramos al pie de los taludes de corte.

Sus dimensiones serán fijadas de acuerdo a las condiciones pluviométricas, siendo las dimensiones mínimas aquellas indicadas en la Tabla 17.

Tabla 39

Dimensiones mínimas de las cunetas

Región	Profundidad (m)	Ancho (m)
Seca	0.20	0.5
Lluviosa	0.30	0.75
Muy lluviosa	0.50	1.00

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. 2008. MTC

El ancho es medido desde el borde de la subrasante hasta la vertical que pasa por el vértice inferior. La profundidad es medida verticalmente desde el nivel del borde de la subrasante el fondo o vértice de la cuneta.

Para la presente Tesis, como está ubicada en Tocache, que pertenece a la Selva, una región muy lluviosa, se toma las siguientes características:

Profundidad = 0.50 m

Ancho = 1.00 m

3.4.2.2. Taludes en la cuneta

Como se indica en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC, la inclinación del talud interior de la cuneta (V/H) (1:Z1) dependerá, por condiciones de seguridad, de la velocidad y volumen de diseño de la carretera, Índice Medio Diario Anual IMDA (veh/día); según lo indicado en la Tabla 40:

Tabla 40

Inclinaciones máximas del talud (V:H) interior de la cuneta

V.D. (km/h)	I.M.D.A (VEH. /DIA)	
	< 750	>750
<70	1.02	(*)
	1:03	
>70	1:03	1:04

(*) Sólo en casos muy especiales

Fuente: Manual de Diseño geométrico DG-2001.

Del diseño vial de la carretera Metal- San Marcos, de tiene los siguientes datos:

Pendiente máxima: 12%

Velocidad directriz: 25 a 30 Km/h

IMD < 400 veh/día

Por lo tanto, según la tabla 18, se toma el valor de 1:02 como inclinación máxima de talud interno. De esta forma tenemos:

Talud interno de $Z=2$

Talud externo de $Z=0.5$

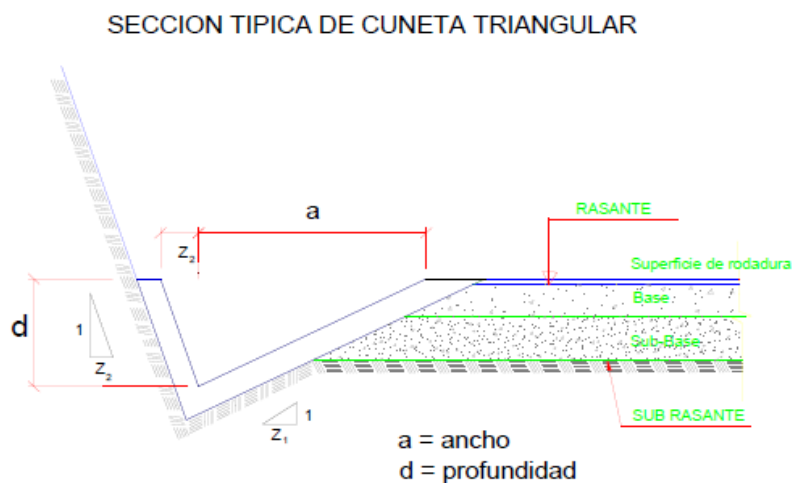


Figura 23: Sección típica de cuneta triangular (Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje - 2008 MTC)

3.4.2.3. Pendiente longitudinal de la cuneta

Las cunetas siguen la pendiente de la carretera, presentando pendientes variables, siendo en promedio 4%.

3.4.2.4. Revestimiento de la cuneta

En el Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. 2008. MTC, se recomienda que: cuando el suelo es deleznable (arenas, limos, arenas limosas, arena limo arcillosos, suelos francos, arcillas, etc.) y la pendiente de la cuneta es igual o mayor de 4%, ésta deberá revestirse con piedra y lechada de cemento, u otro revestimiento adecuado

En la presente tesis se ha considerado revestimiento de concreto simple.

3.4.2.5. Desague de la cuneta

En el “Manual práctico de Mejoramiento de Caminos Vecinales y Construcción de pequeños puentes (25 m.)” del Ing. Eduardo García Trisolini, se recomienda que el desague de las cunetas se realizará mediante alcantarillas de alivio, ubicadas cada 250 m. como máximo (4 por Km.). En suelos erosionables los tramos entre alcantarillas serán menores.

3.4.2.6. Cálculo de caudal de diseño de la cuneta

El cálculo del caudal de diseño para la cuneta, se hallará empleando el Método Racional (Ec. 34), para lo cual se necesitan los valores de Coeficiente de escorrentía, Intensidad máxima y Superficie a drenar.

Coeficiente de escorrentía: Ya se calculó para el diseño de alcantarillas, obteniéndose $C=0.50$.

Intensidad máxima: En la tabla 39, se establece que para “drenaje en plataforma” se debe considerar un Periodo de retorno (Tr) de 10 años, para este Tr se halló una $I_{máx}$ de 166.32 mm/h, en la tabla 40.

El procedimiento para el cálculo del caudal de diseño de las cunetas es el siguiente:

Considerando que el Caudal de aporte está constituido por el Caudal de calzada y Caudal de colector, se tiene que:

$$\mathbf{Q \text{ aporte} = Q \text{ calzada} + Q \text{ colector}}$$

Para

Q calzada:

Como se considerará una alcantarilla de alivio cada 250.0 m porque el terreno tiene pendiente alta, y el área de influencia de la calzada que recoge las aguas de las precipitaciones es 2.75 m, tenemos:

Cálculo de área de influencia:

$$A_i = L * A = 250.00 \text{ m} * 2.75 \text{ m}$$

$$A_i = 687.50 \text{ m}^2 \sim 0.06875 \text{ Ha}$$

$$Q \text{ calzada} = CIA/3.6 = 0.50 * 166.32 * 0.06875 = 0.016 \text{ m}^3/\text{s}$$

Q colector:

Es el caudal que no es recogido por obra de drenaje alguna e ingresa a las cunetas provenientes de los escurrimientos superficiales laterales. Si consideramos 2.50 Ha (250m*100m), como la superficie no aportante que escurrirá directamente a las cunetas tendremos:

$$Q \text{ colector} = 2.50 \times 166.32 \times 0.50/360 = 0.578 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Luego:

$$Q \text{ cuneta} = 0.016 + 0.578 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\mathbf{Q \text{ aporte} = 0.59 \text{ m}^3/\text{s}}$$

3.4.2.7. Cálculo de sección de la cuneta

A continuación, se realiza el cálculo para de la sección típica propuesta para las cunetas.

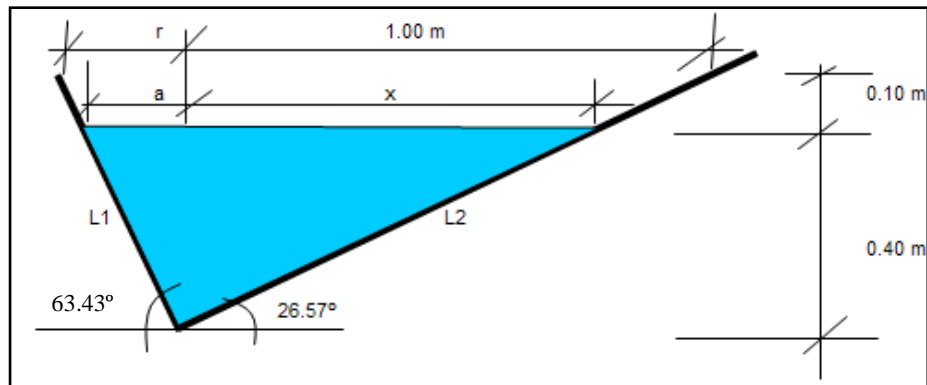


Figura 24: Sección de cuneta típica (Fuente: Elaboración propia)

Si asumimos valores teniendo en cuenta la Figura N° 23:

$$\text{Tirante (Ymax.)} = 0.40 \text{ m}$$

$$\text{Borde libre (Bl)} = 0.10 \text{ m}$$

$$\text{Tg } 63.43^\circ = 0.40/a \quad \Rightarrow \quad a = 0.40/\text{tg}(63.43^\circ) = 0.20 \text{ m}$$

$$\text{Tg } 26.57^\circ = 0.40/x \quad \Rightarrow \quad x = 0.40/\text{tg}(26.57^\circ) = 0.80 \text{ m}$$

$$r = 0.20 \times 0.50 / 0.40 = 0.25 \text{ m.}$$

Tenemos que:

$$\text{Ah} = \text{Área Hidráulica} = (a+x) \cdot 0.40 / 2$$

$$\text{Ph} = \text{Perímetro Mojado} = L1 + L2$$

$$\text{Rh} = \text{Radio Hidráulico} = \text{Ah} / \text{Ph}$$

$$L1 = (a^2 + 0.4^2)^{0.5} = 0.45 \text{ m}$$

$$L2 = (x^2 + 0.4^2)^{0.5} = 0.89 \text{ m}$$

Luego:

$$Ph = 1.34 \text{ m}$$

$$Ah = 0.20 \text{ m}^2$$

$$Rh = 0.15 \text{ m}$$

Aplicando la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{A * R^{0.667} * S^{0.5}}{n}$$

$n = 0.016$ (Coeficiente de Rugosidad de Manning para C°)

$S = 4\%$, en promedio

Reemplazando los valores tenemos:

$$Q = \frac{0.20 * 0.15^{0.667} * 0.04^{0.5}}{0.016} = 0.71 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Deberá verificarse que el caudal obtenido mediante la ecuación de Manning, es mayor que el caudal de aporte.

$Q_{\text{Manning}} > Q_{\text{aporte}}$

$0.71 \text{ m}^3/\text{s} > 0.59 \text{ m}^3/\text{s} \dots \dots \dots \text{OK.}$

3.4.3. Diseño hidráulico de las cunetas de coronación

3.4.3.1. Ubicación de las cunetas de coronación

Las cunetas de coronación se ubicarán en zonas donde se prevea que el talud de corte está expuesto a efecto erosivo del agua de escorrentía a consecuencia de las precipitaciones.

3.4.3.2. Revestimiento de las cunetas de coronación

La sección de la cuneta de coronación será trapezoidal, y estará revestida con mampostería de piedra con la finalidad de tener un valor alto de la rugosidad y de esta manera bajar el valor de la velocidad media del flujo de agua en la cuneta, minimizando así, el riesgo de erosión.

3.4.3.3. Cálculo de sección de las cunetas de coronación

Considerando una sección trapezoidal, y empleando la fórmula de Manning, teniendo en cuenta el mismo caudal que se calculó para el diseño de Cunetas, a continuación se realiza el cálculo para la sección típica propuesta para las cunetas de coronación: Figura 1.- Sección típica de Cuneta de Coronación

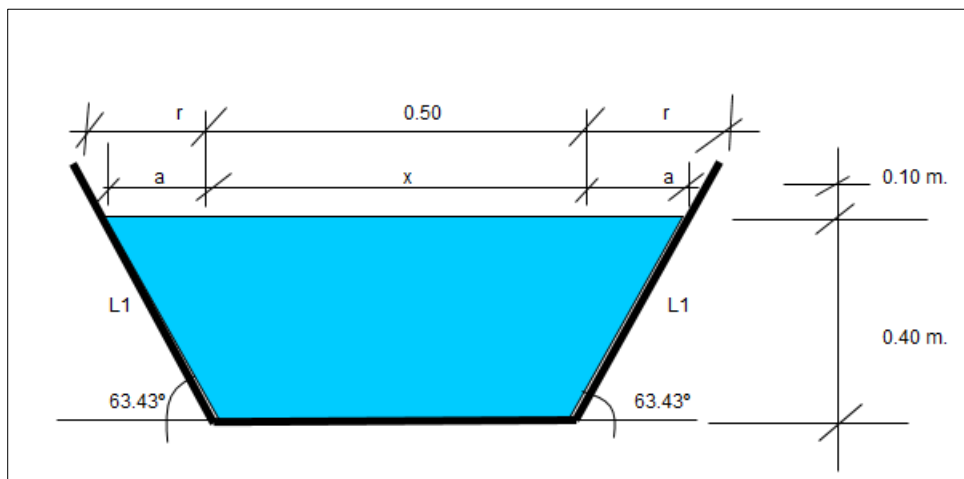


Figura 25: Sección típica de cuneta de coronación (Fuente: Elaboración propia)

Si asumimos valores teniendo en cuenta la sección típica propuesta, tenemos:

$$\text{Tirante (Ymax.)} = 0.40 \text{ m}$$

$$\text{Borde libre (Bl)} = 0.10 \text{ m}$$

$$\text{Tg } 63.43^\circ = 0.40/a \implies a = 0.40/\text{tg}(63.43^\circ) = 0.20 \text{ m}$$

$$\text{Tg } 63.43^\circ = 0.50/r \implies r = 0.50/\text{tg}(63.43^\circ) = 0.25 \text{ m}$$

Tenemos que:

$$\text{Ah} = \text{Área Hidráulica} = (a+0.50)*0.40$$

$$Ph = \text{Perímetro Mojado} = 2L1 + 0.50$$

$$Rh = \text{Radio Hidráulico} = Ah/Ph$$

$$L1 = (a^2 + 0.4^2)^{0.5} = 0.45 \text{ m}$$

Luego:

$$Ph = 1.40 \text{ m}$$

$$Ah = 0.28 \text{ m}^2$$

$$Rh = 0.20 \text{ m}$$

Aplicando la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{A * R^{0.667} * S^{0.5}}{n}$$

$n = 0.025$ (Mampostería de piedra)

$S = 4\%$, en promedio

Reemplazando los valores tenemos:

$$Q = \frac{0.28 * 0.20^{0.667} * 0.04^{0.5}}{0.025} = 0.77 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Deberá verificarse que el caudal obtenido mediante la ecuación de Manning, es mayor que el caudal de aporte.

$Q_{\text{Manning}} > Q_{\text{aporte}}$

$0.77 \text{ m}^3/\text{s} > 0.59 \text{ m}^3/\text{s} \dots \dots \dots \text{OK.}$

3.4.4. Diseño hidráulico de las alcantarillas de alivio

3.4.4.1. Ubicación de las alcantarillas de alivio

Las alcantarillas de alivio permitirán la evacuación de las aguas provenientes de las cunetas laterales, según el “Manual práctico de Mejoramiento de Caminos Vecinales y Construcción de pequeños puentes (25 m.)” se recomienda proyectar 4 alcantarillas de alivio por Km, es decir una cada 250 m.

En la **Tabla 18**, se establece que para “alcantarilla de alivio” se debe considerar un Periodo de retorno (Tr) de 20 años, para este Tr se halló una Imáx de 178.75 mm/h, en el Cuadro 10.

Para esto es necesario contar con el caudal que se va evacuar a través de estas obras, entonces el punto de partida es el caudal que ingresa a la alcantarilla proveniente de las cunetas, que es igual a 0.59 m³/s (Imáx = 178.75 mm/h, para Tr=20 años).

Datos de entrada:

$$Q = 0.59 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b = 0.60 \text{ m}$$

$$s = 0.02$$

$$n = 0.016$$

Es necesario saber la altura de agua para esto se aplicará la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{A * R^{0.667} * S^{0.5}}{n}$$

$$Y_{\text{max.}} = 0.395 \text{ m.}$$

También es necesario conocer el borde libre (B.L.) que se considera igual a 1/3 del tirante máximo;

$$\text{B.L.} = 1/3 Y_{\text{màx.}} = 1/3 (0.395 \text{ m}) = 0.132 \text{ m}$$

Altura total de la alcantarilla:

$$Y_{\text{max.}} + \text{B.L} = 0.40 + 0.13 = 0.53 \text{ m}$$

Se asume una sección para la alcantarilla de alivio de 0.60 X 0.60 m².

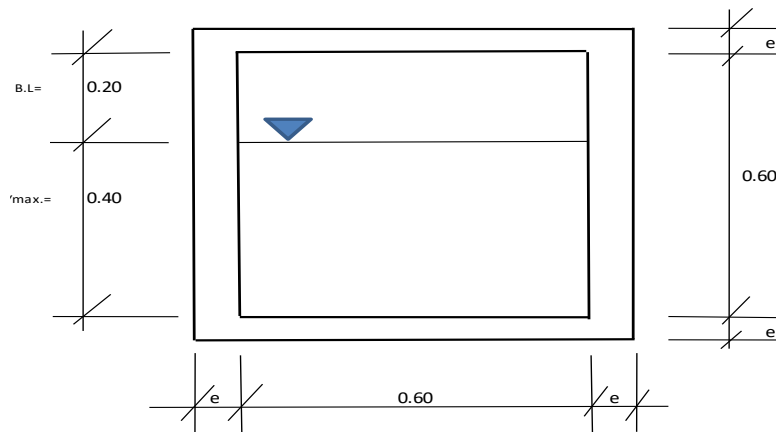


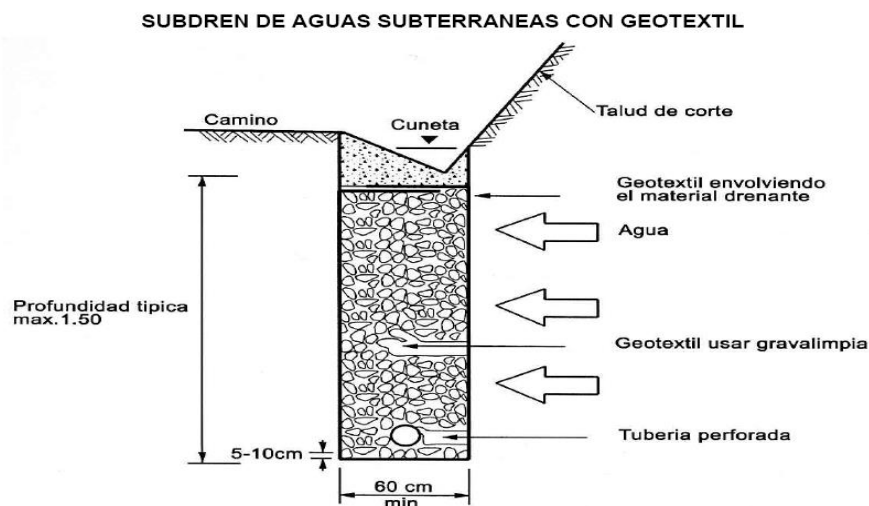
Figura 26: Sección típica de alcantarilla de alivio (Fuente: Elaboración propia)

3.4.5. Diseño hidráulico de sub drenes

3.4.5.1. Diseño hidráulico de sub drenes

Los subdrenes que se construirán se proyectarán en tramos que se encuentran en depresiones de la vía y son húmedas producto del mal drenaje de los mismos y del flujo de aguas subterráneas que con el paso constante de las personas y acémilas se han vuelto casi intransitables. Es necesario que se baje los niveles de estas aguas por debajo del material de fundación de la vía para que ésta pueda tener un buen funcionamiento.

El tipo de subdren que está reglamentado, estará constituido por una zanja de 1.50m de profundidad y 0.60m de ancho, en la que se colocará un tubo perforado de 6" de diámetro, con relleno de material filtro (grava o gravilla). Tanto el material filtro y tubería estarán cubiertos con Geotextil, según se detalla a continuación:



CAPÍTULO IV

DISCURSIÓN

4.1.- Resultado de los valores de Intensidad máxima calculada

El valor de la intensidad máxima de precipitación, es un valor en función de dos parámetros determinantes, los cuales son el Periodo de retorno (T), y el tiempo de concentración (Tc). Este último, depende de varios factores tanto morfológicos, tipo de suelo y cubierta vegetal que presenta el territorio sobre el cual se emplaza la vía, que corresponde a zona de selva alta o ceja de selva.

Para este último se uniformizó el valor para todas las sub cuencas, por tratarse de cuencas pequeñas, tomando el tiempo de 15 de minutos.

De esta manera se calculó un Valor de Intensidad máxima de precipitación para los Periodos de retorno de 10, 20 y 50 años, tomando los valores resultantes como parámetro de diseño para cada tipo de Obra de drenaje a diseñada.

Tabla 41

Intensidad máxima para diferentes Periodos de Retorno

Tr (años)	Tr (min)	I máx (mm/h)
50	15.00	196.62
20	15.00	178.75
10	15.00	166.32

Fuente: Elaboración propia

4.2.- Resultado del Diseño Hidráulico de las alcantarillas

La ubicación de las alcantarillas, se ha realizado teniendo en consideración la red hidrográfica del área en la cual se emplaza el eje de la vía en estudio, la cual figura en los planos de planta y perfil longitudinal de diseño. Por otro lado, e emplazamiento de las alcantarillas se proyectó siguiendo la alineación en planta y pendiente del cauce natural.

Para el cálculo de los caudales se aplicó el método racional, siendo éste el ideal en el caso de cuencas pequeñas, son tres los parámetros a definir:

Intensidad máxima. - Se tomó la Intensidad Máxima de 196.62 mm/h, correspondiente a un periodo de retorno de 50 años, por tratarse de éste tipo de obras hidráulicas.

Coefficiente de escorrentía. - Depende de las características físicas de la cuenca en estudio, tales como: relieve del terreno, permeabilidad del suelo, vegetación y capacidad de retención.

Superficie de las microcuencas. - Han sido calculadas luego de la delimitación en el Plano de la Carta Nacional (curvas de nivel) del IGN.

Una vez obtenidos los caudales, se aplicó la Fórmula de Manning para hallar las secciones de alcantarilla, con el cual se diseñó las alcantarillas TMC buscando los diámetros comerciales, que fluctúan entre las 24" y 80", y en los casos donde las secciones resultaron de grandes dimensiones se optó por diseñar alcantarillas TIPO MCA.

Tabla 2

Secciones de las alcantarillas proyectadas

CUENCA	ALC. Nº	Progresiva (Expediente Técnico)	Obra de arte	Caudal a tomar para diseño (m ³ /s)	Ø comercial (plg) BxH (m)
C-01	1	0+293.90	Alcantar. TMC	0.68	36 "
C-02	2	0+840.60	Alcantar. MCA	11.32	2.00x1.50
C-02	3	1+626.30	Alcantar. TMC	6.03	72 "
C-02	4	2+054.40	Alcantar. TMC	4.88	60 "
C-02	5	2+174.50	Alcantar. TMC	2.90	48 "
C-04	6	4+260.00	Alcantar. TMC	0.79	36 "
C-04	7	4+940.00	Alcantar. TMC	3.57	60 "
C-04	8	5+170.00	Alcantar. TMC	2.84	48 "
C-05	9	6+400.00	Alcantar. TMC	2.29	48 "
C-05	10	6+540.00	Alcantar. TMC	2.01	48 "
C-05	11	6+756.00	Alcantar. TMC	3.51	60 "
C-05	12	6+980.80	Alcantar. TMC	2.40	48 "
C-05	13	7+080.00	Alcantar. TMC	3.38	60 "
C-05	14	7+140.00	Alcantar. TMC	3.01	48 "
C-05	15	7+420.00	Alcantar. TMC	2.45	48 "
C-05	16	7+500.00	Alcantar. TMC	0.77	36 "
C-05	17	7+572.00	Alcantar. TMC	1.06	36 "
C-05	18	7+720.00	Alcantar. MCA	11.14	2.00x1.50
C-05	19	7+850.00	Alcantar. TMC	4.28	60 "
C-06	20	8+502.10	Alcantar. TMC	1.81	48 "
C-07	21	8+964.40	Alcantar. TMC	0.39	36 "
C-07	22	9+056.70	Alcantar. TMC	0.40	36 "
C-07	23	9+085.90	Alcantar. MCA	20.98	2.50x2.00

C-07	24	9+205.40	Alcantar. TMC	3.89	60 "
C-07	25	9+561.10	Alcantar. TMC	2.25	48 "
C-07	26	9+823.80	Alcantar. TMC	2.12	48 "
C-07	27	10+280.70	Alcantar. TMC	3.46	60 "
C-07	28	10+550.90	Alcantar. TMC	6.49	72 "
C-08	29	11+120.00	Alcantar. TMC	2.61	48 "
C-09	30	12+703.10	Alcantar. TMC	2.87	48 "
C-09	31	12+846.60	Alcantar. TMC	1.31	36 "
C-09	32	12+909.20	Alcantar. TMC	0.30	36 "
C-09	33	13+015.40	Alcantar. TMC	2.79	48 "
C-09	34	13+172.90	Alcantar. TMC	8.46	72 "
C-09	35	13+860.90	Alcantar. TMC	0.66	36 "
C-09	36	13+951.90	Alcantar. TMC	1.17	36 "
C-09	37	14+064.90	Alcantar. TMC	0.29	36 "
C-09	38	14+127.50	Alcantar. MCA	10.00	2.00x1.50
C-09	39	14+294.80	Alcantar. TMC	2.70	48 "
C-09	40	14+535.30	Alcantar. TMC	3.50	60 "
C-09	41	14+698.00	Alcantar. TMC	6.90	72 "
C-09	42	15+351.30	Alcantar. TMC	1.67	40 "
C-09	43	15+505.80	Alcantar. MCA	28.77	3.00x2.00
C-09	44	15+684.20	Alcantar. TMC	1.57	40 "
C-09	45	15+760.00	Alcantar. TMC	0.57	36 "
C-09	46	15+874.60	Alcantar. TMC	3.47	60 "
C-09	47	15+964.90	Alcantar. TMC	5.94	72 "
C-09	48	16+138.90	Alcantar. TMC	1.26	36 "
C-09	49	16+221.90	Alcantar. TMC	0.73	36 "
C-09	50	16+287.80	Alcantar. TMC	4.58	60 "
C-10	51	17+124.90	Alcantar. TMC	2.69	48 "
C-10	52	17+445.50	Alcantar. TMC	0.61	36 "
C-10	53	17+492.50	Alcantar. TMC	0.10	36 "
C-10	54	17+544.40	Alcantar. TMC	0.40	36 "
C-11	55	18+084.10	Alcantar. MCA	45.41	3.50x2.50
C-11	56	18+333.20	Alcantar. TMC	7.33	72 "
C-11	57	19+245.60	Alcantar. TMC	0.56	36 "
C-11	58	19+301.90	Alcantar. TMC	1.61	48 "
C-11	59	19+398.10	Alcantar. TMC	3.71	60 "
C-11	60	19+613.90	Alcantar. MCA	22.66	2.50x2.00
C-11	61	20+200.00	Alcantar. TMC	1.48	48 "
C-12	62	20+730.80	Alcantar. TMC	1.06	36 "
C-13	63	21+031.70	Alcantar. TMC	1.19	36 "
C-13	64	21+368.80	Alcantar. TMC	6.25	72 "
C-13	65	21+456.20	Alcantar. TMC	4.68	60 "
C-13	66	21+755.50	Alcantar. TMC	3.39	60 "
C-13	67	22+007.90	Alcantar. TMC	3.49	60 "
C-13	68	22+277.60	Alcantar. MCA	51.69	3.50x2.50
C-13	69	22+711.00	Alcantar. TMC	3.33	60 "
C-13	70	23+120.00	Alcantar. TMC	1.48	48 "

C-14	71	24+661.90	Alcantar. TMC	8.90	72 "
C-14	72	25+136.00	Alcantar. TMC	5.44	60 "
C-14	73	25+458.80	Alcantar. MCA	14.62	2.25x1.50
C-14	74	26+025.60	Alcantar. MCA	32.17	3.00x2.00
C-14	75	26+388.10	Alcantar. TMC	3.33	60 "
C-14	76	26+423.00	Alcantar. MCA	27.81	3.00x2.00
C-14	77	26+612.00	Alcantar. TMC	3.97	60 "
C-14	78	27+090.90	Alcantar. MCA	11.67	2.00x1.50

Fuente: Elaboración propia

4.3.- Resultado del dimensionamiento Hidráulico de las cunetas

La ubicación de las cunetas se determinó de acuerdo a la topografía que sigue el eje de la vía proyectándose para todos los tramos al pie de los taludes de corte.

Para el diseño hidráulico de las cunetas, se tomó la Intensidad Máxima de 166.32 mm/h, correspondiente a un periodo de retorno de 10 años, por tratarse de éste tipo de obras hidráulicas y recomendaciones hechas por el MTC.

Así se obtuvo las siguientes secciones para cada una.

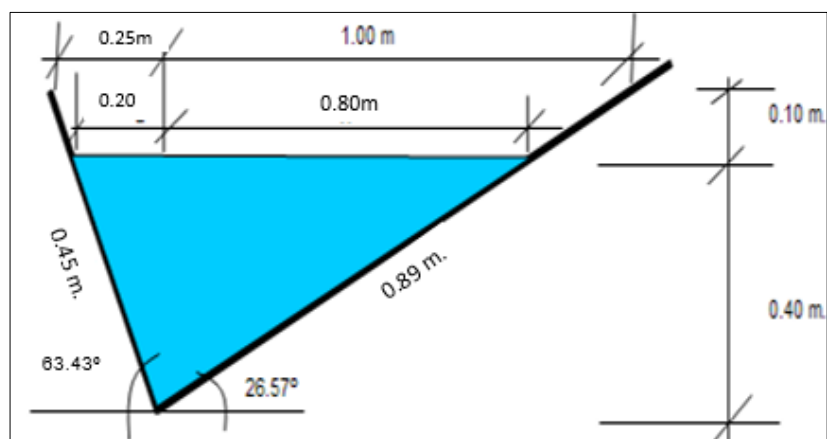


Figura 27: Sección típica de la cuneta diseñada (Fuente: Elaboración propia)

4.4.- Resultado del Diseño Hidráulico de las cunetas de coronación

Con las mismas consideraciones tomadas en el caso de las cunetas, se obtuvo la siguiente sección típica.

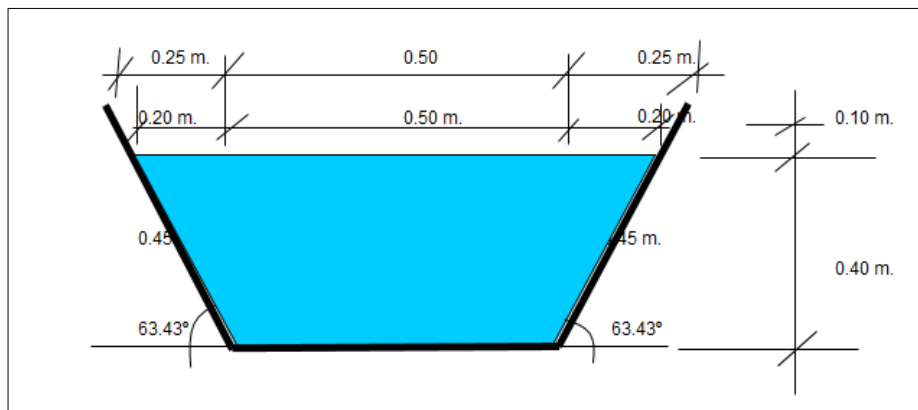


Figura 28: Sección típica de la cuneta de coronación proyectada (Fuente: Elaboración propia)

4.5.- Resultado del Diseño Hidráulico de las alcantarillas de alivio

Se consideró alcantarillas de alivio cada 250 m., siguiendo la recomendación del “Manual práctico de Mejoramiento de Caminos Vecinales y Construcción de pequeños puentes (25 m.)” se recomienda proyectar 4 alcantarillas de alivio por Km, es decir una

Para el dimensionamiento hidráulico de las “alcantarillas de alivio”, se tomó la Intensidad Máxima de 178.75 mm/h, correspondiente a un periodo de retorno de 20 años, por tratarse de éste tipo de obras hidráulicas y recomendaciones hechas por el MTC.

Se tomó como punto de partida el caudal que ingresa a la alcantarilla proveniente de las cunetas, que es igual a 0.645 m³/s, ya que justamente el objetivo de estas estructuras es permitir la evacuación de las aguas provenientes de las cunetas laterales.

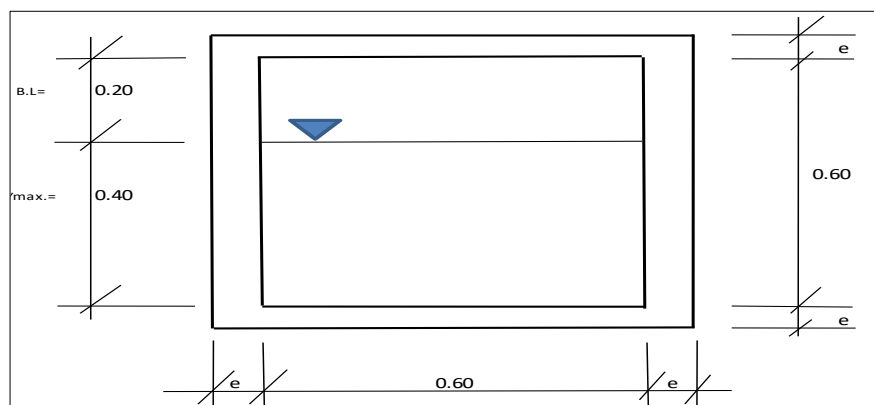


Figura 29: Sección típica de alcantarilla de alivio proyectada (Fuente: Elaboración propia)

CONCLUSIÓN

Para la elaboración del presente trabajo de investigación denominado “Estudio Hidrológico e Hidráulico para el Diseño del Sistema de drenaje de la Carretera Departamental SM-110 Metal – Marcos, Distrito Shunte, Provincia Tocache – San Martín”, se ha recopilado, evaluado y procesado información pluviométrica, topográfica, cartográfica e hidrológica.

Se han delimitado todas las microcuencas de los cursos de agua que atraviesa la vía, habiéndose identificado un total de 78 microcuencas., a las cuales se les ha calculado sus parámetros hidrofisiográficos.

Se ha calculado los parámetros hidrofisiográficos de cada una de las microcuencas con la finalidad de poder determinar el caudal de diseño para cada obra de arte de drenaje.

La metodología aplicada al cálculo de caudales máximos ha sido el Método Racional empleando valores de intensidades máximas para un periodo de retorno de 50 años para alcantarillas de paso, 20 años para alcantarillas de alivio y 10 años para el drenaje longitudinal (cunetas).

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Tocache, emplear los resultados de la presente tesis con la finalidad de poder elaborar el Expediente Técnico del proyecto de Inversión Pública necesario para la implementar y/o ejecutar la obra, la cual permitirá solucionar el problema que actualmente genera la ausencia de un sistema de drenaje en la Carretera Departamental SM-110 Metal – Marcos, lo cual contribuirá a mejorar la transitabilidad vehicular mejorando el servicio de carga y pasajeros, disminuyendo costos de transporte, evacuando oportunamente la producción agropecuaria a los mercados de consumo, mejorando la economía de los pobladores y por ende elevando su calidad de vida.

A fin de garantizar la vida útil de las obras de drenaje a construirse y con la finalidad de asegurar sus sostenibilidades, es necesario implementar un plan trabajos de conservación de las obras, así como, trabajos de reforestación de las franjas marginales de la vía.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aparicio, F. (1992), *“Fundamentos de Hidrología de Superficie”*, D.F.-México, Editorial Limusa S.A.
- Breña, A., Jacobo M. (2006), *“Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial”*, D.F.-México.
- Chávez, A. (2010). Tesis *“Diseño del drenaje pluvial de la localidad de Pilluana, provincia de Picota, Región de San Martín”*, Tarapoto – Perú.
- Chereque, W. (2003), *“Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil”*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima -Perú.
- Fattorelli S., Fernández P. (2011). *“Diseño hidrológico”*, Segunda Edición en español, Edición digital, Biblioteca Virtual Water Assessment & Advisory Global Network, Zaragoza – España.
- García, E. (2009), *“Manual práctico de Mejoramiento de Caminos Vecinales y Construcción de pequeños puentes (25 m.)*, Lima-Perú, Fondo Perú-Alemania
- García, H. (2003). Informe de Ingeniería *“Sistema de drenaje de Carretera Vecinal Capirona-Soledad Tramo I: Km. 0+000 – Km. 6+240”*, Tarapoto – Perú.
- MTC (2008), *“Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”*, Lima-Perú
- MTC (2008), *“Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje”*, Lima-Perú
- Velázquez, O. (2001). Informe de Ingeniería *“Consideraciones técnicas utilizadas en el diseño y construcción de drenes sub-superficiales en la Carretera Marginal Tarapoto-Rioja (Tramo Km 16+000 al 22+000)”*, Tarapoto – Perú.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1: Instrumentos

- Levantamiento topográfico
- Información cartográfica
- Información pluviométrica

Anexo 2: Validación de los instrumentos

Validación de los instrumentos

- Información Meteorológica donada por el SENAMHI (Precipitación Total mensual y Precipitación Máxima en 24 Horas en mm – ESTACION TANANTA).

INFORMACIÓN DEL SENAMHI SAN MARTÍN :
ESTACIÓN TANANTA



* AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO*

ESTACIÓN: CP TANANTA

LATITUD: 08° 06' 54.86" S
LONGITUD: 76° 34' 49.77" W
ALTITUD: 480 msnm

DPTO.: San Martín
PROV.: Tocache
DIST.: Polvora

PARÁMETRO: Precipitación Acumulado (mm)

Periodo 2002 - 2016

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 2002	204.5	342.1	192.9	169.7	130.8	1.7	143.6	34.1	186.2	249.5	305.8	301.2
2 2003	270.6	234.1	316.7	136.5	120.8	152.5	106.7	64.9	217.3	149.2	329.7	295.2
3 2004	194.2	284.4	121.0	107.4	80.3	95.5	141.1	94.8	78.7	S/D	S/D	363.4
4 2005	169.4	269.0	218.1	144.2	30.9	280.1	31.8	24.7	73.2	255.7	181.9	285.0
5 2006	328.7	233.1	185.7	126.4	102.0	174.0	54.7	61.1	245.8	189.6	479.4	482.2
6 2007	124.3	175.8	294.2	142.7	197.8	64.9	70.6	129.4	20.8	245.3	251.0	311.2
7 2008	379.2	368.2	341.6	176.6	133.9	113.4	55.1	81.4	204.2	311.2	266.8	269.9
8 2009	309.0	465.7	310.6	213.4	188.5	67.9	46.4	53.8	91.1	136.8	175.9	207.6
9 2010	220.2	453.5	270.5	249.1	371.4	63.2	224.5	48.1	106.2	273.8	256.2	161.3
10 2011	363.0	978.0	186.1	113.9	306.6	151.5	128.4	37.8	45.8	228.2	141.5	418.5
11 2012	271.1	430.4	115.6	146.8	71.9	31.8	63.7	60.3	175.8	231.2	198.3	190.4
12 2013	201.1	331.1	210.2	280.8	123.6	74.7	61.9	161.8	141.9	202.7	331.1	143.3
13 2014	240.3	278.6	304.6	104.6	203.5	92.1	90.5	65.6	173.4	282.6	328.9	198.6
14 2015	288.4	165.1	263.0	144.4	139.1	97.6	78.9	123.3	76.4	137.3	184.1	222.4
15 2016	337.0	190.0	226.4	184.0	153.6	61.8	37.7	104.5	125.7	370.9	173.8	325.0

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

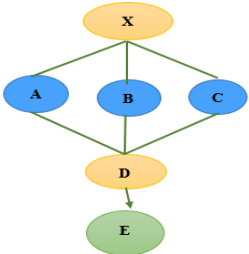
TESIS

" ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LA CARRETERA DEPARTAMENTAL SM-110 METAL MARCOS , DISTRITO DE SHUNTE , PROVINCIA DE TOCACHE - SAN MARTIN".

HUÁNUCO, 10 DE AGOSTO DEL 2017.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Matriz de consistencia

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿Con la elaboración del estudio Hidrológico e Hidráulico, será factible diseñar el sistema de drenaje de la carretera Metal – Marcos, en el Distrito Shunte, Provincia Tocache – San Martín?	Realizar el Estudio Hidrológico e Hidráulico para el diseño del sistema de drenaje de la carretera Metal – Marcos ubicada en el Distrito de Shunte, Provincia Tocache, en la región San Martín	Con la elaboración del estudio Hidrológico e Hidráulico, será factible diseñar el sistema de drenaje de la carretera Metal – Marcos, en el Distrito Shunte, Provincia Tocache – San Martín.	<u>Variable Independiente:</u> Estudio Hidrológico e Hidráulico <u>Variable Dependiente:</u> Elaboración del sistema de drenaje pluvial	 <p>X: Situación problemática A: Estudio topográfico y cartográfico B: Estudio hidrológico e Hidráulico C: Dimensionamiento de las estructuras de drenaje D: Contrastación de alternativas que respaldarán la toma de decisiones para definir el mejor sistema de solución. Y: Resultado de la investigación que conlleva a la validación de la hipótesis enunciada: Diseño hidráulico del sistema de drenaje de la carretera Metal - Marcos.</p>	<u>Fuentes Técnicas:</u> Levantamiento topográfico <u>Análisis de contenido documental:</u> Información cartográfica ; Información pluviométrica <u>Fuentes Informantes</u> Municipalidad Provincial de Tocache ; SENAMHI SAN MARTÍN; PEHCBM; Instituto Geográfico Nacional	<u>Población.-</u> Red vial regional. <u>Muestra.-</u> Carretera Metal – Marcos de 27.446 Km de longitud.