

**CAPÍTULO I**  
**ANTECEDENTES**

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1. Introducción

El enfoque ambiental del drenaje urbano se preocupa del mantenimiento y recuperación de ambientes saludables interna y externamente del área urbana, al contrario, de solo procurar sanear el interior de la ciudad, según preceptos simplemente sanitarios.

Una buena concepción y gestión del drenaje pluvial surge en este contexto como una necesidad colectiva e indispensable para el funcionamiento de las aglomeraciones urbanas.

El desarrollo urbano se ha acelerado en la segunda mitad del siglo XX con gran concentración de población en pequeños espacios, estudios han demostrado que el 80% de la población mundial está ubicada en área urbana, impactando el ecosistema terrestre y acuático y a la propia población a través de inundaciones, enfermedades y pérdida de calidad de vida, agravado por las implicaciones del cambio climático en los regímenes de los sistemas hidrogeológicos. En el casco central de la ciudad de Tarija viene siendo objeto de un gran crecimiento y expansión urbana con las siguientes implicaciones:

- Disminución de la infiltración del agua lluvia en forma natural debido al incremento de las zonas impermeables.
- Aumento de los valores máximos de caudal y disminución de los tiempos de recurrencia en los que estos eventos presentan.
- Aumento de volúmenes de escorrentía superficial
- Insuficiencia hidráulica en las estructuras de drenaje, vías, quebradas, ríos y redes de alcantarillados.

Todas estas implicaciones se evidencian en el incremento de la frecuencia de las inundaciones y de puntos críticos asociados a esta problemática en los últimos años.

Las inundaciones tienen efectos considerables en las personas y la ciudad, afectando el sistema vial, las redes de alcantarillado, los bienes patrimoniales y en general el espacio público en cualquiera de sus dimensiones. El impacto de estas inundaciones depende de los factores físicos y sociales y es la combinación de este tipo de factores lo que le otorga dimensión a esta problemática.

Actualmente en Bolivia, se ha podido observar que varias de las ciudades se han visto afectadas por la deficiencia del drenaje urbano ocasionando graves daños en su entorno, como lo es obstrucción de las calles.

Este tipo de estudios se lo realizó en Venezuela en la ciudad de Valera, porque los drenajes existentes se encontraban en etapa de colapso, es decir, cada vez que ocurría una caída de lluvia media los drenajes y las obras hidráulicas se obstruían ocasionando problemas en la ciudad.

Para alcanzar soluciones eficientes y sustentables a los problemas ligados a los drenajes urbanos es necesario actuar sobre las causas y no sobre las consecuencias, abarcando todas las relaciones entre los diversos aspectos involucrados.

En el presente trabajo se realizará una evaluación del drenaje urbano necesario, con el fin de diagnosticar el estado en el cual se encuentran en la actualidad.

## **1.2. Justificación**

El drenaje del casco central de la ciudad de Tarija, necesita una evaluación al drenaje existente, procediendo a realizar un mantenimiento general. El cambio climático, el continuo crecimiento de la ciudad ha hecho que las áreas permeables se vean disminuidas y los volúmenes de escorrentía vayan aumentando lo que ocasiona daños a personas, viviendas e interrupción del tránsito vehicular.

La falta de conservación, limpieza y planificación, se ha convertido en un problema que se evidencia en la época de lluvias, la presencia de basura, sedimentación, y desbordamiento de las aguas señalan que es necesario disponer de un estudio integral que reúna toda la información técnica, hidráulica e hidrológica que permita establecer

las obras y los controles para programas de mantenimiento y construcción de obras, con la finalidad de solucionar los problemas ocasionados por la escorrentía superficial.

Este Estudio será de gran aporte, de diagnosticar el estado en el cual se encuentra el drenaje urbano existente y dar una posible solución al problema del drenaje.

Así mismo se pretende mejorar la capacidad de los sistemas de drenaje urbano para evacuar las aguas de lluvia y evitar problemas en la estructura de la plataforma vial.

### **1.3. Planteamiento del problema**

#### **1.3.1. Situación problemática**

La presencia de fenómenos climáticos que afectan a las diferentes poblaciones, puede ocasionar la gran acumulación de agua en las calles y carreteras de distintos sitios, este problema ocasiona gran dificultad del paso vehicular y peatonal. Esto se produce por causa de varios factores.

Actualmente en Bolivia, se ha podido observar que varias de las ciudades más importantes se han visto afectadas por las inundaciones ocasionando graves daños en su entorno, como es la obstrucción de sus calles, por las últimas caídas de lluvias extraordinarias la ciudad de Tarija presenta este grave problema, en esta ciudad es muy notable el problema que existe con el drenaje, debido a que no se realiza un buen mantenimiento y con la caída de las lluvias, sus calles quedan obstruidas por el desbordamiento de las aguas.

En el casco central de la ciudad de Tarija presenta una deficiencia en la capacidad de los sistemas de drenaje urbano para evacuar las aguas de lluvia, lo cual origina un represamiento prolongado de dichas aguas en la avenida Víctor Paz Estensoro y plazuela Sucre de la ciudad, afectando el flujo normal tanto de vehículos como de personas.

Se conjetura que las causas más principales son el deficiente funcionamiento del drenaje urbano.

En vista de las consideraciones antes mencionadas, en este estudio se propone la evaluación del drenaje urbano aplicado al casco central de la ciudad de Tarija.

### **1.3.2. Problema del estudio**

¿Cuáles son las causas de la deficiente capacidad de funcionamiento del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija?

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar el drenaje urbano aplicado al casco central de la ciudad de Tarija mediante un análisis técnico, hidráulico e hidrológico, para mejorar el funcionamiento del drenaje en épocas de lluvias.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Diagnosticar el drenaje urbano del casco central de la ciudad de Tarija para hacer notar el estado en el que se encuentran actualmente.
- Realizar cálculos de la red de drenaje necesario.
- Analizar los resultados obtenidos en el presente estudio.
- Planteamiento de la red de colectores necesario para evacuar las aguas superficiales en el casco central de la ciudad de Tarija en base a los resultados obtenidos.
- Evaluar la capacidad hidráulica de las cunetas en los lugares críticos.
- Evaluar el estado del pavimento asfáltico en los lugares críticos de acumulación de agua.

## **1.5. Alcance del estudio de aplicación**

El estudio se enfocará en identificar las causas de la deficiencia en la capacidad de los sistemas de drenaje urbano para evacuar las aguas de lluvia, mediante un diagnóstico de inspección visual en el área en estudio que abarca entre las calles Campero y Santa Cruz- calle Cochabamba y av. Las Américas.

También se realizará un estudio hidrológico e hidráulico, estimando la intensidad de lluvia, estimación y distribución del flujo superficial en el área de estudio, para poder

estimar la capacidad de funcionamiento de los elementos de captación. Estos estudios se los realizara estrictamente de la Norma Boliviana NB 688 “Diseño de sistemas de alcantarillado pluvial” y “Diseño de construcción de alcantarillados sanitario pluvial y drenaje en carreteras, para los estudios hidrológicos e hidráulicos.

Se darán propuestas para mejorar el funcionamiento hidráulico del sistema de drenaje en el casco central de la ciudad de Tarija.

Se realizará una evaluación del pavimento asfáltico en los lugares críticos de acumulación de las aguas de lluvia.

**CAPÍTULO II**  
**FUNDAMENTO TEÓRICO**

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **2.1. Sistemas de drenaje pluvial urbano**

Un sistema de drenaje urbano es un conjunto de obras cuya finalidad es evacuar las aguas de lluvia que escurren superficialmente por las vías, hasta alcanzar niveles que no causen daños a personas y propiedades en el medio urbano, garantizando de esta manera el normal desenvolvimiento de las actividades rutinarias y permitiendo un apropiado tráfico de personas y vehículos.

Se diseña y construye para recibir, conducir y disponer las aguas de lluvia producto de la precipitación, puede caer en forma líquida, granizo o de nieve. (Rafael Pérez Carmona, Diseño y construcción de alcantarillado sanitario, pluvial y drenaje en carreteras).

#### **2.2. Importancia del drenaje en vías urbanas**

El drenaje en vías comprende; a.- Las obras necesarias para permitir el paso de las aguas cuyos cauces son interferidos por las carreteras: b.- Las obras requeridas para disponer y eliminar las aguas que caen sobre la vía misma; c.- las obras necesarias para drenar las aguas subterráneas, con el fin de proteger la estabilidad y el comportamiento de terraplenes y pavimentos.

La importancia que tiene un proyecto o estudio de drenaje integral, ejecutado conjuntamente con el proyecto de la vía, se comprende si se analizan los problemas que pueden presentarse cuando las obras de drenaje no se les dan la consideración debida. Por ejemplo, si las obras necesarias para permitir el paso de las aguas, tales como alcantarillas y cajones son excedidos en su capacidad, bien sea por gasto líquido o el arrastre sólido, se producirá un embalsamiento de las aguas que traerá como consecuencia el deterioro y la inestabilidad del terraplén, o que el agua sobrepase la vía interrumpiendo el tránsito y erosionando el terraplén aguas abajo, o que se dañen propiedades vecinas. Por otra parte, si en la calzada o en los laterales de la vía no existen las obras de drenaje adecuadas, se producirán retardos y accidentes en el tránsito, y se



erosionarán los taludes y áreas laterales de la vía. Es necesario, por último, disponer de un sistema de subdrenaje adecuado para evitar que se dañe tanto la base que soporta el pavimento como la fundación del terraplén.

En las carreteras y calles urbanas, el sistema de drenaje son obras que facilitan el manejo adecuado de los fluidos. Es preciso e indispensable considerar los procesos de captación, conducción, evacuación y disposición de los mismos. La falta de control del agua y fluidos en general, en la estructura de una carretera, deteriora las características geomecánicas, transferencia de carga, presiones de poro, presiones hidrostáticas, subpresiones de flujo, incrementando los cambios volumétricos.

Este tipo de obras tiene como objetivo conducir las aguas de escorrentía o flujo superficial a su disposición final. Es un soporte importante para el control de erosión de taludes, protección de la estructura del pavimento y seguridad de los usuarios. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño en vías,

Deben estudiarse tres problemas:

- 1.- La eliminación del agua superficial de la vía.
- 2.- El cruce de arroyos o de canales artificiales.
- 3.- Alejamiento y regulación del agua subterránea.

El agua superficial en una vía urbana crea peligros para el tránsito, los cuales se agravan en casos de heladas; causa la erosión, se infiltra en la subrasante dejando el pavimento y sus bancas sin sostén; lo anterior conlleva al aumento considerable de los gastos del mantenimiento y rehabilitación. (Rafael P. Carmona, Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras)

Es conveniente hacer notar las obras de drenaje representan un porcentaje considerable del costo total de una vía y que su mal funcionamiento implicará grandes sumas de dinero que habrá que gastar en reparaciones, conservación y mantenimiento.

**Figura 2.1** Captación de agua de lluvia mediante un sumidero



**Fuente:** Elaboración propia.

### **2.3. Daños en las vías urbanas por falta de drenaje**

La falta de drenaje en las vías y por las precipitaciones, hace que se produzca encharcamientos y desprendimiento de la capa de rodadura. Esta acción fomenta la saturación de las capas inferiores del pavimento, sea por percolación a través de la estructura o por la acción del nivel freático.

En las vías urbanas se presentan desgaste en la superficie de la capa de rodadura que tras transcurrir un lapso de tiempo se presentan grietas y hoyos que dificultan la libre circulación vehicular. Estos daños son provocados por la acumulación de agua en las calles por la deficiencia de drenaje urbano.

**Figura 2.2** Hoyos en la capa asfáltica



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 2.3** Grietas en la capa asfáltica



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 2.4** Encharcamiento iglesia Catedral



**Fuente:** Elaboración propia.

### **2.3.1. Deterioro de los pavimentos por humedad**

Generalmente obedecen a dos factores:

**Externos.** - El climático, principalmente la precipitación que provoca el desprendimiento de la capa de rodadura. Esta acción fomenta la saturación de las capas inferiores del pavimento, sea por percolación a través de la estructura o por elevación del nivel freático.

**Internos.** - Condiciones geométricas de la calzada, al igual que las propiedades de los materiales y rasgos regionales, pueden afectar el drenaje y el comportamiento de la estructura.

Se puede asegurar cuando el diseño es el adecuado, la construcción es óptima y los materiales utilizados son resistentes a la humedad, no se presentan daños en el pavimento, así este localizado en zonas húmedas. En todo caso para obtener una obra de buena calidad hay que prever las estructuras de drenaje superficial y subterráneo necesarias.

Algunos factores son: geometría de la calle, drenabilidad, permeabilidad, tipos de suelo, topografía, nivel freático y dispositivos de drenaje existentes (Rafael P. Carmona, Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras).

### **2.3.2. Fuentes de agua que afectan el pavimento**

El agua que afecta un pavimento tiene orígenes diversos. El agua de lluvia causa problemas de inseguridad a los usuarios de las calles urbanas, así como el desprendimiento de la película ligante en las mezclas asfálticas. A esta acción sobre la rasante, se añade la que se puede producir por infiltración a través de las grietas o áreas permeables del pavimento y las bermas.

Son fuentes de humedad perjudiciales a la estructura del pavimento, el nivel freático, filtraciones de los terrenos circundantes, el movimiento del agua desde el borde de la calzada como consecuencia de las diferencias de humedad, el movimiento y la condensación del vapor de agua existente en los vacíos de la subrasante a causa de gradientes térmicos y la acción de la capilaridad.

En el caso de subrasantes arcillosas, que se dilatan por el aumento de humedad y se retraen con su disminución, los bordes de las calles se elevan y descenden con respecto al eje, según la estación climática.

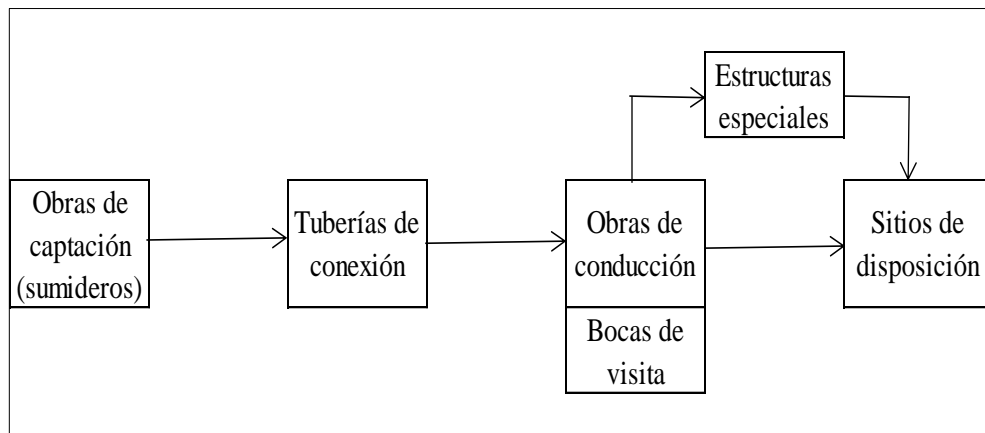
Se puede concluir que la humedad de los cimientos de los pavimentos, puede variar por causas muy diversas. En algunos casos, es posible controlar los cambios por los métodos

normales de drenaje, mientras que en otros es necesario acudir a procedimientos especiales. Lo ideal por supuesto es que no se produzcan variaciones de humedad durante la vida de la vía; como ello no es posible el ingeniero de diseño debe prever la construcción de las estructuras y el mantenimiento de las obras, que garanticen un adecuado manejo de las aguas, que puedan y afectar el comportamiento y vida útil del pavimento. (Rafael P. Carmona, Diseño y construcción de alcantarillado sanitario, pluvial y drenaje en carreteras)

#### 2.4. Composición y funcionamiento del sistema de drenaje pluvial

Todas las obras hidráulicas constan de una serie de componentes básicos, pudiendo desaparecer algunos de ellos según el tipo de obra. En los sistemas de drenaje se distinguen tres componentes básicos: obras de captación, obras de conducción y sitios de disposición, estos están representados en la **figura 2.5**.

**Figura 2.5** Componentes de un sistema de drenaje pluvial



**Fuente:** Elaboración propia.

Las obras de captación representadas en el primer bloque están constituidas por los sumideros, que se encargan de captar aguas del escurrimiento superficial y conducir las a los pozos o estructuras pluviales o combinados.

Las obras de conducción están constituidas por los colectores o tuberías principales y su función es la de recolectar, conducir y disponer el agua captada por los sumideros hasta los sitios de disposición.

El sitio de disposición representado en el último bloque está constituido por aquellos sitios convenientes para verter el agua conducida por los colectores. Generalmente estos sitios de disposición son cauces naturales tales como: cañadas, quebradas o ríos y en algunos casos lagos, lagunas o mares.

Existen además componentes complementarios para el funcionamiento de un sistema de drenaje (Componentes de un sistema de drenajes). Estas son las tuberías de conexión, canales, las bocas de visita y algunas estructuras especiales cuando son requeridas.

**Figura 2.6** Sitio de disposición final zona garcía agreda



**Fuente:** Imagen Google Earth.

Las tuberías de conexión se encargan de llevar el agua captada por los sumideros hacia los colectores y estas pueden estar directamente conectadas a los colectores o lo que es más habitual a las bocas de visita.

Las bocas de visita son las estructuras necesarias para dar acceso hacia los colectores con la finalidad de hacer trabajos de inspección y mantenimiento. Generalmente van colocadas en el inicio y en la unión de tramos consecutivos de colectores.

Las estructuras especiales de un sistema de drenaje se proyectan para diversos usos y propósitos. A través de ellas, por ejemplo, se realizan la unión de colectores, se hacen posibles los cambios de pendientes, de sección y alineamiento; cierto tipo de ellas son utilizadas para disipar energía.

Dentro de las estructuras especiales las más utilizadas se encuentran las confluencias o intersecciones, las transiciones, las caídas, los disipadores de energía y las alcantarillas.

El mecanismo de funcionamiento de un sistema de drenaje urbano empieza al momento de caer la lluvia sobre la ciudad, donde la suficiente impermeabilidad de la zona urbana hace que las aguas escurran rápidamente hacia las vías, las cuales hacen las veces de drenaje primario del escurrimiento superficial. Esta agua se acumula hasta alcanzar un nivel tal que se hace necesaria su captación por medio de sumideros, para luego ser llevadas por las tuberías de conexión a los colectores y estos últimos al sitio de disposición.

El nivel al cual se deben captar las aguas del escurrimiento superficial es fijado por el proyectista con el fin de prever un escurrimiento máximo sobre las vías, de manera de no causar daños a personas y propiedades; esto es lo que se conoce como “capacidad hidráulica máxima de las vías”.

Los sistemas de recolección y evacuación de las aguas pluviales deben proyectarse cuando las condiciones propias de drenaje de la localidad requieren una solución a la evacuación del escurrimiento pluvial. Dependiendo de las consideraciones topográficas, el tamaño de la población, las características de las vías, la estructura y el desarrollo urbano, entre otras, la evacuación de las aguas pluviales debe lograrse satisfactoriamente a través de las cunetas de las calles. Donde sea necesario, estos sistemas deben abarcar la totalidad de la población o solamente los sectores con problemas de inundación. (NB688, Norma de alcantarillado pluvial).

## **2.5. Elementos de un sistema de drenaje urbano**

La demanda o el requerimiento para evaluar el caudal de las aguas de lluvia se las realiza mediante distintos elementos de drenaje en forma aislada o combinada (sumideros, canales, cunetas, entre otros.) y por medio del escurrimiento libre por las calles y terrenos, sumándose a estos las infiltraciones en las áreas verdes y suelos.

La función de los drenajes superficiales de una carretera es la de proveer la facilidad necesaria para el paso del agua de un lado a otro de la vía, y para la remoción de las aguas que caen directamente encima de la plataforma y de otras áreas que desagüen en ellas. (Carciente J, Carreteras y proyectos).



## **2.5.1. Entrada a la red de drenaje**

### **2.5.1.1. Canales interceptores**

Los canales interceptores reciben agua por una sola de sus orillas o márgenes. El caso más común es el de una ladera que vierte sus aguas de escorrentía sobre un área plana adyacente; el canal interceptor, trazado a lo largo de la divisoria entre la vertiente inclinada y la zona plana, recibe las aguas de escorrentía y conserva el área plana libre de estos caudales. Para el diseño del canal interceptor el caudal se incrementa a lo largo del recorrido, de manera que las dimensiones del canal aumentan en la dirección hacia aguas abajo.

### **2.5.1.2. Canales recolectores**

Los canales recolectores reciben las aguas por sus dos márgenes; pueden ser corrientes naturales o canales artificiales. Los caudales de diseño y las capacidades de los canales se incrementan a lo largo del recorrido.

**Figura 2.7** Quebrada el Monte



**Fuente:** Elaboración propia.

### **2.5.1.3. Cunetas**

Las cunetas son estructuras hidráulicas importantes en un sistema de drenaje pluvial urbano, que se encargan de conducir las aguas superficiales hacia los sumideros. A continuación, se citan algunos conceptos de distintos autores.



Las cunetas son canales pequeños que se utilizan en combinación con los sumideros y las alcantarillas en los sistemas de drenaje en vías, aeropuertos, calles y patios. La localización de los sumideros limita las magnitudes de los caudales en las cunetas.

Las cunetas construidas a lado y lado de la vía, sirven para interceptar el agua superficial producto de la escorrentía sobre la misma y conduciéndolas hasta el sitio de disposición. (Rafael P. Carmona, Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras).

Las cunetas son zanjas, generalmente de sección triangular, construidas en el lado exterior del hombrillo y limitadas por un brocal. (Carciente J, Carreteras y proyectos).

La cuneta se define como el elemento longitudinal situado en el extremo de la calzada y que discurre paralelo a la misma, cuyas principales misiones son:

- Recibir y canalizar las aguas pluviales procedentes de la propia calzada y de la escorrentía superficial de los desmontes adyacentes.
- En determinados casos, recoger las aguas infiltradas en el firme y terreno adyacente.
- Servir como zona de almacenaje de nieve, caso de estar en zona fría.
- Ayudar a controlar el nivel freático del terreno.

**Figura 2.8** Cuneta conduciendo agua superficial



**Fuente:** Elaboración propia.

También es importante que la geometría de las cunetas no suponga un peligro añadido para los vehículos que eventualmente se salgan de la calzada. En este sentido, la instrucción recomienda adoptar taludes inferiores a 1/6, redondeando las aristas mediante acuerdos curvos de 10m de radio mínimo. Como económicamente este tipo de cunetas no es siempre justificable podrán emplearse otras más estrictas, aunque deberán estar separadas de la calzada mediante barreras de seguridad.

Las cunetas pueden construirse de diferentes materiales en función de la velocidad de circulación del agua en su seno, magnitud que depende directamente de la inclinación longitudinal de la cuneta, que se suele coincidir con la adoptada para la vía. Una velocidad superior a la tolerable por el material causaría arrastres y erosiones del mismo, reduciendo la funcionalidad de la cuneta. Si fuera necesario, esta puede revestirse con un material hidráulicamente más competente, generalmente hormigón, especialmente en las siguientes situaciones;

- En zonas de elevada pendiente, donde la velocidad de agua que circula por la gravedad es alta. En zonas húmedas y de lluvias suaves, se considera que una cuneta no se erosiona si su pendiente no supera el 4%. En lugares secos, con lluvias fuertes y esporádicas, este valor se reduce al 3%.
- Donde la velocidad del agua sea muy baja y se produzca sedimentación de materiales. Este fenómeno ocurre en pendientes inferiores al 1%.
- En zonas donde se desee evitar infiltraciones, tales como explanadas susceptibles al agua, cunetas de guarda, protección de acuíferos, etc.
- Donde la conservación resulte difícil o costosa, como ocurre en las vías urbanas.

Si la pendiente longitudinal supera el 7% será necesario adoptar precauciones especiales contra la erosión, como la disposición de escalones de disipación de energía o el revestimiento de la cuneta con parámetros irregulares, evitando los posibles fenómenos de resalto.

Las cunetas son las depresiones en los extremos de las vías, calles o calzadas que recogen el escurrimiento pluvial que drena a estas. (Norma Boliviana NB 688, Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros).

La capacidad de una cuneta depende de su forma, pendiente y rugosidad. Si se conocen las pendientes transversales y longitudinales de la calle, la cuneta puede representarse como un canal abierto de sección triangular y su capacidad hidráulica puede estimarse con la fórmula de Manning de flujo uniforme.

El dimensionamiento de este tipo de elementos se realiza mediante la fórmula de Manning, cuya expresión matemática es:

$$Q = 0,375 * \sqrt{SL} * \left(\frac{z}{n}\right) * Y^{\frac{8}{3}}$$

Donde:

Q = Caudal en la cuneta, en m<sup>3</sup>/s

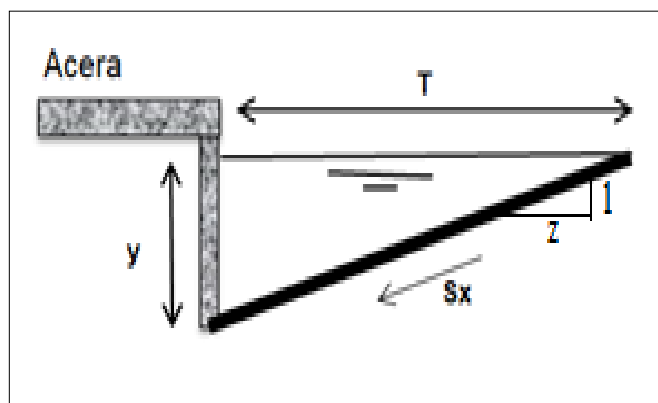
SL = Pendiente longitudinal

1/z = Pendiente transversal

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

Y = Profundidad de flujo en m

**Figura 2.9** Cuneta triangular

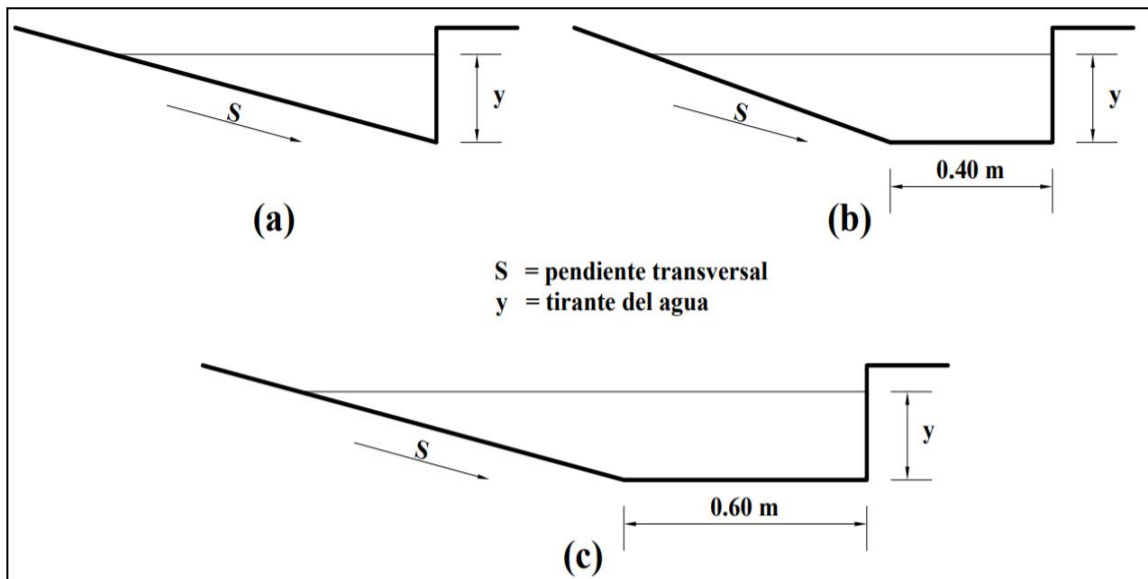


**Fuente:** Elaboración propia.

Para pendientes longitudinales del orden 1% el error de suponer flujo uniforme es de alrededor del 3% sin embargo, este se incrementa en la medida en que la pendiente disminuye, de tal manera que, para pendientes muy suaves, la capacidad de la cuneta es notoriamente menor que la estimada con la ecuación de Manning. En estos casos el flujo en la cuneta debe estimarse con base en flujo espacialmente variado.

En general las cunetas se construyen con una pendiente transversal del 2%. Cuando el flujo es del orden de 100 l/s es conveniente interceptar el escurrimiento con un sumidero. (Norma Boliviana NB 688, Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros).

**Figura 2. 10** Otras secciones transversales de cunetas



**Fuente:** Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, México.

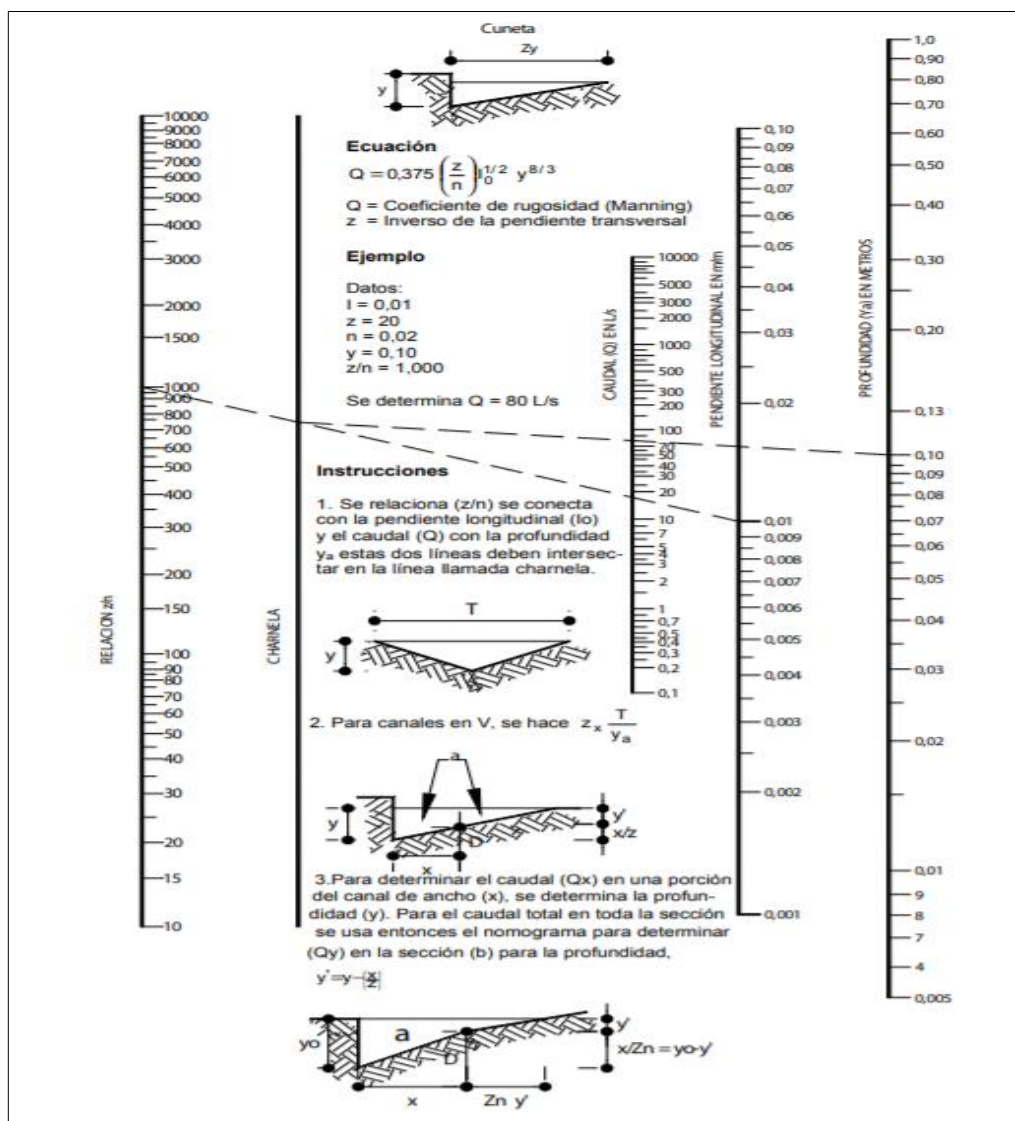
### Nomograma de Izzard

El nomograma de Izzard, permite calcular la altura de agua en el cordón o bordillo de acera para un caudal dado o viceversa. En los cálculos se debe tener presente que la altura de agua obtenida es para una longitud de cuneta suficiente para establecer un escurrimiento uniforme, siendo esta longitud probablemente 15 m invariablemente, una cuneta va gradualmente acumulando agua de modo que el caudal no es constante a lo largo de su longitud.

Cuando la sección transversal de la cuneta consiste esencialmente de un pavimento con pendiente uniforme, el caudal puede ser rápidamente calculado usando el nomograma de Izzard para escurrimiento en un canal triangular. Este nomograma es también aplicable a secciones compuestas de dos o más partes de secciones diferentes.

El mismo nomograma también puede ser utilizado en el cálculo de cunetas en "V" para el caso de cunetas amplias.

**Figura 2.11** Nomograma de Izzard para el cálculo de cunetas o canales triangulares



**Fuente:** Norma Boliviana NB 688, Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros.

## Valores de los coeficientes “n” de Manning para cunetas

Los valores de “n” pueden ser estimados en función de material y del acabado superficial de las cunetas.

**Tabla 2.1** Coeficientes de rugosidad de Manning

Tipo de superficie	“n”
Cuneta de hormigón con buen acabado	0,012
Revestimiento de asfalto con textura lisa	0,013
Revestimiento de asfalto con textura áspera	0,016
Revestimiento con lechada de cemento	
a) Acabado con frotachado	0,014
b) Acabado manual alisado	0,016
c) Acabado manual áspero	0,020
Revestimiento con adoquines	0,020
Cunetas con pequeñas pendientes longitudinales (hasta 2 %) sujetas a la acumulación de sedimentos, los valores “n” indicados deben ser Incrementados en +0,002 a 0,005	n

**Fuente:** Norma Boliviana NB 688, Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros.

Además de la recomendación de que las entradas de vehículos deben de quedar para dentro del cordón de acera, una serie de recomendaciones prácticas deben ser observadas en la definición de los perfiles longitudinales y transversales de las pistas de rodadura, para escurrimiento superficial y su conducción y capitación sean fáciles. En la siguiente tabla se presenta una serie de valores límites y usuales que deben ser tomados en cuenta para la elaboración de proyectos de vías públicas.

**Tabla 2.2** Valores para proyectos de calles y avenidas

Datos característicos	Valores		
	Máximo	Mínimo	Usual
Pendiente longitudinal del pavimento	-	-	0,4 %
Pendiente transversal del pavimento	2,5 %	1,0 %	2,0 %
Pendiente transversal de la cuneta	10,0 %	2,0 %	5,0%
Coefficiente de Manning	0,025	0,012	0,016
Altura del cordón de acera	0,20 m	0,10 m	0,15 m
Altura del agua en el cordón de acera	0,13	-	-
Velocidad de escurrimiento en la cuneta	3,0 m/s	0,75 m/s	-
Ancho de la cuneta sin estacionamiento	-	-	0,60 m
Ancho de la cuneta con estacionamiento	-	-	0,90 m

**Fuente:** Norma Boliviana NB 688, Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros.

#### 2.5.1.4. Sumideros

Denominados también boca de tormentas, son estructuras hidráulicas utilizadas para la captación de escurrimiento superficial que corre por las cunetas.

Los sumideros son elementos que pueden tener o no una capacidad establecida para interceptar el caudal pluvial que corre por la cuneta, para enseguida, conducirlo al sistema de drenaje pluvial.

**Figura 2.12** Sumidero de ventana av. Víctor Paz Zamora



**Fuente:** Elaboración propia.

Un sumidero ubicado en el punto bajo de una cuneta, puede captar eventualmente toda el agua que alcance (siempre que no quede completamente anegado). En los casos más comunes, de cuneta con pendiente uniforme en un único sentido longitudinal, las dimensiones significativas son el ancho de la reja normal y el ancho de abertura libre paralela al sentido de escurrimiento en la cuneta. (Reglamento Nacional NB 688. Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros).

(Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras – Rafael Pérez c.). Se diseñan y construyen con el fin de captar las aguas de escorrentía de las cunetas y entregarlas a los pozos de inspección. El número y localización de estos,

entre cruces de calles, se determinará con base a la esorrentía para el aguacero de diseño y la capacidad de flujo de la cuneta.

Los sumideros o coladeras pluviales tienen como objetivo captar los escurrimientos superficiales debidos a la lluvia y conducirlos a la red de alcantarillado. Su dimensionamiento y ubicación dependen básicamente de dos factores; el tamaño y tipo de área a la que sirven y la capacidad de las mismas. (Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, México)

### **Ubicación y espaciamento entre sumideros**

Los sumideros o bocas de tormenta deben ubicarse antes de los pasos peatonales (cebras), en los puntos bajos de las cunetas, también en puntos intermedios y en cualquier otro lugar donde se verifique la acumulación de aguas superficiales.

Se debe justificar la ubicación, el número y tipo de bocas de tormenta que se utilicen de acuerdo con las características de la zona, de tal manera que se garantice que el agua no rebase las mismas.

Arocha S, Cloacas y Drenajes. En ciertos casos, la ubicación del sumidero está determinada por las siguientes consideraciones:

- Puntos bajos y depresiones de las calzadas.
- Aguas arriba de las intersecciones, especialmente de los cruces para peatones, en avenidas y calles.
- En los cambios de pendiente longitudinal y transversal de calzadas.
- En accesos a los puentes y terraplenes sobres quebradas.
- En calles donde la acumulación de agua moleste el tránsito, en sectores comerciales y zonas residenciales de importancia.
- En todos aquellos sitios, donde el proyectista lo considere necesario, previa justificación correspondiente.



Se deben analizar los planos topográficos y de pendientes longitudinales de las calles para ubicar preliminarmente un determinado número de sumideros, el cual podrá ser aumentado o reducido mediante el cálculo de caudales que justifiquen la decisión.

También es necesario tener en cuenta otras recomendaciones que deben llevarse a la práctica durante la etapa de la construcción, las cuales son:

- Analizar el esquema geométrico de cada calle, particularmente su sección transversal, de tal forma de decidir si se dé o no construir un sumidero en cada lado, o solo en el lado bajo.
- En las intersecciones de calles y en especial cuando deba impedirse el flujo transversal, pueden crearse pequeñas depresiones para garantizar la completa captación de las aguas.
- No se deben ubicar sumideros en lugares donde puedan interferir otros servicios públicos como electricidad y teléfonos.

Los sumideros colectores intermedios son frecuentes en manzanos de casas con frentes extensos, o sea, donde los cruces de las calles consecutivos se encuentran bastante apartados uno del otro.

Un criterio racional es verificar la capacidad de la cuneta para, analíticamente, adecuarse a la necesidad o no de sumideros intermedios. Hay autores, que prefieren limitar el espaciamiento entre dos pares consecutivos usando como criterio el área de la calle y otros, la distancia entre ellos. Recomiendan, por ejemplo, un par de sumideros colectores a cada 500 m<sup>2</sup> de calle y otros a cada 40 m del eje.

De un modo general la frecuencia de pares de sumideros colectores ocurre a cada 40 m a 60 m, de longitud de calle o a cada 300 m<sup>2</sup> a 800 m<sup>2</sup> de área de la misma.

Se establece el espaciamiento máximo entre sumideros en función a la pendiente de la calle según se muestra en la siguiente **tabla 2.3**.

**Tabla 2.3** Espaciamiento de sumideros en función de la pendiente

Pendiente (%)	Espaciamiento (m)
0,4	50
0,4 a 0,6	60
0,6 a 1,0	70
1,0 a 3,0	80

**Fuente:** Reglamento Nacional NB 688. Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros.

En calles mayores a 20 m de ancho y pendientes mayores, la distancia máxima será de 50 m.

### **Criterios de diseño**

La capacidad de un sumidero, cualquiera sea su tipo, depende de la altura de agua en el tramo de acera aguas arriba del sumidero. Si esta estuviese ubicada en un tramo de pendiente uniforme, la altura de agua en la cuneta dependerá de sus características como conducto libre. Tales características incluyen la sección transversal, la pendiente y la rugosidad de la cuneta y de las superficies del pavimento sobre el cual escurre el agua.

En la determinación de la capacidad del sumidero, la primera condición es que las características de escurrimiento en conducto libre de la cuneta aguas arriba sean conocidas.

El dimensionamiento de la tubería de conexión del sumidero al sistema de alcantarillado, desde una cámara receptora, debe tener un diámetro mínimo de 200 mm, pendiente superior al 2 % y en general, no debe tener una longitud mayor de 15 m.

Se conectará directamente la boca tormenta con la cámara de inspección. El diámetro mínimo de los tubos de descarga de los sumideros será de 200 mm.

Los sumideros pueden ser de varios tipos y su selección está determinada por las características topográficas, el grado de eficiencia del sumidero, la importancia de la vía y la posibilidad de acumulación y arrastre de sedimentos en el sector.

Dependiendo del tipo de la estructura, localización y del funcionamiento, los sumideros colectores reciben varias clasificaciones agrupadas:

**a) Sumideros de acuerdo a la estructura de la abertura o entrada**

**Simples laterales o de ventana**, consiste en una abertura en el bordillo o cordón de acera a manera de ventana lateral que permite la captación de agua que fluye por la cuneta. La ventana puede estar deprimida con respecto a la cuneta, lo cual permite captación de escurrimiento.

Consiste en una tanquilla de recolección, ubicada directamente debajo de la acera, con ventana lateral coincidiendo con el borde de la misma que permite la captación del agua que escurre en la cuneta o borde de acera. (Arocha S, Cloacas y drenajes).

Tienen la ventaja de que por su ubicación no interfiere con el tránsito, pero su mayor inconveniente radica en que captan fácilmente sedimentos y desperdicios, que pueden mitigarse con la colocación de rejillas en las ventanas.

Su eficiencia disminuye si no existe depresión en la cuneta o si se encuentra localizado en cunetas con pendiente longitudinal fuerte.

Su longitud mínima es de 1.5 m, con una depresión de 2.5 cm, con una pendiente hasta de 8 %. No recomendable su uso en calles con pendientes longitudinales mayores al 3%.

Según Arocha S, Cloacas y drenajes, se establecen limitaciones en cuanto a las características de este tipo de sumidero, que se indican a continuación:

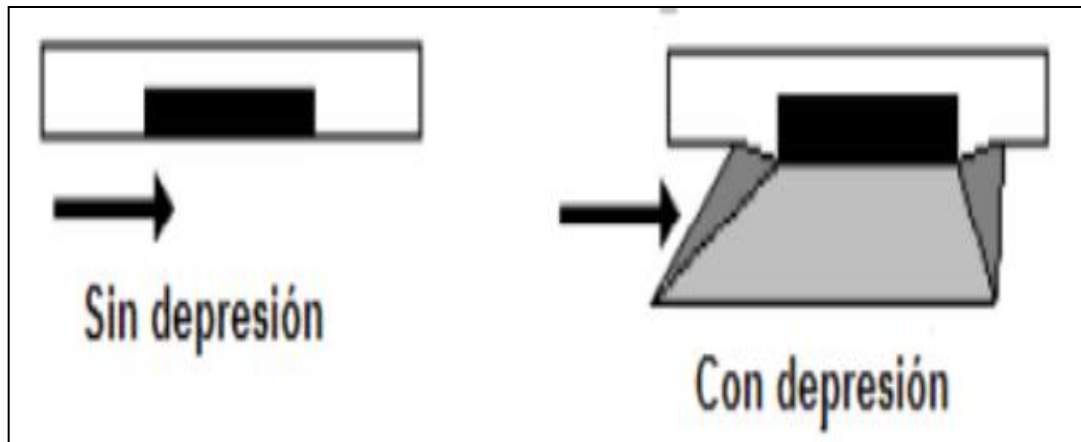
- Deberán tener una longitud mínima de 1.50 m.
- La depresión transversal en la calzada con un ancho mínimo de 0.30 m y máximo de 0.60 m. la pendiente de esta depresión será hasta de 8%, con un valor mínimo de 2.5 cm de abertura para ancho de depresión de 0.30 m y 5 cm para un ancho de depresión de 0.60 m.
- La altura máxima de la ventana, será de 0.15 m a 0.17 m.

- El fondo de sumidero, deberá tener pendiente mínima de 2 % hacia la salida.

El sumidero de ventana tiene la ventaja de que por su ubicación no representa estorbo al tránsito. Sin embargo, su mayor inconveniente radica en la facilidad de penetración de objetos de cierto tamaño que puedan ser arrastrados, así como sedimentos, que obstruyen y disminuyen su capacidad de captación, a fin de evitar la penetración de desperdicios de cierto tamaño, se colocan rejillas a la ventana, lo cual le da una mejor utilización.

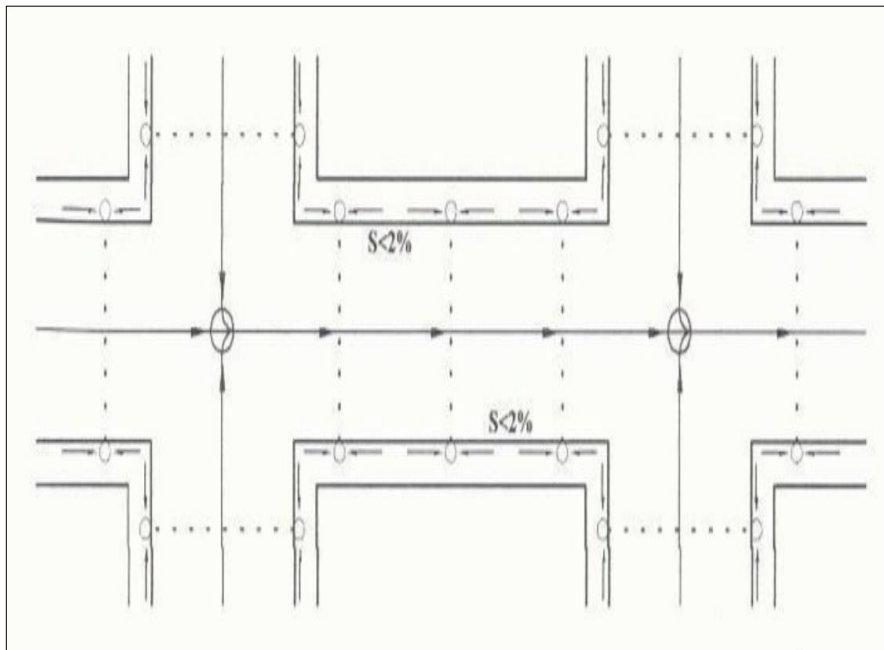
Se recomienda el empleo de sumideros de ventana, con prioridad por razones viales, en vías arteriales y distribuidoras, pero estima que su eficiencia es baja para pendientes longitudinales de calle mayores al 3% por lo cual recomienda su utilización preferiblemente para pendientes longitudinales de calles menores al 3%.

**Figura 2.13** Sumidero lateral o de ventana



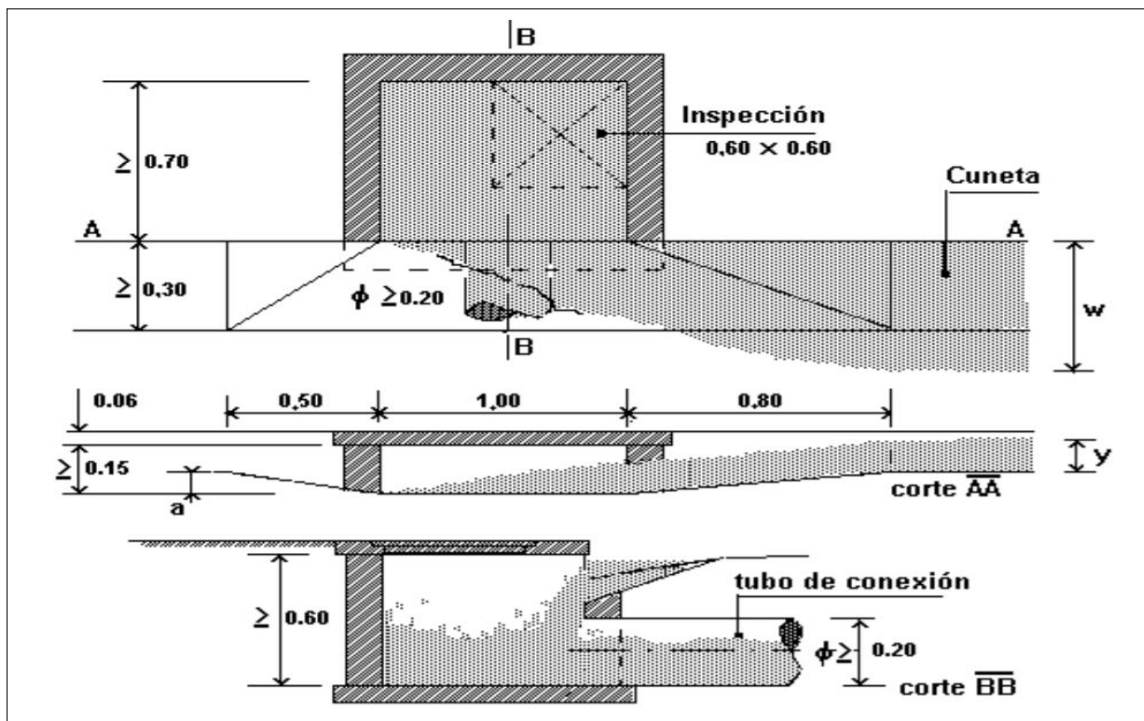
**Fuente:** Reglamento Nacional NB 688,

**Figura 2.14** Ubicación de sumideros de ventana



**Fuente:** Diseño de alcantarillado pluvial, Amilkar E. Ilaya.

**Figura 2.15** Sumidero colector simple o lateral



**Fuente:** Norma Boliviana NB 688, Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros.

La capacidad de sumideros de ventana ubicados en puntos bajos, se determina en otras condiciones ya que su comportamiento hidráulico difiere de los ubicados en vías con pendiente. Si para el caudal de proyecto y las dimensiones de la abertura prevalece un régimen con superficie libre, la estructura opera como un vertedero de cresta ancha. Sin embargo, cuando la carga de agua llega a ser mayor que la altura de la ventana, el sumidero se comportara como un orificio.

Donde:

$h$  = Altura en el cordón ( $y$  + depresión), en m

$y$  = Altura máxima del agua a la salida de la cuneta, en m

$L$  = Longitud de la abertura, en m

$Q$  = Caudal de proyecto, en  $m^3/s$

Se tiene que:

- a) Para cargas donde  $y \leq h$ , el funcionamiento es como un vertedero y se dimensiona a través de la expresión:

$$\frac{Q}{L} = 1,703 * \sqrt{y^3}$$

- b) Para cargas donde  $y \geq h$  el comportamiento de la entrada es de orificio y la expresión de cálculo es:

$$\frac{Q}{L} = 3,101 * h * \sqrt{y - 0.5h}$$

Para la relación  $1,0 < y < 2,0$  el funcionamiento del sumidero es indefinido cabiendo al proyectista evaluar el comportamiento como vertedero o como orificio ahogado. (Reglamento Nacional NB 688. Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros).

**Enrejados en cunetas**, consiste en una caja o cámara donde penetran las aguas pluviales, cubierta con una rejilla, preferiblemente con barras en sentido paralelo al

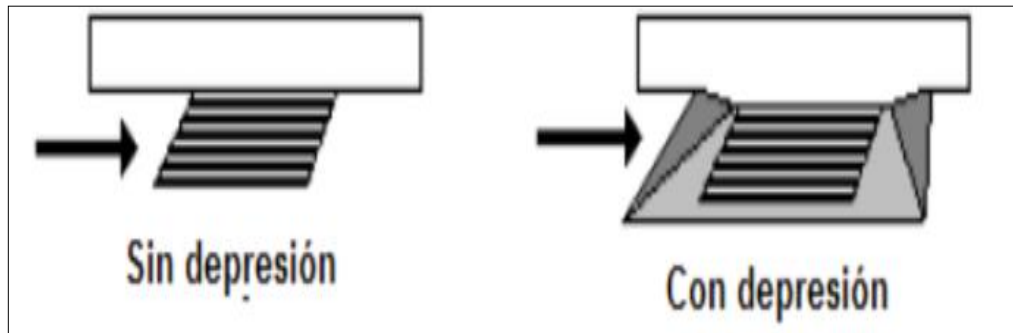
flujo, aunque pueden colocarse de manera diagonal para favorecer el tránsito de bicicletas, a menos que la separación de las barras paralelas al flujo sea menos de 2.5 cm. Su mayor ventaja radica en su mayor capacidad de captación en pendientes longitudinales pronunciadas de las calles (3% o más). Sin embargo, tiene la desventaja de que pueden captar desperdicios que reducen el área útil de la rejilla. Existen números tipos de rejillas, tales como aquellas de barras paralelas a la dirección de flujo a la calzada, de barras de normales a dicha dirección. Las diferentes formas más comunes de barras son las rectangulares (pletinas) y las de sección circular. Utilizarlos de preferencia en calles o avenidas de pendientes pronunciadas (de un 3% o más).

No se deben utilizar sumideros deprimidos de rejillas cuando estos ocupen parte o la totalidad de la calzada. No se deben utilizar en puntos bajos, salvo cuando no sea posible colocar los de tipo ventana. (Reglamento Nacional NB 688. Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros).

Según Arocha S, Cloacas y Drenajes, consiste en una tanquilla colocada en la cuneta, la cual se cubre con una rejilla, preferiblemente con barras en sentido paralelo a la corriente; sin embargo, a fin de lograr mayor resistencia estructural con frecuencia se colocan inclinadas, esto también favorece al tránsito de bicicletas. Presentan inconvenientes frecuentes por deterioro de las rejillas, ocasionado por el tránsito y estacionamiento de vehículos. Sin embargo, su mayor ventaja radica en su mayor capacidad de captación para pendientes pronunciadas de las calles. Se establece para este tipo de sumidero lo siguiente:

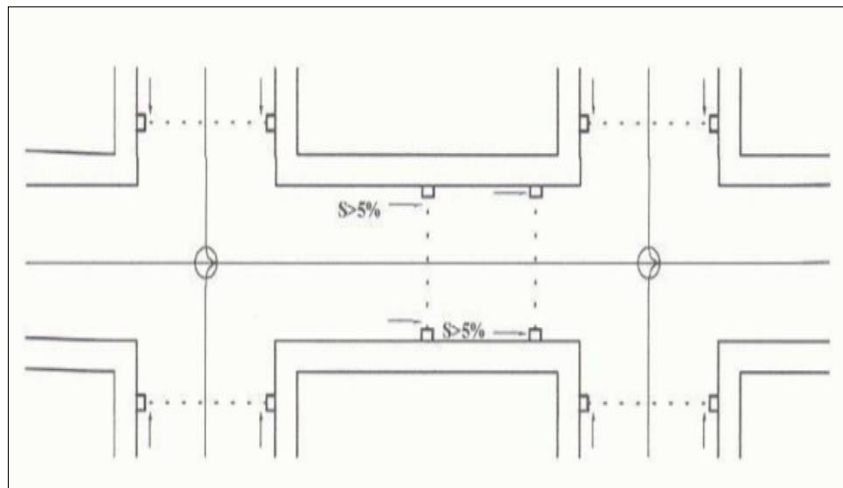
- Los barrotes deberán ser colocados paralelos a la dirección del flujo.
- El área neta de las rejillas, será igual al doble del área resultante del cálculo como orificios rectangulares.
- La dimensión mínima de la rejilla será de 0,90 m de largo por 0,60 m de ancho. La separación de 0,025 m, 0,035 m y 0,05 m según las necesidades.

**Figura 2.16** Sumideros de reja



**Fuente:** Reglamento Nacional NB 688.

**Figura 2.17** Ubicación de reja



**Fuente:** Diseño de alcantarillado pluvial, Amilkar E.

**Figura 2.18** Sumidero de reja con presencia de basura



**Fuente:** Elaboración propia.



Según el Reglamento Nacional NB 688. Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros, el agua que fluye por la vía es interceptada mediante una reja constituida por pletinas metálicas separadas por una distancia tal, que sin resultar objetable para el tráfico, permita una máxima captación del escurrimiento.

Desde el punto de vista hidráulico, generalmente el flujo puede asimilarse a un flujo variado con descarga de fondo.

La ubicación de un sumidero de reja en punto bajo de la calzada, equivale hidráulicamente a la descarga por un orificio, dependiendo su capacidad de área del orificio y de la profundidad de carga de agua sobre la reja.

Donde:

Q = Caudal de proyecto a ser captada, en m<sup>3</sup>/s

P = Perímetro del área con abertura, en m

A = Área total de las aberturas, en m<sup>2</sup>

Y = Altura del agua sobre la reja, en m

e = Espaciamiento entre las barras consecutivas (máximo 2,5 cm)

a) Para cargas de hasta 12 cm, reja como vertedero

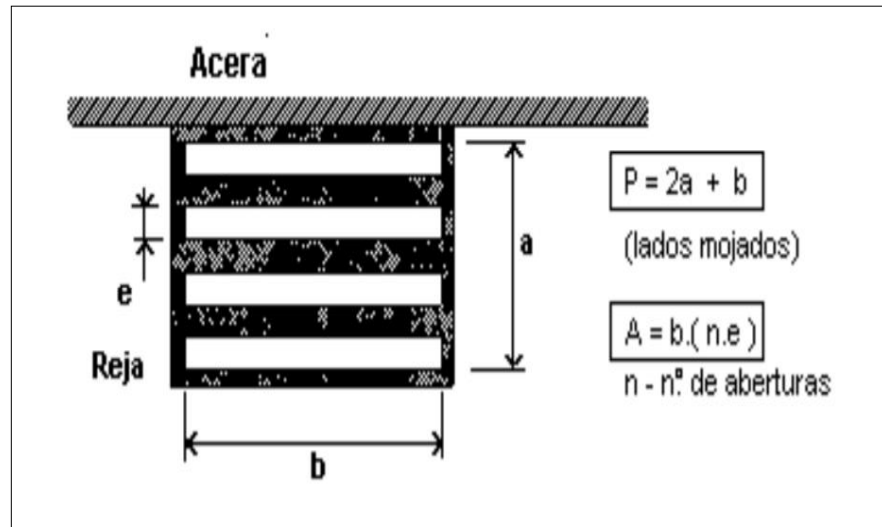
$$\frac{Q}{P} = 1,655 * \sqrt{y^3}$$

b) Para cargas iguales o superiores a 42 cm, reja como orificio

$$\frac{Q}{A} = 2,91 * \sqrt{y}$$

c) Si 12 < y < 42 cm, la situación entre vertedero y orificio, quedando el proyectista con la opción de escoger la hipótesis de cálculo que el mismo juzgar más adecuada.

**Figura 2.19** Perímetro y área del sumidero con rejas

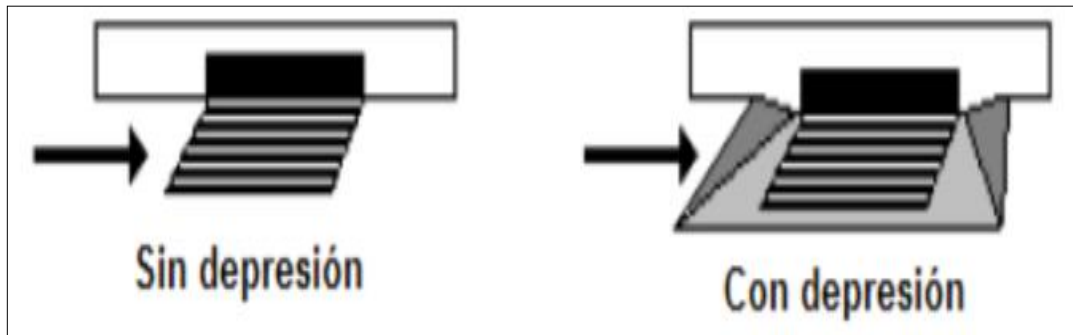


**Fuente:** Reglamento Nacional NB 688. Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros.

Dado que no es posible dimensionar cada sumidero según el gasto de diseño, se dispone de sumideros tipo que tienen cierta capacidad estándar. Su uso implica la colocación de varios sumideros como sea necesario para captar el gasto de diseño, o la partición del área de aportación (definiendo subcuencas), colocando otros sumideros hasta que sean suficientes para captar el gasto de diseño.

**Combinados o mixtos**, en una combinación de los tipos anteriores que pretende mejorar la eficiencia del sumidero de ventana y reducir la ocupación de la calzada del sumidero de rejillas. Su uso es recomendable en sitios donde en principio es preferible uno de ventana, pero donde su eficiencia de captación es menor al 75%. Es recomendable suponer un área efectiva del 67% del área neta total de la reja y la ventana. Para calcular la capacidad combinada de estos sumideros, hay que considerar la ubicación relativa de los mismos y las variables determinantes de la capacidad de cada uno. La metodología consiste en sumar cuidadosamente los caudales de entrada, es decir, calcular por separado y sumar los caudales obtenidos. El cálculo debe hacerse con condiciones de aproximación diferentes; rara vez se puede determinar la capacidad sin recurrir a factores de seguridad.

**Figura 2.20** Sumidero mixto o combinado



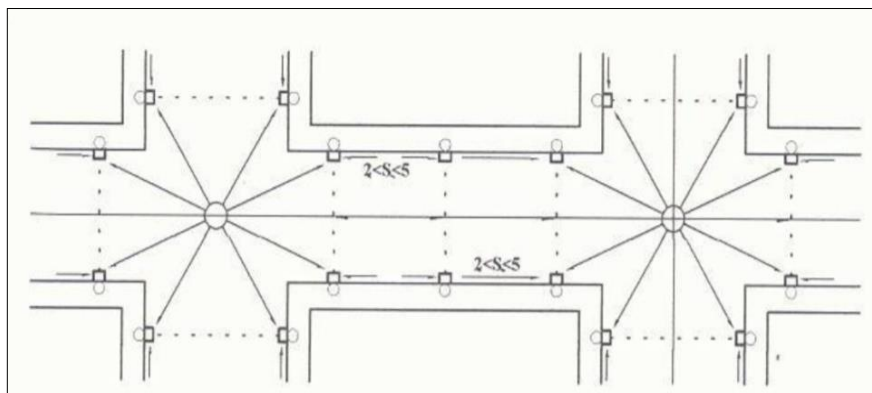
**Fuente:** Reglamento Nacional NB 688.

**Figura 2.21** Sumidero mixto calle San Juan



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 2.22** Ubicación de sumidero mixto



**Fuente:** Diseño de alcantarillado pluvial, Amilkar E.

Normalmente usados para la captación de caudales en puntos bajo, las ecuaciones serían las indicadas en sumideros con rejas para las situaciones similares, sin aplicación de los

coeficientes de seguridad. (Reglamento Nacional NB 688. Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros).

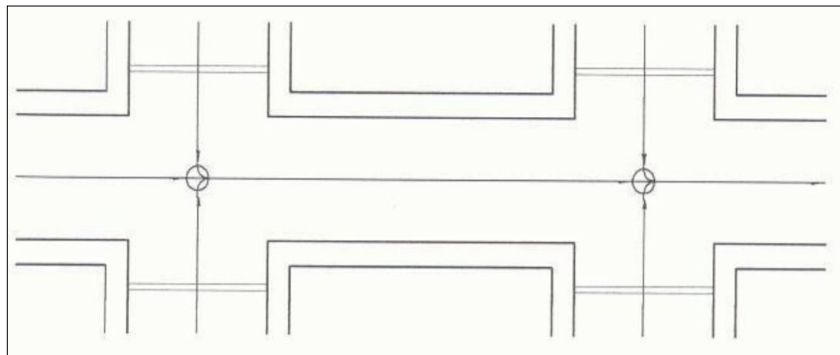
**Enrejados en calzada**, consisten en una caja transversal a la vía y a todo lo ancho de esta, cubierta con rejillas. Su mayor inconveniente es el daño frecuente por el peso de los vehículos y la captación de desperdicios que reducen su área de captación de flujo. (Reglamento Nacional NB 688. Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros).

**Figura 2.23** Sumidero en calzada



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 2.24** Ubicación sumidero en calzada



**Fuente:** Diseño de alcantarillado pluvial, Amilkar E.

Arocha S, Cloacas y Drenajes, consiste en una tanquilla transversal a la vía y todo lo ancho de ella, cubierta con rejillas, con barras diagonales. Generalmente el ancho es de 0.90 m. se usan pletinas de 75x12 mm y un espaciamiento entre ellas no mayor de 6 cm, centro a centro. El mayor inconveniente de este tipo de sumideros es el daño frecuente por el paso de los vehículos y su posterior obstrucción al sufrir deterioro de las rejillas.

Según Rafael Pérez C, Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras, cuando estos sumideros se encuentran ubicados en una batea, este funciona como un orificio con coeficiente de descarga  $C = 0.6$ .

El caudal se expresa:

$$Q = 4,43 * C * A * (y + h)^{0.5}$$

Donde:

$Q$  = Caudal captado en  $m^3/s$

$C$  = Coeficiente de descarga = 0.6

$A$  = Área útil. Hay que descontar áreas por barrotes y basuras, generalmente se toma entre 40% y 55%

$Y$  = Profundidad de la lámina sobre la rejilla en m

$h$  = Altura del barroto de la rejilla en m

#### **b) Sumideros de Acuerdo a la localización a lo largo de las cunetas**

**Sumideros Intermedios**, son aquellos que se sitúan en puntos a lo largo de las cunetas donde la capacidad de estas alcanza el límite máximo admisible.

**Sumideros de cruces o boca calles**, se sitúan inmediatamente aguas arriba de las secciones de las cunetas, en las esquinas de los manzanos de casas, haciendo la necesidad de evitar el prolongamiento del escurrimiento por el lecho de los cruces o boca calles.

**Sumideros de puntos bajos**, se caracterizan por recibir contribuciones por dos lados, puesto que se sitúan en puntos donde hay la inversión cóncava de la pendiente de la vía, o sea en la confluencia de dos cunetas de un mismo lado de la vía.

### **c) Sumideros de acuerdo al funcionamiento**

Dependiendo de la altura del agua en la cuneta y de la abertura del sumidero colector las que funcionan como vertedero y orificio respectivamente, siendo estas más frecuentes en puntos bajos y en la mayoría con rejas.

#### **2.5.1.5. Estaciones de bombeo**

En casos especiales se utilizan equipos de bombeo para poder drenar áreas muy bajas; las aguas bombeadas se entregan luego a un sistema principal de drenaje en forma puntual.

#### **2.5.2. Obras de conducción**

Son todas aquellas estructuras que transportan las aguas recolectadas por las bocas de tormenta hasta el sitio de vertido. Se pueden clasificar de acuerdo a la importancia del conducto dentro del sistema de drenaje o según el material y método de construcción que se utilice.

Según la importancia del conducto dentro de la red, los conductos pueden ser clasificados como atarjeas, subcolectores, colectores y emisores. Se le llama atarjeas o red de atarjeas a los conductos de menor diámetro en la red, a los cuales descargan la mayor parte de las estructuras de captación. Los subcolectores son conductos de mayor diámetro que las atarjeas, que reciben directamente las aportaciones de dos o más atarjeas y las conducen hacia los colectores.

Los colectores son los conductos de mayor tamaño en la red y representan la parte medular del sistema de alcantarillado, también se les llama interceptores, dependiendo de su acomodo en la red. Su función es reunir el agua recolectada por los subcolectores y llevarla hasta el punto de salida de la red e inicio del emisor.

El emisor conduce las aguas hasta el punto de vertido o tratamiento. Una red puede tener más de un emisor dependiendo del tamaño de la localidad. Se le distingue de los colectores porque no recibe conexiones adicionales en su recorrido.

Por otra parte, los conductos pueden clasificarse de acuerdo al material que los forma y al método de construcción o fabricación de los mismos, desde el punto de vista de su construcción, existen dos tipos de conductos: los prefabricados y los que son hechos en el lugar.

Los conductos prefabricados son a los que comúnmente se les denomina como “tuberías”, con varios sistemas de unión o ensamble, y generalmente de sección circular. Las tuberías más usuales se fabrican de los materiales siguientes: concreto simple, concreto reforzado, fibrocemento, policloruro de vinilo o PVC, y polietileno.

Los conductos construidos en el lugar o in situ son usualmente de concreto reforzados y pueden ser estructuras cerradas o a cielo abierto. A las primeras se les llama cerradas porque se construyen con secciones transversales de forma semielíptica, herradura, circular, rectangular o en bóveda. Las estructuras a cielo abierto corresponden a canales de sección rectangular, trapezoidal o triangular. (Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, México).

La conducción de las aguas de lluvia a través de colectores o conductos, atiende a las mismas características hidráulicas como para las aguas servidas. Solo algunas consideraciones de orden práctico que conviene tener presente, en el diseño de estos sistemas, que difieren de los colectores cloacales:

- En razón de arrastre de sedimentos, arena y tierra, cuyo peso específico es mayor que el material sólido de las aguas negras, se procura diseñar con velocidades de arrastre que se corresponda con este material. En tal sentido han fijado en 0.75 m/s la velocidad mínima a sección llena, en colectores de aguas pluviales. Si bien, las consideraciones hechas en el capítulo respecto a la velocidad a sección plena, tiene vigencia para los conductos de agua de lluvia, ello tiene menos significación en este caso, por cuanto la determinación del caudal, en este caso tiene mayor apoyo y grado de aproximación al gasto de circulación para una cierta lluvia, lo cual permite la limpieza de los colectores por velocidades superiores a la velocidad de arrastre.

- El diámetro mínimo a usar en colectores pluviales es de 0,25 m.
- En general la pendiente de los colectores está fijada por la pendiente del terreno, a fin de lograr la máxima economía en las excavaciones, pero en zonas de poca pendiente o totalmente planas, debe procurarse una pendiente capaz de producir arrastre de sedimentos para el caudal de diseño, aprovechando la capacidad del colector.
- De importancia en el diseño es la determinación de las profundidades de los colectores de aguas pluviales y su posible intercepto o cruce con las tuberías de aguas servidas. En este sentido. Un buen diseño, tiende a lograr la máxima economía, lo cual es dependiente del diámetro y del volumen de excavación. En zonas planas, donde estamos a profundizar la tubería de acuerdo a una pendiente mínima para mantener velocidades de arrastre, generalmente resulta más conveniente dar las mayores ventajas a la tubería de aguas de lluvia con respecto a las tuberías de aguas negras, en virtud de que los mayores diámetros de las primeras a menores profundidades lograrían una alternativa económica.
- Generalmente se procura dejar el eje de calzada para ubicación de los colectores de aguas negras, quedando por tanto ubicados los colectores de aguas de lluvia a un lado de la misma, casi siempre se logra de esta manera el diseño más económico. (Arocha S, Cloacas y drenajes).

Los colectores de aguas de lluvias se localizarán en el centro (eje) de las calzadas de las vías y las aguas negras por el centro de las medias calzadas; tanto como los colectores como las domiciliarias, se instalarán debajo de las tuberías de acueductos.

Las tuberías de alcantarillado se deben instalar por lo menos con una separación de 1,0 m horizontalmente y 0,30 m verticalmente con respecto a otro servicio.

Los colectores se deben diseñar con adecuada pendiente para permitir el drenaje por gravedad con una velocidad de arrastre que se especifica así; para lluvias la fuerza tractiva mínima debe ser igual o mayor a  $3 \text{ N/m}^2 = 0,3 \text{ Kg/m}^2$  para caudal de diseño y  $1,5 \text{ N/m}^2 = 0,15 \text{ Kg/m}^2$  para el 10 % de la capacidad a tubo lleno.



La profundidad máxima se establece de 5m, a lomo; en casos de fuerza técnica mayor, puede superar los 5m., siempre y cuando sea sustentada la solución.

Para el caso de aguas de lluvia, la profundidad mínima debe estar entre 0,85 m y 1,0 m, dependiendo de la localización y si el sistema posee o no domiciliarias. Cada diseño trae sus particularidades y lo importante es dar la solución técnica más adecuada cumpliendo las normas establecidas. (Rafael Pérez C, Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras).

### **Criterio de diseño de colectores**

#### **Ecuación de Manning**

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde:

V = Velocidad, en m/s

n = Coeficiente de rugosidad de Manning adimensional

Rh = Radio hidráulico, en m

S = Pendiente, en m/m

#### **Para tubería con sección llena**

Las relaciones geométricas para sección llena son:

- Área:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

- Perímetro:

$$P = \pi * D$$

- Radio Hidráulico:

$$Rh = \frac{D}{4}$$

- Velocidad:

$$V = \frac{0,397}{n} * D^{2/3} * S^{1/2}$$

- Caudal:

$$Q = \frac{0,312}{n} * D^{8/3} * S^{1/2}$$

### Para tubería con sección parcialmente llena

- Ángulo central  $\theta^\circ$  (en grado sexagesimal):

$$\theta^\circ = 2 \arccos\left(1 - \frac{2h}{D}\right)$$

- Radio hidráulico:

$$Rh = \frac{D}{4} * \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta^\circ}{2\pi \theta^\circ}\right)$$

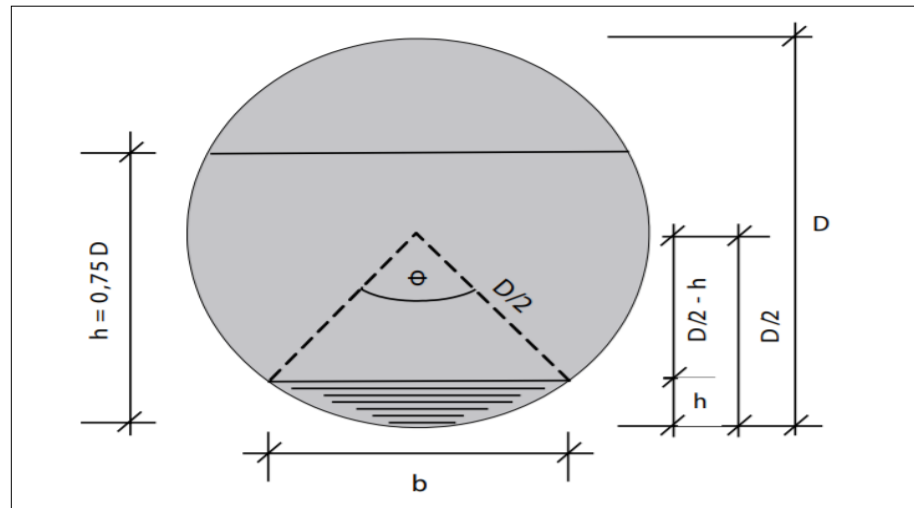
- Velocidad:

$$V = \frac{0,397 D^{2/3}}{n} * \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta^\circ}{2\pi \theta^\circ}\right)^{2/3} * S^{1/2}$$

- Caudal;

$$Q = \frac{D^{8/3}}{7257,15 * n * (2\pi \theta^\circ)^{2/3}} * (2\pi \theta^\circ - 360 \operatorname{sen} \theta^\circ)^{5/3} * S^{1/2}$$

**Figura 2.25** Relaciones geométricas de la sección circular parcialmente llena



**Fuente:** Diseño de alcantarillado sanitario y pluvial- NB 688.

**Tabla 2.4** Valores de las rugosidades de las tuberías

Material	Rugosidad (K) (mm)
PVC	0,10
Hormigón	0,30
Fierro fundido sin revestimiento	0,25
Fierro fundido con revestimiento	0,125

**Fuente:** Azevedo Netto.

### Tensión tractiva

Cada tramo debe de ser verificado por el criterio de la tensión tractiva media de valor mínimo  $\tau_{\min} = 1\text{Pa}$ . En los tramos iniciales la verificación de la tensión tractiva mínima no debe ser inferior a  $0,60\text{Pa}$ .

La ecuación de la tensión tractiva está definida por:

$$\tau = \rho * g * Rh * S$$

Donde:

$\tau$  = Tensión tractiva media, en Pa

$\rho$  = Densidad del agua,  $1000 \text{ Kg/m}^3$

$g$  = Aceleración de la gravedad,  $9,81 \text{ m/s}^2$

Rh = Radio hidráulico, en m

S = Pendiente del tramo de tubería, en m/m

### **2.5.2.1. Tubería de conexión**

El agua captada por las bocas tormentas necesita ser conducida hasta los conductos secundarios y principales, ello se lleva a cabo a través de las denominadas tuberías de conexión o conductos de vinculación.

Son estructuras hidráulicas que se encargan de conducir las aguas de lluvia de la boca tormenta con una cámara de inspección. En general los tramos son colectores comprendidos entre dos estructuras de conexión.

Los sumideros descargan al alcantarillado mediante una conexión directa al pozo más cercano. El dimensionamiento de la conexión se hace asegurando un control a la entrada de la tubería. Dependiendo del caudal y el diámetro de la tubería de salida, la entrada a esta puede sumergirse o no, y para cada una de estas situaciones, el funcionamiento hidráulico y por ende, el cálculo es diferente. Con la ayuda de la tabla del cálculo de tuberías para conexión de sumideros, se determina el diámetro de la tubería.

Para asegurar la condición de control a la entrada de la tubería, la pendiente mínima de esta debe ser de 1,5 %; garantizando la velocidad de arrastre. En casos de conexión de sumideros a sistemas combinados, se recomienda diseñar una estructura que conserve un sello hidráulico para evitar que los malos olores salgan a la atmosfera. (Rafael P, Carmona, Diseño y construcción de alcantarillado, pluvial y drenaje en carreteras).

### **2.5.2.2. Colector secundario**

Reciben caudales de uno o más tramos iniciales. En su recorrido va acumulando áreas de drenaje, conduciendo los caudales provenientes de la red local, hasta su disposición en la red principal. (Rafael P, Carmona, Diseño y construcción de alcantarillado, pluvial y drenaje en carreteras).

Estos conductos nacen a partir de la existencia del primer sumidero en el sistema de desagües, estos pueden ser de cualquier forma de sección, fundamentalmente se los debe diseñar para que trabajen a gravedad, con lo cual es aplicable por ejemplo la ecuación de Manning, con la única precaución de controlar muy bien las condiciones de borde fundamentalmente en zonas de poca pendiente de tal manera de no producir en el sistema efectos de remanso.

Este colector se lo diseña con un diámetro menor (100 o 150 mm) que se conecta a un conector principal.

### **2.5.2.3. Colector principal**

Tubería que conduce la contribución del curso principal de agua y que queda ubicada en el fondo del valle principal de la cuenca de drenaje.

Los colectores principales son conductos sin conexiones domiciliarias directas que reciben caudales de los colectores secundarios, para conducirlos hacia el sistema de macrodrenaje o cuerpos de agua. (Reglamento técnico de diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano, MMAyA).

Recibe caudales de los anteriores. Conjunto de conductos o interceptores definidos por la estructura de una cuenca. Conduce los caudales de los tramos secundarios hasta el sitio de vertimiento. En ocasiones este colector recibe el nombre de emisario final. (Rafael P, Carmona, Diseño y construcción de alcantarillado, pluvial y drenaje en carreteras).

### **2.5.2.4. Canales**

Los canales que se utilizan para conducir las aguas pluviales deben ser canales abiertos. La sección del canal puede tener cualquier forma, no son permitidos para recolección y evacuación de aguas residuales. En los casos en que sea necesario se debe proyectar un canal cuya sección sea cerrada, se debe cumplir la condición de flujo a superficie libre.

El diseño de canales, en general, se debe hacer utilizando la fórmula de Manning. Se debe justificar el valor del coeficiente de rugosidad adoptado y cuando el canal trabaje mojado diferentes materiales, se debe calcular el coeficiente para cada uno de ellos.

El diseño de canales para conducción de aguas de drenaje debe aprovechar al máximo la topografía del terreno con el fin de garantizar la conducción por gravedad con un costo mínimo

Cuando la diferencia de cotas entre los puntos inicial y final del canal es muy pequeña el diseño resulta en estructuras muy grandes con velocidades bajas y peligro de sedimentación.

De otro lado, diferencias muy grandes de nivel ocasionan el trazado de canales de gran pendiente, o requieren del diseño de estructuras de caída entre tramos de baja pendiente.

Además, dependiendo de la topografía, del tipo de suelo y de las velocidades de flujo, los canales pueden ser corrientes naturales, excavados o revestidos. (Diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial NB 688).

### **Corrientes naturales**

En las corrientes naturales se determina el nivel máximo de flujo para la creciente de diseño, y se compara con el nivel a cauce lleno. Cuando este último resulta inferior que el de la creciente se presenta desbordamientos, los cuales afectarán una zona inundable adyacente cuya amplitud debe determinarse. Para este objetivo se utilizan procedimientos de hidráulica de canales naturales, con caudales variables y curvas de remanso. En cada diseño en particular deben tenerse en cuenta, tanto la magnitud de la carga de sedimentos que transporta la corriente natural como los efectos que las obras pueden causar aguas arriba y debajo de su localización.

### **Canales excavados**

El diseño de los canales excavados limitado por las velocidades de flujo, la carga de sedimentos y las filtraciones hacia terrenos adyacentes a través del fondo y las orillas. En terrenos erosionables los canales excavados terminan siendo similares a las corrientes

naturales al cabo del tiempo porque pierden su geometría inicial por causa de los procesos de gradación, socavación y ataque contra los márgenes.

### **Canales revestidos**

Los canales revestidos permiten velocidades altas, disminuyen las filtraciones y requieren de secciones transversales más reducidas que los anteriores.

Sin embargo, su costo y su duración dependen de la calidad del revestimiento y del manejo adecuado que se dé a las aguas subsuperficiales. Los materiales de revestimiento pueden ser arcilla, suelo – cemento, ladrillo, losas de concreto simple o reforzado, piedra pegada, etc.

Los canales revestidos se deben diseñar de tal manera que los colectores afluentes, descarguen por encima de las aguas máximas del canal y los aliviaderos trabajen libremente.

La velocidad máxima del agua no debe exceder de 5 m/s. Si la pendiente natural es elevada, se deben escalonar los canales de tal manera que se disminuya la energía cinética a un nivel aceptable. (Norma Boliviana NB 688, Diseño de alcantarillado sanitario y pluvial).

#### **2.5.3. Entrega a la disposición final**

Los sistemas de drenaje pueden descargar en otros conductos mayores, en corrientes naturales o en almacenamientos concentrados.

El diseño de las obras de entrega debe tener en cuenta la magnitud de las fluctuaciones de nivel en los sitios de descarga y la estabilidad del área adyacente a la misma. Si se trata de descarga a ríos, por ejemplo, la margen que recibe el caudal de drenaje deberá tener una protección en gaviones o piedra pegada que evite su deterioro. A su vez, si la parte final de la conducción queda localizada en una zona inundable, deberán tomarse las medidas del caso para asegurar la estabilidad de las estructuras de drenaje y su óptimo funcionamiento hidráulico.

En general, una obra de entrega debe tratarse como un dissipador de energía que garantiza la llegada controlada del agua a su destino final, y la estabilidad de las obras de drenaje.

**Figura 2.26** Disposición final a quebrada El Monte



**Fuente:** Elaboración propia.

Se le llama disposición final al destino que se le dará al agua captada por un sistema de alcantarillado. En la mayoría de los casos, las aguas se vierten a una corriente natural que pueda conducir y degradar los contaminantes del agua. En este sentido, se cuenta con la tecnología y los conocimientos necesarios para determinar el grado en que una corriente puede degradar los contaminantes e incluso, se puede determinar el número, espaciamiento y magnitud de las descargas que es capaz de soportar.

Por otra parte, la tendencia actual es tratar las aguas residuales y emplearlas como aguas tratadas o verterlas a las corrientes. También se desarrollan acciones encaminadas al uso del agua pluvial, pues pueden ser utilizadas en el riego de áreas verdes en zonas urbanas, tales como jardines, parques y camellones; o en zonas rurales en el riego de cultivos.

Así, un proyecto moderno de alcantarillado pluvial puede ser compatible con el medio ambiente y ser agradable a la población según el uso que se le dé al agua pluvial. Al respecto, cabe mencionar los pequeños lagos artificiales que son construidos en parque públicos con fines ornamentales. (Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, México).



## **2.6. Diseño de un sistema de drenaje urbano**

Se diseña y construye para recibir, conducir y disponer las aguas de lluvias producto de la precipitación, puede caer en forma líquida, granizo o de nieve. (Rafael P. Carmona, Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras).

Para lograr un buen diseño de un sistema de recolección de aguas de lluvia, deben tomarse en cuenta todas las variables que pueden intervenir en la determinación de un gasto de aguas de lluvia acumulándose. (Simón Arocha R, Cloacas y drenajes).

En general, podemos considera cuatro factores importantes, para efectos de diseño de un sistema de recolección de aguas de lluvia:

- Características de la zona.
- Curvas de pavimento.
- Intensidad Duración Y frecuencia.
- Estimación de caudal

### **2.6.1. Caracterización de la zona**

La topografía no es más que la característica del área donde actúa la cuenca en estudio referente al tipo de superficie, sus pendientes, los porcentajes de construcción, etc. Estos parámetros intervienen en el grado de impermeabilidad que facilita o retarda la escorrentía de las aguas pluviales que pueden concentrarse en un punto. La superficie total a considerar en el proyecto estará constituida por el área propia, más el área natural de la hoya que drena a través de ella. (Arocha S. Cloacas y drenajes).

Los problemas de drenaje son causados principalmente por el exceso de aguas en un determinado espacio físico proveniente de las precipitaciones, es por ello que para el diseño de las obras de drenaje pluvial urbano se considera que el excedente de agua hallado en la superficie, no tomado en consideración el flujo subterráneo, ya que el

tiempo de retardo es muy extenso y por lo tanto, no tiene gran influencia en el dimensionamiento de las estructuras de drenaje.

La superficie total a considerar en cualquier proyecto de drenaje urbano, estará constituida por el área propia, más el área natural de la hoya que drena a través de ella.

Es de fundamental importancia conocer el catastro y urbanización existente de la zona de estudio, en este punto se destaca lo necesario conocer como es la distribución catastral de las manzanas que componen la cuenca, ello permitirá identificar la forma de aporte de cada una y ajustar los límites de la cuenca y de las subcuencas de forma precisa.

Se deben determinar las diferentes características de la superficie que la constituye, en este sentido la Norma Boliviana NB-688 establecen coeficientes de escurrimientos para determinadas superficies y zonas.

**Tabla 2.5** Coeficiente de escurrimiento superficial

Características generales de la cuenca receptora	Valores C
Partes centrales, densamente construidas con calles y vías pavimentadas	0,70 a 0,90
Partes adyacentes al centro, con menor densidad de habitación de calles y vías pavimentadas	0,70
Zonas residenciales de construcciones cerradas y vías pavimentadas	0,65
Zonas residenciales medianamente habitadas	0,55 a 0,65
Zonas residenciales de pequeña densidad	0,35 a 0,55
Barrios con jardines y vías empedradas	0,30
Superficies arborizadas, parques, jardines y campos deportivos con pavimento	0,10 a 0,20

**Fuente:** Norma Boliviana NB-688 Diseño de sistema de alcantarillado pluvial.

Se recomienda en poblaciones rurales, adoptar para C, valores entre 0,40 y 0,60.

**Tabla 2.6** Coeficiente de escurrimiento superficial en función al crecimiento de la urbanización

Características detalladas de la superficie	Valores de C
Superficie de tejados (cubiertas)	0,70 a 0,95
Vías empedradas	0,25 a 0,40
Pavimentos y superficies de hormigón	0,40 a 0,50
Vías y paseos enripiados	0,15 a 0,30
Superficies no pavimentadas, lotes vacíos	0,10 a 0,30
Parqueos, jardines, gramados, dependiendo de la pendiente de los mismos	0,00 a 0,25

**Fuente:** Norma Boliviana NB-688 Diseño de sistema de alcantarillado pluvial.

Por razones prácticas, resulta útil la determinación de un coeficiente medio, bien sea por sectores o por zonas, dependiendo de la extensión del proyecto. Este coeficiente medio de escurrimiento o de impermeabilidad puede determinarse en función de área y de los coeficientes absolutos de cada una.

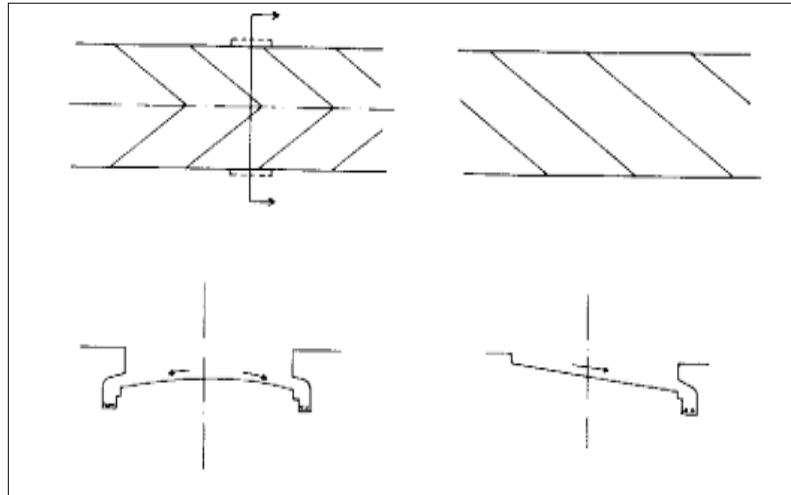
### 2.6.2. Curvas de pavimento

Existe una estrecha relación entre el sistema de drenajes y el sistema vial, por ello ambos proyectos se influyen entre sí de forma tal que al proyectarse el sistema de recolección de aguas de lluvia en las calles deba tenerse tanto las pendientes longitudinales como transversales de las calzadas. Asimismo, en ocasiones, por razones de drenaje, resulta conveniente cambiar en el proyecto algún sentido de las pendientes de las calles, que permitan y/o logren descargas de aguas de lluvia con el mínimo de daños y mayor facilidad hacia los puntos naturales de recolección.

La **figura 2.27** esquematiza para un sector las curvas de pavimento y corte transversal de la calle, con la orientación hacia los puntos de recolección.

La ubicación de los sumideros en forma tentativa, para la determinación posterior de los caudales que fluyen a ellos, son básicamente una estimación basada en consideraciones de las curvas de pavimento.

**Figura 2.27** Curvas de pavimento



**Fuente:** Arocha S, Cloacas y drenajes.

Por razones de escurrimiento de las aguas de lluvia en las calles, resulta aconsejable mantener las pendientes mínimas que permitan su flujo hacia los puntos de recolección. En tal sentido se han establecido valores mínimos para las pendientes longitudinales y transversales de las calles.

En general, puede decirse que no resulta aconsejable tener pendientes longitudinales menores al 0.3 por 100 por cuanto esto se refleja en velocidades de escurrimiento y en estancamientos de aguas por periodos muy prolongados con los inconvenientes que ello significa. Sin embargo, esto puede ser observado con un mayor o menor grado de flexibilidad, dependiendo de la zona, de sus características, densidad y problemas ocasionales que puede generar.

Las pendientes transversales, generalmente se toman del orden del 2 por 100, admitiéndose un valor mínimo del 1 por 100 y preferiblemente se toma el eje de la calle hacia el borde de la acera o cuneta. (Arocha S. Cloacas y drenajes).

### **2.6.3. Frecuencia de lluvias – periodo de retorno**

El concepto de frecuencia está asociado al de probabilidad y se llama también intervalo de recurrencia, y es el número de veces que un evento es igualado o excedido en un

intervalo de tiempo determinado o en un número de años (Cloacas y drenajes – Simón Arocha).

La magnitud del aguacero que se utiliza para la determinación del caudal de diseño para un colector de aguas de lluvias, depende del daño que podrían causar las inundaciones en área que cubre.

La magnitud del aguacero utilizado para el diseño, se designa en términos de la frecuencia de ocurrencia en años.

La frecuencia es un factor determinante en la capacidad de redes de alcantarillado pluvial en su relación con la prevención de inundaciones en vías, áreas urbanas y plazas, por los riesgos y daños con la propiedad, daños personales y el tráfico vehicular.

El aguacero más pequeño utilizado, deberá tener una frecuencia de 3 años y el más grande, una de 100 años.

En general, los canales abiertos que requieren cubierta o que puedan requerirla en el futuro, deberán diseñarse con los muros laterales verticales y cubiertas de concreto reforzado pretensado.

Los canales abiertos, deben ser diseñados preferiblemente con muros laterales verticales y para un aguacero de 100 años de frecuencia. Los canales con taludes inclinados y con fondos trapezoidales revestidos, deben ser usados únicamente en los casos en que proporcionen mejores condiciones hidráulicas, un costo menos o ambos. (Rafael P. Carmona Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras)

El periodo de retorno de diseño es un factor importante para la determinación de la capacidad de redes de alcantarillado pluvial y la prevención de inundaciones en vías, áreas urbanas y plazas, por los riesgos y daños a la propiedad, daños personales y al tráfico vehicular. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado.

a) Frecuencia de 1 año a 2 años

Se utiliza para redes de áreas urbanas y suburbanas.

b) Frecuencia de 2 años a 5 años

Se utiliza para redes de áreas urbanas residenciales y comerciales.

c) Frecuencia de 10 años

Para colectores de segundo orden como canalización de riachuelos.

d) Frecuencia de 20 años a 50 años

Se adoptan para el diseño de obras especiales como emisarios (canalización de primer orden).

e) Frecuencia de 100 años

Se utiliza para ríos principales que constituyen el sistema de drenaje global de la cuenca.

Dependiendo de la importancia de la estructura hidráulica, el proyectista debe definir el periodo de retorno o grado de protección, esto es, mínimo, aceptable o recomendado, en cualquier caso este periodo de retorno debe ser igual o mayor al presentado en la **tabla 2.7**.

**Tabla 2.7** Periodo de retorno o grado de protección (años)

Características del área de drenaje	Mínimo	Aceptable	Recomendado
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha	2	2	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 ha	5	5	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores 1000 ha*	10	25	25
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores 1000 ha	25	25	50

**Fuente:** Norma Boliviana NB-688 Diseño de sistema de alcantarillado pluvial.

#### **2.6.4. Tiempo de concentración**

El tiempo de concentración se define como el tiempo máximo que tarda la partícula más alejada del área, drenando hasta el punto de recolección. Para el diseño de los colectores de aguas de lluvia en zonas urbanas, este tiempo de concentración representa la suma de dos tiempos:

- a) El tiempo que tarda la partícula más alejada en escurrir sobre la superficie.
- b) El tiempo de traslado que existe en una cierta longitud de colector, comprendida entre 2 sumideros consecutivos.

El primero, tiempo de escurrimiento en la superficie, a través de cunetas, canales o sobre las zonas de escurrimiento natural, puede ser estimado o calculado para distintas características de la superficie.

El segundo o tiempo de traslado en el colector, tendrá influencia en la determinación de los caudales que se reunirán en los subsiguientes sumideros, y será calculado, conocidas las características hidráulicas de este, a fin de determinar en función de la longitud del colector y de la velocidad real de circulación el tiempo que tarda en recorrerlo. (Arocha S. Cloacas y drenajes).

Es el tiempo requerido, después del comienzo de la lluvia intensa durante un aguacero, para que la escorrentía de todas partes de un área determinada llegue al punto del colector que debe ser diseñado; o es el tiempo de flujo desde el punto más alejado de un área determinada al punto del colector cuyo tamaño se desea diseñar.

El tiempo de concentración, es la suma de los tiempos de recorrido sobre terreno, arroyos, zanjas, cunetas y colectores.

La escorrentía sobre el terreno, en las zonas urbanas, es un flujo laminar a través de los prados, campos o áreas pavimentadas. La distancia recorrida sobre el terreno, puede estimarse dependiendo de la topografía actual y futura, pero en ningún caso la distancia puede ser mayor a 100 m para el diseño de dichas zonas. (Rafael P. Carmona, Diseño y Construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras).

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido o de flujo en el colector. El tiempo de entrada corresponde al tiempo requerido para que el escurrimiento llegue al sumidero del colector, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje o tránsito del agua dentro del colector, según la Normas Boliviana NB 688 Diseño de sistema de alcantarillado pluvial.

**Tiempo de concentración = tiempo de entrada + tiempo de recorrido**

### **Tiempo de entrada**

Existen varias fórmulas para estimar el tiempo de entrada  $T_e$ . La ecuación de las FAA de los Estados Unidos es utilizada frecuentemente para el escurrimiento superficial en áreas urbanas. Esta ecuación es la siguiente:

$$T_e = \frac{0,707 * (1,1 - C) * L^{1/2}}{S^{1/3}}$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento, adimensional

L = Longitud máxima de flujo de escurrimiento superficial, en m

S = Pendiente promedio entre el punto más alejado y el colector, en m/m

**Tabla 2.8** Coeficiente de retardo

Tipo de superficie	m
Impermeable	0,02
Suelo sin cobertura, compacto y liso	0,10
Superficie sin cobertura moderadamente rugosa	0,20
Pastos ralos	0,30
Terrenos con arborización	0,70
Pastos densos	0,80

**Fuente:** Norma Boliviana NB-688 Diseño de Sistema de Alcantarillado Pluvial.

### **Tiempo de recorrido, $T_t$**

El tiempo de recorrido en un colector se debe determinar con la siguiente ecuación:

$$T_t = \frac{Lc}{(60 * Vm)}$$



Donde:

$L_c$  = Longitud del colector, en m

$V_m$  = Velocidad media del flujo en el colector, en m/s

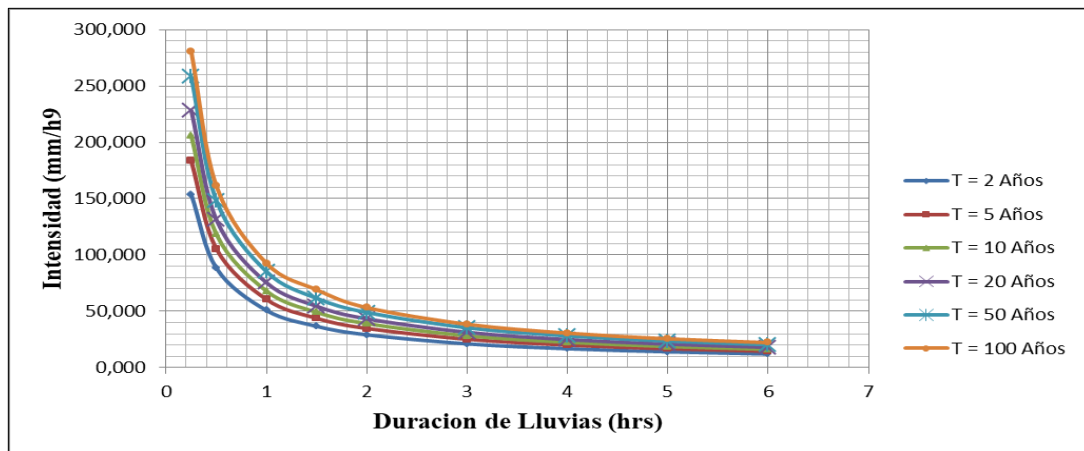
Dado el tiempo ( $T_t$ ) debe corresponder a la velocidad real del flujo en el colector, el tiempo de concentración debe determinarse mediante un proceso iterativo.

El tiempo de concentración mínimo en cámaras de arranque es de 10 minutos y máximo 20 minutos. El tiempo de entrada mínimo es de 5 minutos. Si dos o más colectores confluyen a la misma estructura de conexión, debe considerarse como tiempo de concentración en ese punto el mayor de los tiempos de concentración de los respectivos colectores.

### 2.6.5. Intensidad - duración – frecuencia

Las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base hidrológica para la estimación de caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos máximos de precipitación de una determinada zona y define la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retornos específicos.

**Figura 2.28** Curvas intensidad – duración - frecuencia (IDF)



**Fuente:** Elaboración propia.

Las características de las lluvias a considerar dependen del grado de protección que se le desee, lo cual, por razones económicas se basa en la importancia de la zona, en su densidad de población y en los inconvenientes de tránsito por ser arterias principales o secundarias.

La recopilación de datos pluviográficos permite conocer la frecuencia con que ha ocurrido una lluvia de determinada intensidad, por tanto, cualquier previsión que hagamos estará basada en la información disponible, y si bien este es un fenómeno probabilístico, podrá existir un cierto rango de seguridad en cuanto a los daños o inconvenientes esperados para una determinada lluvia que supere la que tomamos como base para el diseño. Importa, por tanto, seleccionar una frecuencia de lluvias que estime razonadamente las inversiones que esto involucra y el grado de protección que ofrece.

El concepto de frecuencia está asociado al de la probabilidad y se llama también intervalo de recurrencia, y es el número de veces que un evento es igualado o excedido en un intervalo de tiempo determinado o en un número de años.

La intensidad de una lluvia se define como el volumen de agua de lluvia por unidad de tiempo, y generalmente se expresa en mm/hr, mm/min, mm/s/ha o l/s/ha. La intensidad de lluvia depende de la duración de esta, existiendo generalmente una relación inversa entre ellas.

La duración de la lluvia es el tiempo comprendido entre el comienzo y el final de la lluvia, este final puede ser del total o el momento hasta donde es apreciable la lluvia para efectos prácticos. Las lluvias según su duración pueden denominarse como corta, cuando la duración es menor de 120 min, y larga, cuando es mayor de 120 min. (Arocha S, Cloacas y drenajes).

#### **2.6.6. Coeficiente de escurrimiento**

El coeficiente de escurrimiento es un factor que depende del tipo de suelo, de la impermeabilidad, de la topografía y que lógicamente varía aumentando su valor a medida que se desarrollan las diferentes zonas.

### **2.6.7. Estimación de caudal**

El coeficiente de escurrimiento es un factor que depende del tipo de suelo, de la impermeabilidad, de la topografía y que lógicamente varia aumentando su valor a medida que se desarrollan las diferentes zonas.

El coeficiente de escorrentía tiene un significado similar al del coeficiente en el cálculo del alcantarillado sanitario. No toda el agua precipitada llega al sistema del alcantarillado; parte se pierde por factores tales como evaporación, intercepción vegetal, detención superficial en cunetas, zanjas o depresiones, y por infiltración. De todos los factores anteriores, el de mayor importancia es el de infiltración, el cual es función de la impermeabilidad del terreno y es por esto que en algunos casos se le llama coeficiente de impermeabilidad.

La determinación absoluta de este coeficiente es muy difícil ya que existen hechos que pueden hacer que su valor varié con el tiempo. Por una parte, las perdidas por infiltración disminuyen con la duración de la lluvia debido a la saturación paulatina de la superficie del suelo y, por otra parte, la infiltración puede ser modificada de manera importante por la intervención del hombre en el desarrollo de la ciudad, por acciones tales como la tala de árboles y la construcción de nuevos sectores residenciales y comerciales.

#### **2.6.7.1. Método racional**

La determinación del gasto de diseño para un sistema de recolección de aguas de lluvia en zonas pobladas atiende generalmente al método racional. El método racional asume que el caudal máximo que se acumula en un determinado punto, como consecuencia de la escorrentía de aguas pluviales, está expresado por la ecuación:

$$Q = C * i * A / 360$$

Donde:

Q= Caudal en m<sup>3</sup>/s

C= Coeficiente de escorrentía

i= Intensidad de lluvia (mm/hr)

A= Área en Ha

El método considera la intensidad de lluvias, para una duración igual al tiempo de concentración, ya que se estima que habrá un incremento de caudal a medida que se incrementa el área, puesto que la disminución en intensidad con el tiempo es compensado con el mayor incremento de área, cuando toda el área ha contribuido, esta permanece constante, pero habrá disminución de intensidad a mayor tiempo, y por lo tanto el gasto disminuirá. (Arocha S, Cloacas y drenajes).

Asimismo, la misma ecuación del método racional, se debe utilizar para las siguientes unidades:

$$Q = 2,78 * C * i * A$$

Donde:

Q= Caudal pico de escurrimiento de aguas pluviales, en l/s

C= Coeficiente de escurrimiento medio para un conjunto de superficies, adimensional

i= Intensidad media de la lluvia (mm/hr)

A= Área de la superficie de las zonas afluentes, en Ha

De acuerdo con el método racional, el caudal pico ocurre cuando toda el área de drenaje está contribuyendo, y este es una fracción de la precipitación media bajo las siguientes suposiciones:

- El caudal pico en cualquier punto es una función directa de la intensidad “I” de la lluvia, durante el tiempo de concentración para ese punto.
- La frecuencia del caudal pico es la misma que la frecuencia media de la precipitación.

- El tiempo de concentración está implícito en la determinación de la intensidad media de la lluvia por la relación anotada en el primer punto.

El método racional es adecuado para áreas de drenaje pequeñas hasta 50 ha. Cuando estas son relativamente grandes, puede ser más apropiado estimar caudales mediante otros modelos y que eventualmente tengan en cuenta la capacidad de amortiguamiento de ondas dentro de la red de colectores.

**Tabla 2.9** Métodos hidrológicos en función a las áreas de la cuenca

Área de la cuenca (A)	Método hidrológico
A < 50 ha	Método racional
50 ha < A < 500 ha	Método racional modificado
A > 500 ha	Otros métodos, por ejemplo: Hidrograma unitario

**Fuente:** Diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial NB 688.

## 2.7. Índice de condición de pavimento asfáltico (PCI)

El índice e condición de pavimentos (PCI), es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basadas en sus fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales.

El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción o la rugosidad general.

Proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento del pavimento. (Manual de diseño de conservación vial).

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado y hasta un cien (100), para un pavimento en excelente estado. En la siguiente tabla se presenta los rangos del PCI con la correspondiente descripción de la condición del pavimento.

**Tabla 2.10** Rangos de clasificación del PCI

Rango	Clasificación
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy Bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 10	Muy Malo
10 - 0	Fallado

**Fuente:** Manual de diseño de conservación vial- Administradora Boliviana de carreteras.

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. (Ing. Luis R. Vásquez Varela, PCI Para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras).

### **2.7.1. Procedimiento de la evaluación de la condición de pavimentos**

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. El formato de para el levantamiento de información se encuentra en el **Anexo V**.

### **2.7.2. Unidades de muestreo**

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura: a. Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango  $230.0 \pm 93.0$  m<sup>2</sup>. En la **tabla 2.11** se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

**Tabla 2.11** Longitudes de unidades de muestreo asfálticas

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,0	46,0
5,5	41,8
6,0	38,3
6,5	35,4
7,3 (máximo)	31,5

**Fuente:** Ing. Luis R. Vásquez Varela, PCI Para pavimentos Asfálticos y de concreto en Carreteras.

### 2.7.3. Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

Todas las unidades de muestra de la sección pueden ser inspeccionadas, sin embargo no es una medida muy empleada debido a las limitaciones del tiempo. Carencia de mano de obra y recursos económicos. Este tipo de inspección es ideal para obtener una mayor estimación del mantenimiento y reparación necesarios.

En la evaluación de un Proyecto el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

N = Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento

e = Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

$\sigma$  = Desviación estándar del PCI = 10, Cuando no sea un estudio Nuevo

La cual produce un estimado del PCI  $\pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%

El número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento se obtiene:

$$N = \frac{\text{Longitud a estudiar (L)}}{\text{Longitud unidad de muestro (LU)}}$$

#### **2.7.4. Selección de las unidades de muestreo para inspección**

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la Ecuación:

$$i = \frac{N}{n}$$

Donde:

N = Número total de unidades de muestreo disponible

n = Número mínimo de unidades para evaluar

i = Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3)

b. El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i

Así, si  $i = 3$ , la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestra adicionales solos deben inspeccionarse cuando se observen fallas no representativas, son escogidas por la persona que realiza la evaluación.

#### **2.7.5. Cálculo de valor del PCI**

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “valores deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

Para el cálculo del PCI se realiza los siguientes pasos:

##### **Paso 1:** Cálculo de los valores deducidos

- a) Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna total del formato PCI-01. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.



- b) Divida la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje. Esta es la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- c) Determine el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “valor deducido del daño” que se adjuntan al final de este documento, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

**Paso 2:** Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos

- a) Si ninguno o tan sólo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” en lugar del mayor “valor deducido corregido”, CDV, obtenido en la Paso 4. De lo contrario, deben seguirse los incisos b y c, del Paso 2.
- b) Liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.
- c) Determine el “número máximo admisible de valores deducidos” (m), utilizando la ecuación:

$$m = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV)$$

Donde:

m = Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo i

HDV = El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i

- d) El número de valores individuales deducidos se reduce a m, inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que m se utilizan todos los que se tengan.

**Paso 3:** Cálculo del “máximo valor deducido corregido”, CDV

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

- a) Determine el número de valores deducidos, q, mayores que 2.0.
- b) Determine el “valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.

- c) Determine el CDV con  $q$  y el “valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- d) Reduzca a 2.0 el menor de los “valores deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repita los incisos a y c, hasta que  $q$  sea igual a 1.
- e) El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

**Paso 4:** Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en el Paso 3.

$$PCI = 100 - CDV_{max}$$

Dónde:

PCI = Índice de condición de pavimentos

CDV<sub>max</sub> = Máximo valor deducido corregido

### **2.7.6. Fallas del pavimento asfáltico**

Se entiende por fallas al conjunto de daños que presenta un pavimento y que disminuyen la serviciabilidad del mismo, frecuentemente se presentan debido a un mal diseño, agentes externos o defectos constructivos.

Estas falas pueden clasificarse en:

- Fallas funcionales: Como su nombre los indica, se produce una falla en la capacidad funcional del pavimento, es decir, se pierde la función inicial de diseño. Están estrechamente ligadas a la carpeta asfáltica, se pierde la calidad de la superficie de rodadura y no se tiene una adecuada fricción superficial. Se pueden detectar por simple inspección visual.
- Fallas estructurales: Son fallas graves, ya que involucran al paquete estructural, se originan cuando se produce la falla estructural en una o varias capas del pavimento. Lo que ocasiona el rompimiento del mismo. Estas fallas pueden detectarse por simple inspección visual, aunque en algunos casos se hace necesario realizar ensayos destructivos y/o no destructivos.

Las fallas que se presentan en pavimentos asfálticos son las siguientes:

**Tabla 2.12** Fallas en pavimentos asfálticos

N°	Fallas de pavimentos asfálticos	N°	Fallas de pavimentos asfálticos
1	Piel de cocodrilo	11	Parcheo y acometidas de servicios públicos
2	Exudación	12	Pulimento de agregados
3	Agrietamiento en bloque	13	Huecos
4	Abultamientos y hundimientos	14	Cruce de vía férrea
5	Corrugación	15	Ahuellamiento
6	Depresión	16	Desplazamiento
7	Grieta de borde	17	Grietas parabólicas
8	Grieta de reflexión de junta	18	Hinchamiento
9	Desnivel carril berma	19	Meteorización / desprendimiento de agregados
10	Grietas longitudinales y transversales		

**Fuente:** Ing. Luis R. Vásquez Varela, PCI Para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

**Figura 2.29** Falla piel de cocodrilo



**Fuente:** Elaboración propia.

**CAPÍTULO III**  
**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE**  
**RESULTADOS**

## CAPÍTULO III

### EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. Ubicación del área de estudio

La ciudad de Tarija, única sección de la provincia Cercado, se encuentra ubicada al noroeste del departamento de Tarija. Limita al norte y oeste con la provincia Méndez, al sur con las provincias Avilés y Arce, al este limita con la provincia O´Connor.

**Figura 3.1** Área de estudio (Barrios San Roque, Las Panosas, La Pampa y El Molino)



**Fuente:** Google Earth.

El área del proyecto se encuentra ubicada en la provincia cercado del departamento de Tarija y comprende parte de los barrios San Roque, Las Panosas, La Pampa y el Molino, Geográficamente el proyecto se encuentra entre las siguientes coordenadas:

En coordenadas UTM

Punto A [320148,21 m E – 7617463,00 m S]

Punto B [320688,21 m E – 7617166,06 m S]

Punto C [321058,41 m E – 7617981,46 m S]

Punto D [320444,00 m E – 7618353,00 m S]

El área de estudio está delimitada al norte con la calle Cochabamba, al sur con la av. Víctor Paz Estensoro, al oeste con la calle Campero y al este con las calles Delgadillo y Santa Cruz.

### **3.2. Características del área de estudio**

El área de estudio en el casco central de la ciudad de Tarija presenta un área urbana de 0.60 Km<sup>2</sup> y un perímetro de 3.24 Km. Las calles se encuentran totalmente pavimentadas con pendientes moderadas.

En la zona urbana del casco central de la ciudad de Tarija existen servicios públicos tales como: clínicas, puestos comerciales, farmacias, estación policial, Unidades Educativas además de los servicios básicos de agua potable, alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial, energía eléctrica y telecomunicaciones.

También se encuentran áreas verdes como: la plazuela Sucre, plaza Campero y plaza Luis de Fuentes y Vargas.

La ciudad d Tarija se encuentra a una altitud media de 1957 m.s.n.m. el clima en esta subcuenca es característico de la ciudad, clima templado con una temperatura media de 20 °C.

El sistema de drenaje en el casco central viene funcionando por más de 20 años, dentro del área de estudio se atraviesan cuatro colectores principales y cuenta aproximadamente con unos 214 sumideros en funcionamiento. Algunas intersecciones no cuentan con boca tormentas y en algunos casos estas fueron selladas.

Toda el área de estudio está totalmente urbanizada con construcciones de tipo colonial y la gran parte de su superficie es impermeable.

### 3.3. Diagnóstico del drenaje urbano

El diagnóstico es un proceso analítico que permite conocer la situación real de la organización en un momento dado para descubrir problemas y áreas de oportunidad, con el fin de corregir los primeros y aprovechar las segundas.

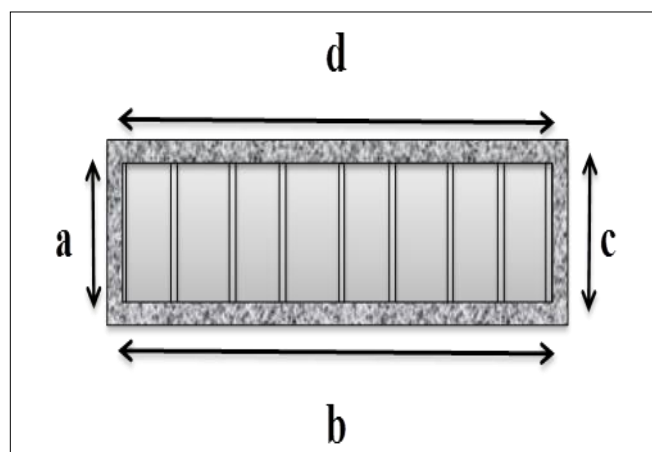
El diagnóstico del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija, es la realización de inspecciones visuales a cada una de las obras de captación existente en la cuenca urbana de la ciudad.

Para definir el diagnóstico sobre el estado actual del drenaje superficial se hizo uso de fichas de evaluación técnica del estado físico y estructural actual donde se describen y cuantifican las obras que se encuentran en buen y mal estado. Esta ficha contiene los siguientes datos; colector del que es parte el sumidero, sector, dirección, obra hidráulica existente, componentes de un sistema de drenaje y su situación actual.

Se realizó una inspección con visita en campo, donde se registraron todos los datos de los drenajes para así poder efectuar un análisis representativo en las zonas donde carece de obras de captación de aguas de lluvia.

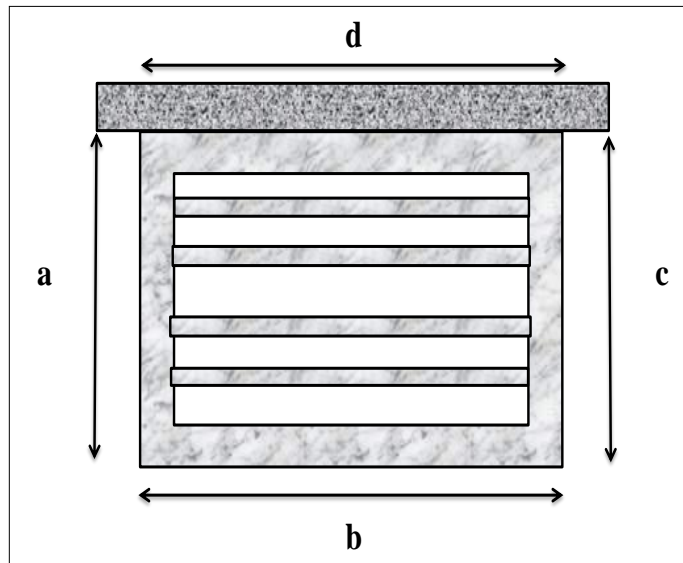
Para el levantamiento de los datos se tomó como modelo los siguientes gráficos:

**Figura 3.2** Boca de tormenta (ventana)



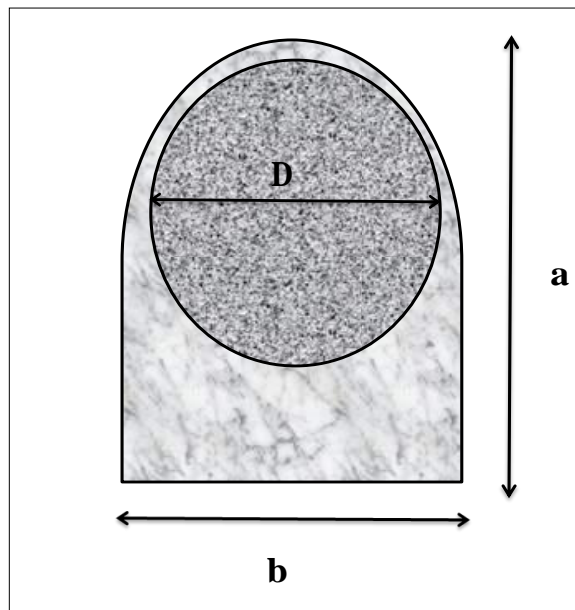
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 3.3** Sumidero de reja en cuneta



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 3.4** Sumidero de ventana con tapa metálica




**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación, se presentará ejemplos de las inspecciones realizadas, descritas en la ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el Casco Central de la Ciudad de Tarija antes mencionada:





**Tabla 3.1** Ficha de evaluación técnica sumidero b31

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "B" zona central								
Sector. - Barrio La Pampa								
Dirección. - Calle Domingo Paz y calle Santa Cruz								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. b31								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	0,75	0,20	0,75			x	
Tapa de cámara					0,03	0,60	x	
Cámara de conexión	0,75	0,75			1,00		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,15			x				
								
<p>Observaciones. - Se observa en la depresión la presencia de material de arrastre y plantas, disminuyendo la altura del mismo. La rejilla se encuentra parcialmente obstruida por basura retenida, disminuyendo el área efectiva de entrada.</p>								

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.2** Ficha de evaluación técnica sumidero b30

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "B" zona central								
Sector. - Barrio Las Pampa								
Dirección. - Calle Santa Cruz y calle Domingo Paz								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. b30								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	0,80	0,20	0,80			x	
Tapa de cámara	1,00	1,10	1,00	1,10			x	
Cámara de conexión	0,95	0,80	0,95	0,80	1,00		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,15			x				
								
Observaciones. - La estructura de la boca de tormenta se encuentra en buen estado. Presencia de materia orgánica retenida por la rejilla en la entrada de la boca tormenta.								

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.3** Ficha de evaluación técnica sumidero b28

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "B" zona central								
Sector. - Barrio Las Pampa								
Dirección. - Calle Méndez y calle Domingo Paz								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. b28								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	1,00	0,20	1,00				x
Tapa de cámara	1,00	1,10	1,00	1,10	0,08			x
Cámara de conexión	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,08			x
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,20			x				
								
<p>Observaciones. -                      La boca de tormenta se encuentra parcialmente obstruida por una tabla de madera, esto reduce el área efectiva y aumenta la posibilidad de taponamiento.                      En las paredes hormigonadas de la depresión se puede observar la presencia de grietas.                      Las barras metálicas se encuentran totalmente desgastadas.</p>								


**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.4** Ficha de evaluación técnica sumidero b24

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "B" zona central								
Sector. - Barrio Las Pampa								
Dirección. - Calle Domingo Paz y calle Suipacha								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. b24								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,15	1,00	0,15	1,00				x
Tapa de cámara	1,00	1,10	1,00	1,10	0,08		x	
Cámara de conexión	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,40	0,40	x				
Cordón o acera	0,15			x				
								
<p>Observaciones. - La estructura de hormigón armado se encuentra en buen estado. Se observa la rejilla metálica de la boca de tormenta se encuentra en mal estado, las barras verticales están totalmente desgastadas producto del tiempo de utilidad.</p>								


**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.5** Ficha de evaluación técnica sumidero b21

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "B" zona central								
Sector. - Barrio Las Pampa								
Dirección. - Calle Domingo Paz y calle Colón								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. b21								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,25	1,00	0,25	1,00				x
Tapa de cámara	0,90	1,10	0,90	1,10	0,08			x
Cámara de conexión	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,20			x				
								
Observaciones. - Se observa que la boca de tormenta ya no cuenta con la rejilla de entrada, esto permite que todo tipo de basura ingrese a la cámara y obstruya la tubería de conexión. La tapa de hormigón armado se encuentra en mal estado, la estructura presenta desprendimiento del hormigón en la parte frontal de la estructura.								

**Fuente:** Elaboración propia.


**Tabla 3.6** Ficha de evaluación técnica sumidero b17

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "B" zona central								
Sector. - Barrio El Molino								
Dirección. - Calle Domingo Paz y calle Sucre								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen derecho. b17								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	0,90	0,20	0,90			x	
Tapa de cámara	0,90	1,00	0,90	1,00	0,08			x
Cámara de conexión	0,85	0,90	0,85	0,90	0,80		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,08		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,20			x				
								
Observaciones. - La tapa de hormigón armado se encuentra en muy mal estado, presenta daño estructural en toda la parte frontal de la estructura, la armadura quedó expuesta. Existe la presencia de basura dentro de la cámara de conexión.								

**Fuente:** Elaboración propia.




**Tabla 3.7** Ficha de Evaluación técnica sumidero b11

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "B" zona central								
Sector. - Barrio El Molino								
Dirección. - Calle Domingo Paz y calle General Trigo								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. b11								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	1,00	0,20	1,00				x
Tapa de cámara	1,00	1,10	1,00	1,10	0,08			x
Cámara de conexión								x
Tubería de conexión						0,30		x
Depresión					0,10			x
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,15			x				
								
Observaciones. - Se observa que la boca de tormenta se encuentra totalmente tapada con hormigón. La tapa de hormigón armado se encuentra sellada con mortero.								

**Fuente:** Elaboración propia.


**Tabla 3.8** Ficha de evaluación técnica sumidero c53

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "C" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle Ingavi y calle Santa Cruz								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. c53								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	1,00	0,20	1,00			x	
Tapa de cámara	0,40	1,10	0,40	1,10	0,08			x
Cámara de conexión	0,35	1,00	0,35	1,00	0,80		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,20			x				
								
<p>Observaciones. -                      La tapa del sumidero de hormigón armado presenta daños en la estructura, la parte frontal de la tapa presenta el desprendimiento del hormigón exponiendo la armadura al exterior.                      La tapa se encuentra sellada con mortero en todo su perímetro, esto dificulta la limpieza de la cámara de conexión.</p>								

**Fuente:** Elaboración propia.





**Tabla 3.9** Ficha de evaluación técnica sumidero c46

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "C" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle Santa Cruz y calle Bolívar								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana, margen derecho. c46								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	0,75	0,20	0,75				x
Tapa de cámara					0,03	0,58	x	
Cámara de conexión	0,75	0,785			0,70		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,05			x
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,15			x				
								
Observaciones. - Se observa la presencia de material de arrastre y basura obstruyendo la boca de tormenta. También existe la presencia del crecimiento de plantas en la depresión, esto evita en libre paso y la evacuación rápida de las aguas de lluvia.								

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.10** Ficha de evaluación técnica sumidero c48

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "C" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle Bolívar y calle Santa Cruz								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana, margen izquierdo. c48								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	0,75	0,20	0,75			x	
Tapa de cámara					0,03	0,58	x	
Cámara de conexión	0,75	0,75			0,70		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,05		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,15			x				
								
<p>Observaciones. - El sumidero no cuenta con una rejilla de entrada en la boca de tormenta. Se observa la presencia de basura en la cámara de conexión, está por la falta de limpieza puede generar taponamiento de la tubería de conexión.</p>								



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.11** Ficha de evaluación técnica sumidero c41

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "C" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle Méndez y calle Bolívar								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana, margen izquierdo. C41								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,15	0,75	0,15	0,75			X	
Tapa de cámara					0,03	0,58	X	
Cámara de conexión	0,75	0,75			0,70		X	
Tubería de conexión						0,30	X	
Depresión					0,04		X	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	X				
Cordón o acera	0,13			X				
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>								
Observaciones. - Se observa la presencia de basura y plantas, que obstruyen toda el área efectiva de la boca de tormenta. Falta de mantenimiento.								


**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.12** Ficha de evaluación técnica sumidero c2

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "C" zona central								
Sector. - Barrio El Molino								
Dirección. - Calle Bolívar y calle Campero								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen derecho. c2								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	0,90	0,20	0,90				x
Tapa de cámara	0,90	1,00	0,90	1,00	0,08			x
Cámara de conexión	0,85	0,90	0,85	0,90	0,80		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,12		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,20			x				
								
<p>Observaciones. -                      La tapa de hormigón armado se encuentra en malas condiciones, presenta daños en su estructura exponiendo su armadura.                      La rejilla de la boca de tormenta se encuentra totalmente destruida.                      Se observa la presencia de material de arrastre y basura</p>								

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.13** Ficha de evaluación técnica sumidero d41

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "D" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle Virginio Lema y calle Delgadillo								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. d41								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	1,00	0,20	1,00			x	
Tapa de cámara	0,80	1,10	0,80	1,10	0,10		x	
Cámara de conexión	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,05	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,20			x				
								
Observaciones. - Se pudo observar la presencia basura en el interior de la cámara que disminuye el área efectiva de la tubería de conexión y daños en la rejilla por la corrosión del material por el tiempo.								

**Fuente:** Elaboración propia.


**Tabla 3.14** Ficha de evaluación técnica sumidero d46

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "D" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle Delgadillo y av. Abaroa								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. d46								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	1,00	0,20	1,00			x	
Tapa de cámara	0,95	1,10	0,95	1,10	0,10		x	
Cámara de conexión	0,90	1,00	0,90	1,00	1,00		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,15		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,05	0,31	0,30	x				
Cordón o acera	0,25			x				
								
Observaciones. - Se observa la presencia de basura dentro de la cámara que provoca que el área efectiva de la tubería de conexión se vea disminuida.								

**Fuente:** Elaboración propia.




**Tabla 3.15** Ficha de evaluación técnica sumidero d27

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "D" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle 15 de Abril y calle Suipacha								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. d27								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	1,00	0,20	1,00			x	
Tapa de cámara	0,80	1,10	0,80	1,10	0,10		x	
Cámara de conexión	0,70	1,00	0,70	1,00	1,00		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,20		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,05	0,31	0,30	x				
Cordón o acera	0,10			x				
								
Observaciones. - Se observó la presencia de una gran cantidad de basura dentro de la cámara por falta de mantenimiento y parte de basura reduciendo el área efectiva de la ventana, y así haciendo menos eficiente la evacuación del flujo.								

**Fuente:** Elaboración propia.



**Tabla 3.16** Ficha de evaluación técnica sumidero d22

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "D" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle Suipacha y calle Madrid								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen derecho. d22								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	1,00	0,20	1,00			x	
Tapa de cámara	0,80	1,10	0,80	1,10	0,10		x	
Cámara de conexión	0,75	1,00	0,75	1,00	0,70		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,20			x				
								
Observaciones. - Se observó que la estructura se encuentra en perfecto estado, la ventana se encuentra expedita realizando una efectiva evacuación de las aguas de lluvia conducidas por la cuneta,								

**Fuente:** Elaboración propia.



**Tabla 3.17** Ficha de evaluación técnica sumidero d21

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "D" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle 15 de Abril y calle Colon								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. d21								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0.20	0.75	0.20	0.75			x	
Tapa de cámara					0.03	0.60	x	
Cámara de conexión	0.75	0.75			0,70		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,15			x				
								
<p>Observaciones. - El sumidero se encuentra estructuralmente en buen estado. En la Calzada se puede observar el desprendimiento del asfalto provocando pequeños charcos de agua perjudicando el paso vehicular.</p>								


**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.18** Ficha de evaluación técnica sumidero f64

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "F" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle Suipacha y av. Víctor Paz								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen derecho. f64								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,25	1,00	0,25	1,00			x	
Tapa de cámara	0,90	1,10	0,90	1,10	0,08		x	
Cámara de conexión					0,70	0,60	x	
Tubería de conexión						0,40	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,25			x				
								
Observaciones. - El sumidero se encuentra en buen estado, la presencia de material orgánico dentro de la cámara de conexión por la falta de limpieza de la misma, esto puede causar taponamiento de la tubería de conexión.								

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.19** Ficha de evaluación técnica sumidero f62

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "F" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle Abaroa y calle Suipacha								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. f62								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	1,00	0,20	1,00			x	
Tapa de cámara	0,95	1,10	0,95	1,10	0,08		x	
Cámara de conexión	0,90	1,00	0,90	1,00	1,00		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,04	0,30	0,30	x				
Cordón o acera	0,20			x				
								
<p>Observaciones. - Es sumidero se encuentra en buenas condiciones estructurales. Se observa presencia de agua y basura dentro de la cámara de conexión, esto porque parte el área efectiva de la tubería se encuentra obstruida por basura.</p>								



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.20** Ficha de evaluación técnica sumidero f58

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "F" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle Suipacha y calle Alejandro Del Carpio								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen derecho. f58								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	1,00	0,20	1,00			x	
Tapa de cámara	0,85	1,10	0,85	1,10	0,08		x	
Cámara de conexión	0,80	1,00	0,80	1,00	1,00		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,05	0,40	0,40	x				
Cordón o acera	0,27			x				
								
Observaciones. - La presencia de basura disminuye el área efectiva de la ventana del sumidero y con el repavimentado de las calles la altura de la depresión aumenta.								

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.21** Ficha de evaluación técnica sumidero f33

Ficha de evaluación técnica del estado físico y estructural actual del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija								
Colector "F" zona central								
Sector. - Barrio Las Panosas								
Dirección. - Calle Alejandro Del Carpio y calle Sucre								
Obra hidráulica existente. - Sumidero de ventana con rejilla, margen izquierdo. f33								
Componentes de un sistema de drenaje								
Componentes	Dimensiones (m)						Estado estructural	
	a	b	c	d	h	D	Buena	Mala
Boca de tormenta	0,20	1,00	0,20	1,00			x	
Tapa de cámara	0,90	1,10	0,90	1,10	0,08			x
Cámara de conexión	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00		x	
Tubería de conexión						0,30	x	
Depresión					0,10		x	
Componentes	Dimensiones (m)			Estado estructural				
	h	d	t	Buena		Mala		
Cuneta	0,05	0,31	0,30	x				
Cordón o acera	0,25			x				
								
<p>Observaciones. - Se observa dentro de la cámara agua retenida, la presencia de basura sobre la tapa de la cámara de la boca tormenta. La basura puede provocar el taponamiento total de la tubería de conexión.</p>								

**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a las observaciones y datos levantados sobre el estado actual del drenaje superficial de toda el área de estudio se aprecia:

El casco central de la ciudad de Tarija cuenta con cuatro colectores principales que atraviesan por la misma, el colector B sobre la av. Domingo Paz, colector C sobre la calle Ingavi, colector D sobre la calle 15 de Abril y el colector F sobre la av. Víctor Paz Estensoro. Cada colector cuenta con la cantidad de obras de drenaje haciendo un total de 214 sumideros, en la siguiente **tabla 3.22** se muestra cada colector con el número de sumideros:

**Tabla 3.22** Número de sumideros por colector

Colectores	Nº Sumideros
Colector B	32
Colector C	54
Colector D	50
Colector F	78
Total	214

**Fuente:** Elaboración propia.

La ciudad de Tarija, posee como característica fundamental por contar con el colector F con mayor número de sumideros existentes en el Casco central.

Mediante el trabajo realizado en campo, se pudo apreciar que en el área de estudio se cuenta con 81 intersecciones de las cuales, 3 intersecciones contaban con 1 sumidero, 11 intersecciones con 2 sumideros, 37 intersecciones con 3 sumideros, 15 intersecciones con 4 sumideros, 2 intersecciones con 5 sumideros, 1 intersección con 6 sumideros y 12 intersecciones sin número de sumideros.

También se pudo apreciar que existen 137 sumideros en buen estado y 77 sumideros que se encuentran dañadas, mediante una inspección visual se muestra en la siguiente **tabla 3.23** un resumen de las bocas de tormentas dañadas georreferenciadas:

**Tabla 3.23** Resumen de boca tormentas dañadas

N°	Referencia	Dirección	Tipo de sumidero	Coordenadas UTM		Elementos dañados
				Norte	Este	
1	b1	Calle Campero y calle Corrado	Ventana con rejilla	7618155,466	320369,832	rejilla, tapa de cámara
2	b3	Calle Campero y calle Domingo Paz	Ventana con rejilla	7618121,878	320358,950	rejilla, tapa de cámara
3	b4	Calle Campero y calle Domingo Paz	Ventana con rejilla	7618119,317	320367,712	tapa de cámara
4	b5	Calle Domingo Paz y calle Campero	Ventana con rejilla	7618112,731	320352,286	tapa de cámara
5	b6	Calle Domingo Paz y calle Campero	Ventana con rejilla	7618092,534	320345,806	tapa de cámara
6	b7	Calle General Trigo y calle Corrado	Ventana con rejilla	7618165,247	320463,508	tapa de cámara
7	b8	Calle General Trigo y calle Corrado	Ventana con rejilla	7618157,643	320473,316	tapa de cámara
8	b9	Calle Corrado y calle General Trigo	Ventana con rejilla	7618162,376	320456,343	tapa de cámara
9	b11	Calle Domingo Paz y calle General Trigo	Ventana con rejilla	7618084,431	320438,310	tapada con hormigón
10	b12	Calle General Trigo y calle Domingo Paz	Mixto	7618075,171	320446,915	tapa de cámara, rejilla
11	b13	Calle Domingo Paz y calle General Trigo	Ventana sin rejilla	7618063,368	320431,619	tapa de cámara
12	b16	Calle Domingo Paz y calle Sucre	Ventana con rejilla	7618047,343	320514,780	tapa de cámara, depresión
13	b17	Calle Domingo Paz y calle Sucre	Ventana con rejilla	7618039,939	320512,146	tapa de cámara
14	b18	Calle Daniel Campos y calle Domingo Paz	Ventana con rejilla	7618023,262	320602,869	rejilla
15	b19	Calle Daniel Campos y calle Domingo Paz	Ventana con rejilla	7618020,205	320612,644	rejilla
16	b20	Calle Daniel Campos y calle Domingo Paz	Ventana con rejilla	7618012,127	320598,336	rejilla
17	b21	Calle Domingo Paz y calle Colon	Ventana con rejilla	7617994,981	320689,815	rejilla, tapa de cámara
18	b22	Calle Colón y calle Domingo Paz	Ventana con rejilla	7617992,453	320698,708	rejilla, tapa de cámara
19	b23	Calle Colón y calle Domingo Paz	Ventana con rejilla	7617983,747	320688,287	tapa de cámara
20	b24	Calle Domingo Paz y calle Suipacha	Ventana con rejilla	7617965,701	320774,507	rejilla
21	b26	Calle Suipacha y calle Domingo Paz	Ventana con rejilla	7617957,391	320773,167	tapa de cámara, depresión
22	b28	Calle Méndez y calle Domingo Paz	Ventana con rejilla	7617938,562	320866,442	tapada con tabla de madera
23	b29	Calle Méndez y calle Domingo Paz	Ventana con rejilla	7617927,219	320853,151	tapa de cámara, depresión
24	c1	Calle Campero y calle Bolívar	Ventana con rejilla	7618021,735	320325,762	rejilla, tapa de cámara
25	c2	Calle Bolívar y calle Campero	Ventana con rejilla	7618010,122	320320,709	rejilla, tapa de cámara
26	c9	Calle General Trigo y calle Bolívar	Ventana con rejilla	7617991,020	320419,390	rejilla
27	c10	Calle General Trigo y calle Bolívar	Ventana con rejilla	7617980,926	320405,667	rejilla
28	c16	Calle Sucre y calle Bolívar	Ventana con rejilla	7617953,366	320488,894	rejilla, tapa de cámara

29	c20	Calle Bolívar y calle Daniel Campos	Ventana con rejilla	7617938,308	320572,292	tapa de cámara
30	c21	Calle Bolívar y calle Daniel Campos	Ventana con rejilla	7617932,693	320587,654	tapa de cámara, depresión
31	c22	Calle Bolívar y calle Daniel Campos	Ventana con rejilla	7617930,266	320569,580	rejilla, tapa de cámara
32	c23	Calle Bolívar y calle Daniel Campos	Ventana con rejilla	7617917,682	320587,046	tapa de cámara
33	c28	Calle Bolívar y calle Colon	Ventana con rejilla	7617911,088	320660,720	tapa de cámara
34	c29	Calle Bolívar y calle Colon	Ventana con rejilla	7617895,906	320654,818	tapa de cámara
35	c42	Calle Méndez y calle Ingavi	Ventana con rejilla	7617770,387	320807,534	rejilla, tapa de cámara
36	c45	Calle Santa Cruz y calle Domingo Paz	Ventana con rejilla	7617884,284	321009,981	tapa de cámara, depresión
37	c46	Calle Santa Cruz y calle Bolívar	Ventana con rejilla	7617805,195	320976,489	rejilla, depresión
38	c51	Calle Santa Cruz y calle Bolívar	Ventana con rejilla	7617787,900	320981,623	rejilla, depresión
39	c53	Calle Ingavi y calle Santa Cruz	Ventana con rejilla	7617720,558	320939,863	tapa de cámara
40	d10	Calle Sucre y calle 15 de Abril	Ventana con rejilla	7617713,397	320420,900	tapa de cámara
41	d12	Calle 15 de Abril y calle Sucre	Ventana con rejilla	7617704,622	320407,827	tapa de cámara
42	d28	Calle Méndez y calle Madrid	Ventana con rejilla	7617683,143	320788,100	rejilla
43	d29	Calle Madrid y calle Méndez	Ventana con rejilla	7617685,033	320776,853	tapa de cámara
44	d32	Calle Méndez y calle 15 de Abril	Ventana con rejilla	7617600,908	320759,821	cámara de conexión
45	d35	Calle Santa Cruz y calle Ingavi	Ventana con rejilla	7617709,392	320949,660	tapa de cámara
46	d36	Calle Madrid y calle Santa Cruz	Ventana con rejilla	7617642,327	320906,173	rejilla, tapa de cámara
47	d38	Calle 15 de Abril y calle Delgadillo	Ventana con rejilla	7617566,732	320857,505	rejilla, cámara de conexión
48	d42	Calle Virginio Lema y calle Delgadillo	Ventana con rejilla	7617475,402	320802,175	tapa de cámara
49	d44	Calle Alejandro Del Carpio y calle Delgadillo	Ventana con rejilla	7617401,285	320771,988	tapa de cámara
50	f8	Calle Campero y calle Abaroa	Ventana con rejilla	7617516,910	320172,206	tapa de cámara
51	f9	Calle Campero y calle Abaroa	Ventana con rejilla	7617505,488	320168,324	rejilla, tapa de cámara
52	f10	Calle Campero y av. Víctor Paz	Mixto	7617477,293	320147,909	rejilla, tapa de cámara, cámara de conexión, rejilla de calzada
53	f13	Calle Campero y calle 15 de Abril	Ventana con rejilla	7617770,484	320254,049	tapa de cámara
54	f15	Calle General Trigo y calle 15 de Abril	Ventana con rejilla	7617744,906	320330,066	tapa de cámara
55	f17	Calle 15 de Abril y calle General Trigo	Ventana con rejilla	7617741,302	320323,558	rejilla
56	f19	Calle General Trigo y calle Virginio Lema	Ventana con rejilla	7617658,107	320309,667	tapa de cámara
57	f20	Calle Virginio Lema y calle General Trigo	Ventana con rejilla	7617656,656	320299,292	tapa de cámara
58	f21	Calle General Trigo y calle Virginio Lema	Ventana con rejilla	7617642,660	320294,902	tapa de cámara



59	f22	Calle General Trigo y calle Alejandro Del Carpio	Ventana con rejilla	7617574,371	320282,290	rejilla, tapa de cámara
60	f23	Calle Alejandro Del Carpio y calle General Trigo	Ventana con rejilla	7617576,745	320271,283	tapa de cámara
61	f25	Calle Abaroa y calle General Trigo	Ventana con rejilla	7617492,361	320243,312	tapa de cámara
62	f29	Calle Virginio Lema y calle Sucre	Ventana con rejilla	7617621,082	320379,892	tapa de cámara
63	f30	Calle Virginio Lema y calle Sucre	Ventana con rejilla	7617624,346	320397,439	tapa de cámara
64	f32	Calle Sucre y calle Alejandro Del Carpio	Ventana con rejilla	7617550,414	320366,301	tapa de cámara
65	f33	Calle Alejandro Del Carpio y calle Sucre	Ventana con rejilla	7617549,491	320355,363	tapa de cámara
66	f42	Calle Daniel Campos y calle Alejandro Del Carpio	Ventana con rejilla	7617509,047	320435,140	tapa de cámara
67	f50	Calle Colón y calle Abaroa	Mixto	7617407,056	320496,518	rejilla de calzada
68	f51	Calle Colón y calle Abaroa	Ventana con rejilla	7617404,382	320504,276	tapa de cámara
69	f52	Calle Colón y av. Víctor Paz	Ventana con rejilla	7617296,180	320457,846	rejilla
70	f55	Calle Suipacha y calle Virginio Lema	Ventana con rejilla	7617554,550	320629,549	tapa de cámara
71	f59	Calle Alejandro Del Carpio y calle Suipacha	Ventana con rejilla	7617451,952	320600,446	tapa de cámara
72	f63	Calle Abaroa y calle Suipacha	Ventana con rejilla	7617370,165	320572,850	tapa de cámara, cuneta
73	f71	Calle Méndez y calle Abaroa	Ventana con rejilla	7617350,524	320674,697	tapa de cámara
74	f73	Calle Abaroa y calle Méndez	Ventana con rejilla	7617339,139	320655,327	tapa de cámara
75	f74	Calle Abaroa y calle Méndez	Ventana con rejilla	7617343,679	320675,176	tapa de cámara
76	f75	Calle Méndez y calle Abaroa	Ventana con rejilla	7617334,250	320657,589	tapa de cámara
77	f78	Av. Víctor Paz y calle Méndez	Ventana con rejilla	7617201,656	320625,972	rejilla

**Fuente:** Elaboración propia.

Por las lluvias que se presentaron actualmente en la ciudad de Tarija se pudo observar mediante la inspección visual cinco puntos críticos donde se acumula de manera prolongada una cierta cantidad de agua de lluvia, estos puntos son en las siguientes intersecciones la av. Víctor Paz y calle Campero, av. Víctor Paz y calle General Trigo, av. Víctor Paz y calle Sucre, av. Víctor Paz y calle Daniel Campos, av. Víctor Paz y calle Colón.

Los drenajes por falta de mantenimiento provocan la acumulación de agua que provoca interferencia al tránsito y peatonal causando daños significativos a la propiedad y creando malestar general a los usuarios del tramo vial.

En el diagnóstico realizado se pudo observar que en su mayoría de los sumideros se pudo observar la presencia de material de arrastre, basura y otros, esto se debe a la falta de mantenimiento constante de las obras de drenaje urbano, esto pueden afectar en la evacuación de las aguas en épocas lluvias. Estas observaciones se las puede estudiar detenidamente en las Fichas de Evaluación Técnica mencionadas anteriormente.

Por falta de organización y planificación urbana, la ciudad de Tarija no cuenta con la representación de las obras de drenaje que existen en la ciudad, lo cual fueron visitados los órganos competentes; obras públicas del Gobierno Municipal de Tarija, no siendo posible encontrar dichos planos, y donde claramente informaban que durante muchos años no se ha tenido esta información.

### **3.3.1. Identificación de causas de los problemas del drenaje urbano**

La falta de mantenimiento de los drenajes urbanos provoca que los sumideros se llenen de basura tanto en las cámaras de conexión o queden retenidas en las bocas de tormenta, provocando la disminución del área efectiva y produciendo una evacuación lenta de las aguas de lluvia.

En los sumideros en el casco central de la ciudad de Tarija en su mayoría se pudo observar la presencia de material de arrastre y basura obstruyendo la boca de tormenta, algunos sumideros no cuentan con rejillas que permiten el libre ingreso de todo tipo de material a la cámara y provocando un taponamiento en la tubería de conexión. Como se

pudo observar que la principal causa de un mal drenaje es la acumulación de la basura e ingreso de la misma a la red de alcantarillado pluvial, provocando taponamientos en las tuberías de conexión y colectores.

### **3.4. Topografía**

Para la evaluación del drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija, se requiere el conocimiento de las áreas de contribuyen a las vías, la cual está determinada por el sentido del flujo superficial en calles y avenidas; esto precisa un conocimiento de la topografía de la zona urbana del casco central de la ciudad de Tarija.

Si no se cuenta con esta información o no existe la representación fidedigna y confiable del terreno es necesario apoyarse en un buen levantamiento topográfico.

#### **3.4.1. Levantamiento topográfico**

Es necesaria una nivelación geométrica en todas las esquinas de la zona de trabajo que nos permita identificar y trazar la cuenca de aporte, conociendo además y de ser posible las cuencas vecinas.

Para la evaluación del drenaje se consideró características especiales de precisión, los levantamientos topográficos dependen en todo caso de los siguientes factores:

- Magnitud o áreas del proyecto a evaluar.
- Pendientes del terreno.
- Levantamiento planimétrico de la zona de emplazamiento con curvas de nivel.

COSAALT LTDA., Dirección de Catastro y Dirección de Obras Públicas del Gobierno Municipal de la Ciudad de Tarija, suministro los planos del red de alcantarillado pluvial en el casco central de la ciudad de Tarija.

#### **3.4.2. Determinación del sentido del flujo superficial**

El flujo superficial de las calles y avenidas desde los puntos de mayor elevación hacia los menos elevados.

En base a esto se determinó el sentido del escurrimiento de las aguas usando las cotas existentes, o curvas de nivel en su defecto de las intersecciones de calles y avenidas suministradas. **(Plano 2, Anexo VI)**

#### **3.4.3. Delimitación tentativa de la zona**

De acuerdo al sentido del escurrimiento se procedió a delimitar tentativamente la divisoria de aguas. Esta delimitación tentativa y teórica sirvió de guía para ir al campo a constatar el sentido del flujo superficial.

Las longitudes de los tramos viales fueron medidas directamente de los planos, ya que el error que se comete no es de consideración por su semejanza en los valores reales.

#### **3.4.4. Ancho de las vías y altura de aceras**

En la evaluación de drenaje es necesaria prefijar una capacidad máxima de escurrimiento por las vías, esto es lo que se conoce como capacidad hidráulica en las calles y avenidas. Esta capacidad hidráulica en este caso, se asegura cuando el agua alcance unos 5 cm de altura en las aceras, haciéndose indispensable para tal fin conocer la altura de las aceras y el ancho de las calles.

El ancho de las calles se midió directamente de los planos suministrados, en virtud que presentan poca diferencia con mediciones reales de pruebas realizadas en el campo.

Las mediciones tomadas en el campo sobre las aceras revelaron en la mayoría de los casos una altura mínima de 8 cm.

### **3.5. Estudio hidrológico e hidráulico**

La hidrología es utilizada principalmente en relación con el diseño y construcción de estructuras hidráulicas. Para la determinación de los caudales máximos que se pueden esperar en un vertedor, en un sistema de alcantarilla de un sistema de drenaje urbano. La capacidad que se requiere para asegurar el suministro adecuado de agua para una zona de riego y para el abastecimiento de una ciudad.

La hidrología urbana tiene por objeto el estudio del agua y de sus relaciones entre el manejo de las aguas de superficie y el desarrollo del espacio en medio urbano. La hidrología urbana se interesa en la parte del ciclo del agua que es afectada por la urbanización o que afecta el funcionamiento de la ciudad.

### **3.5.1. Periodo de retorno**

Para el caso del caudal de diseño, el periodo de retorno se define, como el intervalo de tiempo dentro del cual un evento de magnitud  $Q$ , puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio.

El periodo de retorno de diseño es un factor importante para la determinación de la capacidad de redes de alcantarillado pluvial y la prevención de inundaciones en vías, áreas urbanas y plazas, por los riesgos y daños a la propiedad, daños personales y al tráfico vehicular. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado.

El periodo de retorno más corto (bajo) en drenaje urbano es de 2 a 10 años. Estos valores están usualmente asociados con áreas de drenaje menores a 100 ha. Para estas áreas se puede utilizar el método racional para obtener el caudal máximo. En ciertos casos, particularmente para áreas que exceden las 100 ha, se pueden usar periodos de retorno más largos.

Para este estudio se tomará un periodo de retorno de 2 y 5 años, para tramos de alcantarillados con áreas tributarias mayores a 10ha, este dato se obtuvo de la **Tabla 2.7**.

### **3.5.2. Demarcación del área tributaria**

Se consideran como áreas tributarias las porciones de áreas de la cuenca que contribuyen con escurrimiento superficial a un tramo de vía determinado.

Debido a que la evaluación en su totalidad es urbana, la demarcación de las áreas tributarias de escurrimiento superficial se hizo bajo el criterio de la subdivisión de las manzanas por las bisectrices de las esquinas, resultando de esta manera áreas con formas

de polígonos regular (triángulos, rectángulos, trapecios, entre otros), para la división de las sub-cuencas se utilizó mapas topográficos actualizados.

Al trazar las divisorias del drenaje deberán atenderse la influencia de las pendientes de los pavimentos, la localización de conductos subterráneos y parques pavimentados, la calidad de pastos y demás características introducidas por la urbanización.

Las áreas de aporte definirán la magnitud de los caudales de aporte, a mayor área mayor el caudal, estas serán determinadas por medición directa y su delimitación debe seguir las líneas de drenaje. **(Plano 1, Anexo VI)**

**Tabla 3.24** Área de aporte “colector B” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Áreas (Ha)	
Salida	Llegada	Parcial	Acum.
B1	B2	1,510	1,510
B2	B3	0,398	1,907
B3	B4	0,425	2,332
B4	B5	0,935	3,267
B1`	B5	2,996	2,996
B5	B6	0,739	7,002
B2`	B6	1,826	1,826
B6	B7	0,547	9,375
B3`	B7	1,349	1,349
B7	B8	0,678	11,402
B4`	B8	2,027	2,027
B8	B10	0,808	14,237
B10	B11	2,171	16,408
B11	B12	2,028	18,435
B12	B13	1,775	20,210
B13	B14	1,375	21,585
B14	B15	1,493	23,077

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.25** Área de aporte “colector C” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Áreas (Ha)	
Salida	Llegada	Parcial	Acum.
C1	C2	1,385	1,385
C2	C3	0,748	2,133
C1`	C3	1,826	1,826
C3	C4	1,200	5,159

C4	C5	0,997	6,156
C2'	C5	1,073	1,073
C5	C6	0,801	8,030
C3'	C6	1,236	1,236
C6	C7	0,367	9,633
C4'	C7	0,755	0,755
C7	C8	0,785	11,173
C5'	C8	0,381	0,381
C8	C9	0,772	12,326
C6'	C9	1,208	1,208
C9	C10	0,776	14,310
C7'	C10	0,806	0,806
C10	C11	0,787	15,903
C8'	C11	0,791	0,791
C11	C12	0,822	17,516
C12	C13	2,170	19,686

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.26** Área de aporte “colector D” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Áreas (Ha)	
Salida	Llegada	Parcial	Acum.
C7	D1	0,196	0,196
D1	D2	0,766	0,962
C8	D2	0,190	0,190
D2	D3	1,188	2,340
D3	D4	0,761	3,100
D4	D5	0,972	4,073
D5'	D5	0,777	0,777
D5	D6	0,587	5,437
D6'	D6	0,790	0,790
D6	D7	0,799	7,026
D7	D8	1,241	8,268
C13	D7'	0,811	0,811
D7'	D8'	0,811	0,811
D8'	D8	0,461	1,272
D8	D9	1,110	10,650
D9	D10	1,082	11,732
D10	D11	0,845	12,577
D11	D13	0,590	13,167
D13	FINAL	1,154	14,321

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.27** Área de aporte “colector F” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Áreas (Ha)	
Salida	Llegada	Parcial	Acum.
F1	F2	1,710	1,710
F2	F3	1,738	3,448
F3	F4	0,671	4,119
F5	F4	1,253	1,253
F4	F9	0,520	5,891
F9	F10	2,069	7,960
F10	F16	2,113	10,073
F14	F15	0,981	0,981
F15	F16	0,657	1,638
F16	F20	1,308	13,019
F6	F8	1,364	1,364
F7	F8	0,590	0,590
F8	F11	0,759	2,713
F12	F11	0,581	0,581
F11	F13	0,753	4,048
F13	F17	1,464	5,512
F17	F18	0,777	6,289
F18	F20	1,345	7,634
F20	F23	0,700	21,352
F21	F22	0,773	0,773
F22	F23	0,759	1,532
F23	F26	1,536	24,421
F24	F25	0,960	0,960
F25	F26	0,582	1,542
F26	F30	1,743	27,706
F27	F28	0,974	0,974
F28	F29	0,391	1,365
F29	F30	0,393	1,758
F30	F34	0,880	30,344
F31	F32	1,171	1,171
F32	F33	0,783	1,954
F33	F34	0,750	2,704

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.3. Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento  $C$  toma valores entre 0 y 1, y varía apreciablemente de una cuenca a otra y de una tormenta a otra debido a las condiciones de humedad iniciales. Sin embargo, es común tomar valores para  $C$ , aquellos representativos de acuerdo con ciertas características de retención o encharcamiento de la superficie.



Superficies impermeables tales como los pavimentos o los techos de edificaciones, producirán una escurrentía de casi 100 % (C=1) después de que la superficie haya sido completamente mojada, independiente de la pendiente. Inspecciones de campo son muy importantes y útiles en la estimación de la naturaleza de la superficie.

El coeficiente de escurrimiento también depende de las características y las condiciones del suelo. Otros factores que influyen en el coeficiente son la intensidad de lluvia, la proximidad del nivel freático, el grado de compactación del suelo y el almacenamiento por depresión. Debe escogerse el coeficiente razonable para representar los efectos integrados de todos los factores.

Para la determinación práctica que incluyan subáreas con coeficientes de escurrimiento diferentes, el valor de C representativo del área debe calcularse como promedio ponderado con los diferentes tipos de superficies, se obtiene de la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\sum Ci * Ai}{\sum A}$$

Donde:

Ci = Coeficiente de escurrimiento superficial de cada sector, adimensional

Ai = Área de cada sector, en Ha

A = Área total de la cuenca de drenaje, en Ha

A continuación, se dan algunos coeficientes para distintos tipos de superficie según la Norma Boliviana NB-688 Diseño de sistema de alcantarillado pluvial.

**Tabla 3.28** Coeficiente de escurrentía de estudio según la cuenca receptora

Características generales de la cuenca receptora	Valores C
Partes centrales, densamente con calles y vías pavimentadas.	0.70 a 0.90
Partes adyacentes al centro, de menor densidad de habitación con calles y vías pavimentadas.	0.70
Zonas residenciales de construcciones cerradas y vías pavimentadas.	0.65
Zonas residenciales medianamente habilitadas.	0,55 a 0,65
Zonas residenciales de pequeña densidad.	0,35 a 0,55
Barrios con jardines y vías empedradas.	0,30
Superficies arborizadas, parques, jardines y campos deportivos con pavimento.	0.10 a 0.20

**Fuente:** Norma Boliviana NB-688 Diseño de sistema de alcantarillado pluvial.

**Tabla 3.29** Coeficiente de escorrentía según la superficie

Características detalladas de la superficie	Valores C
Superficie de tejados (cubiertas)	0,70 a 0,95
Vías empedradas	0,25 a 0,40
Pavimentos y superficies de hormigón	0,40 a 0,50
Vías y paseos enripiados	0,15 a 0,30
Superficies no pavimentadas, lotes vacíos	0,10 a 0,30
Parqueos, jardines, gramados, dependiendo de la pendiente de los mismos.	0.00 a 0.25

**Fuente:** Norma Boliviana NB-688 Diseño de sistema de alcantarillado pluvial.

Para este estudio se calculó un coeficiente de escorrentía ponderado para cada una de las redes, y tenemos como resultado el siguiente:

Coeficiente de escorrentía colector B

Área de Viviendas	185686,81	m <sup>2</sup> → C =	0,65	Residencial
Área Cordón y Calzada	43970,675	m <sup>2</sup> → C =	0,40	Asfaltadas
Área Jardín	1117,51	m <sup>2</sup>	0,15	
TOTAL	230774,990	m <sup>2</sup>		
		C <sub>POND</sub> =	0,60	

Coeficiente de escorrentía colector C

Área de Viviendas	155287,22	m <sup>2</sup> → C =	0,65	Residencial
Área Cordón y Calzada	37714,503	m <sup>2</sup> → C =	0,40	Asfaltadas
TOTAL	193001,72	m <sup>2</sup>		
		C <sub>POND</sub> =	0,60	

Coeficiente de escorrentía colector D

Área de Viviendas	108176,209	m <sup>2</sup> → C =	0,65	Residencial
Área Cordón y Calzada	35035,351	m <sup>2</sup> → C =	0,40	Asfaltadas
Área Jardín	3679,851	m <sup>2</sup>	0,15	
TOTAL	143211,560	m <sup>2</sup>		
		C <sub>POND</sub> =	0,59	

Coeficiente de escorrentía colector F

Área de Viviendas	254031,912	m <sup>2</sup> → C =	0,65	Residencial
Área Cordón y Calzada	71079,564	m <sup>2</sup> → C =	0,40	Asfaltadas
Área Jardín	5365,704	m <sup>2</sup>	0,15	
TOTAL	330477,180	m <sup>2</sup>		
		C <sub>POND</sub> =	0,59	

### 3.5.4. Tiempo de concentración

Para obtener el tiempo de concentración se aplica la ecuación:

$$T_c = T_e + T_r$$

**Tiempo de concentración = tiempo de entrada + tiempo de recorrido**

#### Tiempo de entrada

$$T_e = \frac{0,707 * (1,1 - C) * L^{1/2}}{S^{1/3}}$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento, adimensional

L = Longitud máxima de flujo de escurrimiento superficial, en m

S = Pendiente promedio entre el punto más alejado y el colector, en m/m

#### Tiempo de recorrido, Tt

El tiempo de recorrido en un colector se debe determinar con la siguiente ecuación:

$$T_t = \frac{L_c}{(60 * V_m)}$$

Donde:

Lc = Longitud del colector, en m

Vm = Velocidad media del flujo en el colector, en m/s

Dado el tiempo (Tt) debe corresponder a la velocidad real del flujo en el colector, el tiempo de concentración debe determinarse mediante un proceso iterativo.

El tiempo de concentración mínimo en cámaras de arranque es de 10 minutos y máximo 20 minutos. El tiempo de entrada mínimo es de 5 minutos. Si dos o más colectores confluyen a la misma estructura de conexión, debe considerarse como tiempo de concentración en ese punto el mayor de los tiempos de concentración de los respectivos colectores.

**Tabla 3.30** Tiempo de concentración colector “B” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Tiempo (min)		
Salida	Llegada	Entrada	Flujo	Concen.
B1	B2	10,000	0,278	10,278
B2	B3	10,278	0,196	10,474
B3	B4	10,474	0,305	10,778
B4	B5	10,778	0,632	11,410
B1'	B5	10,000	0,342	10,342
B5	B6	11,410	0,341	11,751
B2'	B6	10,000	0,266	10,266
B6	B7	11,751	0,626	12,377
B3'	B7	10,000	0,312	10,312
B7	B8	12,377	0,436	12,814
B4'	B8	10,000	0,356	10,356
B8	B10	12,814	0,381	13,195
B10	B11	13,195	0,434	13,629
B11	B12	13,629	0,612	14,242
B12	B13	14,242	0,510	14,752
B13	B14	14,752	0,487	15,240
B14	B15	15,240	1,272	16,512

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.31** Tiempo de concentración colector “C” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Tiempo (min)		
Salida	Llegada	Entrada	Flujo	Concen.
C1	C2	10,000	0,468	10,468
C2	C3	10,468	0,789	11,257
C1'	C3	10,000	0,589	10,589
C3	C4	11,257	0,679	11,936
C4	C5	11,936	0,738	12,675
C2'	C5	10,000	0,672	10,672
C5	C6	12,675	0,617	13,292
C3'	C6	10,000	0,774	10,774
C6	C7	13,292	0,593	13,885
C4'	C7	10,000	0,939	10,939
C7	C8	13,885	0,640	14,526
C5'	C8	10,000	1,167	11,167
C8	C9	14,526	0,619	15,145
C6'	C9	10,000	0,780	10,780
C9	C10	15,145	0,430	15,575
C7'	C10	10,000	0,765	10,765
C10	C11	15,575	0,872	16,447

C8'	C11	10,000	1,513	11,513
C11	C12	16,447	0,786	17,233
C12	C13	17,233	1,135	18,368

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.32** Tiempo de concentración colector “D” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Tiempo (min)		
Salida	Llegada	Entrada	Flujo	Concen.
C7	D1	10,000	1,343	11,343
D1	D2	11,343	0,862	12,206
C8	D2	10,000	1,087	11,087
D2	D3	11,087	0,526	11,613
D3	D4	11,613	0,756	12,369
D4	D5	12,369	0,678	13,047
D5'	D5	10,000	1,109	11,109
D5	D6	13,047	0,629	13,676
D6'	D6	10,000	0,575	10,575
D6	D7	13,676	0,602	14,277
D7	D8	14,277	0,625	14,902
C13	D7'	10,000	0,866	10,866
D7'	D8'	10,866	0,270	11,136
D8'	D8	11,136	0,646	11,782
D8	D9	14,902	0,474	15,376
D9	D10	15,376	0,533	15,909
D10	D11	15,909	0,477	16,386
D11	D13	16,386	0,714	17,100
D13	FINAL	17,100	0,616	17,716

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.33** Tiempo de concentración colector “F” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Tiempo (min)		
Salida	Llegada	Entrada	Flujo	Concen.
F1	F2	10,000	0,535	10,535
F2	F3	10,535	0,699	11,234
F3	F4	11,234	0,900	12,134
F5	F4	10,000	0,988	10,988
F4	F9	12,134	0,609	12,743
F9	F10	12,743	0,796	13,539
F10	F16	13,539	0,558	14,097
F14	F15	10,000	0,552	10,552
F15	F16	10,552	1,226	11,778
F16	F20	14,097	0,487	14,584
F6	F8	10,000	1,229	11,229
F7	F8	10,000	0,716	10,716

F8	F11	11,229	0,774	12,002
F12	F11	10,000	0,599	10,599
F11	F13	12,002	0,761	12,763
F13	F17	12,763	0,727	13,490
F17	F18	13,490	1,083	14,573
F18	F20	14,573	0,793	15,366
F20	F23	14,584	0,396	14,980
F21	F22	10,000	0,548	10,548
F22	F23	10,548	0,842	11,390
F23	F26	14,980	0,515	15,494
F24	F25	10,000	0,530	10,530
F25	F26	10,530	1,492	12,022
F26	F30	15,494	0,506	16,000
F27	F28	10,000	0,757	10,757
F28	F29	10,757	0,493	11,250
F29	F30	11,250	0,723	11,973
F30	F34	16,000	0,414	16,414
F31	F32	10,000	0,598	10,598
F32	F33	10,598	0,525	11,123
F33	F34	11,123	0,736	11,859

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.5. Información pluviométrica disponible

La realización de un estudio hidrológico consistente, requiere cantidad y calidad de datos y un planteamiento claro de que se va hacer y cómo, tomando en cuenta la información y conocimiento existentes.

Primeramente, se realizó una búsqueda de toda la información pluviométrica disponible en la zona del estudio, evidenciándose la mínima cantidad de esta, debido a la baja densidad de estaciones con respecto al territorio total de nuestra ciudad.

La información pluviométrica que se utiliza en este estudio fue proporcionada por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – Regional Tarija SENAMHI. Por la importancia y ubicación del proyecto, se recabó la información de la estación meteorológica del Aeropuerto y el Tejar. **(Ver Anexo II)**

Las lluvias en la ciudad de Tarija se presentan concentradas en los periodos de octubre - abril y prácticamente nulas entre mayo y septiembre.

Los meses más lluviosos son diciembre, enero y febrero. La precipitación máxima diaria registrada alcanzó los 125,000 mm, en el año 1954 estación meteorológica del Aeropuerto.

A continuación, se detalla las características principales de estas estaciones.

**Tabla 3.34** Características de las estaciones pluviométricas

Estación	VARIABLES MEDIDAS
Aeropuerto	Precipitación máxima en 24 horas, Velocidad del viento, Temperaturas, días con helada, nubosidad media, humedad relativa, dirección del viento y días con lluvia.
Tejar	Precipitación máxima en 24 horas, Velocidad del viento, Temperaturas, días con helada, nubosidad media, humedad relativa, dirección del viento y días con lluvia.

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación, se presenta un detalle de la misma con sus respectivos datos de ubicación, precipitación media y periodo observado.

**Tabla 3.35** Ubicación de las estaciones pluviométricas

Pluviómetros	Coordenadas		H m.s.n.m.	P mm	Periodo observado	Comentario
	Latitud S	Longitud W				
Aeropuerto	21°32'48"	64°42'39"	1849	599,5	1955 - 2020	Climatológica
Tejar	21°32'35"	64°43'16"	1859	631,1	1970 - 2020	Climatológica

**Fuente:** Elaboración propia.

Para el estudio no tomamos en cuenta la estación meteorológica del tejar, ya que la misma se encuentra con muchos datos faltantes de precipitaciones máximas.

### 3.5.6. Estimación de la intensidad

#### 3.5.6.1. Prueba de bondad de ajuste de Smirnov – Kolmogorov

La prueba de ajuste de Smirnov – Kolmogorov, consiste en comparar las diferencias existentes, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto de la diferencia del valor observado y el valor de la recta teórica del modelo, es decir:

$$\Delta = \text{máx} | F(x) - P(x) |$$

Donde:

$\Delta$  = Estadístico de Smirnov - Kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica

$F(x)$  = Probabilidad de la distribución teórica

$P(x)$  = Probabilidad experimental o empírica de los datos, denominada también frecuencia acumulada

Ordenando los datos de Precipitación en forma creciente y calculando la probabilidad empírica  $P(x)$ , usando la fórmula de Weibull:

$$P(x) = \frac{m}{n+1}$$

Donde

$m$  = Es el número de orden en una lista de mayor a menor

$n$  = Es el número total de datos. (Tamaño de la muestra)

Asumimos un nivel de significación igual a 0.05 por ser una obra de mucha importancia

$\Delta_{\text{máx}} < \Delta_0$  El ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado

$\Delta_{\text{máx}} \geq \Delta_0$  El ajuste no es bueno, al nivel de significación seleccionado, siendo necesario probar con otra distribución

La prueba se encuentra en **Anexos II** y por los resultados, y se puede concluir que los datos se ajustan a la distribución de Gumbell, con un nivel de significación de 5% o una probabilidad de 95%.

**Tabla 3.36** Resultado Prueba Smirnov - Kolmogorov

Estación pluviométrica	Estadístico Smirnov - Kolmogorov	
	$\Delta_{\text{máx}}$	$\Delta_0$
Aeropuerto Cercado Tarija	0,135	0,304

**Fuente:** Elaboración propia.



### 3.5.6.2. Gumbell modificada

#### Altura de lluvias máximas diarias

La ley de distribución de máxima intensidad estará definida por la distribución de Gumbell, esta es una distribución de eventos hidrológicos extremos. Se toma los valores máximos anuales para que se cumplan con la independencia de eventos de precipitación que exigen los análisis estadísticos.

Para determinar la altura de lluvias máxima diarias se necesitan los datos de precipitaciones máximas diarias y se adoptan diferentes periodos de retorno.

La ecuación de Gumbell modificada para lluvias máximas diarias es:

$$Hdt = Edp * (1 + Kdp * \text{Log}T)$$

Donde:

Hdp = Altura de lluvia máxima diaria en mm

Edp = Moda ponderada

Kdp = Característica ponderada

T = Periodo de retorno en años

**Moda:**

$$Ed = hd - 0,45 * Sd$$

Donde:

hd = Media aritmética

Sd = Desviación estándar

**Característica:**

$$Kd = \frac{Sd}{0,557 * Ed}$$

Donde:

Sd = Desviación estándar

Ed = Moda

Aplicando lo expuesto se tiene los siguientes resultados:

**Tabla 3.37** Altura de lluvias máximas diarias

T	Hdt
Años	(mm)
2	58,23
5	69,50
10	78,02
20	86,54
50	97,80
100	106,33

**Fuente:** Elaboración propia.

### **Altura de lluvias máximas horarias**

Las precipitaciones máximas horarias se calculan para una duración de lluvia neta en la cuenca, en este caso, igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Para obtener las alturas de lluvias máximas horarias a partir de las precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno y diferentes horas de duración de la lluvia, se utiliza la fórmula de Fuller.

$$h_{tT} = Hdt * \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta$$

Donde:

$h_{tT}$  = Altura de lluvia máxima horaria en mm, para un periodo de retorno T (años) y tiempo t horas

Hdt = Altura de lluvia máxima diaria en mm

t = Tiempo en hr

$\alpha$  = Equivalente de lluvia diaria, Coeficiente que depende del área de la cuenca; cuando el área es mayor a 20 Km<sup>2</sup>  $\alpha=12$ , cuando el área es menor a 20 Km<sup>2</sup>  $\alpha=2$ . Como el área de aporte corresponde al segundo caso se adopta  $\alpha=2$

$\beta$  = Coeficiente angular que varía entre 0,2 y 0,3

Agregando el periodo de retorno, a la fórmula de Fuller la precipitación máxima para la duración de lluvias inferiores a las 12 horas y mayor a 2 horas es la siguiente:

$$h_{tT} = E dp * \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta * (1 + K dp * \text{Log}T)$$

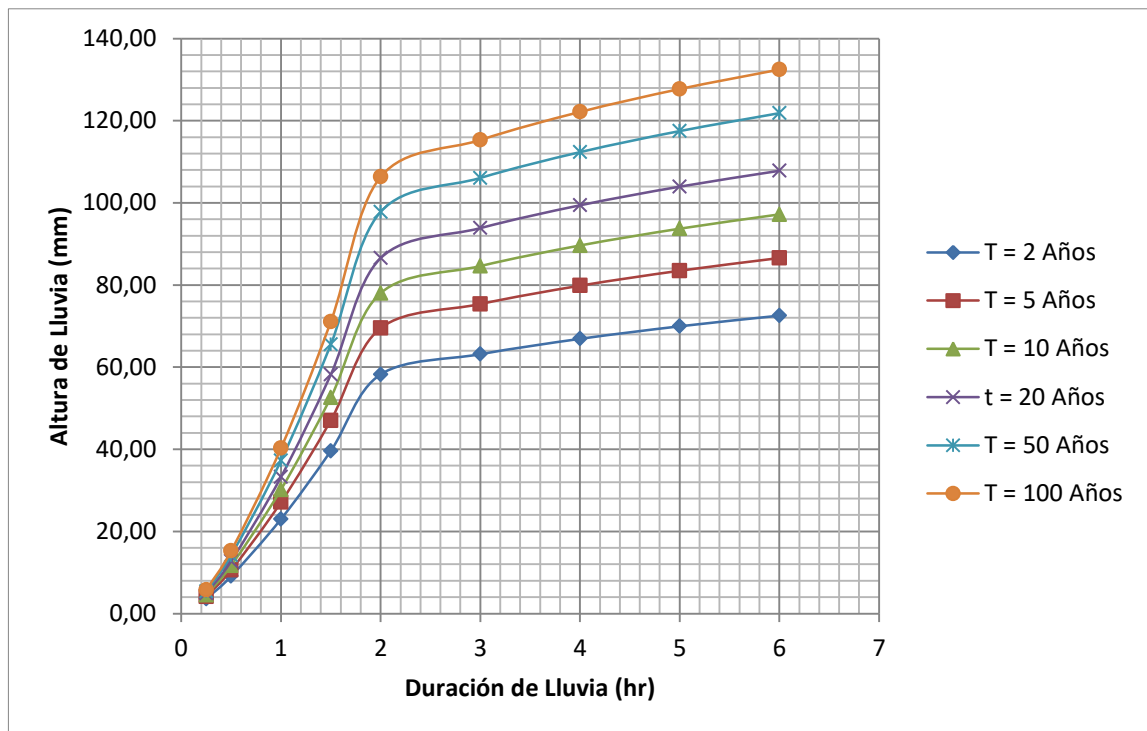
Aplicando lo expuesto se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 3.38** Precipitaciones máximas horarias

T	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
Años	hr	hr	hr	hr	hr	hr	hr	hr	hr
2	3,59	9,08	23,00	39,60	58,23	63,15	66,89	69,94	72,54
5	4,12	10,57	27,11	47,02	69,50	75,37	79,83	83,47	86,57
10	4,52	11,68	30,19	52,60	78,02	84,61	89,62	93,71	97,19
20	4,90	12,77	33,24	58,18	86,54	93,85	99,41	103,94	107,80
50	5,40	14,18	37,25	65,52	97,80	106,07	112,35	117,47	121,84
100	5,77	15,24	40,26	71,05	106,33	115,31	122,14	127,71	132,45

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 3.5** Curvas precipitación máxima – duración – periodo de retorno



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.6.3 Intensidades máximas

La precipitación, como variable de estado hidrológica, se puede caracterizar a través de la intensidad, de su distribución en el espacio y el tiempo, su frecuencia o probabilidad de ocurrencia.

En general, la intensidad de la lluvia en mm/h, se determina dividiendo la altura de precipitación entre la duración de la misma, es decir, la intensidad es inversamente proporcional a la duración de la precipitación. De lo anterior, se obtiene una intensidad media resultante de la relación entre la altura total de precipitación ocurrida en un tiempo, cuya expresión es la siguiente:

$$I_{max} = \frac{h_{tT}}{t}$$

Donde:

$I_{max}$  = Es la intensidad máxima de la lluvia para distintos periodos de retorno

$h_{tT}$  = Altura de lluvia máxima horaria para distintos periodos de retorno

$t$  = Tiempo de duración de la lluvia, igual al tiempo de concentración del área de aporte o cuenca

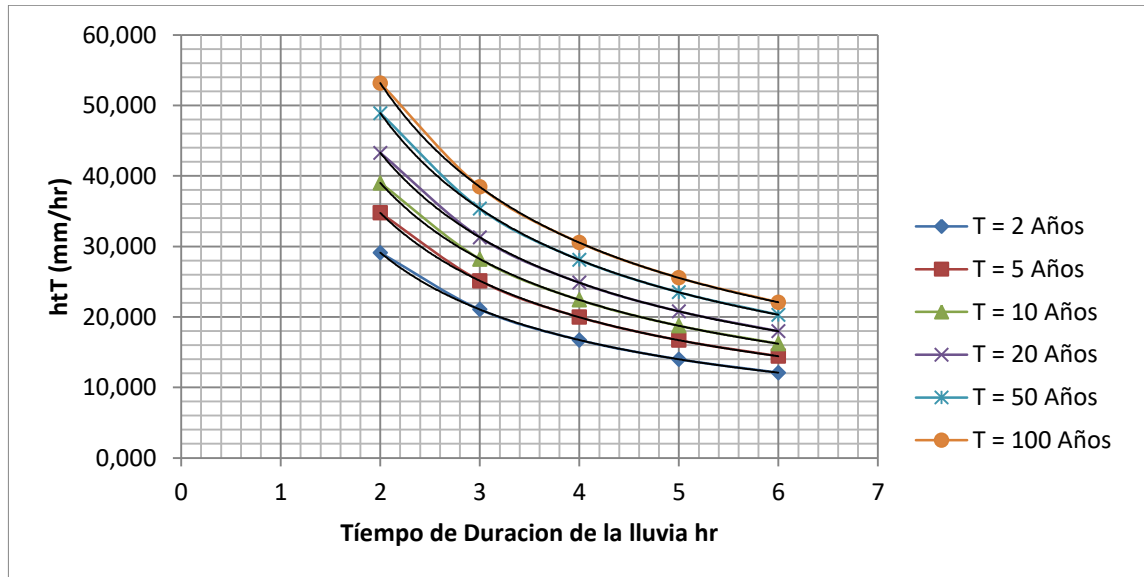
Calculando las intensidades para las alturas de precipitación del cuadro anterior, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 3.39** Intensidades máximas mm/hr

T	0,25	0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
Años	hr	hr	hr	hr	hr	hr	hr	hr	hr
2	14,345	18,163	22,996	26,399	29,116	21,050	16,723	13,989	12,090
5	16,495	21,146	27,107	31,345	34,748	25,122	19,957	16,695	14,429
10	18,075	23,358	30,185	35,069	39,009	28,203	22,405	18,742	16,198
20	19,617	25,536	33,240	38,783	43,269	31,283	24,852	20,789	17,967
50	21,607	28,369	37,247	43,678	48,902	35,355	28,087	23,495	20,306
100	23,083	30,483	40,256	47,367	53,163	38,436	30,534	25,542	22,075

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 3.6** Curvas intensidad – duración - frecuencia



**Fuente:** Elaboración propia.

Las ecuaciones de intensidad para diferentes periodos de retorno son las siguientes:

Para T = 2 años  $I = 50,693 * T^{-0,8}$

Para T = 5 años  $I = 60,5 * T^{-0,8}$

Para T = 10 años  $I = 67,918 * T^{-0,8}$

Para T = 20 años  $I = 75,336 * T^{-0,8}$

Para T = 50 años  $I = 85,143 * T^{-0,8}$

Para T = 100 años  $I = 96,914 * T^{-0,8}$

De las curvas obtenidas aplicaremos las ecuaciones para los periodos de retorno de 2 y 5 años, ya que estos periodos de retorno son los escogidos para este estudio de Evaluación.

**Tabla 3.40** Intensidad colector “B” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		T Años	I (mm/hr)
Salida	Llegada		
B1	B2	2	207,95
B2	B3	2	204,83
B3	B4	2	200,18
B4	B5	2	191,27
B1`	B5	2	206,91
B5	B6	2	186,81
B2`	B6	2	208,14
B6	B7	2	179,21
B3`	B7	2	207,40
B7	B8	2	174,31
B4`	B8	2	206,69
B8	B10	5	203,21
B10	B11	5	198,02
B11	B12	5	191,17
B12	B13	5	185,86
B13	B14	5	181,09
B14	B15	5	169,84

**Fuente:** Elaboración propia.**Tabla 3.41** Intensidad colector “C” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		T Años	I (mm/hr)
Salida	Llegada		
C1	C2	2	204,92
C2	C3	2	193,35
C1`	C3	2	203,04
C3	C4	5	220,18
C4	C5	5	209,86
C2`	C5	2	201,77
C5	C6	5	202,02
C3`	C6	2	200,24
C6	C7	5	195,09
C4`	C7	2	197,83
C7	C8	5	188,96
C5`	C8	2	194,60
C8	C9	5	183,46
C6`	C9	2	200,16
C9	C10	5	179,78

C7'	C10	2	200,39
C10	C11	5	172,95
C8'	C11	2	189,89
C11	C12	5	167,25
C12	C13	5	159,73

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.42** Intensidad colector “D” – casco Central de la ciudad de Tarija

Tramo		T Años	I (mm/hr)
Salida	Llegada		
C7	D1	5	229,34
D1	D2	5	216,28
C8	D2	5	233,58
D2	D3	5	225,07
D3	D4	5	214,00
D4	D5	5	205,06
D5'	D5	2	195,40
D5	D6	5	197,48
D6'	D6	2	203,25
D6	D7	5	190,79
D7	D8	5	184,36
C13	D7'	5	237,37
D7'	D8'	5	232,75
D8'	D8	5	222,49
D8	D9	5	179,80
D9	D10	5	174,97
D10	D11	5	170,88
D11	D13	5	165,15
D13	FINAL	5	160,54

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.43** Intensidad colector “F” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		T Años	I (mm/hr)
Salida	Llegada		
F1	F2	2	203,87
F2	F3	2	193,66
F3	F4	2	182,08
F5	F4	2	197,12
F4	F9	2	175,08
F9	F10	2	166,80
F10	F16	2	161,50
F14	F15	2	203,61
F15	F16	2	186,47
F16	F20	2	157,17

F6	F8	2	193,74
F7	F8	2	201,12
F8	F11	2	183,68
F12	F11	2	202,89
F11	F13	2	174,87
F13	F17	2	167,29
F17	F18	2	157,27
F18	F20	2	150,74
F20	F23	2	153,84
F21	F22	2	203,67
F22	F23	2	191,53
F23	F26	2	149,74
F24	F25	2	203,95
F25	F26	2	183,44
F26	F30	2	145,94
F27	F28	2	200,51
F28	F29	2	193,44
F29	F30	2	184,04
F30	F34	2	142,99
F31	F32	2	202,90
F32	F33	2	195,20
F33	F34	2	185,45

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.7. Estimación de escurrimiento superficial

#### 3.5.7.1. Método racional

Una vez calculado el coeficiente de escorrentía, tiempo de concentración, áreas de aporte y anteriormente las intensidades de lluvia, se procede a calcular el caudal de diseño de los colectores los cuales se necesitarán para la Evaluación.

Se determinó los caudales mediante la fórmula racional:

$$Q = 2,78 * C * i * A$$

Donde:

Q= Caudal pico de escurrimiento de aguas pluviales, en l/s

C= Coeficiente de escurrimiento medio para un conjunto de superficies, adimensional

i= Intensidad media de la lluvia (mm/hr)



A= Área de la superficie de las zonas afluentes, en Ha

**Tabla 3.44** Caudal de diseño colector “B” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Áreas (Ha)		T Años	I (mm/hr)	Coef. C.	Q diseño (l/s)
Salida	Llegada	Parcial	Acum.				
B1	B2	1,510	1,510	2	207,95	0,6	523,646
B2	B3	0,398	1,907	2	204,83	0,6	651,599
B3	B4	0,425	2,332	2	200,18	0,6	778,618
B4	B5	0,935	3,267	2	191,27	0,6	1042,26
B1`	B5	2,996	2,996	2	206,91	0,6	1034,02
B5	B6	0,739	7,002	2	186,81	0,6	2181,75
B2`	B6	1,826	1,826	2	208,14	0,6	633,873
B6	B7	0,547	9,375	2	179,21	0,6	2802,36
B3`	B7	1,349	1,349	2	207,40	0,6	466,756
B7	B8	0,678	11,402	2	174,31	0,6	3315,22
B4`	B8	2,027	2,027	2	206,69	0,6	698,837
B8	B10	0,808	14,237	5	203,21	0,6	4825,76
B10	B11	2,171	16,408	5	198,02	0,6	5419,3
B11	B12	2,028	18,435	5	191,17	0,6	5878,69
B12	B13	1,775	20,210	5	185,86	0,6	6265,59
B13	B14	1,375	21,585	5	181,09	0,6	6519,92
B14	B15	1,493	23,077	5	169,84	0,6	6537,74

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.45** Caudal de diseño colector “C” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Áreas (Ha)		T Años	I (mm/hr)	Coef. C.	Q diseño (l/s)
Salida	Llegada	Parcial	Acum.				
C1	C2	1,385	1,385	2	204,92	0,6	473,52349
C2	C3	0,748	2,133	2	193,35	0,6	687,94637
C1`	C3	1,826	1,826	2	203,04	0,6	618,42273
C3	C4	1,200	5,159	5	220,18	0,6	1894,7457
C4	C5	0,997	6,156	5	209,86	0,6	2154,8001
C2`	C5	1,073	1,073	2	201,77	0,6	361,19846
C5	C6	0,801	8,030	5	202,02	0,6	2706,0739
C3`	C6	1,236	1,236	2	200,24	0,6	412,68169
C6	C7	0,367	9,633	5	195,09	0,6	3134,5093
C4`	C7	0,755	0,755	2	197,83	0,6	249,27664
C7	C8	0,785	11,173	5	188,18	0,6	3507,0489
C5`	C8	0,381	0,381	2	194,60	0,6	123,56122
C8	C9	0,772	12,326	5	182,00	0,6	3741,8866
C6`	C9	1,208	1,208	2	200,16	0,6	403,23469

C9	C10	0,776	14,310	5	177,97	0,6	4247,923
C7'	C10	0,806	0,806	2	200,39	0,6	269,29604
C10	C11	0,787	15,903	5	170,38	0,6	4519,4452
C8'	C11	0,791	0,791	2	189,89	0,6	250,51578
C11	C12	0,822	17,516	5	164,13	0,6	4795,1938
C12	C13	2,170	19,686	5	155,97	0,6	5121,3152

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.46** Caudal de diseño colector “D” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Áreas (Ha)		T Años	I (mm/hr)	Coef. C.	Q diseño (l/s)
Salida	Llegada	Parcial	Acum.				
C7	D1	0,196	0,196	5	229,34	0,59	73,8387
D1	D2	0,766	0,962	5	216,28	0,59	341,374
C8	D2	0,190	0,190	5	233,58	0,59	72,6195
D2	D3	1,188	2,340	5	225,07	0,59	863,698
D3	D4	0,761	3,100	5	214,00	0,59	1088,2
D4	D5	0,972	4,073	5	205,06	0,59	1369,75
D5'	D5	0,777	0,777	2	195,40	0,59	249,074
D5	D6	0,587	5,437	5	197,48	0,59	1761,03
D6'	D6	0,790	0,790	2	203,25	0,59	263,446
D6	D7	0,799	7,026	5	190,79	0,59	2198,79
D7	D8	1,241	8,268	5	184,36	0,59	2500,1
C13	D7'	0,811	0,811	5	237,37	0,59	315,661
D7'	D8'	0,811	0,811	5	232,75	0,59	309,526
D8'	D8	0,461	1,272	5	222,49	0,59	464,253
D8	D9	1,110	10,650	5	179,80	0,59	3140,78
D9	D10	1,082	11,732	5	174,97	0,59	3366,78
D10	D11	0,845	12,577	5	170,88	0,59	3524,96
D11	D13	0,590	13,167	5	165,15	0,59	3566,63
D13	FINAL	1,154	14,321	5	160,54	0,59	3771,07

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.47** Caudal de diseño colector “F” – casco central de la ciudad de Tarija

Tramo		Áreas (Ha)		T Años	I (mm/hr)	Coef. C.	Q diseño (l/s)
Salida	Llegada	Parcial	Acum.				
F1	F2	1,710	1,710	2	203,87	0,59	571,688
F2	F3	1,738	3,448	2	193,66	0,59	1095,16
F3	F4	0,671	4,119	2	182,08	0,59	1230,02
F5	F4	1,253	1,253	2	197,12	0,59	404,994
F4	F9	0,520	5,891	2	175,08	0,59	1691,7
F9	F10	2,069	7,960	2	166,80	0,59	2177,81
F10	F16	2,113	10,073	2	161,50	0,59	2668,16
F14	F15	0,981	0,981	2	203,61	0,59	327,538

F15	F16	0,657	1,638	2	186,47	0,59	500,995
F16	F20	1,308	13,019	2	157,17	0,59	3356,21
F6	F8	1,364	1,364	2	193,74	0,59	433,44
F7	F8	0,590	0,590	2	201,12	0,59	194,735
F8	F11	0,759	2,713	2	183,68	0,59	817,472
F12	F11	0,581	0,581	2	202,89	0,59	193,408
F11	F13	0,753	4,048	2	174,87	0,59	1160,93
F13	F17	1,464	5,512	2	167,29	0,59	1512,26
F17	F18	0,777	6,289	2	157,27	0,59	1622,22
F18	F20	1,345	7,634	2	150,74	0,59	1887,30
F20	F23	0,700	21,352	2	153,84	0,59	5387,77
F21	F22	0,773	0,773	2	203,67	0,59	258,22
F22	F23	0,759	1,532	2	191,53	0,59	481,38
F23	F26	1,536	24,421	2	149,74	0,59	5997,75
F24	F25	0,960	0,960	2	203,95	0,59	321,12
F25	F26	0,582	1,542	2	183,44	0,59	463,89
F26	F30	1,743	27,706	2	145,94	0,59	6631,90
F27	F28	0,974	0,974	2	200,51	0,59	320,38
F28	F29	0,391	1,365	2	193,44	0,59	433,11
F29	F30	0,393	1,758	2	184,04	0,59	530,76
F30	F34	0,880	30,344	2	142,99	0,59	7116,59
F31	F32	1,171	1,171	2	202,90	0,59	389,55
F32	F33	0,783	1,954	2	195,20	0,59	625,59
F33	F34	0,750	2,704	2	185,45	0,59	822,41

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.8. Capacidad de calles y cunetas

Para la determinación de la capacidad de la calle y Cunetas se realizó mediante la fórmula de Manning, cuya expresión matemática es:

$$Q = 0,375 * \sqrt{SL} * \left(\frac{z}{n}\right) * Y^{\frac{8}{3}}$$

Donde:

Q = Caudal en la cuneta, en m<sup>3</sup>/s

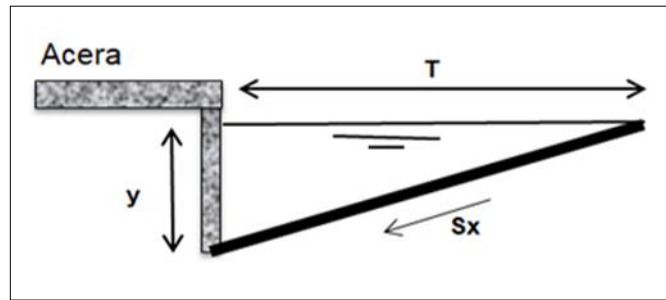
SL = Pendiente longitudinal

1/z = Pendiente transversal

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

Y = Profundidad de flujo en m

**Figura 3.7** Cuneta de estudio



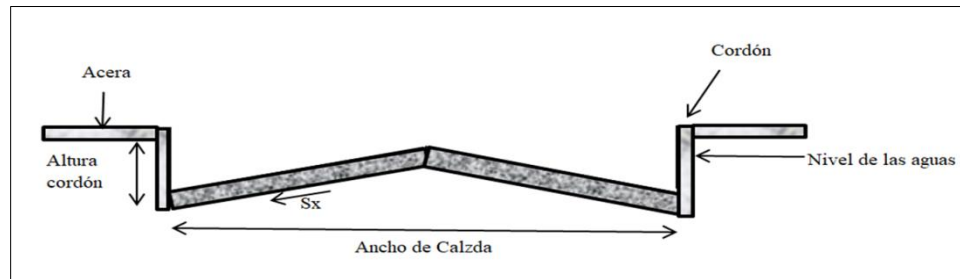
**Fuente:** Elaboración propia.

Para el cálculo de la capacidad de las calles y cunetas, se tomó en cuenta para su cálculo la sección transversal, esto se realizó en cinco puntos críticos de acumulación de agua de lluvia que fueron identificados mediante la inspección visual de trabajo en campo y gabinete.

Para la identificación de los puntos críticos se consideró, los puntos bajos del área de estudio, también las calles que tienen un área de aporte considerable y en épocas de lluvia en estos puntos existe gran acumulación de las aguas.

Aplicando lo expuesto se presentan los resultados obtenidos:

**Figura 3.8** Capacidad hidráulica de las calles y cunetas – colector “F”



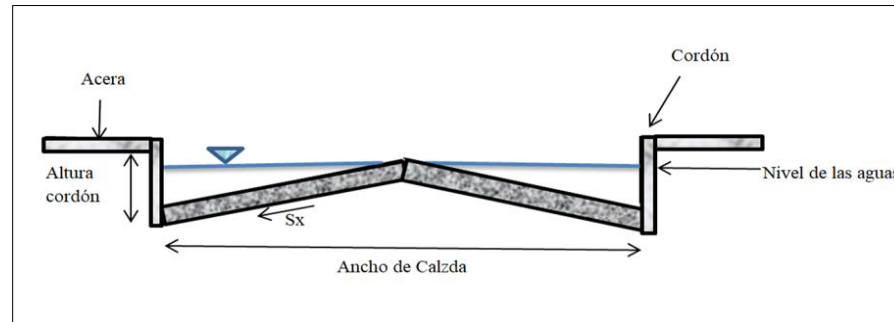
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.48** Datos de las calles en lugares críticos a evaluar

Datos de la calle									
Sumidero	Nombre de la calle	De la calle	A la calle	Cota terreno superior (m)	Cota terreno inferior (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Pendiente longitudinal SL (%)	Pendiente transversal Sx (%)
f10	Campero der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	1871,61	1871,22	5,11	58,34	0,67	2,95
f11	Campero izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	1871,54	1871,16	5,11	58,51	0,65	5,10
f27	General Trigo der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	1871,00	1870,55	5,15	36,73	1,23	3,07
f26	General Trigo izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	1871,08	1870,54	5,15	37,09	1,46	3,32
f35	Sucre der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	1870,98	1870,34	6,92	26,22	2,44	2,83
f36	Sucre izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	1870,97	1870,34	6,92	26,00	2,42	2,97
f43	Daniel Campos der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	1869,84	1869,14	5,93	68,39	1,02	3,95
f44	Daniel Campos izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	1869,88	1869,19	5,93	69,30	1,00	2,91
f52	Colón der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	1871,31	1868,96	5,91	96,58	2,43	0,80
f53	Colón izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	1871,3	1868,91	5,91	97,73	2,45	2,84

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 3.9** Capacidad hidráulica de las calles y cunetas – colector “F”



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.49** Resultados capacidad hidráulica de las calles en lugares críticos

Capacidad hidráulica de la calle								
Nombre de la calle	Coef. de rugosidad n	Altura de acera o cordón (m)	h (m)	A (m)	P (m)	Rh (m)	Capacidad Q (m <sup>3</sup> /s)	Capacidad Q (l/s)
Campero der.	0,016	0,21	0,14	0,126	2,604	0,05	0,085	85,497
Campero izq.	0,016	0,20	0,08	0,075	2,740	0,03	0,034	34,310
General Trigo der.	0,016	0,31	0,11	0,157	2,879	0,05	0,156	156,202
General Trigo izq.	0,016	0,14	0,08	0,067	2,457	0,03	0,046	45,776
Sucre der.	0,016	0,14	0,10	0,115	3,416	0,03	0,117	117,079
Sucre izq.	0,016	0,15	0,09	0,093	3,702	0,03	0,078	77,605
Daniel Campos der.	0,016	0,20	0,08	0,122	2,876	0,04	0,094	93,832
Daniel Campos izq.	0,016	0,21	0,12	0,194	3,260	0,06	0,184	184,430
Colón der.	0,016	0,20	0,08	0,054	2,793	0,02	0,038	37,922
Colón izq.	0,016	0,18	0,03	0,042	3,222	0,01	0,023	22,738

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.9. Capacidad de sumideros

#### 3.5.9.1. Sumidero de ventana

Para el cálculo de la capacidad hidráulica de los sumideros se tomó en cuenta que trabajan como orificio. Cabe mencionar que los sumideros de ventana en estudio no cuentan con rejilla.

La expresión para el cálculo es la siguiente:

Donde:

$h$  = Altura en el cordón (y + depresión), en m

$y$  = Altura máxima del agua a la salida de la cuneta, en m

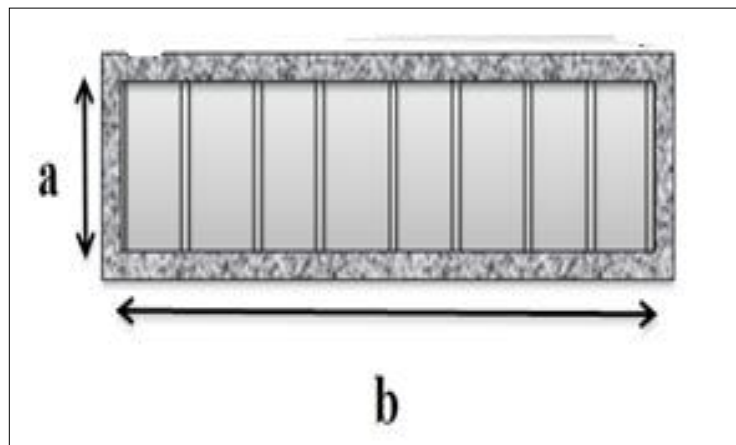
$L$  = Longitud de la abertura, en m

$Q$  = Caudal de proyecto, en  $m^3/s$

- a) Para cargas donde  $y \geq h$  el comportamiento de la entrada es de orificio y la expresión de cálculo es:

$$\frac{Q}{L} = 3,101 * h * \sqrt{y - 0.5h}$$

**Figura 3.10** Sumidero de ventana de estudio



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.50** Resultado capacidad de sumidero de ventana – colector “F”

Capacidad del sumidero de ventana							
Sumidero	Tipo de sumidero	Altura boca tormenta y (m)	Longitud de la abertura L (m)	Área boca tormenta (m <sup>2</sup> )	Longitud efectiva (m)	Capacidad Q (m <sup>3</sup> /s)	Capacidad Q (l/s)
f10	Mixto	0,10	1,20	0,12	1,20	0,083	83,209
f11	Mixto	0,10	1,20	0,12	1,20	0,083	83,209
f27	Mixto	0,15	1,00	0,15	1,00	0,127	127,387
f26	Mixto	0,20	1,40	0,28	1,40	0,275	274,574
f35	Mixto	0,20	1,20	0,24	1,20	0,235	235,349
f36	Mixto	0,20	1,20	0,24	1,20	0,235	235,349
f43	Mixto	0,20	0,95	0,19	0,95	0,186	186,318
f44	Mixto	0,20	0,95	0,19	0,95	0,186	186,318
f52	Ventana	0,20	0,75	0,15	0,75	0,147	147,093
f53	Mixto	0,20	1,00	0,20	1,00	0,196	196,124

**Fuente:** Elaboración propia.



### 3.5.9.2. Sumidero de reja en cuneta

Para el cálculo de la capacidad hidráulica de los sumideros se tomó en cuenta que trabajan como orificio.

La ubicación de un sumidero de reja en punto bajo de la calzada, equivale hidráulicamente a la descarga por un orificio, dependiendo su capacidad de área del orificio y de la profundidad de carga de agua sobre la reja.

La expresión para el cálculo es la siguiente:

Donde:

Q = Caudal de proyecto a ser captada, en m<sup>3</sup>/s

P = Perímetro del área con abertura, en m

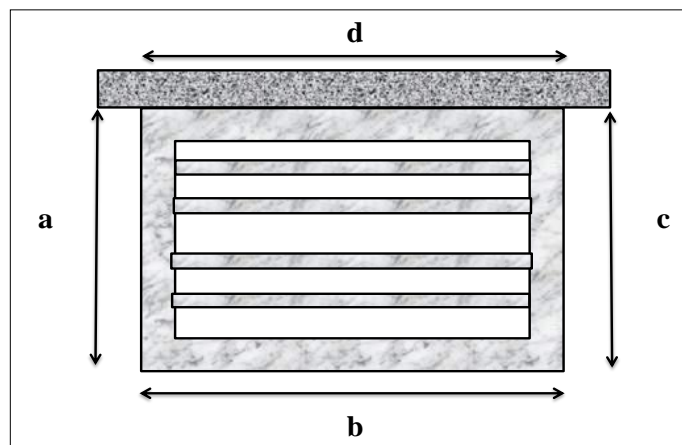
A = Área total de las aberturas, en m<sup>2</sup>

Y = Altura del agua sobre la reja, en m

e = Espaciamiento entre las barras consecutivas

$$\frac{Q}{A} = 2,91 * \sqrt{y}$$

**Figura 3.11** Sumidero de reja en cuneta de estudio



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.51** Resultado capacidad de sumidero de reja en cuneta – colector “F”

Capacidad de sumidero de reja en calzada o cuneta											
Sumidero	Ancho a (m)	Largo b (m)	Espaciamientos. (m)	Espesor de la rejilla e (m)	Nº barras lado ancho	Nº barras lado largo	Ancho efectivo (m)	largo efectivo	Área efectiva A (m)	Capacidad Q (m <sup>3</sup> /s)	Capacidad Q (l/s)
f10	0,50	1,15	0,10	0,05	6	12	0,200	0,575	0,115	0,126	126,11
f11	0,50	1,15	0,10	0,01	6	12	0,440	1,035	0,455	0,375	374,83
f27	0,50	1,00	0,10	0,05	6	-	0,200	1,000	0,200	0,193	193,03
f26	0,50	1,40	0,10	0,05	6	-	0,200	1,400	0,280	0,230	230,46
f35	0,50	1,20	0,10	0,05	6	-	0,200	1,200	0,240	0,215	215,26
f36	0,50	1,20	0,10	0,05	6	-	0,200	1,200	0,240	0,208	208,35
f43	0,50	0,95	0,10	0,05	6	-	0,200	0,950	0,190	0,157	157,36
f44	0,50	0,95	0,10	0,01	6	10	0,440	0,855	0,376	0,385	385,50
f52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f53	0,45	1,00	0,10	0,01	6	10	0,395	0,900	0,356	0,179	179,18

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.10. Evaluación de resultados

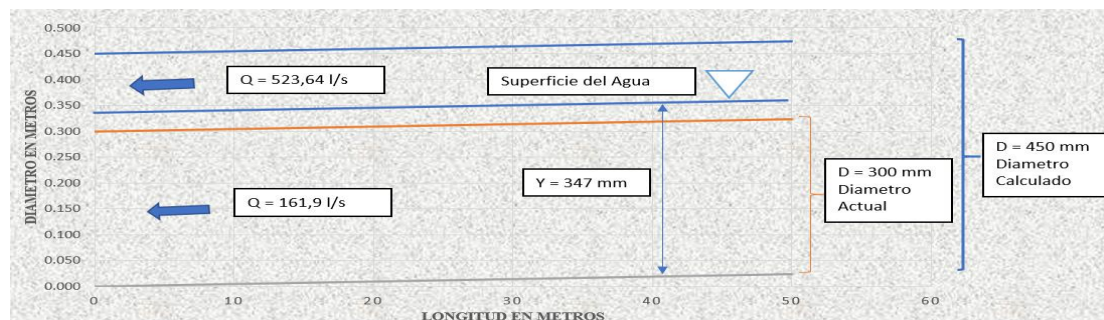
Con los resultados obtenidos en el presente estudio se procederá a realizar una comparación con los datos del sistema de drenaje actual en el Casco central de Tarija, con el fin de evaluar si el sistema actual está trabajando de manera óptima en la evacuación de las aguas de lluvia.

**Tabla 3.52** Evaluación del drenaje del casco central de la ciudad de Tarija – colector “B”

Tramo		Diseño actual		Valores calculados			
		Salida	Llegada	Caudal (l/s)	Diámetro (mm)	Q diseño (l/s)	Diámetro (mm)
B1	B2			161,900	300,00	523,6458	450
B2	B3			257,100	300,00	651,5993	400
B3	B4			271,600	300,00	778,6180	450
B4	B5			270,700	450,00	1042,2556	750
B1`	B5			276,900	375,00	1034,0245	600
B5	B6			590,100	525,00	2181,7528	900
B2`	B6			181,000	300,00	633,8726	500
B6	B7			678,000	675,00	2802,3615	1100
B3`	B7			193,50	300,00	466,7562	400
B7	B8			870,30	675,00	3315,2201	1100
B4`	B8			196,60	300,00	698,8372	500
B8	B10			1220,60	750,00	4825,7588	1200
B10	B11			1403,60	900,00	5419,3044	1400
B11	B12			1497,20	1050,00	5878,6923	1800
B12	B13			1617,20	1050,00	6265,5881	1800
B13	B14			1728,80	1050,00	6519,9246	1800
B14	B15			1871,80	1200,00	6537,7425	1800

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.12** Comparación de diámetro actual y calculado de tramo B1 – B2



Fuente: Elaboración propia.

- Evaluando los resultados obtenidos podemos observar que los colectores secundarios y el colector principal “B” de la red de alcantarillado pluvial, son igualados o excedidos en tiempos de lluvias. Esto quiere decir que están trabajando más 100% de su capacidad al que fueron diseñados.

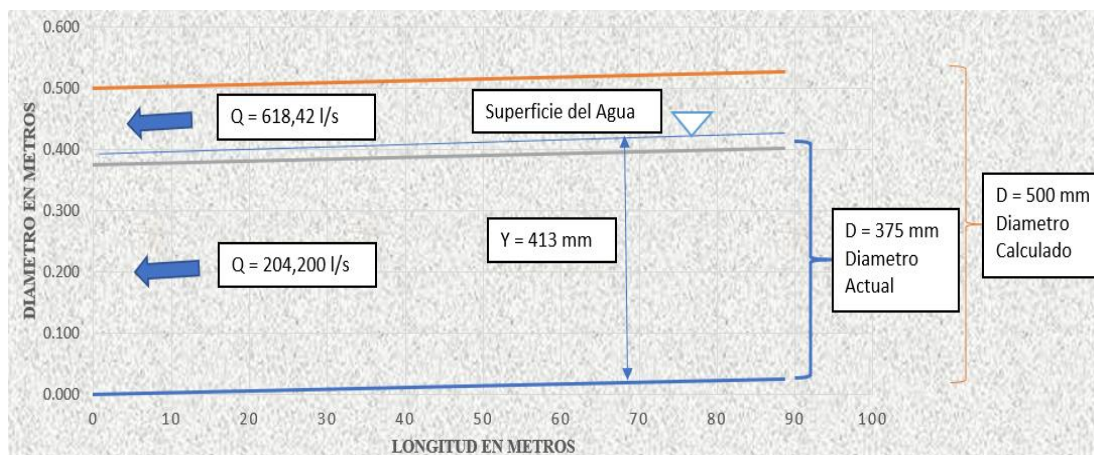
**Tabla 3.53** Evaluación del drenaje del casco central de la ciudad de Tarija – colector “C”

Tramo		Diseño actual		Valores calculados	
		Caudal (l/s)	Diámetro (mm)	Q diseño (l/s)	Diámetro (mm)
Salida	Llegada				
C1	C2	129,600	0,70x0,80	473,5235	0,70x0,45
C2	C3	161,900	0,70x0,80	687,9464	0,70x0,70
C1 <sup>°</sup>	C3	204,200	375,00	618,4227	500
C3	C4	525,800	0,70x0,80	1894,7457	0,70x1,45
C4	C5	546,100	0,70x0,80	2154,8001	0,70x1,75
C2 <sup>°</sup>	C5	102,100	300,00	361,1985	450
C5	C6	743,000	0,70x0,80	2706,0739	0,70x1,70
C3 <sup>°</sup>	C6	116,000	375,00	412,6817	450
C6	C7	964,90	0,70x0,90	3134,5093	0,70x2,00
C4 <sup>°</sup>	C7	108,40	375,00	249,2766	400
C7	C8	1159,60	0,70x0,90	3521,9874	1,00x1,60
C5 <sup>°</sup>	C8	115,60	375,00	123,5612	350
C8	C9	1352,80	0,70x0,90	3772,2454	1,00x1,60
C6 <sup>°</sup>	C9	100,40	375,00	403,2347	450
C9	C10	1528,60	0,70x0,90	4291,6095	1,00x1,40
C7 <sup>°</sup>	C10	86,50	300,00	269,2960	400
C10	C11	1657,50	0,90x1,0	4588,1288	1,30x2
C8 <sup>°</sup>	C11	69,2	250	250,5158	350
C11	C12	1755,2	0,9x1,0	4886,7998	1,30x1,90
C12	C13	1847,8	0,90x1,0	5245,1936	1,30x1,90

**Fuente:** Elaboración propia.

- Evaluando los resultados obtenidos podemos observar que los colectores secundarios y el colector principal “C” de la red de alcantarillado pluvial, son igualados o excedidos en tiempos de lluvias. Esto quiere decir que están trabajando al 100% de su capacidad al que fueron diseñados.

**Figura 3.13** Comparación de diámetro actual y calculado de tramo C1' – C3



**Fuente:** Elaboración propia.

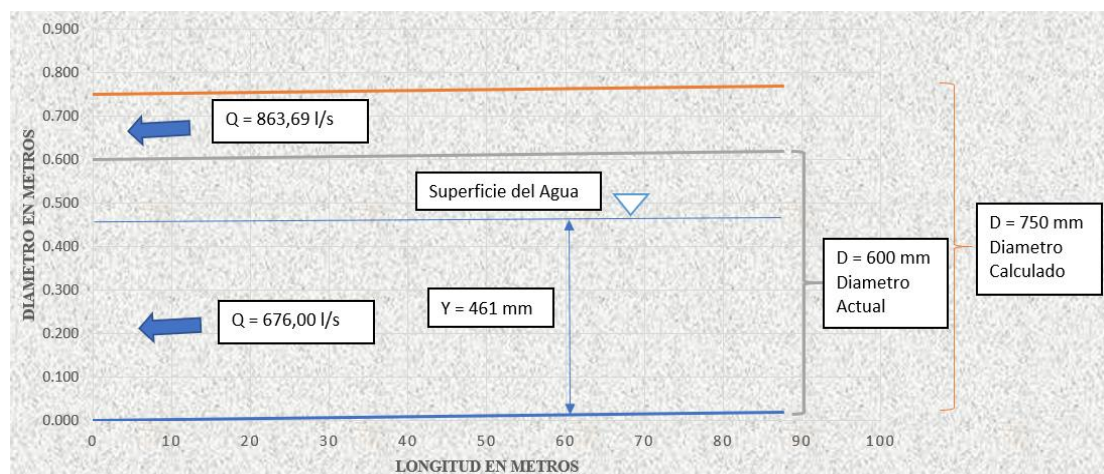
**Tabla 3.54** Evaluación del drenaje del casco central de la ciudad de Tarija – colector “D”

Tramo		Diseño actual		Valores calculados	
		Caudal (l/s)	Diámetro (mm)	Q diseño (l/s)	Diámetro (mm)
Salida	Llegada				
C7	D1	304,300	525,00	73,8387	350
D1	D2	476,000	600,00	341,3738	600
C8	D2	174,600	375,00	72,6195	300
D2	D3	676,000	600,00	863,6984	750
D3	D4	787,900	750,00	1088,2016	900
D4	D5	863,100	750,00	1369,7516	900
D5`	D5	434,500	600,00	249,0737	500
D5	D6	1380,000	900,00	1761,0334	1000
D6´	D6	54,90	200,00	263,4460	350
D6	D7	1494,30	900,00	2198,7894	1000
D7	D8	1620,80	900,00	2500,0982	1000
C13	D7´	385,00	525,00	315,6612	500
D7´	D8´	461,60	525,00	309,5260	450
D8´	D8	614,50	600,00	464,2529	600
D8	D9	-	-	3140,7845	1100
D9	D10	2319,50	1050,00	3366,7791	1200
D10	D11	2351,50	1050,00	3524,9559	1200
D11	D13	2383,00	1050	3566,6304	1200
D13	FINAL	2468,4	1200	3771,0712	1300

**Fuente:** Elaboración propia.

- Analizando los resultados obtenidos podemos observar que las dimensiones de los colectores secundarios son menores a los actuales, lo cual nos da a entender que los colectores secundarios de la Red están funcionando adecuadamente en épocas de lluvia. Mas al contrario las dimensiones calculadas en el colector principal son mayores a las dimensiones actuales, esto quiere decir que el colector principal “D” de la red de alcantarillado pluvial en épocas de lluvia trabaja con un sistema saturado.

**Figura 3.14** Comparación de diámetro actual y calculado de tramo D2 – D3



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.55** Evaluación del drenaje del casco central de la ciudad de Tarija – colector “F”

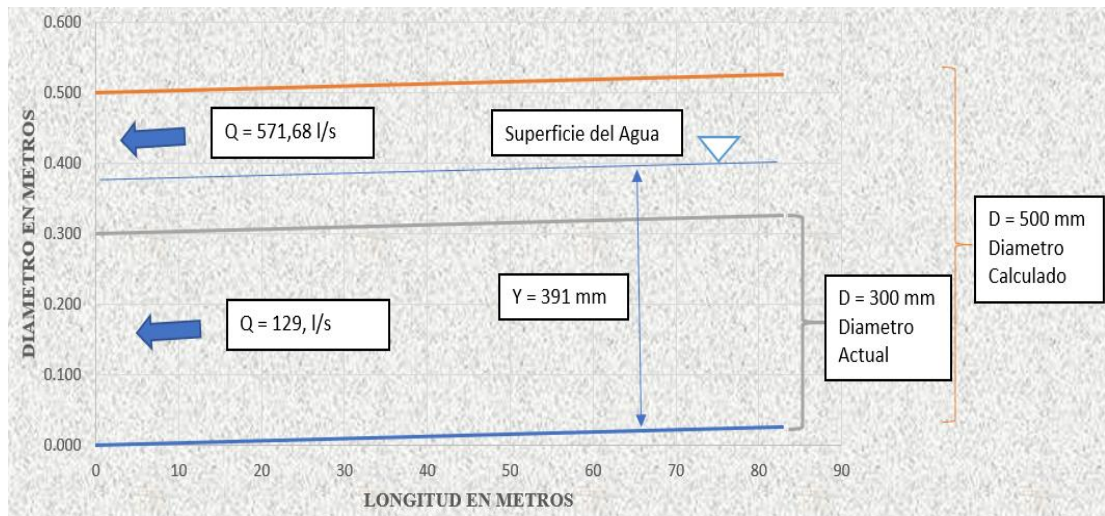
Tramo		Diseño actual		Valores calculados	
		Caudal (l/s)	Diámetro (mm)	Q diseño (l/s)	Diámetro (mm)
Salida	Llegada				
F1	F2	129,800	300,00	571,688	500
F2	F3	311,000	450,00	1095,161	750
F3	F4	576,500	600,00	1230,019	750
F5	F4	116,000	400,00	404,994	600
F4	F9	539,200	600,00	1691,697	900
F9	F10	559,800	600,00	2177,806	900
F10	F16	1002,800	750,00	2668,163	1000
F14	F15	151,400	300,00	327,538	400
F15	F16	255,20	450,00	500,995	600
F16	F20	1658,40	0,80x1,0	3356,212	1100
F6	F8	95,00	300,00	433,440	750
F7	F8	126,90	300,00	194,735	350

F8	F11	217,30	450,00	817,472	750
F12	F11	149,60	300,00	193,408	350
F11	F13	292,70	525,00	1160,931	750
F13	F17	451,50	600,00	1512,261	900
F17	F18	582,90	600,00	1622,215	900
F18	F20	659,00	600	1887,301	900
F20	F23	1574,2	0,80x1,0	5387,767	1,30x1,65
F21	F22	-	-	258,217	350
F22	F23	-	-	481,382	500
F23	F26	1253,6	0,80x1,0	5997,748	1,30x1,65
F24	F25	-	-	321,118	350
F25	F26	-	-	463,889	500
F26	F30	1253,6	0,80x1,0	6631,902	1,30x1,85
F27	F28	-	-	320,375	450
F28	F29	-	-	433,112	450
F29	F30	-	-	530,765	500
F30	F34	1253,6	0,80x1,0	7116,586	1,30x1,85
F31	F32	-	-	389,552	450
F32	F33	-	-	625,590	500
F33	F34	-	-	822,407	600

**Fuente:** Elaboración propia.

- Evaluando los resultados obtenidos podemos observar que los caudales y las dimensiones obtenidos en la evaluación son mayores a los del Sistema de Alcantarillado Pluvial "F" actual, esto quiere decir que el sistema actual no puede conducir las aguas de lluvia de una manera eficiente.

**Figura 3.15** Comparación de diámetro actual y calculado de tramo F1 – F2



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.56** Evaluación de calles en lugares críticos casco central de la ciudad de Tarija – colector “F”

Comparación de caudal de aporte y capacidad de la calle						
Sumidero	Nombre de la calle	De la calle	A la calle	Caudal de aporte Q (l/s)	Capacidad Q (l/s)	Evaluación
f10	Campero der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	152,003	85,497	Incorrecto
f11	Campero izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	25,101	34,310	Incorrecto
f27	General Trigo der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	94,828	156,202	Correcto
f26	General Trigo izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	87,855	45,776	Incorrecto
f35	Sucre der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	187,563	117,079	Incorrecto
f36	Sucre izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	222,775	77,605	Incorrecto
f43	Daniel Campos der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	251,363	93,832	Incorrecto
f44	Daniel Campos izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	355,603	184,430	Incorrecto
f52	Colon der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	106,332	37,922	Incorrecto
f53	Colon izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	123,764	22,738	Incorrecto

**Fuente:** Elaboración propia.

- Evaluando los resultados obtenidos, podemos apreciar que los caudales de aporte que se presentan en las calles de los puntos críticos son mayores a la capacidad de escurrimiento de las mismas, a excepción del margen derecho de la calle general trigo. Esto quiere decir que cuando se presentan eventos máximos las calles trabajan como si fuesen canales, perjudicando la libre circulación vehicular y peatonal.

**Tabla 3.57** Evaluación de sumideros en lugares críticos casco central de la ciudad de Tarija – colector “F”

Comparación de caudal de aporte y capacidad de sumideros						
Sumidero	Nombre de la calle	De la calle	A la calle	Caudal de aporte Q (l/s)	Capacidad Q (l/s)	Evaluación
f10	Campero der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	152,003	209,314	Correcto
f11	Campero izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	25,101	458,036	Correcto
f27	General Trigo der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	94,828	320,414	Correcto
f26	General Trigo izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	87,855	505,034	Correcto
f35	Sucre der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	187,563	450,611	Correcto
f36	Sucre izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	222,775	443,702	Correcto
f43	Daniel Campos der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	251,363	343,676	Correcto
f44	Daniel Campos izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	355,603	571,817	Correcto
f52	Colon der.	Abaroa	Av. Víctor Paz	106,332	147,093	Correcto
f53	Colon izq.	Abaroa	Av. Víctor Paz	123,764	375,306	Correcto

**Fuente:** Elaboración propia.



- Evaluando los resultados se puede observar que la capacidad de captación de las aguas de lluvia que tiene los sumideros estudiados es mayor a los caudales de aporte, esto quiere decir que los sumideros en épocas de lluvias trabajan de forma eficiente, cumpliendo con su función.

### 3.5.11. Planteamiento de la red de colectores en base a los resultados obtenidos

Con los resultados obtenidos podemos evidenciar que los colectores en épocas de lluvia no trabajan en óptimas condiciones, las dimensiones actuales de los mismos no satisfacen o no llegan a evacuar las aguas de una manera eficiente.

Otro aspecto muy importante es la acumulación de sedimentos y basura dentro de los colectores.

De tal manera con los resultados obtenidos en la evaluación de los mismos se plantea la red de colectores con las dimensiones calculadas.

- Para la red del colector B, todos los colectores secundarios y principal tendrán las siguientes dimensiones:

**Tabla 3.58** Dimensiones planteadas – colector “B”

Tramo		Valores calculados	
		Q diseño (l/s)	Diámetro (mm)
Salida	Llegada		
B1	B2	523,6458	450
B2	B3	651,5993	400
B3	B4	778,6180	450
B4	B5	1042,2556	750
B1 <sup>^</sup>	B5	1034,0245	600
B5	B6	2181,7528	900
B2 <sup>^</sup>	B6	633,8726	500
B6	B7	2802,3615	1100
B3 <sup>^</sup>	B7	466,7562	400
B7	B8	3315,2201	1100
B4 <sup>^</sup>	B8	698,8372	500
B8	B10	4825,7588	1200
B10	B11	5419,3044	1400
B11	B12	5878,6923	1800
B12	B13	6265,5881	1800
B13	B14	6519,9246	1800
B14	B15	6537,7425	1800

**Fuente:** Elaboración propia.

- Para la red del colector C, en el colector secundario tramo (C5` - C8) no se modificará la dimensión ya que su capacidad actual supera al caudal calculado en ese tramo.

En el resto de la red se tendrá las siguientes dimensiones:

**Tabla 3.59 Dimensiones planteadas – colector “C”**

Tramo		Valores calculados	
		Q diseño (l/s)	Diámetro (mm)
Salida	Llegada		
C1	C2	473,5235	0,70x0,45
C2	C3	687,9464	0,70x0,70
C1`	C3	618,4227	500
C3	C4	1894,7457	0,70x1,45
C4	C5	2154,8001	0,70x1,75
C2`	C5	361,1985	450
C5	C6	2706,0739	0,70x1,70
C3`	C6	412,6817	450
C6	C7	3134,5093	0,70x2,00
C4`	C7	249,2766	400
C7	C8	3459,8029	1,00x1,60
C8	C9	3653,8492	1,00x1,60
C6`	C9	403,2347	450
C9	C10	4175,5442	1,00x1,40
C7`	C10	269,2960	400
C10	C11	4476,4524	1,30x2
C8`	C11	250,5158	350
C11	C12	4778,7844	1,30x1,90
C12	C13	5142,0154	1,30x1,90

**Fuente:** Elaboración propia.

- Para la red del colector D, en los tramos (C7–D1), (D1–D2), (C8–D2), (D6`-D6) y (D8`-D8), no se modificará la dimensión ya que su capacidad actual supera al caudal calculado en esos tramos. En el resto de la red se tendrá las siguientes dimensiones:

**Tabla 3.60 Dimensiones planteadas – colector “D”**

Tramo		Valores calculados	
		Q diseño (l/s)	Diámetro (mm)
Salida	Llegada		
D2	D3	863,6984	750
D3	D4	1088,2016	900
D4	D5	1369,7516	900
D5`	D5	249,0737	500
D5	D6	1761,0334	1000
D6	D7	2198,7894	1000

D7	D8	2500,0982	1000
C13	D7'	315,6612	500
D7'	D8'	309,5260	450
D8	D9	3140,7845	1100
D9	D10	3366,7791	1200
D10	D11	3524,9559	1200
D11	D13	3566,6304	1200
D13	FINAL	3771,0712	1300

**Fuente:** Elaboración propia.

- Para la red del colector F, los colectores secundarios y principal tendrán las siguientes dimensiones.

**Tabla 3.61** Dimensiones planteadas – colector “F”

Tramo		Valores calculados	
		Q diseño (l/s)	Diámetro (mm)
Salida	Llegada		
F1	F2	571,688	500
F2	F3	1095,161	750
F3	F4	1230,019	750
F5	F4	404,994	600
F4	F9	1691,697	900
F9	F10	2177,806	900
F10	F16	2668,163	1000
F14	F15	327,538	400
F15	F16	500,995	600
F16	F20	3356,212	1100
F6	F8	433,440	750
F7	F8	194,735	350
F8	F11	817,472	750
F12	F11	193,408	350
F11	F13	1160,931	750
F13	F17	1512,261	900
F17	F18	1622,215	900
F18	F20	1887,301	900
F20	F23	5387,767	1,30x1,65
F21	F22	258,217	350
F22	F23	481,382	500
F23	F26	5997,748	1,30x1,65
F24	F25	321,118	350
F25	F26	463,889	500
F26	F30	6631,902	1,30x1,85
F27	F28	320,375	450
F28	F29	433,112	450
F29	F30	530,765	500
F30	F34	7116,586	1,30x1,85
F31	F32	389,552	450
F32	F33	625,590	500
F33	F34	822,407	600

**Fuente:** Elaboración propia.

Este planteamiento es dependiente de las condiciones actuales de los colectores principales y secundarios del sistema de drenaje actual del casco central de la ciudad de Tarija, ya que se tomó en cuenta los valores de pendientes y longitudes reales del sistema construido, llegando a la conclusión que se debe considerar realizar un nuevo estudio de diseño final para las condiciones actuales del área de evaluación.

### 3.6. Evaluación del pavimento asfáltico (PCI)

#### 3.6.1. Ubicación de los puntos críticos de acumulación de agua

Se realizó una inspección visual en campo identificando los lugares críticos de acumulación de agua y haciendo el levantamiento de datos necesarios para obtener el índice de condición del pavimento asfáltico.

Se recopiló datos como identificación del tipo de falla, área afectada y la severidad, también se pudo registrar el tipo de fallas mediante fotografías. (Anexo V)

**Figura 3.16** Ubicación de lugares críticos



**Fuente:** Google Earth.

En la siguiente tabla se muestra la ubicación de los puntos críticos georeferenciados:

**Tabla 3.62** Puntos críticos georeferenciados

N°	Nombre de la calle	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
1	Campero	7617467.00	320146.00
2	General Trigo	7617431.00	320234.00
3	Sucre	7617414.00	320313.00
4	Daniel Campos	7617346.00	320386.00
5	Colón	7617297.00	320450.00

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.6.2. Resultados y análisis de la evaluación de pavimento asfáltico

- **Resultados de la calle campero**

La unidad de muestra tiene una longitud de vía de 58.51 m, un ancho de calzada de 5.11m y un área 298.99 m<sup>2</sup>.

**Tabla 3.63** Hoja de registro de la unidad de muestra calle Campero

Método PCI		Esquema:		Sección:		Unidad de muestra		Tramo 1			
Índice de condición de pavimento						Área (m <sup>2</sup> )		298,99			
Hoja de registro											
Nombre de la vía:		Calle Campero									
Ejecutor:		Raúl Torrez Domínguez									
1. Piel de cocodrilo		6, Depresión		11, Parcheo		16, Desplazamiento					
2. Exudación		7, Grieta de borde		12, Pulimento de agregados		17, Grieta parabólica					
3. Agrietamiento en bloque		8, Grieta de reflexión de junta		13, Huecos		18, Hinchamiento					
4. Abultamientos y hundimientos		9, Desnivel carril / berma		14, Cruce de vía férrea		19, Desprendimiento de agregados					
5. Corrugación		10, Grietas longitudinal y transversal		15, Ahuellamiento							
Falla	Cantidades parciales							Total	Densidad %	V. deducido	
10L	1,15	0,7	0,7	1,9	5	1,25	-	-	10,70	3,58	2,75
3L	0,24	-	-	,	-	-	-	-	0,24	0,08	0
Total								10,94	3,66	2,75	

**Fuente:** Manual de diseño de conservación vial.

Como tan solo uno de los valores deducidos es mayor que 2, se usa el valor deducido

Total:

$$\text{VDC} = 2,75$$

$$\text{PCI} = 97,25$$

$$\text{Rango clasificación} = \text{Excelente}$$

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: Grietas longitudinales y transversales y agrietamientos en bloque.

Como resultado se obtuvo un índice de pavimento de 97.25, lo que representa un pavimento excelente.

Nos muestra como resultado un pavimento excelente ya que la calle Campero fue repavimentada, pero aun así presentan fallas leves.

Se hace necesario corregir las fallas para que el pavimento no se deteriore aún más y mantenga sus excelentes condiciones.

Las grietas longitudinales y transversales, no afectan el estado del pavimento, pues el tamaño de estas fallas no es representativo.

Es necesario hacer trabajos de reparación como sellado de grietas para las fallas encontradas.

**Figura 3.17** Falla grieta transversal - calle Campero



**Fuente:** Elaboración propia.

- **Resultados de la calle General Trigo**

La unidad de muestra tiene una longitud de vía de 37,09 m, un ancho de calzada de 5.15 m y un área 191.01 m<sup>2</sup>.

**Tabla 3.64** Hoja de registro de la unidad de muestra calle General Trigo

Método PCI					Esquema:						
Índice de condición de pavimento											
Hoja de registro											
Nombre de la vía:		Calle General Trigo			Sección:		Unidad de muestra		Tramo 2		
Ejecutor:		Raúl Torrez Domínguez					Área (m <sup>2</sup> )		191,01		
1. Piel de cocodrilo		6, Depresión			11, Parcheo		16, Desplazamiento				
2. Exudación		7, Grieta de borde			12, Pulimento de agregados		17, Grieta parabólica				
3. Agrietamiento en bloque		8, Grieta de reflexión de junta			13, Huecos		18, Hinchamiento				
4. Abultamientos y hundimientos		9, Desnivel carril / berma			14, Cruce de vía férrea		19, Desprendimiento de agregados				
5. Corrugación		10, Grietas longitudinal y transversal			15, Ahuellamiento						
Falla	Cantidades parciales							Total	Densidad %	V. deducido	
10L	1,7	0,8	0,9	0,97				4,37	2,29	0,65	
3L	2,46			,				2,46	1,29	0,38	
Total							6,83	3,58	1,03		

**Fuente:** Manual de diseño de conservación vial.

Como tan solo uno de los valores deducidos es mayor que 2, se usa el valor deducido

Total:

$$\text{VDC} = 1.03$$

$$\text{PCI} = 98,97$$

$$\text{Rango clasificación} = \text{Excelente}$$

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: Grietas longitudinales y transversales y agrietamientos en bloque.

Como resultado se obtuvo un índice de pavimento de 98,97, lo que representa un pavimento excelente.

Nos muestra como resultado un pavimento excelente ya que la calle General Trigo fue repavimentada, pero aun así presentan fallas leves.

Se hace necesario corregir las fallas para que el pavimento no se deteriore aun mas y mantenga sus excelentes condiciones.

Las grietas longitudinales y transversales, no afectan el estado del pavimento, pues el tamaño de estas fallas no es representativo.

Es necesario hacer trabajos de reparación como sellado de grietas para las fallas encontradas.

**Figura 3.18** Falla grieta transversal - calle General Trigo



**Fuente:** Elaboración propia.



- **Resultados de la calle Sucre**

La unidad de muestra tiene una longitud de vía de 26,22 m, un ancho de calzada de 6,92 m y un área 181,44 m<sup>2</sup>.

**Tabla 3.65** Hoja de registro de la unidad de muestra calle Sucre

Método PCI						Esquema:			
Índice de condición de pavimento									
Hoja de registro									
Nombre de la vía:		Calle Sucre				Sección:	Unidad de muestra	Tramo 3	
Ejecutor:		Raúl Torrez Domínguez					Área (m <sup>2</sup> )	181,44	
1. Piel de cocodrilo		6, Depresión				11, Parcheo		16, Desplazamiento	
2. Exudación		7, Grieta de borde				12, Pulimento de agregados		17, Grieta parabólica	
3. Agrietamiento en bloque		8, Grieta de reflexión de junta				13, Huecos		18, Hinchamiento	
4. Abultamientos y hundimientos		9, Desnivel carril / berma				14, Cruce de vía férrea		19, Desprendimiento de agregados	
5. Corrugación		10, Grietas longitudinal y transversal				15, Ahuellamiento			
Falla	Cantidades parciales						Total	Densidad %	V. deducido
10L	2	3,5	-	-	-	-	5,50	3,03	2,04
10M	3	1	3	,	-	-	7,00	3,86	8,88
Total							12,50	6,89	10,92

**Fuente:** Manual de diseño de conservación vial.

**Tabla 3.66** Cálculo del valor deducido calle Sucre

Cálculo del número máxima del valor deducido					
Nº	Valor deducido		Total	q	CDV
1	8,88	2,04	10,92	2	9,08
2	8,88	2	10,88	1	10,88

**Fuente:** Manual de diseño de conservación vial.

$$\text{VDC} = 10,88$$

$$\text{PCI} = 89,12$$

$$\text{Rango clasificación} = \text{Excelente}$$

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo y severidad media fueron: Grietas longitudinales y transversales.

Como resultado se obtuvo un índice de pavimento de 89,12, lo que representa un pavimento asfáltico en excelentes condiciones.

Nos muestra como resultado un pavimento excelente, ya que la calle Sucre fue repavimentada, aun así, presenta fallas leves.

Se hace necesario corregir las fallas para que el pavimento no se deteriore aún más y mantenga sus excelentes condiciones.

Las grietas longitudinales y transversales, no afectan el estado del pavimento, pues el tamaño de estas fallas no es representativo.

Es necesario hacer trabajos de reparación como sellado de grietas para las fallas encontradas.

**Figura 3.19** Falla grieta longitudinal - calle Sucre



**Fuente:** Elaboración propia.

- **Resultados de la calle Daniel Campos**

La unidad de muestra tiene una longitud de vía de 68,39 m, un ancho de calzada de 5,93 m y un área 229,80 m<sup>2</sup>.

**Tabla 3.67** Hoja de registro de la unidad de muestra calle Daniel Campos

Método PCI						Esquema:			
Índice de condición de pavimento									
Hoja de registro									
Nombre de la vía:		Calle Daniel Campos				Sección:	Unidad de muestra	Tramo 4	
Ejecutor:		Raúl Torrez Domínguez					Área (m <sup>2</sup> )	229,80	
1. Piel de cocodrilo		6, Depresión				11, Parcheo		16, Desplazamiento	
2. Exudación		7, Grieta de borde				12, Pulimento de agregados		17, Grieta parabólica	
3. Agrietamiento en bloque		8, Grieta de reflexión de junta				13, Huecos		18, Hinchamiento	
4. Abultamientos y hundimientos		9, Desnivel carril / berma				14, Cruce de vía férrea		19, Desprendimiento de agregados	
5. Corrugación		10, Grietas longitudinal y transversal				15, Ahuellamiento			
Falla	Cantidades parciales						Total	Densidad %	V. deducido
10L	2	3,50	-	-	-	-	5,50	2,39	0,84
10M	2,40	6	-	,-	-	-	8,40	3,66	8,42
3L	1,5	-	-	-	-	-	1,50	0,65	0
Total							15,40	6,70	9,26

**Fuente:** Manual de diseño de conservación vial,

**Tabla 3.68. Cálculo del valor deducido calle Daniel Campos**

Cálculo del número máxima del valor deducido					
N°	Valor deducido		Total	q	CDV
1	8,42	0,84	9,26	2,00	0,00
2	8,42	2	10,42	1,00	10,42

**Fuente:** Manual de diseño de conservación vial.

$$\text{VDC} = 10,42$$

$$\text{PCI} = 89,58$$

$$\text{Rango Clasificación} = \text{Excelente}$$

Las fallas encontradas con nivel de severidad baja fueron: Grietas longitudinales, grietas transversales y grietas en bloque.

También se encontró fallas de severidad media como: grietas longitudinales y transversales.

Como resultado se obtuvo un índice de pavimento de 89,58, lo que representa un pavimento asfáltico en excelentes condiciones.

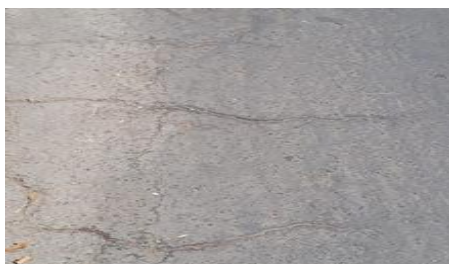
Como resultado nos muestra un pavimento excelente, ya que la calle Daniel Campos fue repavimentada, aun así se presentan fallas leves.

Se hace necesario corregir las fallas para que el pavimento no se deteriore aún más y mantenga sus excelentes condiciones.

Las grietas longitudinales y transversales, no afectan el estado del pavimento, pues el tamaño de estas fallas no es representativo.

Es necesario hacer trabajos de reparación como sellado de grietas para las fallas encontradas.

**Figura 3.20** Falla grieta transversal - calle Daniel Campos



**Fuente:** Elaboración propia.

- **Resultados de las calle Colon**

La unidad de muestra tiene una longitud de vía de 38,3 m, un ancho de calzada de 5,91 m y un área 226,35 m<sup>2</sup>.

**Tabla 3.69** Hoja de registro de la unidad de muestra calle Colon

Método PCI					Esquema:					
Índice de condición de pavimento										
Hoja de registro										
Nombre de la vía:		Calle Colon			Sección:	Unidad de muestra		Tramo 5		
Ejecutor:		Raúl Torrez Domínguez				Área (m <sup>2</sup> )		226,35		
1. Piel de cocodrilo		6, Depresión			11, Parcheo		16, Desplazamiento			
2. Exudación		7, Grieta de borde			12, Pulimento de agregados		17, Grieta parabólica			
3. Agrietamiento en bloque		8, Grieta de reflexión de junta			13, Huecos		18, Hinchamiento			
4. Abultamientos y hundimientos		9, Desnivel carril / berma			14, Cruce de vía férrea		19, Desprendimiento de agregados			
5. Corrugación		10, Grietas longitudinal y transversal			15, Ahuellamiento					
Falla	Cantidades parciales						Total	Densidad %	V. deducido	
10L	5	2,50	4	2			13,50	5,96	5,07	
1M	0,60	1	1,8	,			3,40	1,50	25,10	
10M	5						5,00	2,21	5,08	
11L	1,35						1,35	0,60	1,40	
Total							23,25	10,27	36,65	

**Fuente:** Manual de diseño de conservación vial.

**Tabla 3.70** Cálculo del valor deducido calle Colon

Calculo del numero máxima del valor deducido							
N°	Valor deducido				Total	q	CDV
1	25,10	5,07	5,08	1,40	36,65	4,00	16,66
2	25,10	5,07	5,08	2	37,25	3,00	19,92
3	25,10	5,07	2	2	34,17	2,00	25,34
4	25,10	2	2	2	31,10	1,00	31,10

**Fuente:** Manual de diseño de conservación vial

$$\text{VDC} = 31,10$$

$$\text{PCI} = 68,9$$

$$\text{Rango clasificación} = \text{Bueno}$$

Las fallas encontradas con nivel de severidad baja fueron: Grietas longitudinales y transversales y parcheo.

También se encontró fallas de severidad media como: grietas longitudinales, grietas transversales y piel de cocodrilo.

Como resultado se obtuvo un índice de pavimento de 68,9, lo que representa un pavimento asfáltico en buenas condiciones.

Como resultado nos muestra un pavimento bueno, ya que la calle Colón fue repavimentada, pero aun así se presentan leves fallas.

Se hace necesario corregir las fallas para que el pavimento no se deteriore aún más y mantenga sus excelentes condiciones.

Las grietas longitudinales y transversales, no afectan el estado del pavimento, pues el tamaño de estas fallas no es representativo.

Es necesario hacer trabajos de reparación como sellado de grietas y parcheo parcial en la falla de piel de cocodrilo.

**Figura 3.21** Falla Piel de cocodrilo - calle Colón



**Fuente:** Elaboración propia.

**CAPÍTULO IV**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

De la aplicación práctica concluimos:

- En el estudio realizado se pudo observar el crecimiento del área impermeable.
- De la evaluación estructural de los sumideros, como resultado nos dice que el 35 % de estas estructuras tienen serios daños, 137 sumideros se encuentran en buen estado y 77 sumideros se encuentran en mal estado.
- Asimismo, se pudo evidenciar que las labores de mantenimiento de las estructuras de drenaje no se realizan de forma periódica, notando la presencia de material de arrastre, basura y otros, haciendo que estas estructuras funcionen de manera ineficiente en la captación, conducción y disposición de las aguas de lluvia.
- De esta forma, en el análisis hidrológico e hidráulico dio como resultado el aumento considerable del escurrimiento superficial en el Casco central de la ciudad de Tarija.
- De esta forma, los colectores secundarios y el colector principal “B” evaluados obteniendo como resultado, según el estudio hidrológico e hidráulico, nos muestra que esta red está trabajando al 100 % de su capacidad para el cual fueron diseñados, en épocas de lluvia estas estructuras colapsan en su capacidad.
- Los colectores secundarios y el colector principal “C” evaluados obteniendo como resultado, según el estudio hidrológico e hidráulico, nos muestra que esta red está trabajando al 100 % de su capacidad para el cual fueron diseñados, en épocas de lluvia estas estructuras colapsan en su capacidad.
- Los colectores secundarios y el colector principal “D” evaluados obteniendo como resultado, según el estudio hidrológico e hidráulico, nos muestra que esta red está trabajando al 100 % de su capacidad para el cual fueron diseñados, en épocas de lluvia estas estructuras colapsan en su capacidad.
- Los colectores secundarios y el colector principal “F” evaluados obteniendo como resultado, según el estudio hidrológico e hidráulico, nos muestra que esta red está



trabajando al 100 % de su capacidad para el cual fueron diseñados, en épocas de lluvia estas estructuras colapsan en su capacidad.

- Los caudales de aporte que se presentan en las calles de los lugares críticos son mayores a la capacidad de los mismos, cuando se presentan lluvias extraordinarias las calles en estos lugares trabajan como si fuesen canales, perjudicando el paso peatonal y vehicular.
- Los sumideros evaluados en los lugares críticos funcionan de manera eficiente, su capacidad hidráulica es mayor a los caudales de aporte de agua de lluvia.
- Las continuas repavimentaciones de vías, afecta en la disminución de la capacidad de la misma para conducir el flujo superficial.
- La pendiente natural de la ciudad permite un buen drenaje, siendo necesario un rediseño del sistema de drenaje, incorporando más sumideros y diseñando una red complementaria a la actual.
- La disposición de estructuras de drenaje (sumideros de ventana, rejilla, etc.) deben hacerse en procura de un drenaje eficiente.
- El índice de condición del pavimento (PCI), es un método sencillo y que aplicado adecuadamente resulta de gran utilidad, ya que, permite estimar según el valor del PCI, el estado real del pavimento y las posibles técnicas de conservación, mantenimiento o rehabilitación a emplear.
- El pavimento asfáltico en los puntos críticos de calle Campero, calle General Trigo, calle Sucre y Daniel Campos se encuentran en excelentes condiciones, y el pavimento en el punto crítico de la calle Colón se encuentra en buenas condiciones.
- Las fallas más frecuentes encontradas son grietas longitudinales, grietas transversales, grietas en bloque y piel de cocodrilo.
- Anteriormente en los puntos críticos la capa asfáltica fue repavimentada, aun así se presentan fallas leves en la carpeta.
- Como conclusión podemos decir satisfactoriamente que todos los procesos realizados en el estudio fueron de gran utilidad, para poder cumplir con cada uno de los objetivos planteados en el presente trabajo.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Conservar libres de obstáculos los drenajes naturales y artificiales de la ciudad.
- Los dispositivos de drenaje deben de estar en constante mantenimiento, para que su funcionamiento sea de una manera eficiente en la captación, conducción y disposición de las aguas de lluvia.
- Se recomienda al Gobierno Municipal de Tarija hacer limpiezas periódicas de los sumideros de la ciudad y el colocado de rejillas en los sumideros que necesiten de los mismos.
- El Gobierno Municipal de Tarija en sus dependencias de servicio públicos, debe procurar contar con los planos del sistema de drenaje de la ciudad.
- Complementar estudios de impacto ambiental en las nuevas construcciones.
- Se debe realizar un nuevo estudio de diseño final del sistema de drenaje urbano en el casco central de la ciudad de Tarija, para las condiciones actuales.
- Se debe realizar trabajos de reparación del pavimento en las fallas encontradas en los puntos críticos, como ser sellado de grietas longitudinales y transversales, y parcheo.