

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- Introducción.

Tal como se ha presentado hasta ahora en un sistema convencional el transporte, la captación y la entrega del agua de lluvia al afluyente están compuestas por la vía, las cunetas o canales, entradas o sumideros y colectores. En este caso el objetivo principal es permitir el paso seguro de los vehículos y peatones, evacuando lo más antes posible y de manera puntual la escorrentía generada por un evento con una frecuencia que corresponde al periodo de diseño.

El uso de las diferentes técnicas de SUDS está más extendido en los países del centro y norte de Europa que en la zona sur donde países como España, Italia, Grecia y Portugal cuentan con experiencias aceptables de los sistemas sostenibles de drenaje urbano.

Como ejemplo de implementación integral de técnicas SUDS en una actuación urbanística cabe citar el proyecto del parque tecnológico en Lyon (Francia), donde se adoptaron técnicas SUDS para dar respuesta a los diferentes condicionantes del lugar entre ellos una falta de salida natural de drenaje. De este modo se conjugaron soluciones como cunetas verdes, drenes filtrantes, estanques de retención y depósitos de filtración que constituyen el punto final del sistema. Las instalaciones están abiertas al público permitiendo el desarrollo de otras actividades: educativas, recreativas y deportivas. El bienestar de los trabajadores del parque fue considerado durante el proceso de diseño, obteniendo como resultado un entorno agradable de trabajo.

En este presente estudio de aplicación se pretende implementar en las zonas de Tarija que no cuenten con drenaje pluvial sistemas sostenibles de drenaje urbano como alternativa técnica; con el fin de mejorar la transitabilidad en las calles y avenidas, sobre todo en épocas de lluvias.

Este trabajo utiliza la teoría de **Drenaje Elementos de Diseño, Drenaje urbano no convencional, Héctor Alonso Rodríguez Días; escuela colombiana de ingeniería**

Julio Garavito; Colombia 2013. El cual nos muestra la teoría de implementación del drenaje urbano no convencional en Colombia como varios países de Sudamérica, donde encontramos capítulos como Drenaje Urbano de Aguas de Lluvia, Captaciones Convencionales y no Convencionales, Clasificación de los Sistemas sostenibles de drenaje Urbano y los Criterios de Diseño de Sistemas sostenibles de Drenaje Urbano. La relevancia en la sociedad será que estos sistemas tratan de captar la mayor cantidad de agua de escorrentía dejando una mínima cantidad que es transportada por las cunetas de las calles, permitiendo de esta manera el libre tránsito de vehículos y peatones.

1.2. Justificación.

Con esta investigación se busca realizar un análisis de cómo llegar a mejorar el drenaje urbano de tal forma que no afecte a la normal circulación de vehículos y peatones en un evento de precipitación extraordinaria, haciendo de esta forma una circulación normal de los mismos, evitando trancaderas y posibles daños a los vehículos.

Con esta presente investigación se trata de controlar el agua de lluvia en la parte donde se está generando la escorrentía directa antes que esta llegue a la calzada en su totalidad.

Con este estudio se trata de minimizar el costo del alcantarillado pluvial, reduciendo diámetros, y haciendo de alguna forma más sostenible y más viables los proyectos de alcantarillado pluvial.

Con esta investigación se pretende reducir el aporte del agua pluvial de una urbanización mediante el alcantarillado pluvial a los cursos naturales de agua donde desemboca el mismo, que generan una alteración en su régimen normal, generando erosiones e inundaciones aguas abajo.

Con esta investigación se pretende ayudar al sistema tradicional o convencional a no saturarse en un evento de precipitación extraordinaria así de este modo evitar posibles inundaciones aguas abajo de la urbanización, también evitar posibles sobre carga de caudales en los acuíferos donde este alcantarillado desemboca sus aguas.

1.3.- Diseño Teórico.

1.3.1.- Planteamiento del problema.

- **Situación problemática.**

Con el constante crecimiento de las zonas urbanas de una ciudad y más aún en aquellas que tienen una precipitación elevada en época de lluvia, se llega a almacenar una gran cantidad de agua en las calzadas, haciendo en muchos casos imposibles de poder transitarlas tanto por vehículos como por los peatones creando incomodidad de la ciudadanía en su conjunto.

Teniendo en cuenta la topografía que presentan algunos de nuestros barrios (**Tabladita San Bernardo y San Jorge II**) de la ciudad de Tarija y por las urbanizaciones sin una planificación adecuada un proyecto de drenaje convencional en muchos casos es muy costoso de realizarlo, ya que los mismos son diseñados para transportar el agua por gravedad, se ven en muchos casos donde no es posible seguir transportando por gravedad y se tiene la necesidad de instalar una estación de bombeo, haciendo encarecer los mismos y de esta manera inviable de construirlos.

El desarrollo de las zonas urbanas va avanzando rápidamente sin una visión del futuro de evacuación del agua de lluvia, y creando calles con fuertes pendientes y más zonas impermeables (aceras) que dan su aporte de escorrentía a las vías de la ciudad así de esta forma generando más caudal en la calzada y haciendo más difícil poder evacuarlo oportunamente de las vías urbanas por un sistema tradicional de drenaje pluvial.

- **Problema**

¿Cuáles son las alternativas de drenaje no convencional que permitan mejorar las condiciones de tránsito en épocas de lluvia en las calles de los barrios de la ciudad de Tarija?

1.3.2.- Objetivos.

Objetivo general.

Identificar algunas zonas urbanas de la ciudad de Tarija, que presenten deficiencias en las condiciones de tránsito por el drenaje pluvial, con la finalidad de plantear el diseño de alternativas de drenaje no convencional sostenibles y adecuadas a las vías urbanas

Objetivos específicos.

- ✓ Estudiar las diferentes alternativas de drenaje no convencional para aplicarlos en los barrios periurbanos de la ciudad de Tarija.
- ✓ Identificar los barrios y sus características de los mismos donde se implementara las alternativas de drenaje urbano no convencional.
- ✓ Realizar el estudio de transitabilidad en cuanto a velocidad se refiere, tanto con agua y sin agua en la calzada.
- ✓ Determinar las características hidrológicas de las zonas en estudio.
- ✓ Aplicar la alternativa de drenaje urbano no convencional que mejor se adecue a nuestro medio.
- ✓ Realizar el diseño de los elementos y definir las dimensiones de las obras adicionales del drenaje urbano no convencional.
- ✓ Establecer las conclusiones y recomendaciones sobre el tema en estudio.

1.3.3.- Diseño Metodológico.

1.3.3.1.- Componentes.

Hipótesis

SI el volumen de agua que transita en las vías urbanas se controla a través de sistemas de drenaje no convencional, como alternativas sostenibles, entonces se mejorara el nivel de servicio en calles y avenidas en épocas de lluvia.

Definición de Variables Independientes y Dependientes.

Variables independientes.

- Geometría de las calles
- Volumen de agua en las calzadas

Variables dependientes.

- Alternativas de drenaje no convencional.
- Transitabilidad en calles y avenidas urbanas

Conceptualización De Variables.**Geometría de las calles.**

Conjunto compuesto por calzada, sardineles o cordones, pendientes longitudinal transversal, y aceras.

Volumen de agua en las calzadas.

Cantidad de agua que se acumula en una calzada durante un evento de precipitación, y que circula por la misma.

Alternativas de drenaje.

Alternativas para drenar las aguas producidas por la lluvia en calles y avenidas que pueden estar compuestas por drenaje urbano convencional conjunto que compone (cordón-cuneta, boca tormenta, cámara de conexión, cámara de inspección, tuberías de conexión y colectores principales y secundarios), y las diferentes alternativas de los sistemas sostenibles de drenaje urbano.

Tabla 1 DEFINICION OPERACIONAL DE VARIABLES

DEFINICIÓN OPERACIONAL			
VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR O ACCIÓN
geometría de las calles	calles	7 - 10 m	Norma boliviana abc.
	avenidas	10 - 15 m	
	pendiente longitudinal	0,3 - 1 %	

	pendiente transversal	2 - 2,5 %	
	aceras	1,2 - 4 m	
volumen de agua en las calles	la altura de agua es variable	0 - 0,18 m	AASHTO 1990
Alternativas de drenaje convencional	zanjas de infiltración, zanjas filtrantes y superficies permeables	medidas de acuerdo a los espacios disponibles de las calles y avenidas	Aplicar la técnica más apropiada a la zona en estudio.
Transitabilidad de vehículos	Referente a la velocidad y a la calidad de circulación vehicular en calles y avenidas	A-B-C-D-E-F	Manual de capacidad

Fuente propia

- **Unidad de estudio.** Sistemas de drenaje urbano.
- **Población.** Puntos críticos inundables en las calles y avenidas de nuestros barrios en la ciudad de Tarija.
- **Muestra.** Puntos críticos inundables en las calles y avenidas de nuestros barrios en la ciudad de Tarija.
- **Muestreo.** Para la selección de muestra primero se realizará una zonificación de la ciudad de Tarija dividiendo en tres zonas: **zona norte o alta** (inicio avenida Circunvalación hasta la calle Ballivian) **zona central o media** (calle Ballivian hasta avenida la Paz) **zona sur o baja** (avenida la Paz hasta el matadero municipal) se analizara de todos los

barrios que cuenten o no cuenten con drenaje urbano tratando de dar prioridad a aquellos que no cuentan con un sistema de drenaje urbano, dando solución con la incorporación de alternativas de drenaje sostenible que vayan a disminuir el agua en las vías urbanas por efecto de la precipitación.

1.3.3.2.- Métodos y técnicas empleadas.

El método utilizado para aplicar en esta presente investigación será el método **DEDUCTIVO – INDUCTIVO** mediante el cual realizaremos un estudio de todas las características, comportamiento y forma de ejecución de las alternativas de drenaje urbano no convencional.

También se realizara la evaluación de las características de los barrios tanto en topografía, características del tipo de lluvia, la impermeabilidad de sus calles, y evaluaremos la permeabilidad que tienen dichos suelos, si cuentan o no con un sistema de drenaje, el ancho de calzadas y aceras para de este modo mediante esta evaluación busquemos la alternativa más adecuada para implementar en dicha zona de estudio.

En cuanto a la **técnica** que se aplicara en la presente investigación será **la evaluativa** que nos permitirá determinar y ver la necesidad de los barrios de la ciudad de Tarija en cuanto a drenaje urbano se refiere, tratando de dar solución a la problemática del nivel de servicio en calles y avenidas, las inundaciones y reduciendo la contaminación de los cauces naturales.

- Técnica de muestreo.

La técnica de muestreo aplicada será la no probabilística ya que los parámetros a analizar no son los mismos en cada una de las muestras tienen cierta variación como ser el ancho de calles, pendientes y otros.

- Descripción de los instrumentos para la obtención de datos.

Los instrumentos utilizados para la obtención de datos serán:

- ✓ **Flexo metro o cinta métrica.** La cual será utilizada para la medición de la geometría de las calles y avenidas (anchos de aceras, anchos de calzada).
- ✓ **Determinación de la topografía de la zona.** La realizaremos con la ayuda de la estación total con las que cuenta la universidad Juan Misael Saracho, y también con la ayuda de programas informáticos.
- ✓ **Utilización de instrumento para medir la velocidad de los vehículos.** Se utilizara cronómetros con diferentes intervalos de tiempo.
- **Procedimientos de aplicación.**
 - **Dimensionamiento del proceso.**

Una vez definida la muestra se procederá a la recolección de datos, información visual en primer lugar si dichos puntos críticos inundables cuenta o no con algún tipo de drenaje ya sea convencional o no convencional, posteriormente se procederá a determinar la hidrología (intensidad de precipitación, caudales y alturas de precipitación), condiciones físicas geometría (cordón, calzada, aceras, cunetas y pendientes longitudinal y transversal) de dichas calles y avenidas confluyentes al punto de estudio, dependiendo del área de influencia que se determinara con la pendiente, posteriormente se realizara aforos tomando en cuenta únicamente la velocidad de los vehículos, con agua en la calzada y sin la presencia de la misma con esto determinar la transitabilidad.

Según el método AASHTO 1990 los aforos se los deben realizar durante tres días a la semana y en horarios pico teniendo en cuenta de aforar dos días hábiles y uno inhábil, posteriormente se afectara por un coeficiente de reducción por la presencia de agua en la calzada, reducción de visibilidad y salpicadura.

Con todos los datos obtenidos se procederá a la realización de proceso de diseño tomando en cuenta la alternativa convencional y no convencional, buscando la que más se adecue a zona de estudio.

La aplicación se realizara en tres zonas de estudio dentro de las mismas se tomaran tres barrios cada uno con tres puntos de estudio en específico inundables de cada barrio estos serán los siguientes:

Zona alta o norte.

- ✓ Barrio Tabladita, punto crítico intersección avenida 6 de Agosto y Héroes de la Independencia.

Zona central o media.

- ✓ Barrio San Bernardo, punto crítico avenida Circunvalación entre avenida San Bernardo y avenida Aniceto Arce, avenida La Paz intersección la calle San Antonio, avenida La Paz e intersección avenida Marcelo Quiroga Santa Cruz.

Zona sur o baja.

- ✓ Barrio San Jorge II, punto crítico avenida Juan de Dios Mealla entre las avenidas Jorge Paz Galarza y Panamericana

Los equipos utilizados serán cinta métrica, estación total y cronómetros.

El tiempo estipulado de medida y recolección de datos será un mes, en donde previamente se tendrá ya dimensionada la calle geométricamente, y en el tiempo de un mes se realizara los aforos.

1.3.3.3.- Alcance del estudio de aplicación.

Esta investigación busca realizar el estudio de todas las alternativas de drenaje urbano no convencional para implementarlo a la ciudad de Tarija y así de este modo ayudar al actual sistema de drenaje convencional o proveer a zonas que no cuenten con ningún tipo de drenaje, justificando el porqué de su implementación, la problemática que generan los espacios urbanos cuando existe un evento de precipitación haciendo que se saturen rápidamente las calles y avenidas por la cantidad de agua que se concentra en cortos tiempos debido a la impermeabilidad que existe, analizando desde las características de un drenaje convencional, viendo sus componentes parámetros de diseño, los estudios hidrológicos de las zonas en la que se pretende implementarlos, también estudiar detenidamente todo lo que refiere a conceptos, componentes y forma de aplicación e implementación de los sistemas sostenibles de drenaje no convencional,

para así de esta forma elegir la alternativa más adecuada a las características de nuestros barrios de la ciudad de Tarija.

El presente trabajo contiene como introducción una breve explicación de lo que es un sistema de drenaje urbano, las partes que lo componen como ser la vía, cunetas o canales, entradas o sumideros y colectores, también nos da a conocer las alternativas de drenaje urbano no convencional para un buen estudio de estas de la implementación de estas alternativas se utilizara toda la bibliografía y experiencias de otros países para aplicarlos a los barrios de nuestra ciudad de TARIJA. Se plantea el problema que será objeto de resolución mediante el estudio que se realizara.

En cuanto a la justificación del estudio sobre el tema se hace un enfoque de como la información de la problemática del drenaje que actualmente existe en nuestros barrios es necesaria para las autoridades correspondientes, para que ellas con esta información puedan tomar acciones en cuanto al mejoramiento e implementación de nuevas alternativas de drenaje urbano, y que se pueda elegir la que mejor se adecue a nuestro medio.

En parte de los objetivos perseguidos, el objetivo general es identificar algunas zonas urbanas de Tarija que presenten deficiencias en las condiciones de tránsito por el drenaje pluvial con la finalidad de plantear alternativas de drenaje no convencional sostenibles, y viendo la forma de aplicarlos en los barrios de la ciudad de Tarija contribuyendo de esta manera al manejo de agua proveniente de la precipitación, en cuanto a los objetivos específicos obtener la información que sea necesaria correspondientes a las características, comportamiento forma de ejecución e implementación de los sistemas drenaje no convencional, estudiar las diferentes alternativas de drenaje no convencional para aplicarlos en los barrios periurbano de la ciudad de Tarija, identificar los puntos críticos en los barrios y sus características donde se implementara las alternativas de drenaje no convencional, definir las áreas de aporte de precipitación para los sistemas de drenaje pluvial no convencional, determinar las características hidrológica de las zonas en estudio, aplicar la alternativa de drenaje no convencional que mejor se adecue a nuestro medio.

También describiremos los aspectos generales del drenaje convencional, configuración típica de las vías urbanas, cordones de andén (sardineles) y cunetas.

Se analizarán todos los aspectos sobre las alternativas de drenaje urbano no convencional como ser, la incorporación de los sistemas de drenaje no convencional en el drenaje urbano, drenaje urbano de aguas de lluvia, captaciones convencionales y no convencionales, clasificación de los sistemas sostenibles de drenaje urbano, clasificación propuesta para los sistemas de drenaje urbano, descripción general y de las estructuras de los sistemas sostenibles de drenaje urbano, estructuras de captación y transporte, estructuras de almacenamiento, selección de las estructuras de captación, criterios generales de diseño, superficies permeables, cunetas verdes, pozos de infiltración, zanjas, franjas filtrantes, depósitos de retención, humedales, y depósitos de infiltración.

La aplicación práctica contiene: la ubicación del área en estudio donde se detallara las coordenadas, la ubicación del área de estudio en cuanto a zona y distrito, provincia, departamento y país, se determinara la transitabilidad de las calles adyacentes al punto crítico mediante un estudio de velocidad con y sin agua en la calzada, se realizara una medición del ancho de calle, y sus características tanto en pendiente como un estudio de suelo en cuanto a la permeabilidad para la correcta elección del tipo de alternativa a implementar, en estos barrios donde se realizara el estudio se hará una revisión si cuentan o no con sistema de drenaje, se analizara el tamaño del área que se pretende implementar la alternativa de drenaje no convencional, se verificara los espacios disponibles para la aplicación de dichas alternativas, se realizara los estudios hidrológicos de la zona, y se procederá al diseño de las obras que correspondan a dicha alternativa se estudiara los criterios de diseño, se realizara el diseño y sus obras complementarias, se analizara sus ventajas y desventajas y se realizara las conclusiones y recomendaciones.

Finalmente se estableceremos las conclusiones a las que se llegaron luego de haber concluido el estudio, observando cuales son los objetivos se realizaron de forma

exitosa, además de especificar las posibles recomendaciones, con las cuales se podrá determinar la alternativa más adecuada a nuestro medio.

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE DRENAJE URBANO CONVENCIONAL Y NO CONVENCIONAL

El transporte de la escorrentía por una vía urbana exige un tratamiento especial y un diseño adecuado, ya que es fundamental garantizar su seguridad y capacidad cuando se presenta un evento extraordinario. El recorrido del agua, la profundidad de la lámina de agua y la captación del agua transportada por la vía son consideraciones básicas para el diseño adecuado de un sistema de drenaje.

El alcantarillado, tiene como su principal función la conducción de aguas residuales y pluviales hasta sitios donde no provoquen daños e inconvenientes a los habitantes de poblaciones de donde provienen o a las cercanas.

Un sistema de alcantarillado está constituido por una red de conductos e instalaciones complementarias que permitan la operación, mantenimiento y reparación del mismo. Su objetivo es la evacuación de aguas residuales y las pluviales, que escurren sobre las calles y avenidas, evitando con ello su acumulación y propiciando el drenaje de la zona a la sirven. De este modo se impide la generación y propagación de enfermedades relacionadas con aguas contaminadas.

2.1. Importancia del drenaje en las calles urbanas.

El agua sobre la vía disminuye la velocidad del tráfico, aparte que contribuye a la inminente presencia de accidentes por hidroplaneación y a la pérdida de visibilidad por salpicado y roció. El espesor de la lámina de agua en la calle depende de la intensidad de precipitación, del tamaño de la cuenca de drenaje, de las características de flujo, de la geometría de la cuneta de la vía y de la textura del pavimento.

Las estructuras especiales de un sistema de drenaje urbano se proyectan para diversos usos y propósitos. A través de ellas, por ejemplo, se logra el ingreso de las aguas a los colectores o se realiza su unión; se hacen posibles los cambios de pendientes, de sección y alineamiento, y cierto tipo de ellas se utiliza para disipar energía.

Desde el punto de vista hidráulico, las situaciones de flujo que generalmente se caracterizan el funcionamiento de las estructuras especiales son de tal grado de complejidad que no pueden describirse apropiadamente con planteamientos teóricos; por tal razón, para realizar los diseños, se recurre muchas veces a empíricos de ajuste y curvas experimentales, que expresan la relación entre las variables que intervienen en el problema.

2.2. Configuración Típica De Las Vías Urbanas.

La clasificación del sistema de calles desde el punto de vista de la ingeniería de tráfico se basa generalmente en las principales características geométricas, el volumen de

tráfico y la manera de cómo se controla las rampas de acceso. No obstante un ingeniero de drenaje debe interesarse también en la clasificación de las calles porque hay que tomar en cuenta las consideraciones de drenaje especial, como en el esparcimiento máximo permitido, la profundidad de agua en la cuneta, el bombeo de la calle, tipos de entradas, etc. De hecho el movimiento de tráfico en un sistema de carreteras puede ser fuertemente afectado por las lluvias y la escorrentía; si el sistema de drenaje de carreteras no está bien planeado y diseñado, puede causar que el sistema vial quede degradado a un nivel inaceptable de servicio.

Regularmente, desde el punto de vista del sistema de transporte de drenaje en vías, las calles se pueden clasificar como urbanas, rurales o semiurbanas. Las calles urbanas están caracterizadas por estar confinadas en sardineles o cordones de andén, cunetas y sumideros captadores de escorrentía superficial. A las calles rurales por lo general se les incorporan lateralmente canales abiertos, o zanjas, y a las calles semiurbanas, bermas de concreto poco profundas para transportar el esparcimiento de aguas de lluvias sobre la calzada. En términos prácticos, se podría clasificar el sistema de calles de acuerdo con sus dimensiones y uso en local, recolectora, principal o autopista, dependiendo del tránsito promedio diario.

2.2.1. Calles locales.

Las calles locales pueden ser residenciales o industriales de velocidad de tráfico lento. Están diseñadas para proveer servicio local sin interferir en el tráfico. Estas deben tener signos de pare y se caracterizan por sus dos carriles móviles. Están permitidos carriles de parqueo a lo largo de cada lado de la calle.

2.2.2. Calles recolectoras.

Las recolectoras están diseñadas como calles internas principales, que proveen servicio entre calles locales y arteriales con velocidad de tráfico de lento a moderado, con signos de pare, donde estas interceptan calles laterales y señales de tráfico donde se encuentran con calles arteriales. Debe haber tres o cuatro carriles de tráfico móviles y el parqueo es permitido contiguamente a los bordillos de la acera.

2.2.3. Calles arteriales.

Las calles arteriales están clasificadas en mayores y menores, con velocidad de tráfico de moderada a alta, pasando a través de áreas urbanas y acceso a las autopistas. Tienen controlado o limitado el acceso para permitir un eficiente movimiento del tráfico, cuentan con entre cuatro o seis carriles de tráfico y deben tener señales de tráfico en intersecciones mayores, intersecciones con otras calles. Se puede prohibir el parqueo contiguo a los bordillos de la acera.

2.2.4. Autopistas.

Las autopistas están diseñadas para un rápido y eficiente movimiento del tráfico. El acceso está controlado con separación de niveles en los intercambios. El tráfico puede usar en general hasta ocho carriles y el parqueo es prohibido.

Tabla 2 CARACTERISTICAS DE LAS CALLES

Clasificación	Función	Ancho y número de carriles	Señalización e Intersección	Parqueo
Locales	Proporcionan acceso a áreas residenciales o industriales	Ancho bajo con dos carriles móviles	Señales de pare	Uno o ambos lados de la calle
Recolectora	Recogen y transportan el tráfico entre las	Ancho bajo y moderado con dos o	señales de pare o de transito	Uno o ambos

	calles locales y arteriales	cuatro carriles móviles		lados de la calle
Arteriales	Funcionan principalmente a través de calles de tráfico en áreas urbanas	Ancho moderado y alto con cuatro a seis carriles	Señales de tránsito control de accesos	Usualmente prohibido
Autopistas	Proporcionan un transporte rápido y eficiente a largas distancias	Ancho alto con cuatro carriles o mas	Cruce en trébol (cloverleaf) y rampas de acceso. Acceso limitado	siempre prohibido

Fuente Drenaje urbano elementos de diseño Héctor Alonso Rodríguez Díaz

2.3 Escurrimiento superficial.

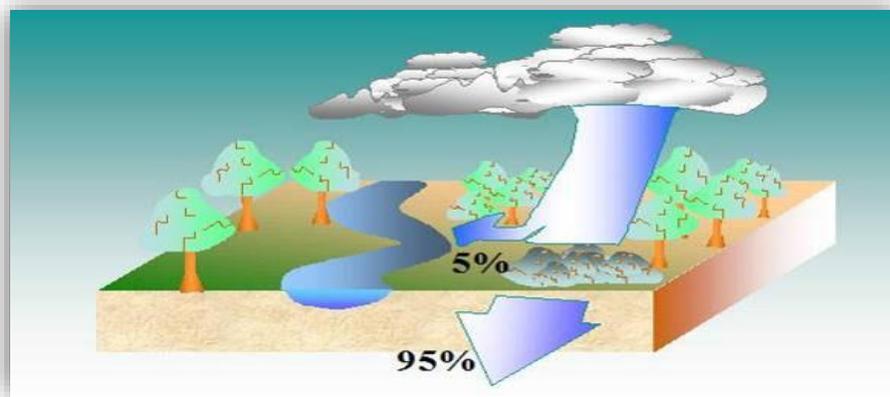
Si se contempla el ciclo natural del agua se ve que es un proceso sencillo y que está perfectamente optimizado en las zonas templadas del planeta. Parte del agua de precipitación es interceptada por la vegetación antes de que toque el suelo, el resto, satisface al terreno antes de producir escorrentía superficial y subsuperficial. Esta escorrentía tiene un tiempo de concentración que depende de la topografía y el tipo de superficie de la cuenca. Más tarde, el agua se concentra en ríos, lagos y humedales o se infiltra alimentando acuíferos naturales, todos ellos fuentes para el abastecimiento de agua a las ciudades. En todo el ciclo están presentes los procesos de evapotranspiración de las plantas y de evaporación necesarios para cerrar el ciclo.

Sin embargo, el ciclo urbano del agua es totalmente distinto. El agua, antes de llegar al suelo, purifica el aire recogiendo partículas contaminantes que arrastrará posteriormente. En la ciudad no hay una cúpula vegetal de intercepción, sino tejados

impermeables; además, el suelo no tiene apenas permeabilidad por lo que el agua corre rápidamente por canalones y pavimentos, concentrándose en un corto periodo de tiempo en los sistemas de alcantarillado subterráneos. Por tanto, en las zonas urbanas no se produce apenas infiltración, con lo cual los acuíferos naturales situados bajo las ciudades quedan aislados. Así, el agua pluvial lava el aire, los tejados, los pavimentos y arrastra una carga contaminante importante de sólidos en suspensión, materia orgánica, metales pesados e hidrocarburos.

Se estima como media que, en una zona natural, sin urbanizar, el porcentaje de agua que se gestiona de forma natural sin producir escorrentía, la cual se vierte a los cauces naturales, es de un 95%.

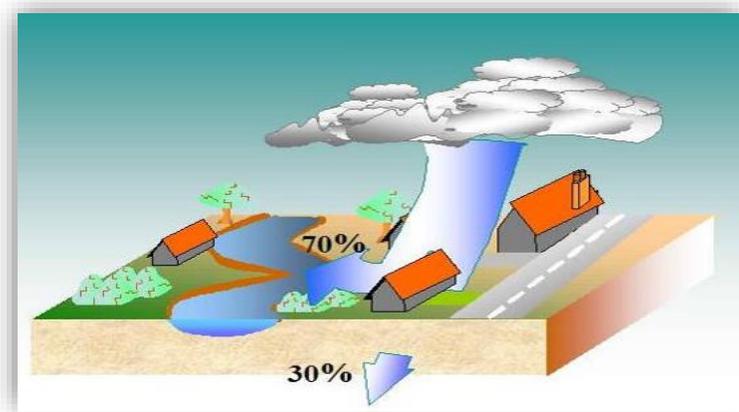
GRAFICA 1 REPARTO DE ESCORRENTIA E INFILTRACION EN UN ENTORNO NATURAL



Fuente: Coupe, S.

En el caso de una zona urbanizada de baja densidad, como pueden ser entornos rurales y zonas residenciales fuera de los núcleos de las ciudades, el valor de infiltración decrece hasta un 30%, con lo que se genera una escorrentía del 70%.

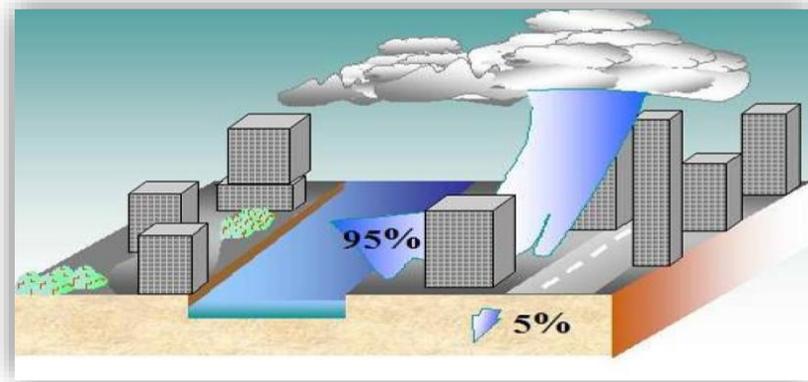
GRAFICA 2 : REPARTO DE ESCORRENTIA E INFILTRACION EN UN ENTORNO RURAL



Fuente: Coupe, S.

Por último, en el caso de una zona urbana de alta densidad, como pueden ser las ciudades de una cierta envergadura, prácticamente el valor de infiltración es despreciable y se genera un 95% de escorrentía superficial que es necesario drenar y gestionar para poder obtener unas condiciones óptimas de habitabilidad.

GRAFICA 3 REPARTO DE ESCORRENTIA E INFILTRACION EN UN ENTORNO URBANO



Fuente: Coupe, S.

Debido a la creciente urbanización producida en nuestros entornos, es cada día más necesaria una adecuada de esas ingentes cantidades de escorrentía superficial que se generan en nuestras ciudades.

2.4. Componentes en un drenaje urbano

2.4.1. Cordones de andén y cunetas

Los cordones de andén y cunetas proveen delineación sobre la carretera, pero su función más importante desde el punto de vista de drenaje es proveer una barrera por la cual el escurrimiento de la vía es guiado, concentrado y transferido al sistema de recolección de aguas de lluvias. Es trascendental que el escurrimiento tenga cierta profundidad en el andén para hacer que los sumideros de la vía trabajen eficientemente.

GRAFICA 4 CORDON Y CUNETAS



Fuente: wikipedia

2.4.2. Sumideros

Son estructuras que recolectan el agua que escurre sobre la cuneta y la conducen al sistema de colectores. Se ubican a cierta distancia en las calles con el fin de interceptar el flujo superficial, especialmente aguas arriba del cruce de calles y avenidas de importancia; también se les coloca en los puntos bajos del terreno, donde pudiera acumularse el agua.

GRAFICA 5 SUMIDERO DE REGILLA DE PISO



2.4.3. Cámaras

Son estructuras subterráneas construidas hasta el nivel del suelo o pavimento, donde se les coloca una tapa. Su forma es cilíndrica en la parte inferior y tronco cónico en la parte superior, y son lo suficientemente amplias como para que un hombre baje a ellas y realice maniobras en su interior, ya sea para mantenimiento o inspección de los conductos. El piso es una plataforma con canales que encauzan la corriente de una tubería a otra, y una escalera marina que permite el descenso y ascenso en el interior. Un brocal de hierro fundido o de concreto armado protege su desembocadura a la superficie y una tapa perforada, ya sea de hierro fundido o de concreto armado cubre la boca.

GRAFICA 6 CAMARAS DE INSPECCION



2.4.4. Colectores

Son tuberías que transportan las aguas recolectadas por los sumideros hasta el sitio de vertido. Se pueden clasificar ya sea de acuerdo a la importancia del conducto dentro del sistema de drenaje o según el material y método de construcción del conducto que se utilice.

GRAFICA 7 COLECTORES



2.5. Estudios hidrológicos estimación de caudales.

2.5.1. Obtención de caudales – Método racional

Para la estimación del caudal de diseño según La Norma Boliviana de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, debe utilizarse el método racional, el cual calcula el caudal pico de aguas pluviales con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escurrimiento.

La ecuación del método racional, expresada en unidades compatibles es:

$$Q = C * i * A$$

Donde:

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

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

I= Intensidad media de la lluvia en l/s/ha

A= Área de la superficie de las zonas afluentes, en ha.

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

$$Q = 0,278 * C * i * A$$

Donde:

Q= Caudal pico del escurrimiento de aguas pluviales, en m^3/s .

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

I= Intensidad media de la lluvia en mm/h.

A= Área de la superficie de las zonas afluentes, en km^2 .

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

- a) 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.
- b) La frecuencia del caudal pico es la misma que la frecuencia media de la precipitación.
- c) El tiempo de concentración está implícito en la determinación de la intensidad media de la lluvia por la relación anotada en el punto a).

El método racional es adecuado para áreas de drenaje pequeñas hasta de 50 ha. Cuando éstas son relativamente grandes, puede ser más apropiado estimar los caudales mediante otros modelos y que eventualmente tengan en cuenta la capacidad de amortiguamiento de las ondas dentro de la red de colectores. En estos casos, es necesario justificar el método de cálculo, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 METODOS HIDROLOGICOS EN FUNCION A LAS AREAS 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. Norma boliviana de alcantarillado sanitario y pluvial NB 688

2.5.2. Coeficiente de escorrentía.

La selección del coeficiente de escorrentía en general, se puede relacionar de acuerdo a la cobertura del suelo, tomando como referencia los valores que se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 4 COEFICIENTES DE ESCORRENTIAS TIPICOS EN EL DRENAJE URBANO (MAYS 2004)

TIPO DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA
Comercial	
Áreas interiores	0.70 – 0.95
Áreas vecinas	0.50 – 0.70
Residencial	
Áreas unifamiliares	0.30 – 0.50
Unidades múltiples, juntas	0.40 – 0.60
Unidades múltiples, separadas	0.60 – 0.75
Suburbanas	0.25 – 0.40
Área de apartamentos	0.50 – 0.70

Industrial	
Zonas livianas	0.50 – 0.80
Zonas pesadas	0.60 – 0.90
Parques y cementerios	0.10 – 0.25
Zonas infantiles	0.20 – 0.40
Zonas ferroviarias	0.20 – 0.40
Zonas descubiertas	0.10 – 0.30
Zonas abiertas con césped	
Plano, 2 %, suelo arenoso	0.05 – 0.10
Medio ,2 – 7 %, suelo arenoso	0.10 – 0.15
Fuerte, 7%, suelo arenoso	0.15 – 0.20
Suelos pesados, plano, 2%	0.13 – 0.17
Suelos pesados, medio, 2 – 7 %	0.18 – 0.22
Suelos pesados, fuertes ,7%	0.25 – 0.35
Calles	
Asfalto	0.70 – 0.95
Concreto	0.80 – 0.95
Ladrillo	0.70 – 0.85

Calzadas y caminos	0.75 – 0.85
Techos	0.75 – 0.95

Fuente: Drenaje urbano. Elementos de diseño Héctor Rodríguez Díaz

Si el área de estudio tiene varios tipos de coberturas, se puede calcular un coeficiente compuesto o ponderado, utilizando el peso de cada área de la siguiente manera:

$$C = \frac{\sum C_i * A_i}{\sum A_i}$$

Donde el subíndice i corresponde a los valores designados para los diferentes tipos de terrenos.

2.5.3. Área de drenaje.

El origen de las áreas de drenaje está dado por la infraestructura urbana y su desarrollo, por las vías y el tipo de edificaciones. El área se define de acuerdo con el punto donde se recoge la escorrentía, sumidero o estructura de captación, la heterogeneidad de la superficie debida a vías, techos, jardines, parques, etc., y el recorrido de la escorrentía por las superficies o por las conducciones.

2.5.4. Tiempo de concentración

De acuerdo con las normas de alcantarillado de Empresas Públicas de Medellín (EPM), el tiempo de concentración se calcula con la siguiente expresión:

$$T_c = T_e + T_r$$

Donde:

T_c= Tiempo de concentración.

T_e= Tiempo de entrada

T_r = Tiempo de recorrido

2.5.4.1. Tiempo de entrada

Corresponde al tiempo que toma el flujo superficial para viajar desde la parte más alejada de la sub cuenca hasta el punto de entrada o sumidero. El tiempo es función de la longitud, la pendiente promedio y la naturaleza de la cuenca. Para el cálculo se puede aplicar la siguiente formula:

Ecuación de la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos.

Esta ecuación se utiliza frecuentemente para el cálculo de la escorrentía superficial en áreas urbanas.

$$T_e = \frac{0.707 * (1.1 - C) * L^{\frac{1}{2}}}{S^{\frac{1}{3}}}$$

Dónde:

Te= Tiempo de entrada

C= Coeficiente de escorrentía (adimensional)

L= Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m)

S= Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada de red (m/m)

2.5.4.2. Tiempo de recorrido en el sistema de drenaje

El tiempo de recorrido es el tiempo que tarda el agua en recorrer el sistema de tuberías desde la entrada o sumidero hasta la salida de la cuenca. En función de la velocidad promedio en la tubería y su longitud.

La velocidad promedio en la tubería puede calcularse con las ecuaciones de flujo uniforme, con la ecuación de Manning para sección circular.

Una vez estimada la velocidad, se calcula el tiempo de recorrido mediante la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{L}{60 * v}$$

Dónde:

Tr = Tiempo de recorrido

L= Longitud de tubería (m)

V= Velocidad promedio del flujo (m/s)

2.5.5. Intensidad de lluvia.

Una vez que se ha determinado el tiempo de concentración, se presume que este es igual a la duración de la lluvia. Al usar el método racional, la selección del periodo de retorno permite disponer de una lluvia asociada a estas dos condiciones y que se determinara utilizando curvas IDF. La intensidad así obtenida es la que se utiliza en la formula racional.

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base hidrológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos. Se debe verificar la existencia de curvas IDF para la localidad. Si existen, éstas deben analizarse para establecer su validez y confiabilidad para su aplicación al proyecto. Si no existen, es necesario obtenerlas a partir de información histórica de las lluvias.

Para la determinación de la intensidad de lluvia se utilizará la ecuación de la Tesis de grado de Armin Mamani Fita. “Estimación y actualización de las ecuaciones intensidad- duración – frecuencia para las principales ciudades del departamento de Tarija”.

Utilizando para el cálculo de intensidad la ecuación calibrada para la ciudad de Tarija a partir del modelo estadístico de Sherman. Donde el autor de la tesis presenta la siguiente ecuación:

$$I = \frac{896.1416 * T^{0.132751}}{(d + 3)^{0.8}}$$

Dónde:

I= Intensidad en mm/h.

T= Periodo de retorno de lluvia en años.

d= Duración de la lluvia en minutos.

2.5.6. Periodo de retorno.

El periodo de retorno de diseño es un factor importante para la determinación de la capacidad de las redes de alcantarillado pluvial y la prevención de inundaciones en vías y áreas urbanas.

La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio.

La Norma boliviana 688 establece que, dependiendo de la importancia de la estructura hidráulica, el proyectista debe definir el período 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 4.

Tabla 5 PERIODO DE RETORNO O GRADO DE PROTECCION (AÑOS)

Características del área de drenaje.	Mínim o	Aceptab le	Recomendabl e
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores a 2 ha.	2	2	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales con áreas tributarias menores a 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 a 10 ha.	5	5	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores de 1000 ha.	10	25	25
Canales abiertos en zonas montañosas o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha.	25	25	50

Fuente: Norma Boliviana 688. Diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial

SISTEMAS DE DRENAJE NO CONVENCIONAL EN EL DRENAJE URBANO.

Durante años la práctica habitual de drenaje urbano ha sido conducir el agua rápidamente fuera de la ciudad. Los cauces urbanos han sido canalizados y las alcantarillas diseñadas para recibir toda el agua de escorrentía superficial. Fruto de estas prácticas, los ríos han perdido su riqueza natural y su capacidad de respuesta ante las crecidas, mientras que los sistemas de alcantarillado se ven incapaces de absorber la cantidad de agua adicional procedente de las zonas de nuevo desarrollo urbano.

Respecto a la calidad del agua, es claro que nadie quiere beber los desperdicios de su vecino de arriba, por lo que se construyen depuradoras. Pero el agua de lluvia que lava las calles y forma la escorrentía superficial también daña seriamente el medioambiente, constituyendo la contaminación difusa.

Frente a estos problemas surge el drenaje urbano sostenible, con la intención de proteger y mejorar la calidad del agua, evitar las inundaciones, y permitir la recarga de los acuíferos y el desarrollo urbano de calidad en zonas donde el sistema de alcantarillado existente está a punto de saturarse.

Todo esto se consigue haciendo frente a la escorrentía desde el momento que la lluvia toca el suelo. La gestión de las aguas pluviales se fundamenta en tres pilares: la laminación de la cantidad de agua, la mejora de su calidad mediante procesos naturales, y el servicio al ciudadano con la mejora del paisaje urbano y la recuperación de hábitat naturales dentro de las ciudades.

El desarrollo urbano sostenible o desarrollo de bajo impacto (*Low Impact Development*) engloba un conjunto de técnicas específicas referidas al drenaje urbano conocidas como SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*) en el Reino Unido, BMPs (*Best Management Practices*) en Estados Unidos o Mejores Prácticas de Control (MPC) en los países hispano parlantes.

2.7. Drenaje Urbano De Aguas De Lluvia.

2.7.1. Drenaje Urbano Convencional y No Convencional.

Un sistema de drenaje urbano busca, mediante el transporte y la captación adecuada de las aguas de lluvias, dos objetivos fundamentales: evitar al máximo posible el daño a las personas, vehículos y a las propiedades del casco urbano provocado por el agua de lluvia, garantizar que las actividades de la vida cotidiana de las poblaciones urbanas se lleven a cabo con normalidad durante un evento de precipitación.

Drenaje urbano convencional

El sistema de drenaje urbano convencional está diseñado para recoger la escorrentía superficial generada por un evento de lluvia, transportarlo a lo largo de la vía o cuneta y descargarla lo más rápidamente posible por una estructura de captación, evitando el riesgo de inundación y cumpliendo en forma apropiada con los objetivos definidos inicialmente.

Drenaje urbano no convencional

El drenaje urbano convencional funciona adecuadamente, de acuerdo con los objetivos de diseño planteado por el sistema. Sin embargo, hoy en día han ido surgiendo otros

conceptos de diseño del drenaje que tiene en cuenta objetivos adicionales, basados principalmente en el diseño sostenible.

Los objetivos adicionales de los sistemas de drenaje urbano buscan disminuir el volumen de escorrentía producidas por las zonas impermeables que van apareciendo y que no se han contemplado en el desarrollo de las ciudades, reducir los picos de escorrentía, la cantidad de agua que escurre superficialmente por las calzadas de las calles hasta encontrar un punto de captación puntual de las aguas de lluvias en los sistemas convencionales y mejorar lo más cerca del sitio de captación la calidad del agua de lluvia contaminada por las vías urbanas.

Para cumplir con estos nuevos objetivos se han venido desarrollando nuevos sistemas de drenaje urbano, tomando como referencia lo que se denomina sistemas sostenibles e drenaje urbano (SUDS por sus siglas en inglés)

2.7.2. Sistemas sostenibles de drenaje urbano. Definiciones

Para entender el origen de los sistemas sostenibles de drenaje urbano (SUDS, por su sigla en inglés) es necesario realizar las siguientes definiciones.

Sostenibilidad

El significado literal de sostenibilidad desde el punto de vista ecológico es mantener la base de los recursos naturales.

A lo largo de la historia, el término desarrollo sostenible ha sido definido por diferentes organizaciones y encuentros enfocados en el medio ambiente y desarrollo.

El primer antecedente de importancia de término sostenible proviene de la biología. En este campo en la década de los setenta, se estudiaban maneras alternativas en la tala de bosques o en la pesca para mantenerse dentro de los plazos de renovación de las poblaciones.

En los años sesenta y setenta se acumuló evidencia de hechos sobre problemas ambientales tales como la contaminación difusa o desechos industriales, los problemas

debidos al sobreuso de agroquímicos y los riesgos de las centrales nucleares, evidenciando que el desarrollo humano actual lo está generando.

La comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo define desarrollo sostenible como “un desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias”.

De acuerdo con esta definición y reconociendo el agua como un recurso escaso y vulnerable, esencial para la sostenibilidad de la vida, el desarrollo y el ambiente, aparece un nuevo enfoque de drenaje, el del “drenaje sostenible”, que pretende mejorar el drenaje convencional, centrándose en la preservación del ambiente y minimizando los efectos del desarrollo urbano.

Objetivos de los sistemas sostenibles de drenaje urbano

Los SUDS (sistemas sostenibles de drenaje urbano) buscan plantear en forma integrada el manejo de la escorrentía urbana, de un modo diferente a los sistemas de drenaje de aguas lluvias convencionales. El objetivo general de estos sistemas consiste en controlar la escorrentía superficial en el sitio de origen o fuente, para transportarla y disponerla hacia los afluentes con un mínimo impacto a las personas y medio ambiente, intentando imitar lo mejor posible el ciclo hidrológico del agua antes del desarrollo urbano.

Entre los objetivos que pretenden estos sistemas son:

- Proteger y mejorar el ciclo del agua en el área urbana y la biodiversidad en corrientes urbanas.
- Mantener o restaurar el flujo normal en las corrientes urbanas.
- Integrar el tratamiento de las aguas lluvias en el paisaje.
- Reducir los caudales punta que provienen de las zonas urbanizadas mediante el elemento de almacenamiento temporal y minimizando áreas impermeables.
- Proteger las personas, las propiedades de inundaciones y dar un libre tránsito a los vehículos en un evento de precipitación.

- Permitir la recarga de acuíferos donde se considere adecuado.

2.8. Captaciones Convencionales y No Convencionales

2.8.1. Captaciones Convencionales

Un sistema de drenaje convencional la captación de la escorrentía superficial se hace a través de las vías, o cunetas, las cuales transportan el agua de lluvia hasta las estructuras de captación denominadas sumideros. Estas dos estructuras las cunetas y los sumideros, conforman las estructuras convencionales necesarias para la captación de la escorrentía superficial.

Los sistemas de recolección y evacuación de aguas pluviales deben proyectarse cuando las condiciones propias de drenaje de la localidad requieran una solución a la evacuación del escurrimiento pluvial. No necesariamente toda la población o sector requiere un sistema de drenaje pluvial. Dependiendo de las condiciones topográficas, el tamaño de la población, las características de las vías, la estructura y el desarrollo urbano.

2.8.2. Captaciones no convencionales

Las alternativas no convencionales son estructuras alternativas en el sistema de drenaje urbano para la captación de la escorrentía superficial, cumpliendo con los objetivos definidos por el drenaje sostenible. Para determinar las estructuras de captación no convencionales es necesario conocer el tipo de estructuras de captación no convencionales es necesario conocer el de estructuras que utilizan los SUDS para el manejo adecuado de la escorrentía y determinar cuáles de estas estructuras cumplen la función de captación de la escorrentía superficial.

El auge, diseño y desarrollo de estas captaciones de drenaje urbano han permitido plantear diferentes clasificaciones de las estructuras y, en general, de los sistemas sostenibles de drenaje urbano. Por la utilidad que tienen.

2.9. Clasificación De Los Sistemas Sostenibles De Drenaje Urbano

Son numerosos los criterios de clasificación que se pueden emplear para catalogar los distintos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

La principal regla de buena práctica en el drenaje urbano sostenible es reducir la escorrentía superficial minimizando las superficies impermeables de la ciudad y dividiendo las cuencas vertientes para evitar la concentración de grandes volúmenes de agua en un punto. Con este objetivo se debe procurar drenar hacia zonas verdes, parques y espacios abiertos. También es recomendable recoger en lo posible las aguas pluviales y reutilizarlas para el riego o el lavado de calles, obteniendo de este modo un doble beneficio al disminuir la cantidad de escorrentía superficial y al mismo tiempo ahorrar un consumo de agua potable

La educación y la concienciación de los ciudadanos en el tema de la limpieza de la ciudad son de suma importancia a la hora de reducir la carga contaminante de la escorrentía. Desde las autoridades municipales, con un correcto plan de limpieza de calles, hasta las escuelas y los hogares, con campañas sobre la utilización de las papeleras y contenedores, la sociedad completa debe implicarse en la solución de un problema que es de todos.

La clasificación de los sistemas de drenaje urbano es múltiples de los cuales para este presente trabajo se adoptó la clasificación que la realiza **“El Departamento De Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente Politécnica De Valencia”**.

Presenta una clasificación de los sistemas de drenaje urbano sostenible a partir de unas medidas estructurales y no estructurales.

Las medidas estructurales son las que gestionan la escorrentía mediante algún elemento constructivo, por las técnicas no se sub clasifican con ningún otro criterio.

Las medidas no estructurales son aquellas en las que intervienen la educación, planificación, regulación, control y participación ciudadana sobre el drenaje de aguas de lluvias.

- **Medidas No Estructurales.**
 - Educación y programas de participación ciudadana.
 - Planificación del sistema.
 - Mantenimiento.
 - Recolección y reúso de agua pluvial.
- **Medidas estructurales.**
 - Cubiertas verdes.
 - Superficies permeables.
 - Franjas filtrantes.
 - Pozos y zanjas de infiltración.
 - Drenes filtrantes o franceses.
 - Cunetas verdes.
 - Depósitos de infiltración.
 - Depósitos de detención.
 - Estanques de retención.
 - Humedales.

2.10 Clasificación Propuesta Para Los Sistemas De Drenaje Urbano

Según el libro de drenaje urbano elementos de diseño de Héctor Alonso Rodríguez Díaz en base a la información recopilada y presentada sobre las clasificaciones de los sistemas de drenaje urbano sostenible, se ha planteado una clasificación bastante sencilla en las estructuras se clasifican según la función que cumplen en el manejo de la escorrentía. Se muestra una clasificación que facilita la selección de las estructuras SUDS (sistemas sostenibles de drenaje urbano) para cada caso en particular de drenaje urbano.

En esta nueva clasificación se toma en cuenta el objetivo principal de cada estructura y la función que cumple dentro de un sistema de drenaje aguas de lluvias, con lo cual es posible identificar su función básica en el manejo de la escorrentía superficial.

Las estructuras de los sistemas de drenaje urbano sostenible se han dividido en dos grandes grupos o tipos:

1. **Estructuras de captación y transporte.** Son estructuras que cumplen la función de captar y transportar la escorrentía superficial.
 - a.) **Para edificaciones:** Estructuras usadas en las instalaciones internas de las edificaciones o viviendas.
 - b.) **Para zonas públicas:** Estructuras que contribuyen al manejo de la escorrentía en las zonas urbanas.
2. **Estructuras de almacenamiento.** Son estructuras cuya finalidad es el almacenamiento temporal de la escorrentía.

ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN Y TRANSPORTE

En edificaciones.

- Cubiertas verdes.
- Sistemas de reuso de agua.

Otras

- Superficies permeables.
- Pozos de infiltración.
- Zangas de infiltración, filtración y biofiltros.
- Cunetas verdes.
- Franjas filtrantes.

ESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO

- Depósitos de retención.
- Depósitos de detención.
- Humedales.
- Depósitos de infiltración.

2.10.1 Descripción General y De Las Estructuras De Los Sistemas Sostenibles De Drenaje Urbano.

Los sistemas sostenibles de drenaje urbano están concebidos para sustituir a los colectores enterrados convencionales, o en su caso utilizarse en combinación con ellos. Sin que ello vaya en detrimento del nivel de seguridad frente a inundaciones exigible a las infraestructuras de drenaje de la ciudad. Su aplicabilidad es evidente para nuevos desarrollos urbanos, pero no debe descartarse en zonas ya consolidadas. Donde pequeñas actuaciones puntuales pueden traer beneficios nada desdeñables. La conveniencia de aplicar unas u otras técnicas dependerá de los condicionantes particulares de cada actuación, siendo la climatología y la geología factores importantes a considerar.

GRAFICA 8 SISTEMAS SOSTENIBLES DE DRENAJE URBANO



Fuente: Pennsylvania Stormwater BMP Manual, 2006

Contemplar el agua de lluvia como un recurso natural, permite realizar una gestión hídrica más eficiente, contando con el aprovechamiento de las aguas pluviales. Bien para utilizarlas o para su infiltración en el subsuelo.

Es más, los sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales pueden ser implementados con la integración de instalaciones de tratamiento y reutilización de aguas grises (provenientes de lavado de duchas y bañeras) que proporcionan un suministro continuo e independiente de las condiciones climatológicas. El proceso de depuración de estas aguas debe permitir la calidad que cumpla con las condiciones establecidas por la normativa existente en nuestro país para el tratamiento y su posterior reutilización.

La utilización de las nuevas tecnologías y sistemas disponibles en el mercado (de diseño compacto y poco voluminoso, fácil mantenimiento con mínimo gasto y seguridad funcional), abren la puerta a la reutilización del agua en el origen en el ámbito urbano, para su uso como agua de riego, limpieza y de descarga de aparatos sanitarios, entre otros tantos usos, tanto en parcelas privadas y públicas. Su uso en viviendas, residencias, hoteles, instalaciones deportivas, centros comerciales, etc. Supone un gran ahorro del agua potable con ventajas tanto económico como medio ambientales, excedentes de aguas grises ya tratadas y utilizadas en origen, pueden incorporarse al sistema de gestión de aguas pluviales, ofreciendo la posibilidad de su aprovechamiento en otras zonas.

En cuanto a su aprovechamiento como agua que se infiltra en el terreno, cabe destacar la posibilidad de utilización del subsuelo en la gestión de los recursos hídricos, con ventajas económicas y de gran efectividad con respecto a las grandes obras hidráulicas. En esta línea se engloban tanto la gestión de recarga artificial de acuíferos como las técnicas de almacenamiento subterráneo con recuperación. Además de proporcionar un recurso apto para ser utilizado por el hombre, la recarga de acuíferos puede solucionar problemas medioambientales como los de intrusión marina, subsidencia, degradación de humedales y disminución de caudales base de cauces fluviales entre otros.

2.10.2 Estructuras de captación y transporte.

Cubiertas verdes

Las cubiertas verdes son techos o terrazas de cualquier tipo de cubierta vegetal. En el manejo de la escorrentía urbana estas estructuras tiene la capacidad de almacenar un

porcentaje del agua de lluvia de acuerdo con su capacidad de retención, que es descargada luego del evento de escorrentía o evaporada.

GRAFICA 9 CUBIERTAS VERDES



Fuente: Virginia Stormwater Management Program

Una cubierta verde puede reducir hasta el 60 % de la escorrentía y hasta un 85 % de la evacuación de aguas durante las dos primeras horas de lluvia intensa. Según la norma alemana DIN 1986, el coeficiente de escorrentía para las cubiertas verdes con un mínimo de 10 cm de espesor es de 0.3 (extractado de las recomendaciones técnicas para proyectos de cubiertas vegetales, Santiago de Chile).

Las cubiertas verdes tienen beneficios adicionales, ya que al remplazarse las cubiertas de concreto o material impermeable por vegetación se incrementan los procesos naturales de enfriamiento, como la fotosíntesis y la evapotranspiración, lo que podría reducir el aumento de la temperatura en la ciudad. Además, retienen dióxido de carbono y otros contaminantes, actúan como capa aislante térmica en edificios y mejoran la estética del lugar (visual, sonido y aromas).

El tipo de cubierta que desee instalar dependerá de clase de edificación y del uso que se le quiera dar a esta. Antes de determinar el tipo de cubierta que se va instalar es conveniente analizar los requerimientos de cada edificación, teniendo en cuenta por ejemplo la clase de edificación (nueva o renovación), características del techo (pendiente, capacidad de carga, altura), uso de la cubierta (transitable, retención de

aguas de lluvias, interés estético, certificación ambiental), ubicación del edificio (clima, sombras, viento), presupuesto y mantenimiento.

Tabla 6 TIPOS DE CUBIERTAS VERDES

Características	Extensivo	Semiintensivo	Intensivo
Espesor sustrato	< 15 cm	10-20 cm	> 15 cm
Cobertura vegetal transitable/ No transitable	No transitable	Parcialmente transitable	Transitable
Peso saturado	50 – 170 kg/m ²	150-250 kg/m ²	> 245 kg/m ²
Diversidad vegetal	Poca	Mayor	Máxima
Mantenimiento	Mínima	Variable	Alta
Tipo de vegetación	Rastreras	Arbustos pequeños y pastos ornamentales	Arbustos y árboles pequeños

Fuente: Recomendaciones técnicas para proyecto de cubiertas vegetales, Santiago de Chile.

Las cubiertas verdes no requieren espacios adicionales en el desarrollo urbano, por lo que son adecuadas en lugares ya desarrollados dentro de la ciudad, donde el espacio es limitado para otras técnicas.

Las cubiertas pueden adaptarse fácilmente, siempre y cuando exista suficiente resistencia para soportar las cargas en el techo, así con la elección cuidadosa de los materiales adecuados pueden utilizarse en casi cualquier edificio.

En el diseño deben considerarse parámetros ambientales en el lugar de instalación, tales como la altura del techo, su exposición al viento, la orientación del techo con el sol, la sombra de los edificios aledaños y el clima.

Superficies permeables

Se entiende por superficie permeable un pavimento construido por el hombre que permite el paso del agua. Estos sistemas están constituidos por un volumen de material permeable situado bajo una superficie que permite el paso del agua pudiendo tratarse de: césped, césped reforzado, grava, pavimento de bloques impermeables con huecos rellenos de césped o grava, pavimento de bloques impermeables con ranuras sin relleno alguno pavimento de bloques porosos, o pavimentos continuos de cualquier tipo de mezcla porosa.

GRAFICA 10 ADOQUINES COMO PARTE DE SUPERFICIES PERMEABLES



Fuente: (EPA, 1999).

GRAFICA 11 SUPERFICIES PERMEABLES UTILIZADAS COMO UN PARQUEO



Fuente: MINVU-DICTUC, 1996.

El agua atraviesa la superficie permeable, que actúa a modo de filtro, hasta la capa inferior que sirve de reserva, de manera que se atenúan las puntas del flujo. Esta reserva puede ser transportada a otro lugar o infiltrada, si el terreno lo permite. El exceso de agua se controla mediante un desagüe superior o un drenaje superficial diseñado a tal efecto

En cualquier caso todas las capas del firme deben tener permeabilidades crecientes, desde la superficie hasta la sub-base, incluyendo geotextiles, con la intención de que el agua fluya y no se quede retenida en su interior. La misión de los geotextiles en este tipo de pavimentos es primordial actuando como filtro, separación o como refuerzo estructural

Las distintas capas permeables retienen partículas de diversos tamaños, aceites y grasas. Los hidrocarburos retenidos pueden llegar a ser biodegradados con el paso del tiempo. Las investigaciones actuales que se están llevando a cabo en las Universidades de Coventry (Coupe *et al.*, 2003) y de Cantabria (Proyecto FIDICA), están dirigidas a

aumentar la eficacia en biodegradación de hidrocarburos dentro de este tipo de pavimentos.

Estas técnicas están siendo actualmente utilizadas en aparcamientos de vehículos ligeros, accesos a zonas residenciales, caminos y patios en América Latina, Europa o Estados Unidos, destacando las instalaciones piloto en Chile y Brasil.

Entre las ventajas de estos pavimentos está la sencillez de ejecución, dado que no es necesaria la nivelación de la superficie para el drenaje ni la colocación de sumideros ni alcantarillas.

Sin embargo, la conservación para asegurar el correcto funcionamiento implica mantener la superficie limpia y libre de sedimentos, mediante un barrido con aspiración cuya frecuencia depende de los aportes recibidos. Además, no debe emplearse sal ni gravilla para luchar contra la formación del hielo. Todo ello para evitar el problema de colmatación que está siendo estudiado para mejorar el rendimiento de estos pavimentos.

Franjas filtrantes

La franja filtrante es una sección de tierra vegetada con cierta inclinación, diseñada para recibir la escorrentía superficial y facilitar su filtración. Su principal misión es filtrar una lámina de escorrentía atrapando sólidos y aceites.

Las pendientes deben ser poco pronunciadas y los anchos a atravesar por el agua lo mayores posibles. Las franjas de filtración pueden albergar cualquier forma de vegetación natural, desde un prado hasta un pequeño bosque. Mientras el césped ofrece una superficie más tupida, los arbustos y árboles permiten mayor evapotranspiración y otorgan un valor medioambiental extra a la zona. En cualquier caso, a mayor anchura de franja y densidad de vegetación se obtiene mayor capacidad filtrante y grado de depuración.

Estos sistemas se utilizan aguas arriba del final del sistema de drenaje o recibiendo escorrentía de cuencas pequeñas. La escorrentía procedente de las carreteras también se puede tratar con estos métodos teniendo especial cuidado en que no se bloquee el paso de la carretera a la franja filtrante. Además, las franjas filtrantes pueden ser utilizadas como pre tratamiento para eliminar el exceso de sólidos y contaminantes antes de otros sistemas como cunetas verdes.

GRAFICA 12 FRANJA FILTRANTE

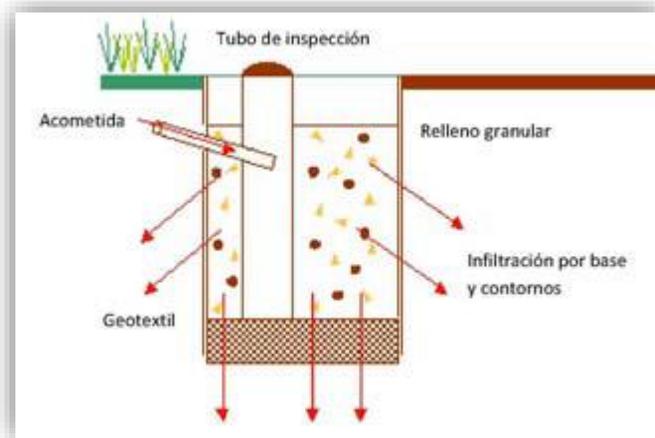


Fuente. Wikipedia.

Pozos y zanjas de infiltración

Pozos y zanjas de infiltración son perforaciones y trincheras rellenas de material granular que sirven para recoger y almacenar el agua de escorrentía hasta que se produce la infiltración de la misma al terreno natural. Las zanjas son más estrechas y menos profundas que los pozos, siendo más eficientes desde el punto de vista constructivo.

GRAFICA 13 ZANJA DE INFILTRACION



Fuente: Ayuntamiento de Madrid. Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid.

En la etapa de diseño debe tenerse en cuenta el tipo de terreno sobre el que se está trabajando, su tasa de infiltración debe ser adecuada y el nivel freático no debe verse afectado por la excavación. Además, no se pueden construir estos sistemas demasiado cerca de un edificio o una carretera para no afectar las cimentaciones.

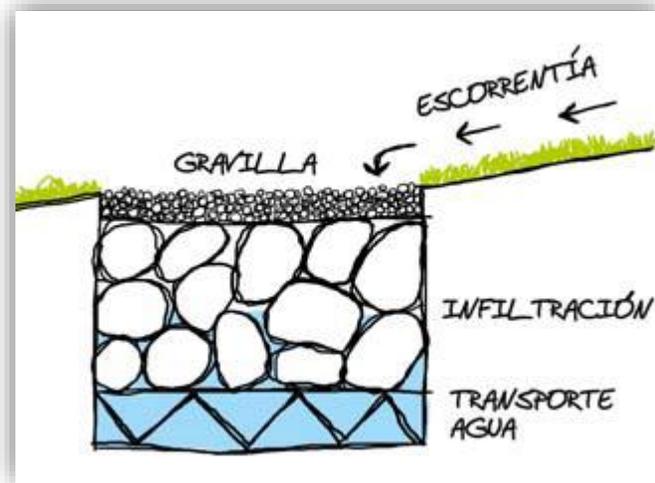
Se suelen emplear geotextiles de filtro y separación para envolver el material granular, y desagües de emergencia para, en el caso que se supere la capacidad de depósito de diseño, poder enviar el sobrante a la red de alcantarillado. También se dispone una tubería permeable en la base que recoge el agua, lo que implica la construcción de pozos de registro para los cambios de dirección y la limpieza de la zanja.

Tanto la vida útil, como el nivel de depuración obtenido, dependen de un correcto diseño que puede incluir un sistema de pretratamiento a la entrada.

Drenes filtrantes o franceses

Los drenes filtrantes son zanjas recubiertas de geotextil y rellenas de grava, dentro de las cuales circula el agua que proviene directamente de las superficies de drenaje o de una tubería de aportación.

GRAFICA 14 DRENES FILTRANTES O FRANCESES



Fuente: Geohábitat © (2002) Manual de diseño. La ciudad sostenible. Ministerio de Economía. Instituto para la Diversificación

Se trata de dispositivos cuya misión principal es la de transportar el agua pluvial hacia otros sistemas de tratamiento mayor o a los lugares de vertido correspondientes, aportando en su camino una serie de ventajas.

Se trata de sistemas de tipo lineal y que como tales se suelen ubicar en zonas laterales de caminos, siendo ellos mismos los puntos de recogida del agua de escorrentía urbana para su transporte al siguiente sistema de la cadena de gestión.

Los drenes filtrantes están constituidos por un volumen de relleno permeable que permiten la filtración del agua que lo atraviesa, permitiendo el transporte o almacenamiento temporal de la misma. Este sistema es muy similar a la zanja de infiltración, pero su misión en este caso no es la de infiltrar el agua, sino la de transportarla a otro sistema. Al igual que las zanjas, los drenes pueden contar con

diferentes tipos de superficie, según el acabado que se pretenda dar a la zona urbana, permitiendo obtener un aspecto estético agradable gracias a la continuidad que presenta.

También se los en algunos casos se lo puede utilizar como elementos de infiltración para lo cual el tiempo de estancia del agua en el dren debe ser suficientemente alto y la velocidad del agua suficientemente lenta para que exista infiltración a través del geotextil. De este modo, en algunos drenes no es necesario dirigir el agua hasta el punto de vertido, pues al cabo de una cierta longitud se ha infiltrado totalmente.

Es conveniente vegetar la superficie del dren o asfaltarla con mezcla drenante en zonas de carretera donde es posible el paso de tráfico.

Los drenes filtrantes, como todos los SUDS, se pueden combinar con otros sistemas. Así, en carreteras se puede colocar junto a la calzada una franja filtrante con un dren filtrante de recogida, o una cuneta verde con un dren filtrante en su base, de forma que aumente su capacidad, ofreciendo una mayor atenuación de la escorrentía.

GRAFICA 15 DREN FILTRANTE O DREN FRANCES COMO DRENAJE LATERAL DE CALZADAS



Fuente: CIRIA

Las zanjas de infiltración son obras longitudinales, con una profundidad recomendada del orden de 1 a 3 m, que reciben el agua en toda su longitud, interceptando el flujo superficial de una tormenta y evacuándolo mediante infiltración al subsuelo. Si la zanja no puede recibir el agua en toda su longitud, es posible alimentarla desde uno de los extremos empleando para ello una tubería perforada a lo largo de la parte superior, para lo cual es conveniente disponer de cámaras a la entrada y a la salida. En este caso la zanja propiamente tal que pueda cubrirse de manera de emplear la superficie para otros fines, como veredas, paseos o estacionamientos. El funcionamiento hidráulico de estas obras puede resumirse en tres etapas. La primera es el ingreso del agua proveniente de la tormenta a la zanja, la que se puede efectuar a través de la superficie o desde redes de conductos. Una vez que ingresa a la zanja, el agua se almacena temporalmente en su interior, para posteriormente ser evacuada a través del suelo mediante infiltración. Es recomendable usar las zanjas de infiltración en áreas residenciales, donde el agua lluvia tiene una baja concentración de sedimentos y de aceite. Pueden ser alimentadas lateralmente desde franjas de pasto que actúan como filtros. A pesar de que son más susceptibles a la acumulación de sedimentos, las zanjas de infiltración son más fáciles de mantener que otras obras de infiltración debido a su accesibilidad, si no están cubiertas por veredas o calles.⁶

Requerimientos

Para lograr los objetivos de disminuir el caudal máximo y del volumen escurrido, así como permitir la recarga la napa de agua subterránea y mejorar la calidad del efluente, las zanjas de infiltración se deben ubicar inmediatas a las zonas impermeables que atienden, de manera de recibir aguas limpias, preferentemente en sectores estrechos como pasajes, pasajes centrales de calles, fondos de patios, en los bordes de estacionamientos y lugares similares.

Criterios de diseño.

La elección del tipo de materiales utilizados y la capacidad de absorción del suelo son las principales características que se consideran en el diseño. Además de los antecedentes mencionados en la Factibilidad para el dimensionamiento el proyectista reunirá los siguientes:

- Plano a una escala adecuada en el que se muestren las superficies que drenan a la zanja y la naturaleza de cada una.
- Cuadro de superficies, con indicación de áreas y coeficiente de esorrentía de cada tipo, (techos, pavimentos impermeables, porosos, áreas verdes con y sin vegetación, calles, veredas y otros).

Precipitación máxima de 24 hrs. de duración y 5 años de período de retorno.

Si se conoce el material de relleno es conveniente disponer de un ensayo para determinar su porosidad o el índice de huecos del material compactado, realizado por un laboratorio autorizado.

Cunetas Verdes

Las cunetas verdes son estructuras lineales cubiertas de hierba, con una base superior a medio metro y taludes con poca pendiente ($< 1V:3H$). Están diseñadas para capturar y tratar el volumen de calidad de agua. Deben generar velocidades inferiores a 1 ó 2 m/s en el agua circulante para que las partículas en suspensión puedan sedimentarse y

no aparezcan problemas de erosiones. Adicionalmente pueden permitir la infiltración a capas inferiores.

Hay tres tipos de cunetas verdes:

1. Las **tradicionales**, canales recubiertos de césped que se usan para transportar el agua de esorrentía.

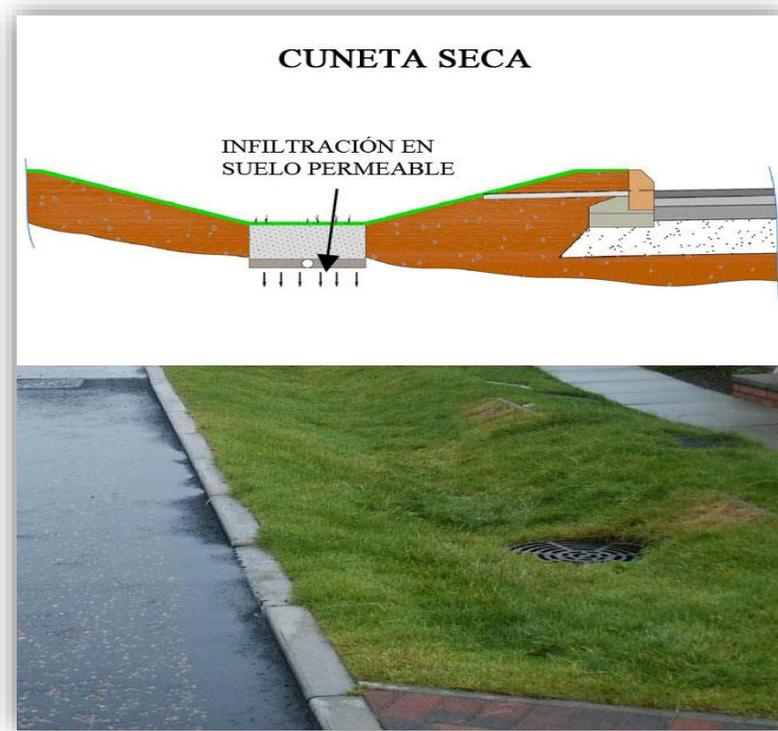
GRAFICA 16 CUNETAS TRADICIONAL O ESTÁNDAR



Fuente: SUDS for Roads. (SUDS Scottish Working Party, Scottish Government, Scottish Water, Scottish Enterprise, Homes for Scotland, University of Abertay Dundee and Transport Scotland.)

2. Las **vegetales secas**, con un filtro formado por un material muy permeable que permite que todo el volumen de calidad se infiltre a través del fondo del canal. Se llaman así porque la mayor parte del tiempo no contienen agua.

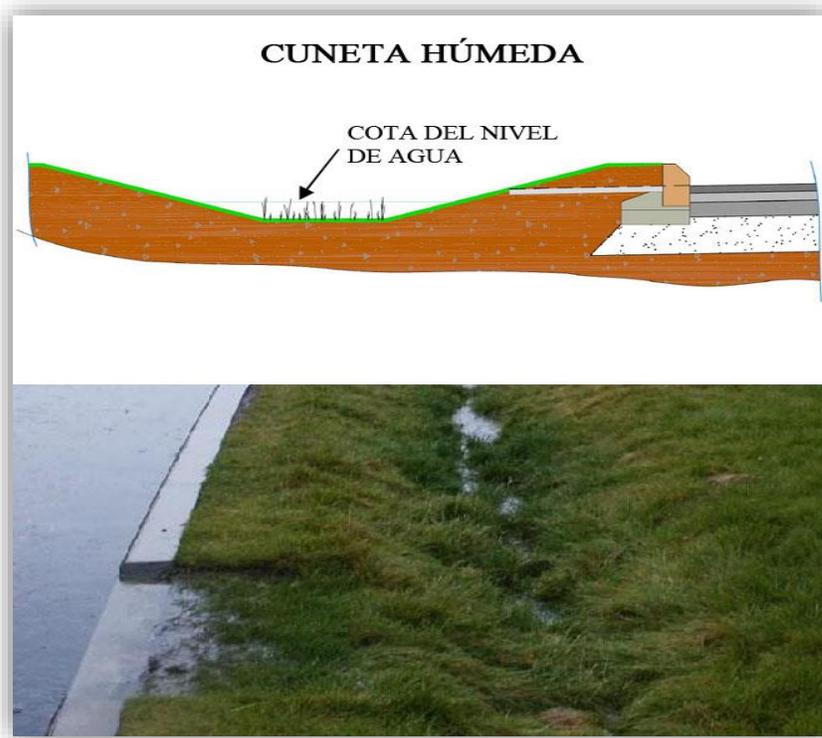
GRAFICA 17 CUNETAS SECA



Fuente: SUDS for Roads. (SUDS Scottish Working Party, Scottish Government, Scottish Water, Scottish Enterprise, Homes for Scotland, University of Abertay Dundee and Transport Scotland.)

3. Las **vegetales húmedas** retienen el agua de forma permanente, para ello, se ejecutan en lugares que tienen el nivel freático elevado o con el suelo impermeable.

GRAFICA 18 CUNETA HUMEDA



Fuente: SUDS for Roads. (SUDS Scottish Working Party, Scottish Government, Scottish Water, Scottish Enterprise, Homes for Scotland, University of Abertay Dundee and

Esta técnica se implanta a lo largo de carreteras y calles residenciales, para tratar agua de escorrentía de áreas impermeables, como por ejemplo sería, un aparcamiento.

Para que funcionen correctamente, su extensión en planta ha de ser entre un 10% y un 20% del área total a drenar, que ha de ser inferior a 2 hectáreas. Un problema a evitar es la erosión por exceso de velocidad del agua. Por ello la pendiente longitudinal no ha de superar el 4%. Lo mejor es que tengan pendientes pequeñas. Si hay que aumentar la retención, se pueden construir pequeños azudes que aseguren un tiempo de retención mayor, ayudando a laminar las puntas en el flujo. Si están sobre zonas de protección de aguas subterráneas, se pueden sellar en su zona inferior, de manera que la cuneta vegetada mantenga todas sus ventajas hidráulicas, evitando la infiltración.

Usos típicos:

- Gestión de la escorrentía en zonas residenciales y comerciales/industriales.
- Se pueden establecer sustituyendo a las convencionales en carreteras.

Ventajas/beneficios:

- Fáciles de incorporar en el paisaje.
- Buena eliminación de contaminantes urbanos.
- Reducen el coeficiente de escorrentía y los volúmenes de agua generados.
- Tienen bajo costo.
- Su mantenimiento puede ser incorporado en la gestión general del paisaje urbano.
- La acumulación de elementos que dificulten su funcionamiento es fácil de detectar y eliminar.

Desventajas y limitaciones:

- No son aptas en zonas escarpadas.
- La opción de poner árboles para tratarlas como zonas ajardinadas está muy limitada o no es conveniente.
- Existe riesgo de bloqueo en la conexión con el colector de salida.

Requisitos de mantenimiento:

- Eliminación de residuos y cualquier elemento que obstruya la circulación del agua.
- Cortar periódicamente la hierba y eliminar los restos.
- Limpiar las entradas a las alcantarillas de desechos y sedimentos.
- Reparar las áreas erosionadas o dañadas.

Rendimiento

- Reducción del caudal punta: MEDIO
- Reducción de volumen: MEDIO
- Tratamiento de calidad de agua: BUENO

- Potencial beneficio social/urbana: MEDIO/BUENO
- Potencial ecológico: MEDIO

Depósitos de infiltración

Los depósitos de infiltración son embalses superficiales poco profundos donde se almacena el agua hasta que se produce su infiltración. Al igual que las zanjas de infiltración, se suelen construir con un desagüe de emergencia para en caso que se supere la capacidad de almacenamiento, enviar el agua al siguiente sistema de la cadena de tratamiento.

GRAFICA 19 DEPOSITOS DE INFILTRACION



Fuente: EPA, 1999.

Su forma es irregular con bases anchas y taludes laterales suaves cubiertos de vegetación. Los desagües inferiores deben ser capaces de desaguar en todo momento. Los depósitos de infiltración pueden recoger el agua de una cuenca mayor que los pozos y las zanjas de infiltración, dado que también permiten en caso necesario, el almacenamiento temporal por encima de la superficie del terreno en forma de lámina de agua.

El rendimiento de estos sistemas se puede mejorar del mismo modo que en el caso de las zanjas de infiltración, es decir, colocando un sistema de pretratamiento que disminuya la entrada de sólidos en suspensión en el sistema, reduciendo así el riesgo de colmatación de la zona de infiltración.

2.10.3 Estructuras De Almacenamiento

Depósitos de detención

Los depósitos de detención son depresiones diseñadas para frenar durante unas horas la escorrentía de las tormentas y permitir la sedimentación de los sólidos en suspensión. Su misión es la de laminar grandes avenidas, reduciendo los picos en el caudal y limitando los riesgos de inundación.

GRAFICA 20 DEPOSITOS DE DETENCION



Fuente: Universidad de Abertay, Dundee, Escocia

En el diseño de los depósitos de detención se puede incluir un desvío o *by-pass* de manera que, una vez recibida la escorrentía del primer lavado, la más contaminada, el resto pase al siguiente sistema de la cadena de drenaje.

Estos depósitos cuentan con un desagüe en su parte inferior, que puede llegar a colmatarse por la acumulación de sedimentos si no se diseñan adecuadamente tanto la entrada como la salida del depósito. Este diseño puede incluir una compartimentación, un serpenteo de la corriente, o la colocación de disipadores de energía, que permitan maximizar el rendimiento y prevenir erosiones y tiempos de retención insuficientes. También es conveniente colocar un sistema de pretratamiento para eliminar parte de los sólidos de suspensión, que puede ser una franja filtrante o un simple sistema de decantación, constituido por un pozo relleno de material granular.

Las pendientes laterales deben ser con pendiente suave por seguridad para permitir la salida en caso de caída al agua, así como el acceso y mantenimiento cuando el depósito esté vacío. Según la zona y la profundidad del depósito puede ser conveniente colocar vallas de seguridad.

Estanques de retención

Los estanques de retención son depresiones del terreno que contienen un cierto volumen de agua en todo momento. Este volumen de agua constante oculta bancos de sedimentos antiestéticos e incrementa el rendimiento en la eliminación de nutrientes, metales pesados, coliformes y materia orgánica.



Fuente: Perales Momparler y Andrés-Doménech 2008.

La capacidad para la que se diseña el estanque debe ser superior al volumen a tratar de manera que, incluso en tiempo de lluvias, se asegure un tiempo de estancia del agua en el estanque suficiente para que se produzca la degradación biológica de los contaminantes. La diferencia respecto a los depósitos de detención es que en los estanques existe una lámina de agua de manera permanente, con un reborde vegetado que permite recibir los volúmenes adicionales.

Para evitar los circuitos cortos del agua, se aconseja colocar islotes, u otros dispositivos, que alarguen el recorrido del agua.

Un estanque puede ser alimentado por una cuneta verde, una red de drenes filtrantes o un sistema de drenaje superficial convencional. En este último caso, los picos de entrada resultan mayores, de forma que el área requerida para el estanque es mayor. Por tanto, estos estanques deben permitir una amplia variación del nivel del agua.

Humedales

Los humedales son superficies amplias de agua construidas artificialmente, con poca profundidad y vegetación propia de pantanos y zonas húmedas. Este sistema proporciona un mayor grado de filtración y eliminación de nutrientes gracias a la acción de la vegetación, ocupando una menor extensión que otros sistemas.

GRAFICA 22 HUMEDALES ARTIFICIALES



Fuente: organización de Ciria c523, 2001

Dada la importancia que tiene la revegetación de los humedales, debe realizarse en lo posible con especies vegetales nativas para maximizar su rendimiento y su longevidad. Del mismo modo es importante asegurar un flujo base, incluso durante los periodos de sequía.

Los humedales pueden tener asociado un plan de vigilancia ambiental redactado por expertos que salvaguarde la vegetación y la fauna que albergan. Es fundamental destacar que en ningún caso los humedales naturales deben recibir aportaciones procedentes de escorrentía urbana, sólo los humedales artificiales están preparados para esta tarea

2.11 Transitabilidad En Vías Urbanas

La transitabilidad en las calle de la vías urbanas significa una circulación optima de vehículos y peatones en cualquier época del año

2.11.1 Nivel De Servicio

El concepto de nivel de servicio se utiliza para evaluar la calidad del flujo. Es “una medida cualitativa que descubre las condiciones de operación de un flujo de vehículos y/o personas, y de su percepción por los conductores o pasajeros”. Estas condiciones se describen en términos de factores como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, las interrupciones a la circulación, la comodidad, las conveniencias y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel del servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, etc. Entre los externos están las características fijas, tales como el ancho de los carriles, la distancia libre lateral, el ancho de cunetas, las pendientes, la presencia de agua en las calzadas, etc.

Para cada tipo de infraestructura se definen 6 niveles de servicio, para los cuales se disponen de procedimientos de análisis, se les otorga una letra desde la A hasta la F siendo el nivel de servicio (NS) A el que representa las mejores condiciones operativas, y el NS F, las peores.

2.11.2 Interferencia entre el drenaje y el tráfico de las calles

Las interferencias al tráfico pueden ocurrir cuando existe agua en las calles, como resultado de los siguientes casos:

- Esguerrimiento superficial, transversal al pavimento y en dirección a las cunetas, que ocurre durante la lluvia e incide directamente en el pavimento.
- Esguerrimiento longitudinal y adyacente al cordón, por la cuneta, pudiendo invadir una parte de la pista.

- Charcos o depósitos de agua en las depresiones.
- Esguerrimiento transversal a la pista, proveniente de fuentes externas, distintas del agua de lluvia, directamente sobre el pavimento.
- Salpicaduras de agua sobre los peatones.

a) Interferencia por esguerrimiento transversal al pavimento

Con la caída de lluvia sobre el pavimento se origina el esguerrimiento superficial que se inicia transversalmente a la pista hasta llegar a las cunetas, las mismas que funcionan como canales.

Debido al esguerrimiento superficial, las interferencias al tráfico, son de dos tipos: deslizamiento y salpicadura de agua.

El deslizamiento se produce cuando se forma una película de agua entre los neumáticos del vehículo y el pavimento. Esto generalmente ocurre a velocidades elevadas y puede evitarse con la ejecución de un pavimento superficial rugoso o con la construcción de alternativas de drenaje no convencional, las cuales no utilizan la calzada como un medio de drenaje.

Las salpicaduras de agua resultan de una profundidad excesiva del esguerrimiento superficial; causado por el tirante de agua que recorre una distancia larga, o esguerre a una velocidad muy baja antes de alcanzar la cuneta. Aumentando la pendiente transversal se logra disminuir el tirante de agua y el tiempo necesario para que la misma alcance la cuneta. A la vez dicha pendiente debe mantenerse dentro de límites aceptables para permitir la apertura de las puertas de los vehículos cuando estén estacionados a los cordones.

b) Interferencia debida al esguerrimiento en la cuneta

Las cunetas transportan el agua que circula en la calle debido al agua de lluvia que cae sobre el pavimento y terrenos adyacentes, hasta alcanzar los sumideros o puntos de captación.

A medida que aumenta el caudal, se incrementa el ancho de distribución de agua sobre el pavimento, llegando progresivamente a las fajas de tránsito.

Si los vehículos están estacionados adyacentes a los cordones, el ancho de agua tiene poca influencia en el tránsito por la vía, hasta que dicho ancho excede el ancho del vehículo en algunas decenas de centímetros. En cambio, en aquellas vías donde no está permitido el estacionamiento; un ancho de distribución de agua excesivo afecta significativamente el tráfico ya que los vehículos tienden a moverse a fajas adyacentes originándose así riesgos de accidentes.

De acuerdo a la clasificación de calles se considera el grado de interferencia con el tráfico. Por ejemplo calles secundarias tienen un menor grado que una calle principal ya que puede ser inundada con poco efecto sobre el movimiento de los vehículos que circulan por estas vías.

c) Interferencia debida a la acumulación de aguas

La acumulación de aguas en la superficie de las calles por cambios de pendiente o cambios de inclinación de la cresta en calles que se cruzan, puede reducir de manera importante la capacidad de tráfico de la misma.

Dichas acumulaciones de agua pueden permanecer por periodos largos y según su localización los vehículos pueden transitar a velocidades altas aumentando los riesgos de accidentes e interrupción del tráfico.

d) Interferencia debida al escurrimiento en faja de tránsito

Una concentración de escurrimiento superficial en el sentido transversal produce serias restricciones al tráfico vehicular. Dicha concentración puede ser causada por cruzamiento inadecuado en badenes, súper elevación en una curva o simplemente por un proyecto inadecuado de calles.

e) Efecto sobre los peatones

En aquellas zonas donde existe un tráfico intenso de peatones, las salpicaduras de agua producida por los vehículos, el hecho de que los peatones tengan que cruzar tirantes y charcos de agua es un problema. Considerando que durante la duración de la lluvia el tránsito de peatones es reducido, las incomodidades para los mismos se producen cuando una vez concluida la lluvia permanece agua acumulada en las vías.

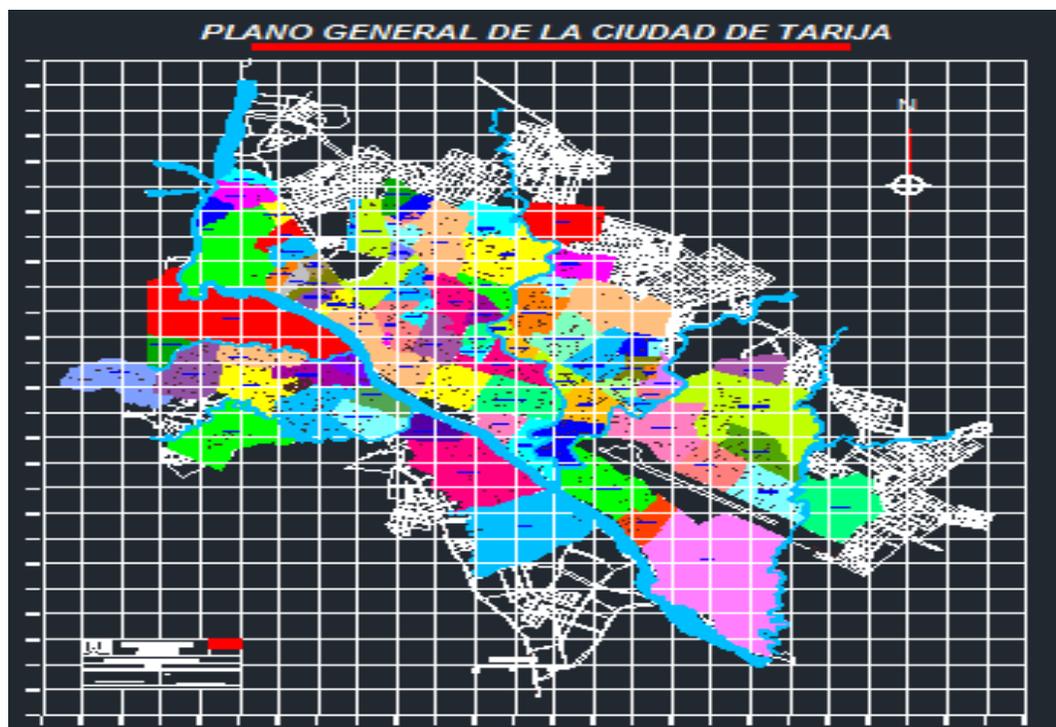
CAPITULO III

SISTEMAS DE DRENAJE URBANO NO CONVENCIONAL EN BARRIOS DE LA CIUDAD DE TARIJA.

3.1.- Ubicación del área en estudio.

La ubicación del área de estudio está en tres barrios de la ciudad de Tarija los cuales fueron seleccionados de una zonificación que autor le realizo a la ciudad de Tarija de donde obtuvimos los siguientes barrios **Tabladita I, San Bernardo y San Jorge II.**

GRAFICA 23 PLANO GENERAL DE LA CIUDAD DE TARIJA



Fuente: Alcaldía Municipal De La Ciudad De Tarija

3.2- Características del área de estudio.

- **Zona norte o Alta; Barrio Tabladita I.**

Zona residencial a comercial medianamente poblada con calles y aceras pavimentadas en su gran mayoría, con un suelo aluvial, con casas de una sola planta en su mayoría, con jardines y techos de teja, calamina y losa, la cual se encuentra en la parte alta sur oeste de la ciudad de Tarija en las proximidades de la cordillera de sama.

- **Zona central o media; Barrio San Bernardo.**

Zona residencial con alguno que otro comercio, tiene una topografía variada con calles y aceras pavimentadas y espacios reducidos de aceras, con un suelo arcilloso, con casas en su mayoría de una sola planta con jardines y espacios verdes reducidos, se encuentra en la parte este de la ciudad de Tarija.

- **Zona sur o baja; Barrio San Jorge II.**

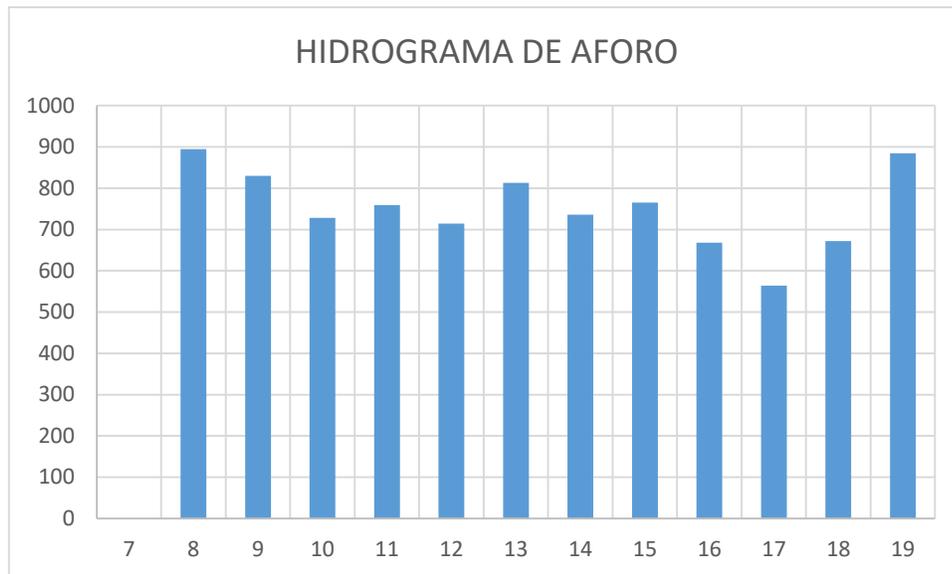
Zona residencial medianamente poblada con calles y aceras amplias en su mayoría pavimentadas, es un barrio que no cuenta con drenaje pluvial, con un suelo arcilloso, con casas de una sola planta con techos en su mayoría de teja colonial con jardines y áreas de vegetación amplios, se encuentra en la parte sur de la ciudad de Tarija.

3.3 Determinación de la transcitabilidad en relación a la velocidad en época seca y en época de lluvia.

- **Barrio TABLADITA I**

Aforo de vehículos

N#VEHICULOS	TIEMPO(hrs)
0	7
895	8
830	9
728	10
759	11
714	12
813	13
736	14
765	15
668	16
564	17
672	18
885	19



En base al hidrograma de aforos de vehículos durante un día hábil durante 12 hrs. Se determinó las horas pico en donde para el barrio de Tabladita I, las horas pico son de 7-8 am. de la mañana, de 12-13 pm de la tarde y 18-19 pm de la tarde.

Determinación de la velocidad con agua en la calzada.

GRAFICA 24 INTERSECCION DE LA AV. 6 DE AGOSTO Y AV. HEROES DE LA INDEPENDENCIA BARRIO TABLADITA I



Fuente: propia.

- **Martes 17 de Enero del 2016**

Datos de velocidad en campo.

# NUMERO	VELOCIDAD(m/s)
1	17,717
2	14,682
3	19,438
4	15,126
5	19,231
6	22,222
7	17,476
8	14,851
9	19,737
10	14,730
11	17,442
12	14,851
13	20,225
14	22,556
15	17,751

16	19,565
17	17,647
18	20,642
19	22,843
20	21,531

	MEDIA	18,513
	DESVIACION	2,722838842
Rango de	Med + Desv	21,236
Depuración	Med- Desv	15,790

Una vez obtenida la media y la desviación se procede a la depuración de los datos que entren dentro del rango establecido anteriormente.

Datos de velocidad válidas

#	VELOCIDAD(m/s)
NUMERO	
1	17,717
2	19,438
3	19,231
4	22,222
5	17,476
6	19,737
7	17,442
8	20,225
9	22,556
10	17,751

11	19,565
12	17,647
13	20,642
14	22,843
15	21,531

Media =19.735 m/seg.

Velocidad promedio=19.735 m/seg.

- **Lunes 8 de Febrero**

Datos de velocidad obtenidos en campo

# NUMERO	VELOCIDAD(m/s)
1	14,876
2	16,514
3	12,748
4	18,256
5	10,843
6	19,565
7	17,578
8	21,951
9	14,634
10	20,833
11	22,333
12	23,316
13	17,308
14	20,316
15	19,355
16	22,167
17	16,822

18	19,780
19	17,510
20	16,364

	MEDIA	18,153
	DESVIACION	3,304805899
Rango de	Med + Desv	21,458
Depuracion	Med- Desv	14,849

Una vez obtenida la media y la desviación se procede a la depuración de los datos que entren dentro del rango establecido anteriormente.

Datos de velocidad validos

#	VELOCIDAD(m/s)
NUMERO	VELOCIDAD(m/s)
1	14,876
2	16,514
3	18,256
4	19,565
5	17,578
6	21,951
7	20,833
8	22,333
9	23,316
10	17,308
11	20,316
12	19,355
13	22,167

14	16,822
15	19,780
16	17,510
17	16,364

PROMEDIO =19.108 m/seg.

Velocidad promedio=19.108 m/seg.

- **Martes 23 de febrero del 2016**

Datos de velocidad obtenidos en campo

# NUMERO	VELOCIDAD(m/s)
1	14,563
2	12,712
3	11,583
4	13,975
5	10,227
6	18,828
7	23,747
8	21,429
9	13,196
10	17,308
11	24,862
12	20,270
13	17,964
14	22,843
15	23,560
16	19,438
17	16,667

18	19,313
19	16,275
20	16,698

	MEDIA	17,773
	DESVIACION	4,245174754
Rango de	Med + Desv	22,018
Depuracion	Med- Desv	13,528

Una vez obtenida la media y la desviación se procede a la depuración de los datos que entren dentro del rango establecido anteriormente.

Datos de velocidad validos

#	VELOCIDAD(m/s)
NUMERO	
1	14,563
2	13,975
3	18,828
4	23,747
5	21,429
6	17,308
7	24,862
8	20,270
9	17,964
10	22,843
11	23,560
12	19,438
13	16,667

14	19,313
15	16,275
16	16,698

PROMEDIO =19.234 m/seg.

Velocidad promedio=19.234 m/seg.

Velocidad promedio de los tres días de lluvia.

$$V = \frac{19.735 + 19.108 + 19.234}{3} = 19.359 \frac{m}{seg}$$

Determinación de la velocidad sin agua en la calzada

Para la determinación de la velocidad sin agua en la calzada se la realizo durante un mes el cual fue el mes de abril del 2016.

Los datos de la determinación de la velocidad sin agua en la calzada se muestran en los anexos.

Velocidad promedio para el barrio TABLADITA I en época sin agua en la calzada es igual a:

$$V = 29.377 \text{ m/seg.}$$

Transitabilidad en TABLADITA I

- Velocidad con agua en la calzada.

$$V = 19.359 \text{ m/seg}$$

- Velocidad sin agua en la calzada.

$$V = 29.377 \text{ m/seg.}$$

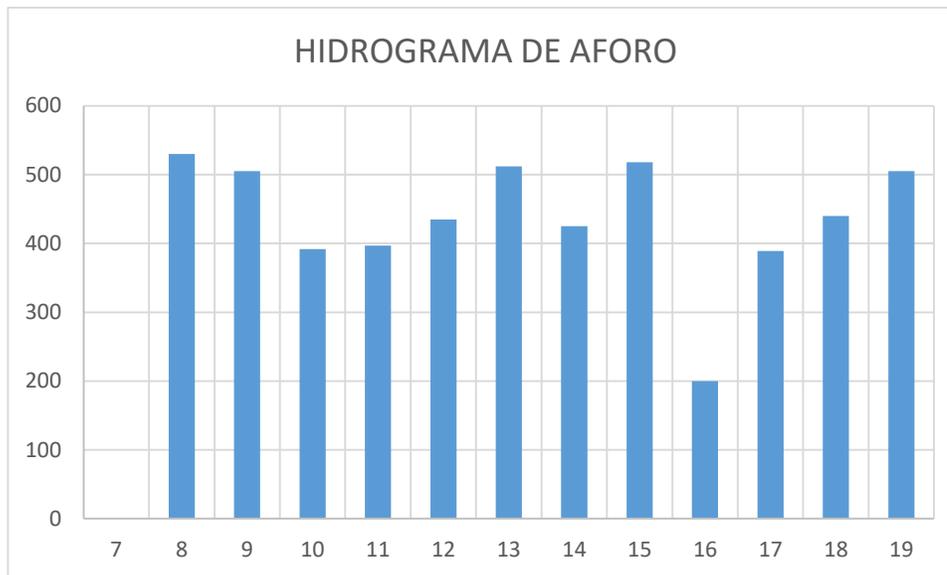
Porcentaje de reducción de transitabilidad con agua en la calzada es igual a:

Factor De Reducción 34.10%

- **BARRIO SAN BERNARDO.**

Aforo de vehículos

N# VEHICULOS	TIEMPO (hrs.)
0	7
530	8
505	9
392	10
397	11
435	12
512	13
425	14
518	15
200	16
389	17
440	18
505	19



En base al hidrograma de aforos de vehículos durante un día hábil durante 12 hrs. Se determinó las horas pico en donde para el barrio de Tabladita I, las horas pico son de 7-8 am. de la mañana, de 14-15 pm de la tarde y 18-19 pm de la tarde.

GRAFICA 25 INTERSECCION DE LA AVENIDA CIRCUNVALACION Y AV. SAN BERNARDO



Fuente: propia

- **Miércoles 13 de enero 2016**

Datos de velocidad en campo

NUMERO	VELOCIDAD
#	(m/s)
1	19,565
2	18,000
3	20,316
4	17,476
5	19,438
6	17,647
7	20,408
8	23,136
9	19,438
10	16,822
11	19,565
12	17,442
13	22,843
14	18,367
15	18,000
16	16,981
17	14,634
18	19,313
19	17,613
20	18,672

	MEDIA	18,784
	DESVIACION	1,982
Rango	MED+DESV.	20,766
Depuracion	MED - DESV.	16,801

Una vez obtenida la media y la desviación se procede a la depuración de los datos que entren dentro del rango establecido anteriormente.

Datos de velocidad validos

NUMERO	VELOCIDAD
#	(m/s)
1	19,565
2	18,000
3	20,316
4	17,476
5	19,438
6	17,647
7	20,408
8	19,438
9	16,822
10	19,565
11	17,442
12	18,367
13	18,000
14	16,981
15	19,313
16	17,613
17	18,672

Media = 18.533m/s

Velocidad promedio:

V=18.533 m/s

- **Sábado 30 de enero 2016.**

Datos de velocidad obtenida en campo

NUMERO	VELOCIDAD
#	(m/s)
1	23,316
2	18,182
3	29,605
4	15,957
5	23,256
6	17,613
7	25,641
8	22,333
9	22,167
10	16,514
11	22,167
12	17,647
13	20,930
14	14,610
15	17,308
16	22,556
17	16,158
18	19,272
19	13,177

20	17,442
----	--------

	MEDIA	19,793
	DESVIACION	4,07028113
Rango	MED+DESV.	23,863
Depuracion	MED - DESV.	15,722

Una vez obtenida la media y la desviación se procede a la depuración de los datos que entren dentro del rango establecido anteriormente.

Datos validos de velocidad

NUMERO #	VELOCIDAD (m/s)
1	23,316
2	18,182
3	15,957
4	23,256
5	17,613
6	22,333
7	22,167
8	16,514
9	22,167
10	17,647
11	20,930
12	17,308

13	22,556
14	16,158
15	19,272
16	17,442

MEDIA= 19.551 m/s

Velocidad promedio:

V=19.551 m/s

- **Martes 01 de marzo 2016**

Datos de velocidad obtenidos de campo

NUMERO #	VELOCIDAD (m/s)
1	19,313
2	23,077
3	21,951
4	18,000
5	22,333
6	22,113
7	17,647
8	20,833
9	21,327
10	23,196
11	10,465
12	14,516
13	15,306

14	13,333
15	14,196
16	20,000
17	16,886
18	14,634
19	20,225
20	18,750

	MEDIA	18,405
	DESVIACION	3,672370801
Rango	MED+DESV.	22,077
Depuracion	MED - DESV.	14,733

Una vez obtenida la media y la desviación se procede a la depuración de los datos que entren dentro del rango establecido anteriormente.

Datos de velocidad validos

NUMERO	VELOCIDAD
#	(m/s)
1	19,313
2	21,951
3	18,000
4	17,647
5	20,833
6	21,327
7	15,306

8	20,000
9	16,886
10	20,225
11	18,750

Media =19.113 m/s

Velocidad promedio:

V=19.113 m/s

Velocidad promedio de los tres días de lluvia.

$$V = \frac{18.533 + 19.551 + 19.113}{3} = 19.066 \frac{m}{seg}$$

Determinación de la velocidad sin agua en la calzada

Para la determinación de la velocidad sin agua en la calzada se la realizo durante un mes el cual fue el mes de abril del 2016.

Los datos de la determinación de la velocidad sin agua en la calzada se muestran en los anexos.

Velocidad promedio para el barrio SAN BERNARDO en época sin agua en la calzada es igual a:

V=37.786 m/seg.

Transitabilidad en SAN BERNARDO

- Velocidad con agua en la calzada.

V=19.066 m/seg

- Velocidad sin agua en la calzada.

$$V=37.786 \text{ m/seg.}$$

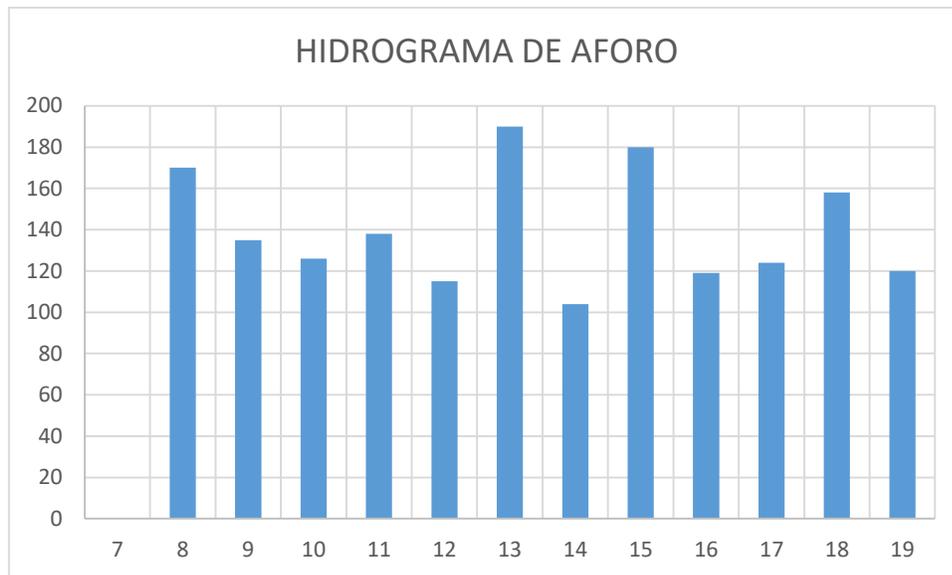
Porcentaje de reducción de transitabilidad con agua en la calzada es igual a:

Factor De Reducción 50.458%

- BARRIO SAN JORGE II.**

Aforo de vehículos durante un día

N # VEHICULOS	TIEMPO (Hrs.)
0	7
170	8
135	9
126	10
138	11
115	12
190	13
104	14
180	15
119	16
124	17
158	18
120	19



En base al hidrógrama de aforos de vehículos durante un día hábil durante 12 hrs. Se determinó las horas pico en donde para el barrio de Tabladita I, las horas pico son de 7-8 am. de la mañana, de 12-13 pm de la tarde y 17-18 pm de la tarde.

Determinación de la velocidad con agua en la calzada.

- **Martes 05 de enero 2016**

Velocidad determinada de campo.

NUMERO#	VELOCIDAD(m/s)
1	14,682
2	19,565
3	18,000
4	19,956
5	18,711
6	17,822
7	19,272
8	14,634
9	18,405

10	17,647
11	21,028
12	17,578
13	14,803
14	12,676
15	21,951
16	20,930
17	23,684
18	18,000
19	19,565
20	17,647

	MEDIA	18,328
	DESVIACION	2,674
RANGO	MED+DESV	21,002
DEPURACION	MED-DESV	15,653

Una vez obtenida la media y la desviación se procede a la depuración de los datos que entren dentro del rango establecido anteriormente.

Datos validos de velocidad

NUMERO#	VELOCIDAD(m/s)
1	19,565
2	18,000
3	19,956
4	18,711

5	17,822
6	19,272
7	18,405
8	17,647
9	17,578
10	20,930
11	18,000
12	19,565
13	17,647

Media=18.70 m/s

Velocidad promedio:

V=18.70 m/s

- **Sábado 13 de febrero.**

Velocidad obtenida de campo

NUMERO#	VELOCIDAD(m/s)
1	14,063
2	20,930
3	17,647
4	21,176
5	15,000
6	14,754
7	19,565
8	12,857
9	14,400
10	18,947

11	20,225
12	17,375
13	18,750
14	14,331
15	13,636
16	18,480
17	17,578
18	14,876
19	21,176
20	22,556

	MEDIA	17,416
	DESVIACION	2,984
RANGO	MED+DESV	20,400
DEPURACION	MED-DESV	14,432

Una vez obtenida la media y la desviación se procede a la depuración de los datos que entren dentro del rango establecido anteriormente.

Datos validos de la velocidad

NUMERO#	VELOCIDAD(m/s)
1	17,647
2	15,000
3	14,754
4	19,565
5	18,947
6	20,225
7	17,375

8	18,750
9	18,480
10	17,578
11	14,876

Media=17.563 m/s

Velocidad promedio:

V=17.563 m/s

- **Viernes 18 de marzo 2016.**

Velocidad obtenida de campo

NUMERO#	VELOCIDAD(m/s)
1	17,578
2	14,975
3	20,225
4	14,563
5	17,143
6	14,516
7	18,750
8	16,071
9	18,750
10	14,975
11	12,676
12	14,975

13	17,308
14	14,400
15	20,690
16	21,176
17	23,684
18	17,308
19	23,077
20	20,455

	MEDIA	17,665
	DESVIACION	3,108
RANGO	MED+DESV	20,773
DEPURACION	MED-DESV	14,557

Una vez obtenida la media y la desviación se procede a la depuración de los datos que entren dentro del rango establecido anteriormente.

Datos validos de la velocidad

NUMERO#	VELOCIDAD(m/s)
1	17,578
2	14,975
3	20,225
4	17,143
5	14,516
6	18,750
7	16,071
8	18,750
9	14,975

10	14,975
11	17,308
12	20,690
13	17,308
14	20,455

Media=17.408 m/s.

Velocidad promedio:

V=17.563 m/s

Velocidad promedio de los tres días de lluvia.

$$V = \frac{18.647 + 17.408 + 17.563}{3} = 17.873 \frac{m}{seg}$$

Determinación de la velocidad sin agua en la calzada

Para la determinación de la velocidad sin agua en la calzada se la realizo durante un mes el cual fue el mes de abril del 2016.

Los datos de la determinación de la velocidad sin agua en la calzada se muestran en los anexos.

Velocidad promedio para el barrio SAN JORGE II en época sin agua en la calzada es igual a:

V=35.661 m/seg.

Transitabilidad en SAN JORGE II

- Velocidad con agua en la calzada.

V=17.873 m/seg

- **Velocidad sin agua en la calzada.**

$$V=35.661 \text{ m/seg.}$$

Porcentaje de reducción de transitabilidad con agua en la calzada es igual a:

Factor De Reducción 50.119%

3.4.- Elección de la alternativa de drenaje no convencional que más se adecue a zona en estudio.

Para la elección de la alternativa en estudio se hizo una revisión de toda la bibliografía existente que se pudo conseguir, para así de este modo escoger la alternativa que más se adecua y adapta a la topografía y geometría de las calles en cuanto a ancho de calles se refiere.

Las alternativas que más se adecuan a las aceras de las calles de los barrios en estudio son:

3.5. Diseño del sistema de drenaje no convencional en la zona de estudio.

- **Cunetas Verdes.**

Directrices De Construcción De Cunetas Verdes.

1. El inicio de la construcción de cualquier cuneta verde o vegetada no debe realizarse hasta que la pendiente del lugar de emplazamiento haya sido estabilizada y se hayan tomado las medidas necesarias para controlar la erosión y deposición de sedimentos temporalmente. Para ello debe impedirse la entrada de la escorrentía de las zonas adyacentes hasta que la cuneta no esté completamente ejecutada y la vegetación esté completamente arraigada. Esto se puede realizar:

- Desviando el flujo de agua hasta que la vegetación esté bien enraizada.
- Colocando una lámina de control de la erosión (por ejemplo de material geosintético, yute o paja) sobre la semilla recién plantada
- Empleando tierra desnuda como cobertura temporal durante la época de lluvias, y tan pronto como el clima es favorable, sembrar con la mezcla se semillas de hierba adecuadas.

2. Se debe **evitar la excesiva compactación del suelo**, para ello los equipos de excavación han de operar desde uno de los laterales de la cuneta y nunca hacerlo desde su interior.

Si la excavación conduce a la compactación substancial del fondo de la cuneta (en los casos en los que no hay definida una zanja de infiltración), los suelos compactados deben ser eliminados y reemplazados con una mezcla de suelo y arena para promover la infiltración y el crecimiento biológico. O, por lo menos, la capa superficial del suelo debe ser arada minuciosamente de manera que profundice en el subsuelo. Esto tiene como fin penetrar en la zona de compactado y promover la aireación y la formación de macroporos.

Construcción de una cubierta verde al lado de un parking.



Fuente: Toledo School for the Arts

3. Después de un primer allanamiento del terreno realizado grosso modo, éste debe afinarse, es muy importante el correcto estado de la superficie sin salientes ni otros elementos que puedan comprometer la capacidad de circulación del agua o la estabilidad del suelo.

4. La **vegetación a implantar** debe consistir de una densa y variada selección de plantas tolerantes al agua almacenada y de rápido crecimiento. El tipo de vegetación seleccionada debe tener en cuenta:

- Las condiciones del suelo.
- El clima, las plantas tienen que ser lo suficientemente resistentes para soportar las condiciones meteorológicas más extremas que se produzcan en la región.
- La topografía, la vegetación debe ser capaz de soportar la fuerza del agua que dependerá de la pendiente del suelo.
- La luz solar disponible

Además, la vegetación seleccionada debe cumplir con los siguientes criterios:

- Tener un sistema radicular profundo o formar una capa de césped densa para resistir la escorrentía.
- Ser plantas de crecimiento vigoroso.
- Ser tolerante a las inundaciones y poder sobrevivir y seguir creciendo después del período de inundación.
- Si la cuneta está cerca de una carretera deben ser tolerantes a la sal (en caso de estar en climas fríos donde haya que limpiar las vías de nieve).
- Se recomienda el uso de vegetación autóctona y lo mejor es consultar a un especialista de la flora del lugar por las especies más adecuadas.

Antes de proceder a la siembra de la vegetación seleccionada hay que **preparar el suelo** mediante:

- Acomodar los tres centímetros superficiales del suelo para proporcionar una ventilación suficiente que permita el crecimiento rápido de las raíces.
- Añadir el fertilizante natural en la medida adecuada para potenciar el crecimiento de la vegetación.
- Si se va a colocar césped enrollado, éste se hace de forma perpendicular a la pendiente para controlar la erosión. Y ha de asegurarse de que se coloca correctamente permitiendo un buen enraizamiento del césped.

Es recomendable instalar una lámina o estera de control de la erosión hasta que la vegetación esté bien asentada

Diseño De Cunetas Verdes Consideraciones Adicionales.

Pre-tratamiento / Entrada De Flujo

Las entradas de caudal en la parte superior de las cunetas verdes deben estar provistas con disipadores de energía, como por ejemplo una escollera de gravilla.

El tratamiento previo de la escorrentía en un sistema de cunetas vegetadas se realiza típicamente mediante el empleo de una cámara de carga de sedimentos situada a la entrada

Salida De Excedente De Escorrentía

Las cunetas deben diseñarse para que la descarga se realice sobre una la infraestructura de drenaje pluvial o sobre un emisario estable, en función de lo determinado en la normativa de vertidos al medio.

Consideraciones Adicionales De Diseño

- Se pueden utilizar colectores para mantener la conectividad de las cunetas verdes en aquellos puntos donde se prevea una interferencia con una estructura, como una carretera. La capacidad de la tubería conectora ha de ser más que suficiente para no obstruirse con el caudal de diseño de la cuneta.
- Se han de considerar la estética del lugar donde se van a emplazar las cunetas verdes e intentar acoplarla lo mejor posible al paisaje.
- A la hora de escoger la vegetación, se deben elegir plantas que puedan soportar una velocidad relativamente alta de flujo a la entrada, y que puedan subsistir tanto en periodos húmedos como en secos.

Geometría: Especificaciones Físicas de Las Cunetas Verdes

La pendiente recomendada en las cunetas verdes es de 1-2%, a menos que la topografía haga que se requiera una pendiente más pronunciada, en cuyo caso el máximo estaría en torno al 5%. Pero en estos casos, se pueden colocar unas estructuras de retención con disipadores de energía cada quince metros (como mínimo) para mantener la pendiente en el rango del 2% dentro del canal. El calado del volumen de calidad no debe exceder de los 45 centímetros, y el nivel de rebose superior se dispondrá para un aguacero de 2 años y 24 horas de duración.

Las cunetas verdes pueden ser triangulares, trapezoidales o parabólicas. Las de sección rectangular no se aconsejan porque son difíciles de mantener (tanto la vegetación como la estabilidad de las paredes). Los canales trapezoidales son los más usados y los parabólicos los que mejor funcionan frente a la erosión. Se recomienda minimizar las pendientes laterales, sin que tengan una inclinación mayor de 3:1.

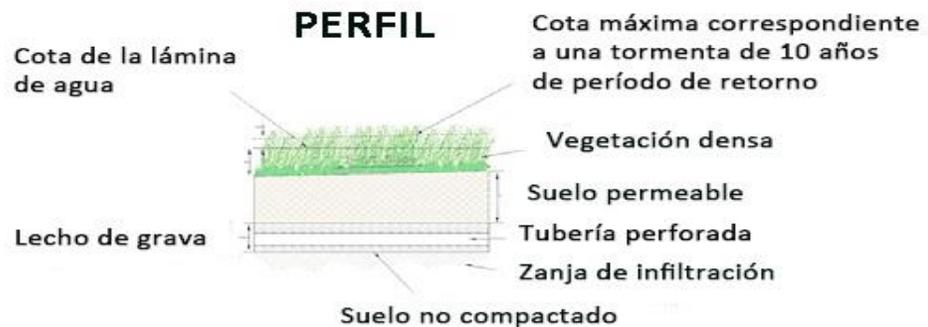
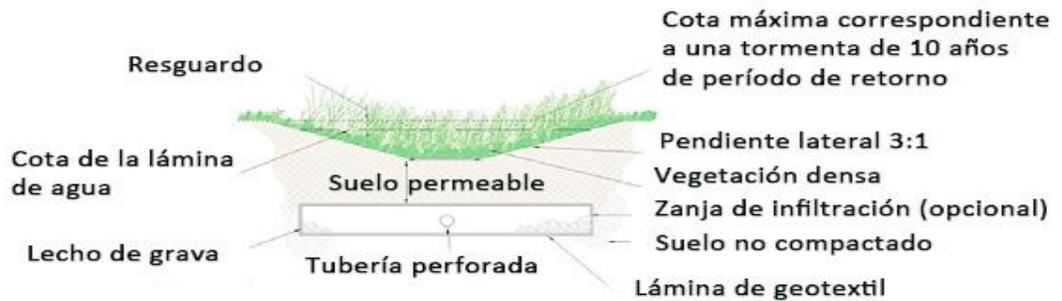
Aunque existen varias directrices a la hora de realizar el diseño, el ancho total de cuneta no se recomienda que exceda de los 2,5 metros, salvo que se utilicen medidas estructurales para asegurar la propagación uniforme del flujo. La anchura típica del fondo de la cuneta oscila entre los 0,6 y los 2,4 metros, siendo la relación máxima con la profundidad del canal de 12:1.

La capa de suelo permeable bajo la cuneta seca será de al menos 75 centímetros, con una infiltración de 30-40 cm/día. Este suelo ha de contener un alto contenido en materia orgánica que ayude a retener la contaminación. Y bajo esta capa se situará una tubería perforada de PVC con un diámetro de 100 mm como mínimo embebida en un lecho de gravilla o arena de por lo menos 15 cm. Entre el suelo y la gravilla ha de disponerse un filtro geosintético que impida el lavado de finos.

Algunos autores, (Horner et al. ,1994) recomiendan una profundidad máxima de flujo de ser un tercio de la altura de la hierba en cunetas con poca frecuencia de corte de la vegetación y la mitad de la altura de la hierba, (hasta un máximo de 75 milímetros), en cunetas que se sieguen regularmente.

Sección Y Perfiles Típicos De Una Cuneta Verde.

SECCIÓN TRANSVERSAL



Fuente: Pennsylvania Stormwater BMP Manual, 2006

Especificaciones Hidráulicas

Para el diseño hidráulico del caudal se empleará la ecuación de continuidad y la de Manning. Los coeficientes de fricción empleados variarán en función de la vegetación presente en la cuneta, aunque los valores típicos están en torno al 0,05, pueden cambiar bastante. Cuando el flujo de agua sea tal que circule en su totalidad por debajo de la altura de la vegetación, los valores oscilarán entre 0,15 y 0,2; pero para caudales mayores, se pueden suponer “n” mucho menores, como de 0,03.

Los períodos de retorno empleados para el cálculo del caudal de diseño suelen ser de 10 o 25 años, pero dependerá en cada caso de la normativa y recomendaciones del lugar donde se vaya a emplazar la cuneta. En cualquier caso se deben calcular para que las

velocidades, de hasta períodos de retorno de 100 años no produzcan problemas por erosiones.

Las velocidades de flujo para aguacero de dos años no pueden ser erosivas, han de estar en torno a 1-1,5m/s. Para el volumen de calidad se establecen velocidades de aproximadamente 0,3 m/s para favorecer la infiltración.

El máximo tiempo que las cunetas secas han de estar encharcadas debe ser 24 horas, ya que mucho más tiempo puede hacer que la vegetación no resista las condiciones y se muera.

Tres cunetas verdes secas caracterizadas por la variedad de especies vegetales que la componen. Las fotografías del centro y de la derecha se realizaron tras un episodio pluviométrico, la de la izquierda es en periodo seco.



Fuente: City of Portland (izquierda); Lake County Illinois (centro); Portland Public Schools (derecha).

Canales De Césped.

Los canales de césped son esencialmente cunetas verdes convencionales pero que tienen las pendientes laterales y longitudinales más suavizadas que las cunetas vegetadas estándar. Al limitarse la vegetación sólo a césped o hierba, son generalmente menos costosas que las cunetas que tienen un mayor tipo de especies de plantas. Sin embargo, su capacidad de infiltración y de remoción de contaminantes es mucho menor, por lo que deben utilizarse sólo como tratamiento previo para otras BMP's estructurales. A pesar de su **limitado rendimiento**, son preferibles frente a tuberías y colectores como transporte de la escorrentía allá donde puedan instalarse ya que reducen el pico de caudal.

Consideraciones Del Uso De Las Cunetas Verdes

Espacios Requeridos

Estas cunetas deben ser incorporadas de forma efectiva en el paisaje y los espacios abiertos al público ya que la demanda de espacio es significativa, debido a sus pendientes laterales de poca profundidad pero bastante amplias. Las cunetas verdes, generalmente, son difíciles de incorporar en el desarrollo urbanístico de zonas densamente pobladas, donde el espacio disponible suele estar limitado.

Emplazamiento

Deben integrarse en la planificación del suelo y deben tener en cuenta la ubicación y uso de otras características del sitio donde se localizan. El emplazamiento de una cuneta verde debe ser tal que la pendiente longitudinal se pueda mantener con el gradiente de diseño y el agua pueda entrar en ellas de forma lateral desde las zonas impermeables adyacentes. El acceso para el mantenimiento debe ser fácil y el crecimiento de la vegetación debe estar garantizado en el lugar donde se sitúan, que ha de ser donde reciban una cantidad de luz solar suficiente.

Pendiente y Estabilidad Del Lugar De Emplazamiento

El empleo de las cunetas verdes normalmente se limita a lugares sin pendientes significativas, aunque con una estudiada planificación se pueden usar en áreas con pendientes más pronunciadas.

La pendiente longitudinal no debe exceder el 4% (10% si se ponen diques de detención) puesto que se requieren bajas velocidades de escorrentía para la eliminación de contaminantes y para evitar la erosión.

Subsuelo y Aguas Subterráneas

Donde las cunetas están diseñadas para que se produzca la infiltración, la distancia al nivel piezométrico en la temporada en la que la cota está más alta, debe ser superior a 1 m, midiendo desde por debajo de la base de la instalación. Además el diseño debe cumplir con la normativa existente en lo relativo a la protección a las aguas subterráneas. Sería recomendable que antes de la instalación de la cuneta verde se realizaran pruebas de infiltración en el suelo donde se va a emplazar. Cuando no se exija la infiltración, el nivel de las aguas subterráneas en temporada alta debe estar por debajo del desagüe inferior del canal de drenaje de zanjas secas.

La colocación de láminas impermeabilizantes bajo las cunetas verdes situadas en las carreteras de zonas residenciales, a menos que se encuentren por encima de una un acuífero sensible.

La colocación de láminas impermeables ha de ser estudiada caso por caso. Por ejemplo, cunetas sin impermeabilizar no deben utilizarse en zonas industriales abandonadas, a menos que se haya demostrado claramente que el riesgo planteado por la lixiviación de contaminantes es mínima o aceptable. Tampoco deben usarse sin impermeabilizar para tratar la escorrentía de zonas con actividad industrial, si el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por infiltración es inaceptablemente alto.

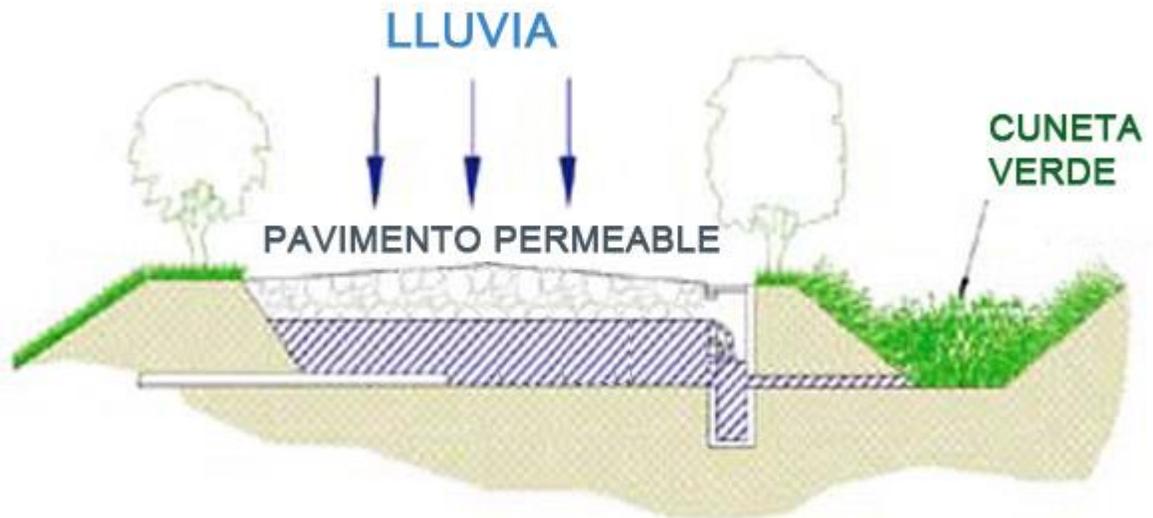
Tratamientos De La Calidad De Las Aguas

Las cunetas verdes reducen la contaminación arrastrada por las aguas de escorrentía, la estimación de los rendimientos de la eliminación de contaminantes es:

Contaminación bruta	Baja
Sedimentos finos	Baja/Media
Sedimentos gruesos	Media/Alta
Sedimentos de tamaño medio	Media
Sólidos Suspendedos	Alta
Nitrógeno Total	Amplio rango: Baja/Alta
Fósforo Total	Media

Aplicaciones

- En **zonas residenciales**, las cunetas vegetadas pueden utilizarse a lo largo del lateral de las calles o para drenar la escorrentía de los patios traseros de las casas.
- En usos del **suelo comercial o industrial**, este tipo de cunetas pueden servir para transportar el agua de escorrentía generada hacia otras BMP o para tratar el agua procedente de otra técnica de drenaje sostenible, como se puede ver en la imagen de abajo.



Fuente: Pennsylvania Stormwater BMP Manual, 2006

- **Zonas altamente urbanizadas.** Ya que el espacio está muy limitado, el uso de este tipo de técnicas quizá no sea factible en la mayoría de los casos.
- En **carreteras o autopistas** son una muy buena opción en la gestión de la escorrentía, sustituyendo a las cunetas convencionales impermeables.

Costos

Además de los puntos anteriores, también hay que tener en cuenta los costes de construcción de este tipo de instalaciones, que son bajos o medios y el coste del mantenimiento, que también es bajo o medio.

MANTENIMIENTO PARA LAS CUNETAS VERDES.

El mantenimiento y las inspecciones regulares son importantes para que las cunetas verdes funcionen correctamente a lo largo de toda su vida útil. Por ello es importante que en la fase de diseño se establezcan los accesos necesarios para poder llegar a todas las áreas de la cuneta de manera que sea fácil hacer las revisiones. Y en esa fase inicial también se deben identificar las necesidades específicas de mantenimiento e inspecciones, y establecer el programa o planificación con la que se realizarán estas acciones.

Puntos básicos en el mantenimiento de las cunetas verdes

1. La inspección de las cunetas verdes es necesaria hacerla varias veces durante los primeros meses para garantizar que se establece adecuadamente la cobertura vegetal.
2. El riego será necesario durante el periodo de establecimiento de la planta y puede ser imprescindible en periodos de poca lluvia o de sequía. Hay que facilitar el rápido establecimiento de la vegetación para evitar la erosión y el lavado.
3. El control de la erosión en las cunetas verdes donde se ha procedido a la plantación mediante semillas debe ser bastante minucioso durante al menos los primeros 75 días después del primer evento tormenta después de la siembra. Si las velocidades de la escorrentía son elevadas, habrá que considerar colocar un desvío para el caudal hasta que la vegetación esté completamente consolidada.
4. Una vez establecida la cuneta verde, se debe inspeccionar anualmente para corregir los daños que se hayan podido producir en la vegetación, las erosiones y las deposiciones de sedimentos. Si se ha perdido vegetación se tiene que volver a plantar la superficie deteriorada.
5. Hay que podar la hierba regularmente, manteniendo una altura de 10 a 15 centímetros. Las cunetas húmedas, que normalmente incorporan vegetación típica de humedales, requieren de una menor frecuencia de siega. Para evitar la creación de surcos en la tierra o la compactación del suelo (lo que puede reducir la infiltración y provocar un mal drenaje) la siega no se debe realizar cuando el terreno esté blando, que es cuando está húmedo. La poda o siega ha de realizarse periódicamente tanto por motivos estéticos como de seguridad.
6. La cámara de pretratamiento inicial debe ser inspeccionada anualmente por si ha sido obstruida por la acumulación de sedimentos.
7. Cuando se identifique signos de alteración en el flujo de agua, hay que revisar las represas por si hay que realizar alguna deficiencia que corregir.
8. La acumulación de sedimentos ha de ser retirada cuando exceda aproximadamente el 25% del volumen de la calidad del agua o la capacidad del canal. Si los sedimentos proceden de áreas residenciales, generalmente no son tóxicos y se pueden retirar a cualquier vertedero. Pero si proceden de áreas industrializadas entonces habrá que consultar la retirada a la administración pertinente.

Frecuencias de las tareas de mantenimiento

Tareas de mantenimiento regular

Eliminación de basura y sedimentos	Mensualmente (o antes si es necesario)
------------------------------------	--

Siega de la hierba para mantener su altura	Mensualmente (en época de crecimiento cuando se requiera)
Gestión de la vegetación (resto de plantas aparte de la hierba o césped) y retirada de malas hierbas	Mensualmente (al principio, después cuando sea necesario)

Tareas de mantenimiento ocasional

Comprobación del crecimiento de la vegetación por si es inadecuada debido a la falta de luz solar o si hay hojarasca que retirar	Anualmente
Revegetar aquellas zonas en las que haya desaparecido la vegetación	Anualmente, o cuando el suelo desnudo sea igual o superior al 10% del área de la cuneta

Acciones correctivas

Reparación de erosión u otros daños	Cuando sea requerido
Volver a nivelar superficies irregulares y restablecer niveles de diseño.	Cuando sea requerido
Eliminar las incrustaciones de sedimentos de la cámara de grava que hace de pretratamiento.	Cuando sea requerido
Retirar y desechar los aceites o residuos de gasolina mediante las prácticas estándar de seguridad.	Cuando sea requerido
Escarificar la capa de mantillo para mejorar el rendimiento de la infiltración, romper los depósitos de cieno y evitar la compactación de la superficie del suelo.	Cuando sea requerido

Monitorización

Inspeccionar las entradas, salidas y desbordamientos de bloques y aclarar si es necesario.	Mensualmente
Inspeccionar las superficies de infiltración por acumulación, compactación, acumulación de cieno. En cunetas secas, registrar las áreas donde el agua se encharca > 48 horas.	Mensualmente o cuando sea necesario
Inspeccionar la acumulación de sedimentos en las entradas. Establecer las frecuencias adecuadas de eliminación de limos.	Semestralmente

- **Drenes filtrantes o Drenes Franceses.**

El drenaje francés es una construcción simple, pero versátil que se puede usar para drenar agua estancada de lugares difíciles en tu jardín o sótano. El proceso es muy simple; solo se necesita un poco de preparación y planificación, las herramientas y materiales correctos, y un poco de conocimiento sobre el bricolaje.

Planificación y Preparación.

Verificar la seguridad bajo la tierra.- Antes de construir un drenaje francés en un área específica, asegurarse de localizar todos los cables y tubos u otras instalaciones subterráneas que puedan hacer que la excavación en ese lugar en particular sea peligrosa

- Consulta con tus agentes municipales o públicos para que te aseguren si tienes un área libre para construir tu drenaje francés.
- Asegúrate de planear la ruta de drenaje, de tal manera que corra al menos un metro lejos de cualquier pared o cerco, y trata de evitar cualquier buzón de correos, arbustos o raíces de árbol.

Verifica cualquier problema de zonificación o esorrentía. Algunas municipalidades tienen reglas sobre si puedes o no construir, o incluso cavar en tu propia casa.

- Para poder continuar con el proyecto de tu drenaje francés, probablemente tendrás que contactar con la oficina de gobierno local o junta de oficiales. Parece loco, pero incluso los proyectos que necesitan un mínimo movimiento del terreno puede requerir aprobaciones complicadas de grupos del gobierno local. Ten en cuenta las regulaciones y acuerdos en tu vecindario antes de comenzar a planear algo.

- También, necesitarás establecer si tu drenaje francés causará problemas a los vecinos en términos de desborde de agua subterránea. El exceso de agua en el terreno de otra persona puede terminar en una demanda.
- El drenaje francés debe correr en una sección del terreno que no sea usado, lejos de cualquier construcción y en suelo arenoso, el cual permite que el agua se filtre fácilmente.

Encuentra una inclinación. Para trabajar bien, tu drenaje francés debe construirse en un grado ligero de pendiente. Esto permite que el agua drene desde el área de problema gracias a la fuerza de gravedad.

- Si no existe una inclinación natural, crea una inclinación cavando más profundo a medida que vayas trabajando en la zanja. Los expertos recomiendan un grado de 1 por ciento para que el drenaje francés sea efectivo. En otras palabras, debes dejar una caída de 30 cm (1 pie) por cada 30 metros (100 pies) de drenaje (aproximadamente 3 cm por cada 3 metros de camino).
- Usa pintura de paisajes para marcar el camino donde pasará la zanja, luego usa un par de estacas y colócalas cada cierto tramo para estimar la inclinación de un extremo de la zanja al otro.
- Si no eres capaz de determinar tú solo la inclinación correcta del drenaje francés, puedes contratar a un topógrafo u otro profesional para que te ayude a calcular las dimensiones y disposición del drenaje. Aun puedes hacer tu mismo el trabajo, pero quizás estarás más seguro con el conocimiento que alguien más apruebe en el plano.

Reúne todas tus herramientas y materiales. Para construir un drenaje francés, necesitarás juntar unas cuantas herramientas básicas y materiales. Necesitarás:

- Un rollo de tela permeable para jardín: esto te ayudará a mantener el tubo de drenaje limpio y evitará que la tierra, cieno y raíces entren al drenaje.
- Un drenaje de plástico perforado: el diámetro del drenaje dependerá de la extensión del problema de drenaje y el tamaño de la zanja. Puedes optar por tubos de drenaje flexible o tubo de drenaje de PVC rígido (lo que es más caro pero también es más fuerte y fácil de desatascar).
- Grava lavada para drenaje: el número de sacos dependerá en el tamaño del drenaje. Usa un calculador de grava en línea para hacer un cálculo aproximado basado en la profundidad y el ancho de la zanja que se hará.
- Herramientas: Si planeas cavar la zanja manualmente, necesitarás una pala. De lo contrario, puedes rentar una herramienta para cavar o contratar un operador de retroexcavadora.

Construcción del drenaje.

Cava la zanja. Cavar la zanja es el paso menos complicado para construir un drenaje francés, ¡pero es el trabajo más intenso! En medida de lo posible, pide la ayuda de un miembro de la familia, amigo o vecino.

- El ancho y profundidad del drenaje que caves dependerá de la severidad del problema de drenaje y la herramienta para cavar que uses. Sin embargo, las medidas de un drenaje francés promedio son de aproximadamente 15 cm de ancho y de 45 a 60 cm de profundidad.[3]
- Las herramientas para cavar harán zanjas más anchas (lo que es ideal para problemas más severos de drenaje) y reducirá a la mitad el tiempo que te tomes en cavar. Sin embargo, usar una herramienta para cavar también incrementará tu costo ya que necesitarás pagar por el alquiler y comprar grava adicional para llenar la zanja que será más ancha.
- Lo mismo pasará si contratas a alguien para que haga la zanja con una retroexcavadora, ya que la retroexcavadora corta zanjas muy anchas y profundas, lo que incurre tanto en la labor como en los costos de alquiler.
- Mientras cavas verifica de manera periódica la profundidad de la zanja para asegurarte que vaya en bajada de manera consistente.

Forra la zanja con tela de jardín. Una vez que hayas terminado de cavar la zanja, necesitarás forrarla con la tela impermeable para jardín.

- Deja aproximadamente 25 cm de exceso de tela en cada lado de la zanja.
- Clava el exceso de tela a los lados de la zanja usando alfileres o clavos.

Agrega la grava. Echa aproximadamente 5 a 7 cm de grava al fondo de la zanja, sobre la tela para jardín.

Coloca el tubo. Coloca el tubo perforado de drenaje, sobre la grava. Asegúrate que los agujeros del tubo miren hacia abajo, ya que esto asegurará el mejor drenaje.

Cubre el tubo. Echa más grava sobre el tubo, hasta que haya de 7 a 12 cm entre la grava y el borde de la zanja.

- Luego quita los alfileres del exceso de tela para jardín y dóblalo sobre la capa de la grava.
- Esto evitará que cualquier desecho ingrese en el drenaje, al mismo tiempo que permitirá que el agua se filtre.

Llena la zanja. Llena el resto de la zanja con la tierra sobrante. En este punto puedes terminar la zanja en la manera que quieras:

- Puedes colocar bloques de césped, volver a sembrar semillas de césped o incluso cubrirlo con una capa de piedras grandes y decorativas.
- Algunas personas incluso construyen la tubería con una ligera curva, de tal manera que después de haber terminado se ve como una característica de diseño intencional.

Mantenimiento Para Los Drenes Filtrantes o Drenes Franceses.

A la hora de realizar las inspecciones para las posteriores labores de mantenimiento, hay que hacerse ciertas cuestiones que ayudarán a identificar los posibles problemas o puntos sobre los que trabajar.

Cuestiones	Frecuencia de la inspección	Tareas
Limpieza de basuras ¿Están las entradas y salidas libres de escombros? ¿Está el filtro libre de residuos?	Trimestral	Identificar las áreas que requieren limpieza y la magnitud de la acumulación de residuos.
Lecho filtrante ¿Hay alguna evidencia de obstrucción superficial del lecho filtrante? ¿Hay alguna fuente de contaminación de aceites o hidrocarburos en el área drenante? ¿La acumulación de sedimentos en la superficie es superior a 2,5 cm?	Semestral	Identificar las obstrucciones en el lecho filtrante, las contribuciones desde la cuenca, y las acciones requeridas.
Cámara de sedimentación ¿Está la cámara siempre húmeda? ¿Hay evidencias de alguna fuga? ¿La acumulación de sedimentos es mayor de 3 cm?	Semestral	Identificar el estado de la cámara, el nivel de sedimentos y las fugas, especificar las acciones requeridas
Componentes estructurales ¿Se observa algún deterioro en la estructura? ¿Las rejillas de entrada, las tuberías, y demás elementos están en buenas condiciones?	Anual	Identificar los problemas, especificar las acciones requeridas
vertederos ¿Hay obstrucción en el tubo de salida? ¿Se percibe algún problema en las tuberías de desagüe?	Anual	Identificar la presencia de problemas, especificar las acciones requeridas

Los restos del césped cortado y otros residuos orgánicos del paisaje componente de las cuencas drenantes deben ser embolsados y retirados del lugar para evitar su arrastre hacia los filtros de arena donde pueden crear problemas en las cámaras de sedimentación y las de filtrado.

La eliminación del cieno acumulado en superficie debe llevarse a cabo cuando alcance el centímetro de espesor. Y si las capas superficiales del lecho filtrante ya no permiten que el agua percole a través de ellas normalmente, también habrán de ser retiradas y reemplazadas conforme a las especificaciones originales de diseño. Además cualquier material contaminado por debajo de la superficie también deberá ser eliminado y sustituido.

Se recomienda que los materiales depositados sobre los lechos filtrantes orgánicos sean retirados de forma manual. Cuando la capacidad del lecho filtrante comienza a disminuir debido a la obstrucción de la superficie, se debe hacer una extracción manual de pocos centímetros. En algunos casos, una simple manipulación manual o roto-laboreo de la superficie puede restaurar la capacidad de filtración.

En aquellos filtros que reciban aguas de escorrentía procedentes de puntos contaminados, como las gasolineras, talleres de coches..., aguas en general con cargas de aceites y/o hidrocarburos, la limpieza de la cámara de sedimentación ha de hacerse cada seis meses y las inspecciones del lecho filtrante han de ser más frecuentes.

Durante el primer año de funcionamiento, el sistema debe ser inspeccionado después de cada tormenta importante para certificar que el filtro funciona correctamente. Las inspecciones pueden ser reducidas a una vez cada semestre transcurrido ese primer año.

La basura y restos recogidos en las rejillas de protección de las entradas de aire deben ser retirados regularmente para preservar la capacidad de entrada de la instalación.

Las inspecciones periódicas son fundamentales para programar los trabajos de remoción de sedimentos, sustitución de los lechos filtrantes, y eliminación de cualquier posible obstrucción superficial. Además dichas inspecciones son especialmente necesarias y se han de realizar con cierta frecuencia en los filtros perimetrales y subterráneos ya que no son muy visibles y pueden ser olvidados.

Dependiendo del nivel de tráfico o de los usos del suelo, un sistema filtrante puede obstruirse en unos pocos meses con un régimen pluviométrico normal o puede aguantar años sin obstrucciones con un mantenimiento rutinario. Pero siempre es recomendable realizar una inspección dentro de las 24 horas después de una tormenta que exceda los 125 mm de precipitación, para evaluar el estado y funcionamiento del filtro, aparte de comprobar de los siguientes puntos:

- Verificar que la acumulación de sedimentos en la cámara de sedimentación no ha excedido de 15 cm. Si es así, programar una limpieza.
- Cerciorarse de que las entradas y divisores de flujo están libres de escombros y funcionando adecuadamente.
- Revisar el estado de la cámara de sedimentación seca y la grava del lecho filtrante para detectar cualquier evidencia de agua estancada durante más de 48 horas después de una tormenta, y tomar las medidas correctivas necesarias para restaurar la permeabilidad.
- Inspeccionar si el área de drenaje contribuyente es estable y no es una fuente de sedimentos.

- Excavar un pequeño pozo de prueba en el lecho filtrante para determinar si los primeros 7 cm de grava están visiblemente dañados y necesitan reemplazo.
- Los filtros con una cubierta de césped deben tener una cobertura vegetal del 95%. Comprobar el estado y altura del césped del filtro de arena y programar las operaciones de siega necesarias.
- Verificar la integridad de los pozos de registro y de las tuberías.
- Revisar las estructuras de hormigón y puntos de empalme entre tuberías por si hay algún desprendimiento, fallo de juntas, fugas, corrosión, etc
- Cerciorar que el lecho filtrante está nivelado y eliminar basura y residuos que puedan haberse depositado. La arena o grava superior deben ser rastrilladas en una profundidad de 7,5 cm.

Revisión de la capa superficial del lecho filtrante.



Fuente: Chesapeake Bay Stormwater Training Partnership.

Tareas de mantenimiento rutinario

Las tareas de limpieza general se deben programar al menos una vez al año para eliminar la basura y los residuos flotantes que se acumulan en las celdas de pre-tratamiento y el lecho filtrante. La retirada de sedimentos en las cámaras de sedimentación seca y húmeda se recomiendan cada 2 a 3 años para mantener el correcto funcionamiento y el rendimiento del filtro. Si el filtro recibe la escorrentía procedente de zonas altamente contaminadas, la gestión de los sedimentos ha de seguir el protocolo determinado por las autoridades ambientales responsables.

La frecuencia recomendada para las tareas de mantenimiento puede verse en las siguientes tablas:

Mantenimiento regular

Inspeccionar e identificar las áreas que no están funcionando correctamente, y si es necesario tomar medidas correctivas.	Mensual
Eliminación de las basuras y escombros.	Mensual
Comprobar que la superficie del filtro no está obstruida. Retirar y volver a colocar el medio filtrante superficial si es necesario.	Mensual
Cortar el césped y quitar malas-hierbas si es que lo tuviera.	Mensual o cuando sea necesario
En el caso de que haya un nivel permanente de agua (filtros perimetrales) vigilar que la cámara no tenga fugas y tomar medidas correctivas en caso necesario.	Mensual
Retirada de sedimento.	Anual o cuando sea necesario
Rehabilitación general del filtro.	Anual o cuando sea necesario

Mantenimiento ocasional

Limpieza de las cámaras de sedimentación	Cada 3-5 años
Volver a colocar las capas superiores del medio filtrante (50 a 75 mm de grava) y, en caso de haberla, recolocar también la tierra vegetal.	Cada 3-5 años
Reemplace capa de grava superficial	Cada 5 años
Airear la superficie para mejorar la infiltración	Cada 5 años

Acciones correctivas

La reparación de las posibles erosiones producidas y otros daños en los filtros superficiales.	Cuando sea necesario
Reparación / rehabilitación de entradas, salida y desbordamientos.	Cuando sea necesario

Recolocar el lecho filtrante cuando se haya compactado de manera que vuelva a tener su profundidad original.	Cuando sea necesario
Reemplazar los geotextiles dañados	Cuando sea necesario

Monitorización

Inspeccionar y revisar todas las rejillas, tomas, juntas y puntos de desbordamiento para asegurarse de que están en buenas condiciones y funcionando como deben.	Mensual
Comprobar si hay olores que indiquen la presencia de condiciones anaeróbicas.	Mensual
Realizar un registro de tiempos de secado del filtro para determinar si es necesaria alguna acción al respecto.	Semestral
Comprobar si hay evidencia de deterioro y / o formación de grietas en el hormigón	Anual
Comprobar que la cámara de sedimentación está llena menos de la mitad y que la acumulación de sedimentos en la superficie del lecho filtrante inferior a 15 mm.	Anual

Calculo De Las Aberturas del Dren

El cálculo de la aberturas del dren se realizó para un diámetro y un caudal en particular los siguientes drenes será similar que dependerá del caudal a evacuar.

Cálculo del dren para la calle Alberto Sanchez y Avenida Juan De Dios Mealla

Datos:

$$Q=0.806 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$k.= 25.9 \text{ m}/\text{seg.}$$

$$L= 605.74 \text{ m}$$

$$Q = V * A$$

$$A = Q / V * Cc$$

A= área abierta por metro lineal.

V= velocidad de entrada (0.05 – 0.1)

Cc= coeficiente de contracción 0.55

Q= caudal por metro lineal.

$$Q = \frac{0.506}{605.74} = 0.00083 \frac{m^3}{seg * m}$$

$$A = \frac{0.00083}{0.075 * 0.55} = 0.020 \frac{m^2}{ml}$$

Calculo del diámetro de las perforaciones.

$$\frac{D_{85/grava}}{D_{perforaciones}} = 2 \quad \longrightarrow \quad \frac{1''}{D_{perforaciones}} = 2 \quad \longrightarrow \quad D = 0.5''$$

$$A_{perf} = \frac{\pi * 0.0127^2}{4} = 0.00027 m^2$$

$$N^{\circ} perf = \frac{0.020}{0.00027} = 65 perf/m.$$

Para el caso de una tubería de 18''

$$18'' = 0.45 m$$

$$r = 0.2286 m$$

$$L = 2 * \pi * r = 1.436 m \quad \text{número de perforaciones} = 10$$

Longitud ocupada por los orificios.

$$L. orf = 10 * (6.5/100) = 0.65 m$$

Espaciamento a lo largo del perímetro.

$$e = \frac{1.436 - 0.65}{10} = 0.0786 m. \quad \longrightarrow \quad 7.86 cm.$$

Numero de filas de perforaciones.

$$\# perf = \frac{65}{10} = 6.5 \quad \longrightarrow \quad 7 perforaciones.$$

$$L_t = 1m - 7 \frac{6.5}{100} = 0.545 \text{ m}$$

Espaciamiento entre perforaciones.

$$e. = \frac{0.545}{3} = 0.18 \quad \longrightarrow \quad 18 \text{ centímetros.}$$

FIGURA DE COLOCACION DE LOS DRENES FILTRANTES

3.5.1. Parámetros de diseño.

3.5.1.1. Hidrología.

Determinación de la intensidad máxima para diferentes periodos de retorno.

Datos de precipitación máximas diarias en (mm) de la estación hidrológica aeropuerto.

AÑO	Pmax (mm)
1954 - 1955	125
1955 - 1956	55,3
1956 - 1957	57,2
1957 - 1958	56
1958 - 1959	51
1959 - 1960	60,1
1960 - 1961	70
1961 - 1962	37
1962 - 1963	51
1963 - 1964	52
1964 - 1965	40
1965 - 1966	40,3

1966 - 1967	106
1967 - 1968	56
1968 - 1969	57
1969 - 1970	83,3
1970 - 1971	67,5
1971 - 1972	38
1972 - 1973	
1973 - 1974	
1974 - 1975	58,9
1975 - 1976	88,3
1976 - 1977	36
1977 - 1978	59
1978 - 1979	49
1979 - 1980	31,8
1980 - 1981	39,7
1981 - 1982	64,4
1982 - 1983	41
1983 - 1984	41,2
1984 - 1985	84,7
1985 - 1986	40,5
1986 - 1987	97,8
1987 - 1988	40,1
1988 - 1989	45,2
1989 - 1990	74
1990 - 1991	47
1991 - 1992	68,1
1992 - 1993	31
1993 - 1994	50,1
1994 - 1995	35,6

1995 - 1996	52
1996 - 1997	38,4
1997 - 1998	
1998 - 1999	74,7
1999 - 2000	78
2000 - 2001	37
2001 - 2002	82
2002 - 2003	60
2003 - 2004	48,8
2004 - 2005	54,2
2005 - 2006	49,5
2006 - 2007	48,3
2007 - 2008	34,2
2008 - 2009	49,5
2009 - 2010	75,2
2010 - 2011	85
2011 - 2012	41,4
2012 - 2013	30,9
2013 - 2014	67,3
2014 - 2015	58,8

Calculo de parámetros de distribución de la muestra.

Numero de datos "N" =	58,00	
Prec. Media maxima " \bar{p} " =	56,75	mm.
Desviacion estandar "Sp" =	19,79	mm.
Moda "Ed" =	47,84	mm.
Caracteristica "Kd" =	0,74	

Determinación de la altura de lluvia máxima diaria para un periodo de retorno igual a:

$$h_{dT} = Ed * [1 + Kd * \log(T)]$$

T (años)	hdT (mm)
5	$h_{dT(5)} = 72,68$ mm.
15	$h_{dT(15)} = 89,63$ mm.
20	$h_{dT(20)} = 94,07$ mm.
25	$h_{dT(25)} = 97,52$ mm.
30	$h_{dT(30)} = 100,33$ mm.

Determinación de la altura de lluvia máxima horaria para un periodo de retorno igual a:

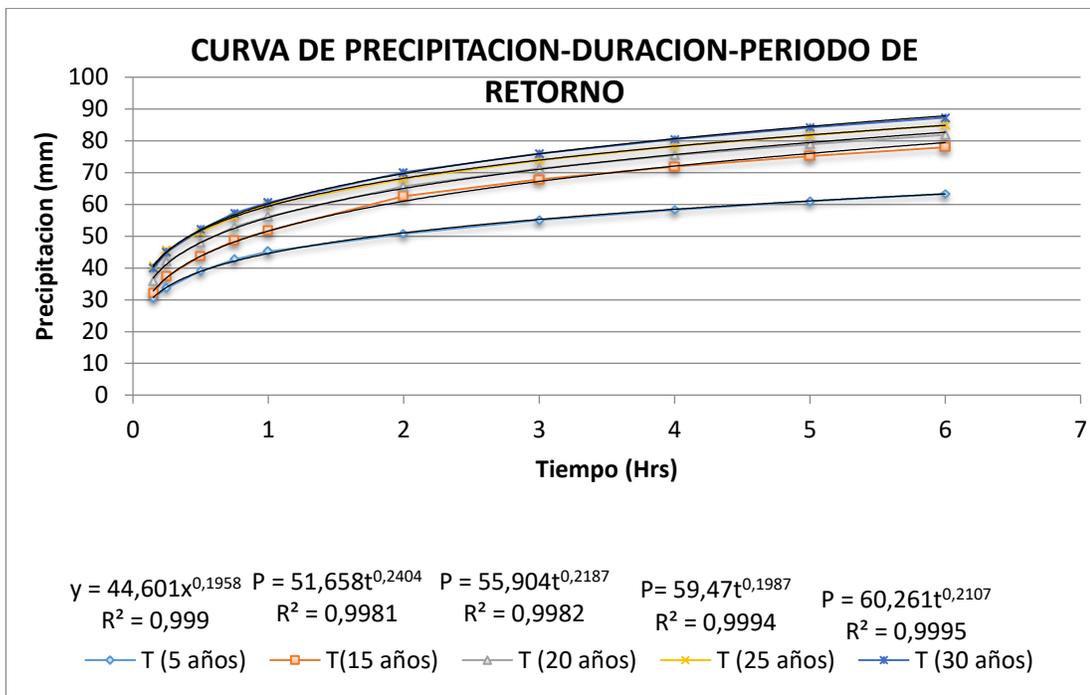
$$h_{tT} = h_{dT} * \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta$$

Fórmula válida para tiempos mayores a 2 horas, para lo cual se adoptara coeficientes: $\alpha = 12$ debido a que el área de estudio tiene un área menor a 12 km² y $\beta = 0,2$ constante para la región de Tarija.

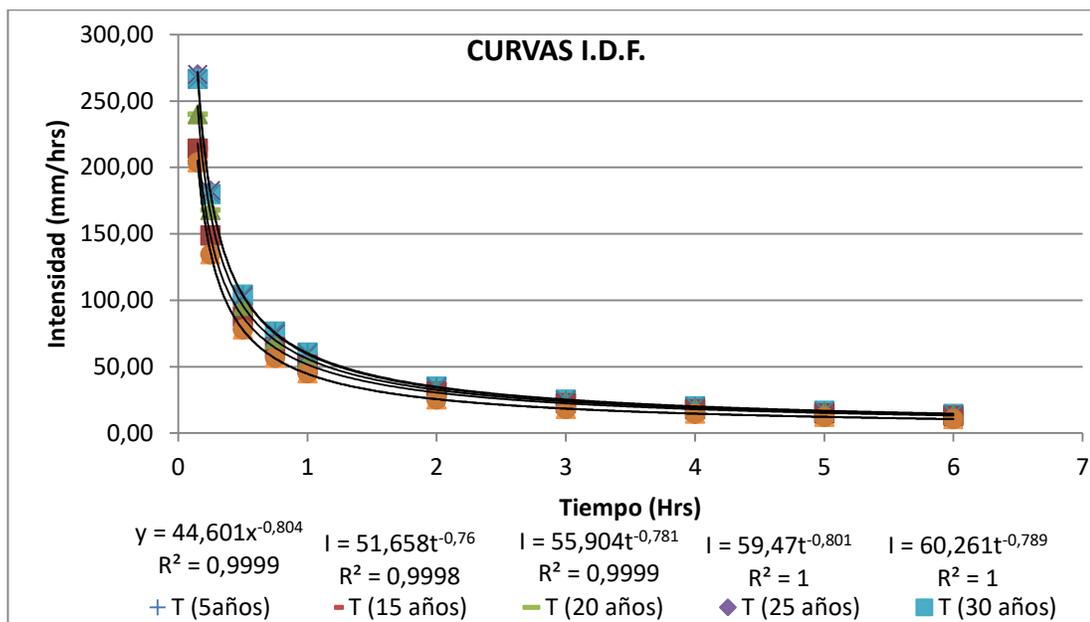
Altura de lluvia máxima horaria en (mm)

Periodo de duración de lluvias en horas (t)

Periodo de retorno (años)	T										
	0,15 hrs	0,25 hrs	0,5 hrs	0,75 hrs	1 hrs	2 hrs	3 hrs	4 hrs	5 hrs	6 hrs	
5	30,6	33,67	39,12	42,67	45,23	50,79	55,08	58,34	61,01	63,27	
15	32,14	37,23	43,76	48,55	51,67	62,64	67,93	71,95	75,24	78,03	
20	36	42	48	53	56,18	65,74	71,30	75,52	78,96	81,90	
25	40,5	45,67	51,37	56,12	60	68,15	73,91	78,28	81,86	84,89	
30	40	45	52,1	57,3	60,59	70,12	76,04	80,54	84,22	87,34	



Periodo de retorno T (años)	0,15	0,25	0,5	0,75	1	2	3	4	5	6
	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs
5	204,00	134,68	78,24	56,89	45,23	25,39	18,36	14,59	12,20	10,55
15	214,27	148,92	87,52	64,73	51,67	31,32	22,64	17,99	15,05	13,01
20	240,00	168,00	96,00	70,67	56,18	32,87	23,77	18,88	15,79	13,65
25	270,00	182,68	102,74	74,83	60,00	34,07	24,64	19,57	16,37	14,15
30	266,67	180,00	104,20	76,40	60,59	35,06	25,35	20,14	16,84	14,56



La intensidad para el modelo de Gumbell, para un periodo de retorno de 5 años y un tiempo de concentración mínimo que recomienda la norma boliviana de alcantarillado sanitario y pluvial NB 688 de 10 min.

$$y = 44.601 * (0.167)^{-0.804} = 188.05\text{mm/h}$$

Intensidad de la lluvia propuesta por la tesis siguiente.

El cálculo de la intensidad de lluvia se la realizara con la ecuación definida por Absalon Harmin Mamani Fita en su trabajo de tesis "Estimación y actualización de las ecuaciones Intensidad- Duración – Frecuencia para las principales ciudades y

poblaciones del departamento de Tarija" basada en el modelo de Sherman donde para la ciudad de Tarija se tiene la siguiente ecuación:

$$I = \frac{896.1416 * T^{0.132751}}{(d + 3)^{0.8}}$$

Dónde:

I= Intensidad

d= Duración de la lluvia o tiempo de concentración en minutos.

T= Periodo de retorno en años (5 años)

$$I = \frac{896.1416 * 5^{0.132751}}{(10 + 3)^{0.8}} = 142.56 \frac{mm}{h}$$

Analizando los dos casos en particular adopto el segundo caso por tratarse de una adecuación a las condiciones de del lugar en estudio.

3.5.1.2 Condiciones Físicas.

ESTUDIO DE PERMEABILIDAD PARA LOS BARRIOS EN ESTUDIO

- Barrio Tabladita.
- Barrio San Bernardo.
- Barrio San Jorge.

Determinación de la infiltración del suelo en el barrio de TABLADITA I

Para obtención de la prueba se la realizo mediante la excavación de un pozo a la profundidad estimada que será la profundidad a que se emplazaran las obras de drenaje no convencional.

Tabladita cuenta con un suelo de las siguientes características, que después de su clasificación: según la **AASHTO** es un **A-7-5**, Según el sistema unificado pertenece a un suelo **CH Arcilla Densa**

GRAFICA 26 OBTENCION DE LA MUESTRA BARRIO TABLADITA I



Fuente: Propia

Estudio de permeabilidad del suelo obtenido de dicho barrio.

Para el estudio de permeabilidad para suelos finos se realizó con el siguiente equipo que se muestra a continuación.

GRAFICA 27 MUESTRA COMPACTADA DEL SUELO



Fuente: Propia.

GRAFICA 28 EMITACION DE PERMEAMETRO PARA SUELOS FINOS



Fuente: Propia

El análisis de la prueba se la realizo en un tiempo de 8 hrs., con una carga inicial al principio de 1m, y se fue leyendo la infiltración en intervalos de tiempo de 5 min las primeras lecturas posterior a esto se realizó las lecturas cada hora

Tiempo (hrs)	Diferencia de carga (mm) molde N° 1	Diferencia de carga (mm) molde N° 2	Diferencia de carga (mm) molde N° 3
8	59	57	58

Se realizara un promedio de la diferencia de carga en el suelo compactado mediante el T-99.

Diferencia de carga

$$\Delta H = \frac{59 + 57 + 58}{3} = 58mm$$

Infiltración será igual:

$$I = \frac{58}{28800} = 0.0020 \frac{mm}{seg}$$

Determinación de la infiltración del suelo en el barrio de SAN BERNARDO.

Para obtención de la prueba se la realizo mediante la excavación de un pozo a la profundidad estimada que será la profundidad a que se emplazaran las obras de drenaje no convencional.

San Bernardo cuenta con un suelo de las siguientes características, que después de su clasificación: según la **AASHTO es un A-7**, Según el sistema unificado pertenece a un suelo **CL Arcilla Ligera**.



Fuente: propia.

El análisis de la prueba se la realizo en un tiempo de 8 hrs., con una carga inicial al principio de 1m, y se fue leyendo la infiltración en intervalos de tiempo de 5 min las primeras lecturas posterior a esto se realizó las lecturas cada hora

Tiempo (hrs)	Diferencia de carga (mm) molde N° 1	Diferencia de carga (mm) molde N° 2	Diferencia de carga (mm) molde N° 3
8	5	4.5	6

Se realizara un promedio de la diferencia de carga en el suelo compactado mediante el T-99.

Diferencia de carga

$$\Delta H = \frac{5 + 4.5 + 6}{3} = 5.167mm$$

Infiltración será igual:

$$I = \frac{5.167}{28800} = 0.00018 \frac{mm}{seg}$$

Determinación de la infiltración del suelo en el barrio de SAN BERNARDO.

Para obtención de la prueba se la realizo mediante la excavación de un pozo a la profundidad estimada que será la profundidad a que se emplazaran las obras de drenaje no convencional.

San Jorge cuenta con un suelo de las siguientes características, que después de su clasificación: según la **AASHTO es un A-4**, Según el sistema unificado pertenece a un suelo **CL-ML Arcilla Limosa Con Arena**.

GRAFICA 30 OBTENCION DE LA MUESTRA SAN JORGE II



Fuente: propia

El análisis de la prueba se la realizo en un tiempo de 8 hrs., con una carga inicial al principio de 1m, y se fue leyendo la infiltración en intervalos de tiempo de 5 min las primeras lecturas posterior a esto se realizó las lecturas cada hora

Tiempo (hrs)	Diferencia de carga (mm) molde N° 1	Diferencia de carga (mm) molde N° 2	Diferencia de carga (mm) molde N° 3
8	15	16	14.5

Se realizara un promedio de la diferencia de carga en el suelo compactado mediante el T-99.

Diferencia de carga

$$\Delta H = \frac{15 + 16 + 14.5}{3} = 15.167mm$$

Infiltración será igual:

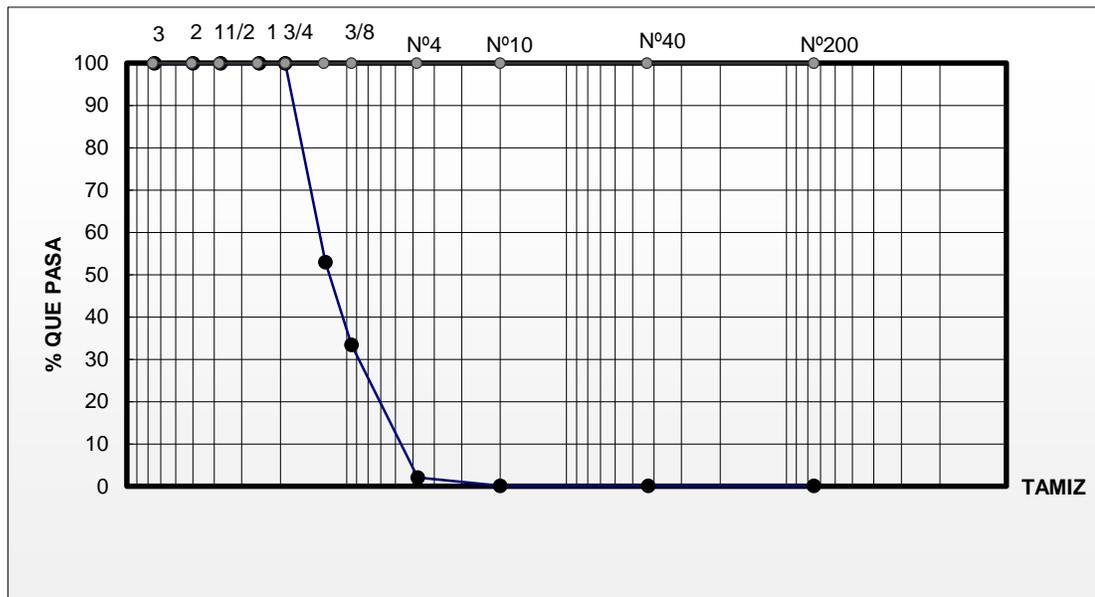
$$I = \frac{15.167}{28800} = 0.000537 \frac{mm}{seg}$$

Estudio De La Permeabilidad Para El Material Granular Que Se Utilizara Como Forro Filtrante Para Las Distintas Obras Que Se Realizara.

Granulometría de un filtro grueso dinámico

Capa	Diámetro (mm)		Espesor mínimo (cm)
	mínimo	máximo	
Exterior	0,5 - 2,0	1,5 - 4,0	5
Media	2,0 - 2,5	4,0 - 15,0	5
Inferior	5,0 - 20,0	10,0 - 40,0	10

La grava utilizada para este análisis del forro filtrante presenta la siguiente granulometría que fue determinada en el laboratorio de la U.A.J.M.S.



Granulometría utilizada en las obras para dren filtrante

Capa	Diámetro
Superior	1/4"
Medio	1/2"
Inferior	1"

Fuente: Propia

El permeámetro utilizado es el que se encuentra en el laboratorio, en el cual se siguió todos los pasos del procedimiento para realizar la prueba de permeabilidad para suelo granular.

GRAFICA 31 ESTUDIO DE PERMEABILIDAD SUELO GRANULAR

Fuente: Propia

En la prueba de permeabilidad realizada en el laboratorio se obtuvo los siguientes datos:

Para el filtro de Grava

Tiempo (seg.)	Volumen (cm³)	Altura de carga(cm)
3	20.9	90

2	23.6	92
3	21	88

Fuente: Propia

Calculo del coeficiente de permeabilidad.

Para el cálculo de la permeabilidad se realizara un promedio entre los moldes.

Datos:

Tiempo= 0,05min.

Volumen= 20.9cm³

Variación de carga=900 cm.

Diámetro del espécimen=76,2 cm.

Longitud del espécimen=152,4 cm.

$$K = \frac{QL}{Aht}$$

$$k = \frac{(20,9 \times 10^3) * 152.4}{\left(\frac{\pi}{4} * 76.2^2\right) * 900 * 0.05} = 155.2 \frac{mm}{min}$$

K=25,9cm/seg.

Calculo del gradiente hidráulico.

$$i = \frac{h}{L}$$

$$i = \frac{900}{152.4} = 5.90 \frac{mm}{mm}$$

Descripción Hidrológica Del Área En Estudio Para La Zona Del “BARRIO TABLADITA I”.

Punto De Estudio Avenida 6 De Agosto y Avenida Héroes De La Independencia, Calle 17 De Agosto y Pedro Lozano.

Intensidad de la lluvia.

El cálculo de la intensidad de lluvia se la realizara con la ecuación definida por Absalon Harmin Mamani Fita en su trabajo de tesis "Estimación y actualización de las ecuaciones Intensidad- Duración – Frecuencia para las principales ciudades y poblaciones del departamento de Tarija" basada en el modelo de Sherman donde para la ciudad de Tarija se tiene la siguiente ecuación:

$$I = \frac{896.1416 * T^{0.132751}}{(d + 3)^{0.8}}$$

Dónde:

I= Intensidad

d= Duración de la lluvia o tiempo de concentración en minutos.

T= Periodo de retorno en años (5 años)

Tiempo de concentración:

El tiempo de concentración es igual a la suma del tiempo de entrada y el tiempo de recorrido. Según la Norma Boliviana 688 el tiempo de entrada mínimo es de 10 min.

Para el cálculo de la intensidad se considerará un tiempo de concentración igual al tiempo de entrada.

$$T_c = T_e = 10\text{min}$$

Intensidad

$$I = \frac{896.1416 * 5^{0.132751}}{(10 + 3)^{0.8}} = 142.56 \frac{mm}{h}$$

Se adoptará este valor de intensidad para toda el área en estudio por ser el valor más desfavorable.

Áreas de aporte.

Las áreas de aporte se determinaron a partir de los planos de la zona en estudio para cada punto en particular, tomando en cuenta la topografía de la zona e inclinación de sus calles y avenidas, las áreas de aporte son las siguientes:

Ubicación	Área de aporte Km ²
Pasaje los molles y AV. 6 de Agosto	0.0076
Calle Villa San Luis de Entre Rios y AV.6 de Agosto	0.0117
Pasaje la Pascua y avenida 6 de Agosto	0.0170
AV. Heroes de la Independencia y AV. 6 de Agosto	0.0476
Calle 17 de aAgosto y calle Pedro Lozano	0.0250
Av. 6 de Agosto y Av. Héroes de la Independencia.	0.0158

Coefficiente de escurrimiento.

Para la obtención del coeficiente de escurrimiento del área en estudio según las características particulares de cada zona la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomiendan un coeficiente de escurrimiento de 0.70, para barrios adyacentes al centro de la ciudad de menor densidad de habitación con calles y vías pavimentadas

Caudal de aporte.

La estimación del caudal de aporte se realizará a partir del método racional

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

C= Coeficiente de escurrimiento adimensional

I= Intensidad en mm/h.

A= Área de drenaje en Km².

- **Caudal de aporte Pasaje los molles y AV. 6 de Agosto**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0076}{3.6} = 0.211 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Villa San Luis de Entre Rios y AV.6 de Agosto**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0117}{3.6} = 0.324 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Pasaje la Pascua y avenida 6 de Agosto.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0170}{3.6} = 0.471 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte AV. Héroes de la Independencia y AV. 6 de Agosto**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0476}{3.6} = 1.319 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Av. 6 de Agosto y Héroes de la Independencia.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0158}{3.6} = 0.438 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle 17 de Agosto y calle Pedro Lozano**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0250}{3.6} = 0.693 \frac{m^3}{s}$$

Diseño hidráulico para el BARRIO TABLADITA.

- **Sección hidráulica para el pasaje los molles. Zanja de infiltración.**

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

Datos:

$$Q = 0.211 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K = 0.259 \text{ m/seg}.$$

$$i = 5.90 \text{ mm/mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 2y$$

$$0.211 = 0.259 * 5.90 * 2y^2$$

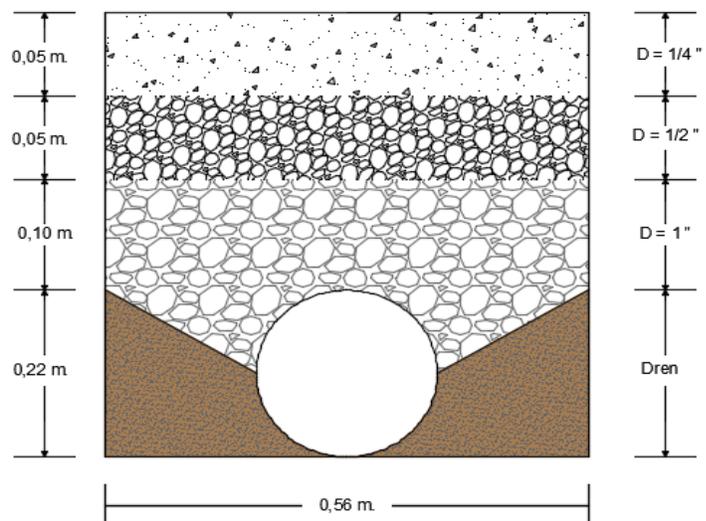
$$Y = 0.26 \text{ m.}$$

$$b. = 0.52 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.20 \text{ m.}$$

$$b. = 0.40 \text{ m}$$



- Sección hidráulica para la calle Villa San Luis de Entre Ríos y AV.6 de Agosto.

Datos:

$$Q = 0.324 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$n. = 0.075 \text{ zona pastosa.}$$

$$S = 1\%$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b. = 1.155y$$

$$0.324 = \frac{1}{0.075} * 5y^2 * 0.6981y^{2/3} * 0.01^{1/2}$$

$$Y = 0.20 \text{ m.}$$

$$b = 0.40 \text{ m.}$$

$$T = b + 2zy.$$

$$T = 1.6 \text{ m.}$$

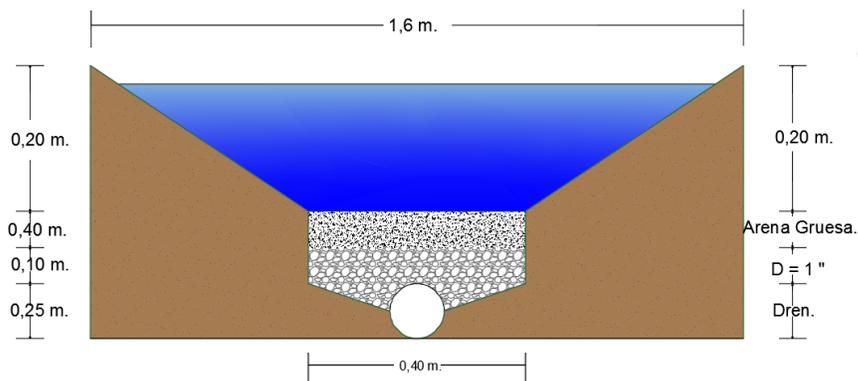
Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.20 \text{ m.}$$

$$b = 0.40 \text{ m}$$

$$T = b + 2zy.$$

$$T = 1.6 \text{ m.}$$



- Sección hidráulica para el Pasaje la Pascua y avenida 6 de Agosto.

$$Q = k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q = 0.471 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$K = 0.259 \text{ m/seg.}$$

$$i = 5.90 \text{ mm/mm.}$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b. = 2y$$

$$0.471 = 0.259 * 5.90 * 2y^2$$

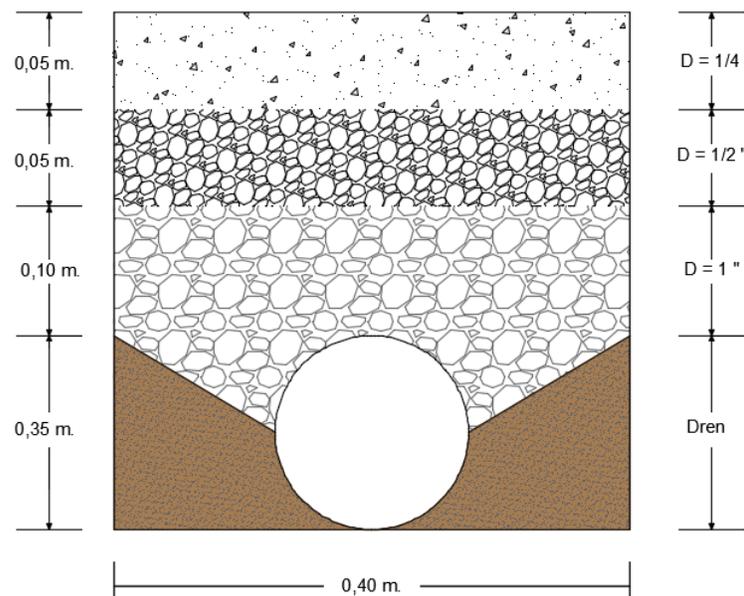
$$Y = 0.40 \text{ m.}$$

$$b. = 0.80 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.20 \text{ m.}$$

$$b. = 0.40 \text{ m}$$



- **Sección hidráulica para la Avenida 6 de agosto y héroes de la independencia.**

Datos:

$$Q = 1.319 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$n. = 0.075 \text{ zona pastosa.}$$

$$S = 1.1\%$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 1.155y$$

$$0.438 = \frac{1}{0.075} * 1.73y^2 * \frac{y^{\frac{2}{3}}}{2} * 0.011^{1/2}$$

$$Y = 0.68 \text{ m.}$$

$$b = 0.789 \text{ m.}$$

$$T = b + 2zy.$$

$$T = 4.87 \text{ m.}$$

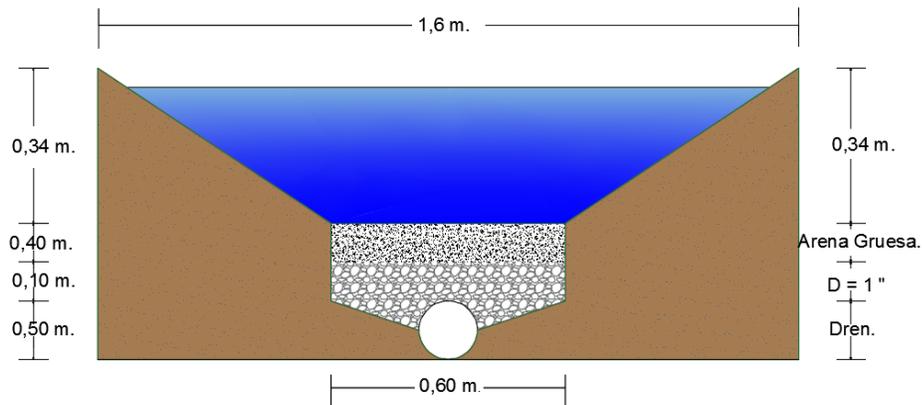
Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.34 \text{ m.}$$

$$b = 0.40 \text{ m.}$$

$$T = b + 2zy.$$

$$T = 2.44 \text{ m.}$$



- Sección hidráulica para la Avenida héroes de la independencia y avenida 6 de agosto.

$$Q = k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q = 1.319 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$K=0.259\text{m/seg.}$

$i.=5.90\text{ mm/mm.}$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$1.319=0.259*5.90*2y^2$$

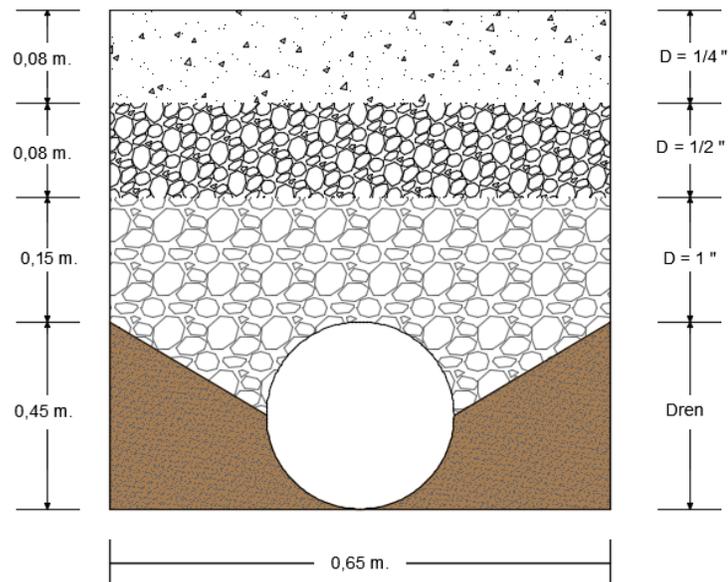
$Y=0.66\text{ m.}$

$b.=1.31\text{ m}$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$Y=0.33\text{ m.}$

$b.=66\text{m}$



- Sección hidráulica para la calle 17 de agosto y calle Pedro Lozano

$$Q=k.*i.*A.$$

Datos:

$$Q=0.693 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K=0.259\text{m}/\text{seg}.$$

$$i.=5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.693=0.259*5.90*2y^2$$

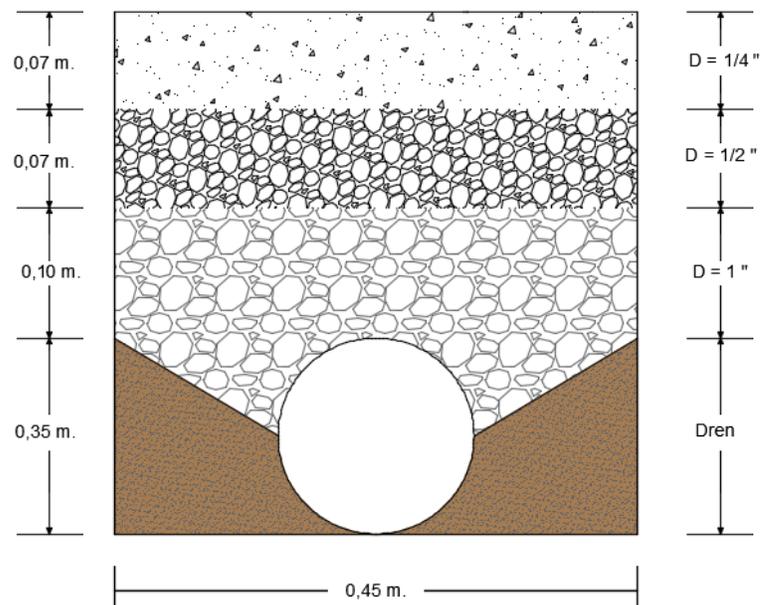
$$Y=0.48 \text{ m}.$$

$$b.=0.95 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.24 \text{ m}.$$

$$b.=0.48\text{m}$$



Descripción hidrológica del área en estudio para la zona del “BARRIO SAN BERNARDO”.

Punto de estudio avenida La Paz, avenida Circunvalación y La Avenida San Bernardo.

Intensidad de la lluvia.

El cálculo de la intensidad de lluvia se la realizara con la ecuación definida por Absalon Harmin Mamani Fita en su trabajo de tesis "Estimación y actualización de las ecuaciones Intensidad- Duración – Frecuencia para las principales ciudades y poblaciones del departamento de Tarija" basada en el modelo de Sherman donde para la ciudad de Tarija se tiene la siguiente ecuación:

$$I = \frac{896.1416 * T^{0.132751}}{(d + 3)^{0.8}}$$

Dónde:

I= Intensidad

d= Duración de la lluvia o tiempo de concentración en minutos.

T= Periodo de retorno en años (5 años)

Tiempo de concentración:

El tiempo de concentración es igual a la suma del tiempo de entrada y el tiempo de recorrido. Según la Norma Boliviana 688 el tiempo de entrada mínimo es de 10 min.

Para el cálculo de la intensidad se considerará un tiempo de concentración igual al tiempo de entrada.

$$T_c = T_e = 10\text{min}$$

Intensidad

$$I = \frac{896.1416 * 5^{0.132751}}{(10 + 3)^{0.8}} = 142.56 \frac{mm}{h}$$

Se adoptará este valor de intensidad para toda el área en estudio por ser el valor más desfavorable.

Áreas de aporte Av. La Paz y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.

Las áreas de aporte se determinaron a partir de los planos de la zona en estudio para cada punto en particular, tomando en cuenta la topografía de la zona e inclinación de sus calles y avenidas, las áreas de aporte son las siguientes:

Ubicación	Área de aporte Km²
Pasaje Estensoro y Av. La Paz.	0.000978
Calle Ricardo Estensoro y AV. Marcelo Quiroga Santa Cruz.	0.0214
Calle Luis Castrillo y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.	0.0106
Pasaje Santa Lucia y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.	0.00251
Calle 20 de Agosto y Av. La Paz.	0.0149
Calle 10 de Noviembre y Av. La Paz.	0.0114

Calle San Placido y Av. La Paz.	0.00192
Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz y Av. La Paz.	0.0102
Av. La Paz y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.	0.0138

Coefficiente de escurrimiento.

Para la obtención del coeficiente de escurrimiento del área en estudio según las características particulares de cada zona la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomiendan un coeficiente de escurrimiento de 0.70, para barrios adyacentes al centro de la ciudad de menor densidad de habitación con calles y vías pavimentadas

Caudal de aporte.

La estimación del caudal de aporte se realizará a partir del método racional

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

C= Coeficiente de escurrimiento adimensional

I= Intensidad en mm/h.

A= Área de drenaje en Km².

- **Caudal de aporte Pasaje Estensoro y Av. La Paz**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.000978}{3.6} = 0.0271 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle Ricardo Estensoro y AV. Marcelo Quiroga Santa Cruz.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0214}{3.6} = 0.593 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle Luis Castrillo y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0106}{3.6} = 0.294 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Pasaje Santa Lucia y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.00251}{3.6} = 0.0696 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle 20 de Agosto y Av. La Paz.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0149}{3.6} = 0.413 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle 10 de Noviembre y Av. La Paz.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0114}{3.6} = 0.316 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle San Placido y Av. La Paz.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.00192}{3.6} = 0.0532 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz y Av. La Paz.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0102}{3.6} = 0.283 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Av. La Paz y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0138}{3.6} = 0.382 \frac{m^3}{s}$$

- **Sección hidráulica para Pasaje Estensoro y Av. La Paz**

$$Q = k * i * A.$$

Datos:

$$Q = 0.0271 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K = 0.259 \text{ m/seg}.$$

$$i = 5.90 \text{ mm/mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 2y$$

$$0.0271 = 0.259 * 5.90 * 2y^2$$

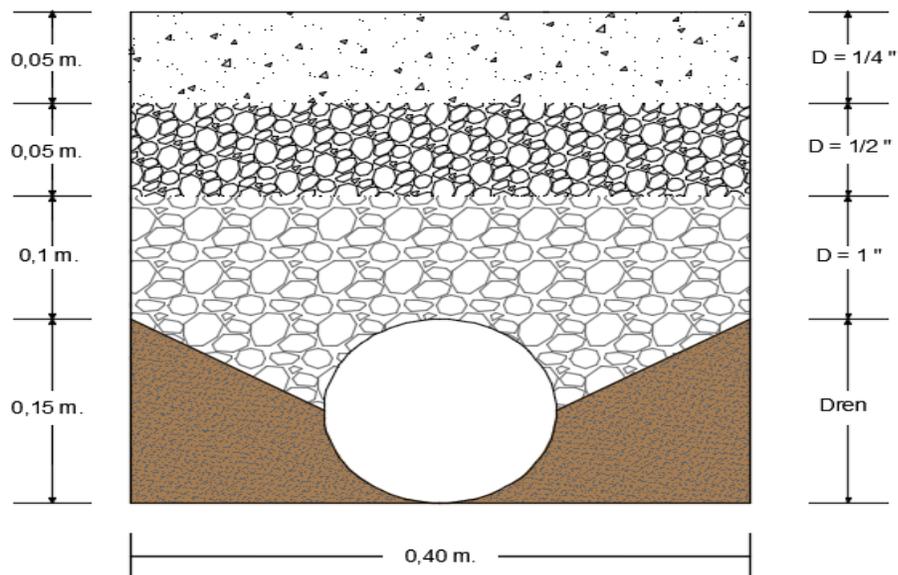
$$Y = 0.20 \text{ m}.$$

$$b = 0.40 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.20 \text{ m}.$$

$$b = 0.40 \text{ m}$$



- **Sección hidráulica para Calle Ricardo Estensoro y AV. Marcelo Quiroga Santa Cruz.**

$$Q = k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q = 0.593 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K = 0.259 \text{ m}/\text{seg}.$$

$$i = 5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 2y$$

$$0.593 = 0.259 \cdot 5.90 \cdot 2y^2$$

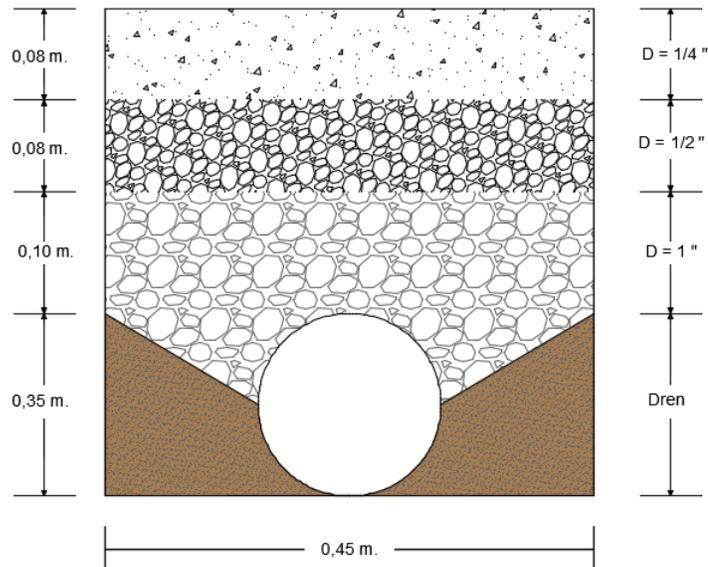
$$Y = 0.44 \text{ m}.$$

$$b = 0.88 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.22 \text{ m}.$$

b.=0.44m



- **Sección hidráulica para Calle Luis Castrillo y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.**

$$Q=k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q=0.294 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K=0.259 \text{ m}/\text{seg}.$$

$$i.=5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.0.294=0.259 \cdot 5.90 \cdot 2y^2$$

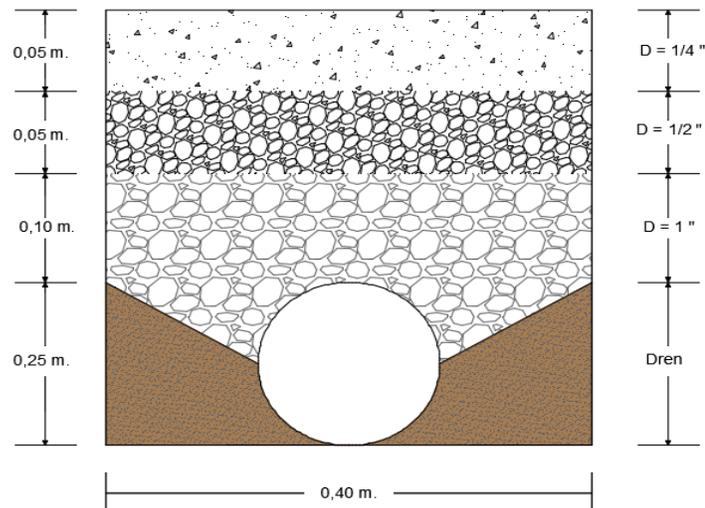
$$Y=0.31 \text{ m}.$$

$$b.=0.62 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.20 \text{ m.}$$

$$b.=0.40\text{m}$$



- **Sección hidráulica para Pasaje Santa Lucia y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz**

$$Q=k.*i.*A.$$

Datos:

$$Q=0.0696 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$K=0.259\text{m}/\text{seg.}$$

$$i.=5.90 \text{ mm}/\text{mm.}$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.0696=0.259*5.90*2y^2$$

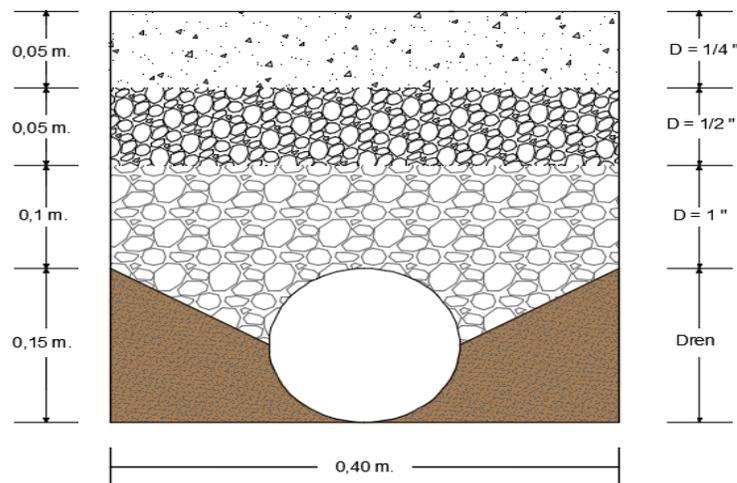
$$Y=0.20 \text{ m.}$$

$$b.=0.40 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.20 \text{ m.}$$

$$b.=0.40\text{m}$$



- Sección hidráulica para la Calle 20 de agosto y Av. La Paz.

$$Q=k.*i.*A.$$

Datos:

$$Q=0.413 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$K=0.259\text{m}/\text{seg.}$$

$$i.=5.90 \text{ mm}/\text{mm.}$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.413=0.259*5.90*2y^2$$

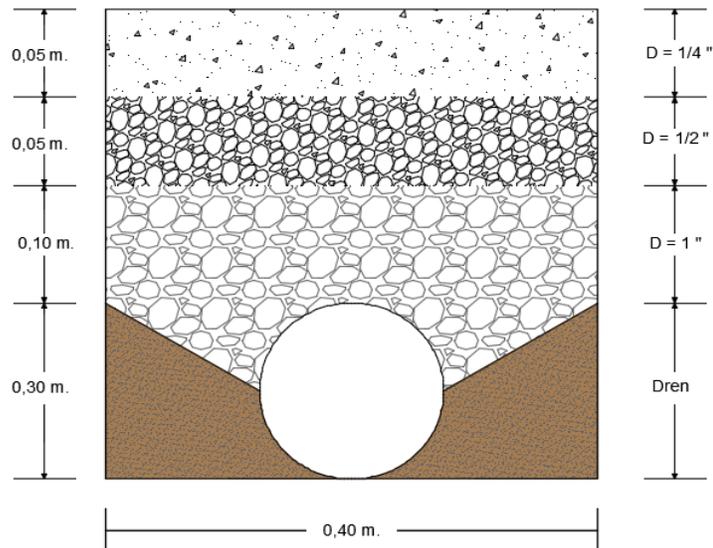
$$Y=0.37 \text{ m.}$$

$$b.=0.74 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.20 \text{ m.}$$

$$b.=0.40\text{m}$$



- Sección hidráulica para la Calle 10 de Noviembre y Av. La Paz.

$$Q=k.*i.*A.$$

Datos:

$$Q=0.316 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$K=0.259\text{m}/\text{seg.}$$

$$i.=5.90 \text{ mm}/\text{mm.}$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.316=0.259*5.90*2y^2$$

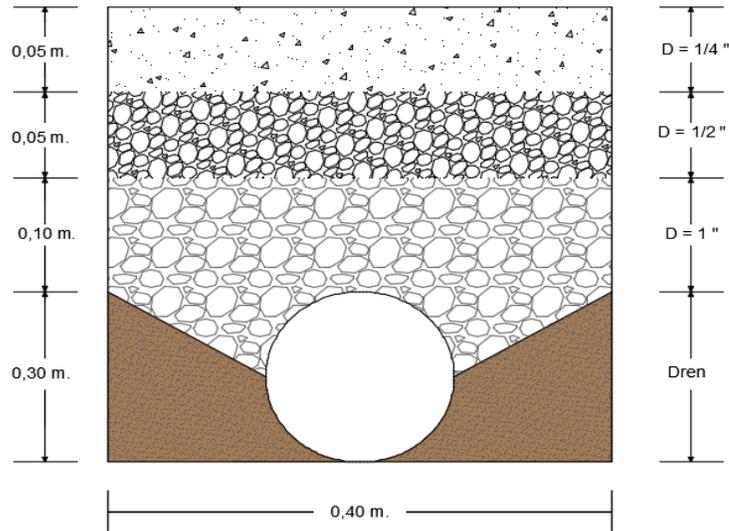
$$Y=0.32 \text{ m.}$$

$$b.=0.64 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.20 \text{ m.}$$

$$b.=0.40\text{m}$$



- Sección hidráulica para la Calle San Placido y Av. La Paz.

$$Q=k.*i.*A.$$

Datos:

$$Q=0.0532 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$K=0.259\text{m}/\text{seg.}$$

$$i.=5.90 \text{ mm}/\text{mm.}$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.0532=0.259*5.90*2y^2$$

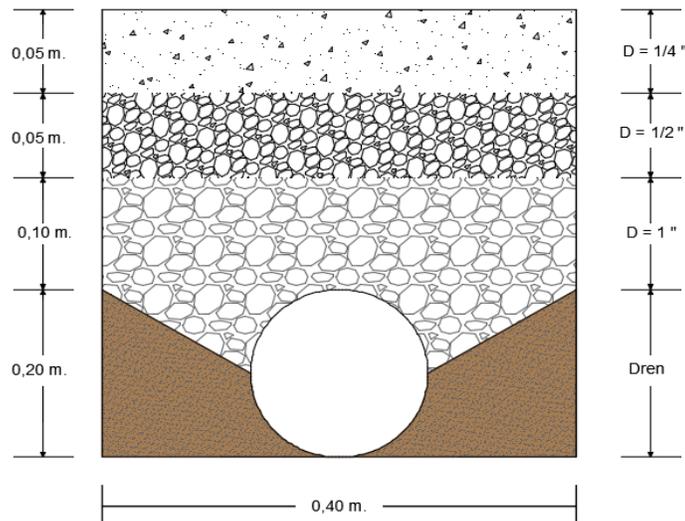
$$Y=0.13 \text{ m.}$$

$$b.=0.26 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.20 \text{ m.}$$

$$b.=0.40\text{m}$$



- **Sección hidráulica para la Avenida Marcelo Quiroga Santa Cruz y Av. La Paz.**

Datos:

$$Q=0.283 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$n.=0.075 \text{ zona pastosa.}$$

$$S=3\%$$

$$Z=3$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 1.155y$$

$$0.283 = \frac{1}{0.075} * 1.73y^2 * \frac{y^{\frac{2}{3}}}{2} * 0.03^{1/2}$$

$$Y= 0.37 \text{ m.}$$

$$b.=0.74\text{m.}$$

$$T = b + 2zy.$$

$$T = 2.96 \text{ m.}$$

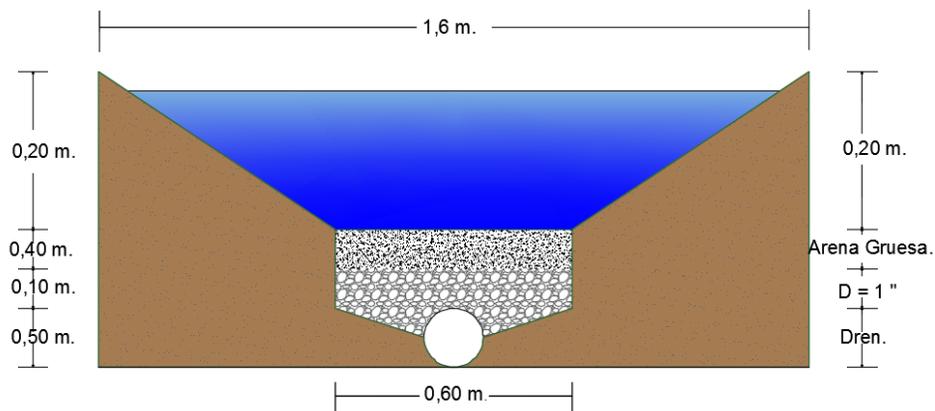
Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.20 \text{ m.}$$

$$b = 0.40 \text{ m.}$$

$$T = b + 2zy.$$

$$T = 1.6 \text{ m.}$$



- **Sección hidráulica para la Avenida La Paz y Avenida Marcelo Quiroga Santa Cruz.**

Datos:

$$Q = 0.382 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$n = 0.075 \text{ zona pastosa.}$$

$$S = 3.8\%$$

$$Z = 3$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 1.155y$$

$$0.382 = \frac{1}{0.075} * 1.73y^2 * \frac{y^{\frac{2}{3}}}{2} * 0.038^{1/2}$$

$$Y = 0.51 \text{ m.}$$

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

$$T = b + 2zy.$$

$$T = 3.66 \text{ m.}$$

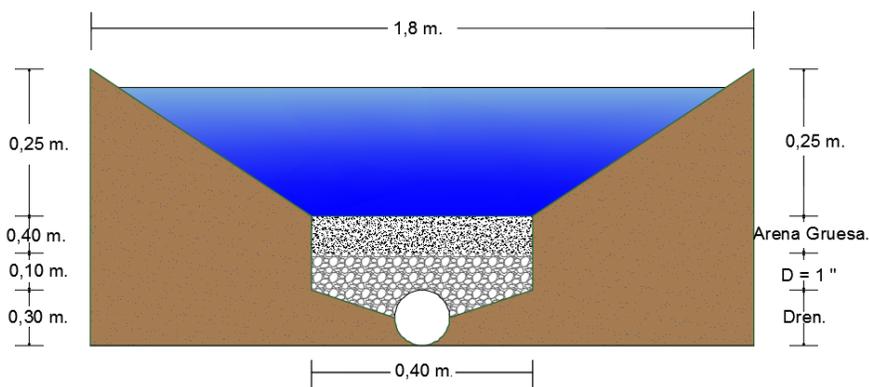
Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.25 \text{ m.}$$

$$b = 0.30 \text{ m.}$$

$$T = b + 2zy.$$

$$T = 1.8 \text{ m.}$$



Áreas de aporte para Av. San Bernardo.

Las áreas de aporte se determinaron a partir de los planos de la zona en estudio para cada punto en particular, tomando en cuenta la topografía de la zona e inclinación de sus calles y avenidas, las áreas de aporte son las siguientes:

Ubicación	Área de aporte Km ²
Calle Salvador Campero y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz	0.00940

Calle Mario Olaguivel Cazón y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz	0.00487
Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz y Av. San Bernardo	0.0160
Calle 20 de Agosto y Av. San Bernardo	0.0104
Calle Antonio Borda Jofre y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.	0.0192
Av. San Cristobal y Av. Marcelo Quiroga San Cruz	0.00614
Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz y Av. San Cristobal.	0.00530
Calle 10 de Noviembre y Av. San Bernardo	0.00867
Av. San Bernardo y Av. Circunvalación	0.0170

Coefficiente de escurrimiento.

Para la obtención del coeficiente de escurrimiento del área en estudio según las características particulares de cada zona la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomiendan un coeficiente de escurrimiento de 0.70, para barrios adyacentes al centro de la ciudad de menor densidad de habitación con calles y vías pavimentadas

Caudal de aporte.

La estimación del caudal de aporte se realizará a partir del método racional

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

C= Coeficiente de escurrimiento adimensional

I= Intensidad en mm/h.

A= Área de drenaje en Km².

- **Caudal de aporte Calle Salvador Campero y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.00940}{3.6} = 0.260 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle Mario Olaguivel Cazón y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.00487}{3.6} = 0.135 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz y Av. San Bernardo.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0160}{3.6} = 0.443 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle 20 de Agosto y Av. San Bernardo.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0104}{3.6} = 0.288 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle 10 de Noviembre y Av. San Bernardo.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.00867}{3.6} = 0.240 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Av. San Bernardo y Av. Circunvalación.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0170}{3.6} = 0.471 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle Antonio Borda Jofre y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0192}{3.6} = 0.532 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Av. San Cristóbal y Av. Marcelo Quiroga San Cruz.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.00614}{3.6} = 0.170 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz y Av. San Cristóbal.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.00530}{3.6} = 0.147 \frac{m^3}{s}$$

Cálculo de secciones hidráulicas para el punto de la intersección Av. San Bernardo y Avenida Marcelo Quiroga Santa Cruz.

- **Sección hidráulica para la Calle Salvador Campero y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.**

$$Q=k.*i.*A.$$

Datos:

$$Q=0.260 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K=0.259\text{m}/\text{seg}.$$

$$i.=5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 2y$$

$$0.260 = 0.259 * 5.90 * 2y^2$$

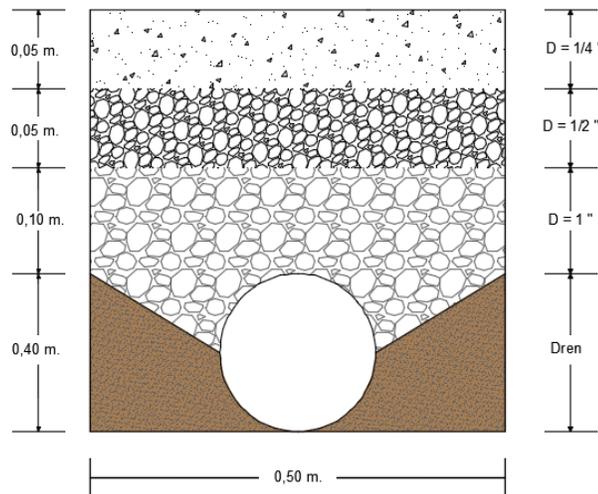
$$Y = 0.29 \text{ m.}$$

$$b = 0.58 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.20 \text{ m.}$$

$$b = 0.40 \text{ m}$$



- Sección hidráulica para la Calle Mario Olaguivel Cazón y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.

$$Q = k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q = 0.135 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$K=0.259\text{m/seg.}$

$i.=5.90\text{ mm/mm.}$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.135=0.259*5.90*2y^2$$

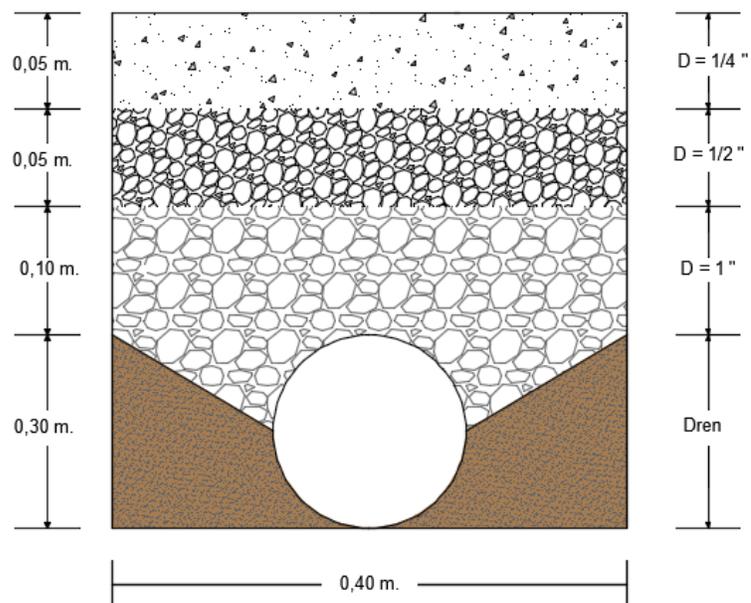
$Y=0.21\text{m.}$

$b.=0.42\text{m}$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$Y=0.20\text{ m.}$

$b.=0.40\text{m}$



- **Sección hidráulica para la Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz y Av. San Bernardo**

Datos:

$$Q=0.443\text{m}^3/\text{s}.$$

$n.=0.075$ zona pastosa.

$$S=4\%$$

$$Z=3$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 1.155y$$

$$0.443=\frac{1}{0.075}*1.73y^2*\frac{y^{\wedge}(\frac{2}{3})}{2}*0.04^{1/2}$$

$$Y= 0.54 \text{ m.}$$

$$b.=0.62\text{m.}$$

$$T= b+2zy.$$

$$T= 3.86 \text{ m.}$$

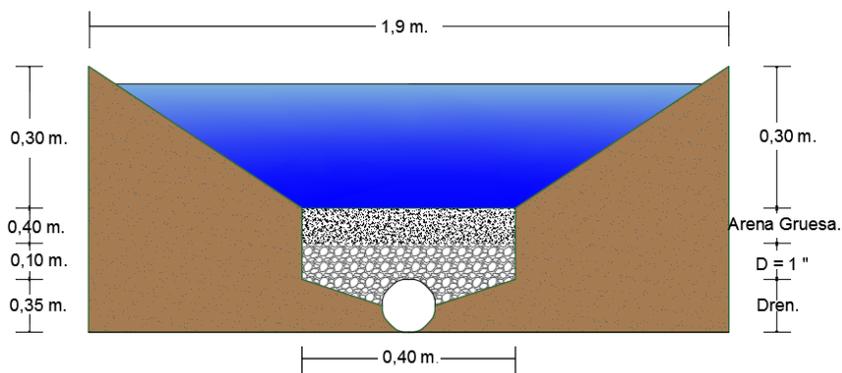
Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y= 0.30\text{m.}$$

$$b.=0.40\text{m.}$$

$$T= b+2zy.$$

$$T= 1.90\text{m.}$$



- **Sección hidráulica para la Calle 20 de Agosto y Av. San Bernardo.**

$$Q=k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q=0.288 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K=0.259 \text{ m}/\text{seg}.$$

$$i.=5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.288=0.259 \cdot 5.90 \cdot 2y^2$$

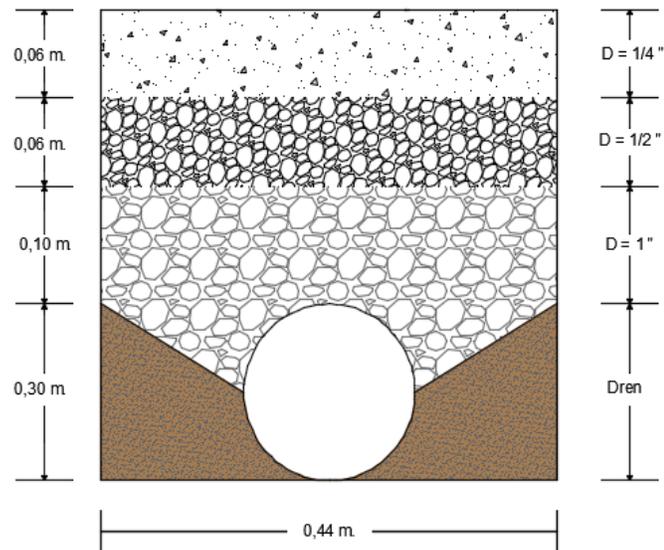
$$Y=0.43 \text{ m}.$$

$$b.=0.86 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.22 \text{ m}.$$

$$b.=0.44 \text{ m}.$$



- **Sección hidráulica para la Calle 10 De Noviembre y Av. San Bernardo.**

$$Q = k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q = 0.240 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K = 0.259 \text{ m}/\text{seg}.$$

$$i = 5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 2y$$

$$0.240 = 0.259 \cdot 5.90 \cdot 2y^2$$

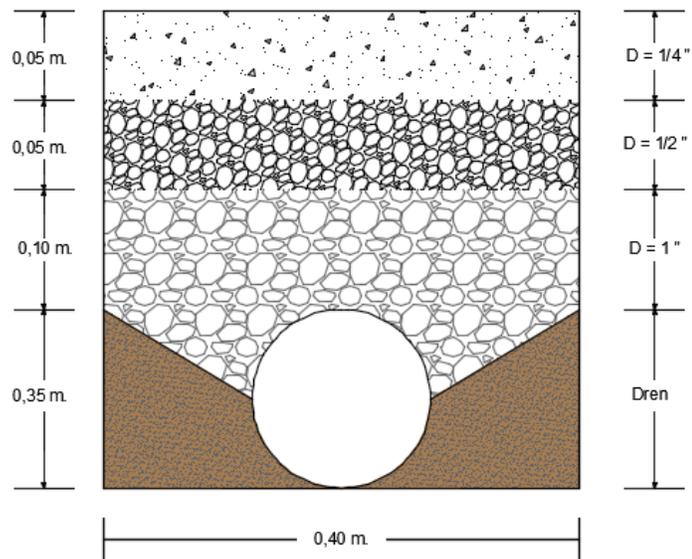
$$Y = 0.40 \text{ m}.$$

$$b = 0.80 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.20 \text{ m}.$$

$$b = 0.40 \text{ m}.$$



- **Sección hidráulica para la Av. San Bernardo y Av. Circunvalación.**

$$Q = k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q = 0.471 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K = 0.259 \text{ m}/\text{seg}.$$

$$i = 5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 2y$$

$$0.471 = 0.259 \cdot 5.90 \cdot 2y^2$$

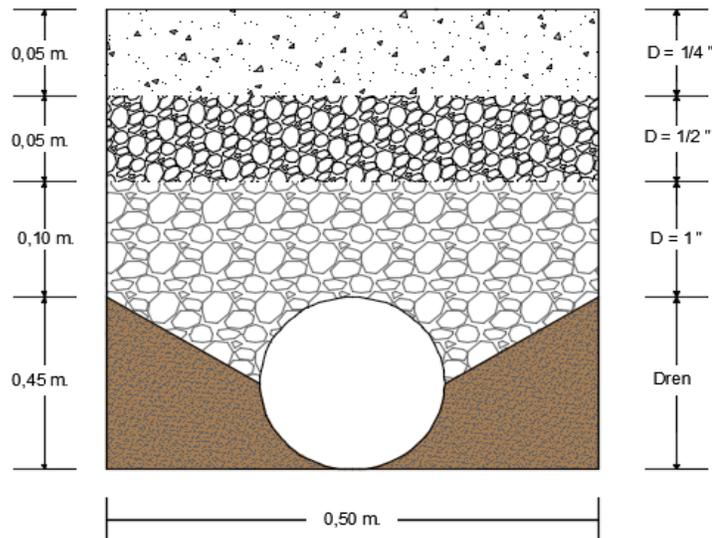
$$Y = 0.392 \text{ m}.$$

$$b = 0.785 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.20 \text{ m}.$$

$$b = 0.40 \text{ m}.$$



- **Sección hidráulica para la Calle Antonio Borda Jofre y Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz.**

$$Q = k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q = 0.532 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K = 0.259 \text{ m}/\text{seg}.$$

$$i = 5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 2y$$

$$0.532 = 0.259 \cdot 5.90 \cdot 2y^2$$

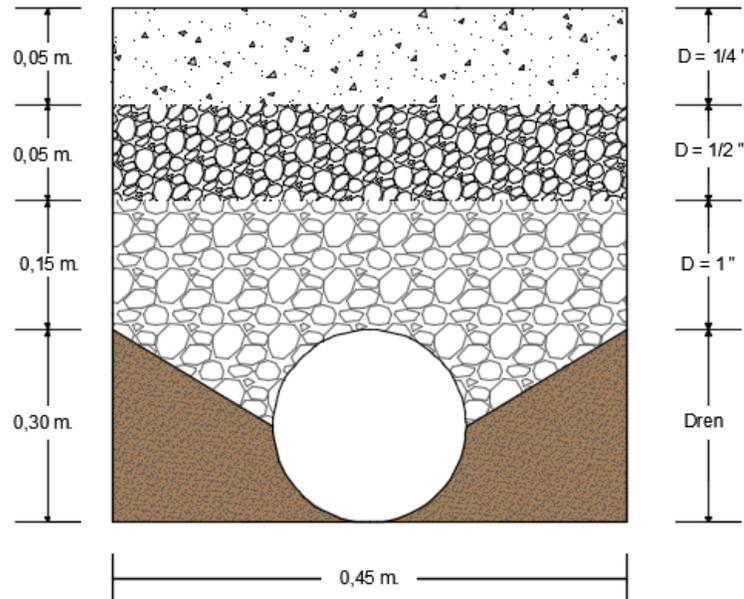
$$Y = 0.42 \text{ m}.$$

$$b = 0.84 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.21 \text{ m}.$$

$$b = 0.42 \text{ m}.$$



- **Sección hidráulica para la Av. San Cristóbal y Av. Marcelo Quiroga San Cruz.**

$$Q = k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K = 0.259 \text{ m}/\text{seg}.$$

$$i = 5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 2y$$

$$0.170 = 0.259 \cdot 5.90 \cdot 2y^2$$

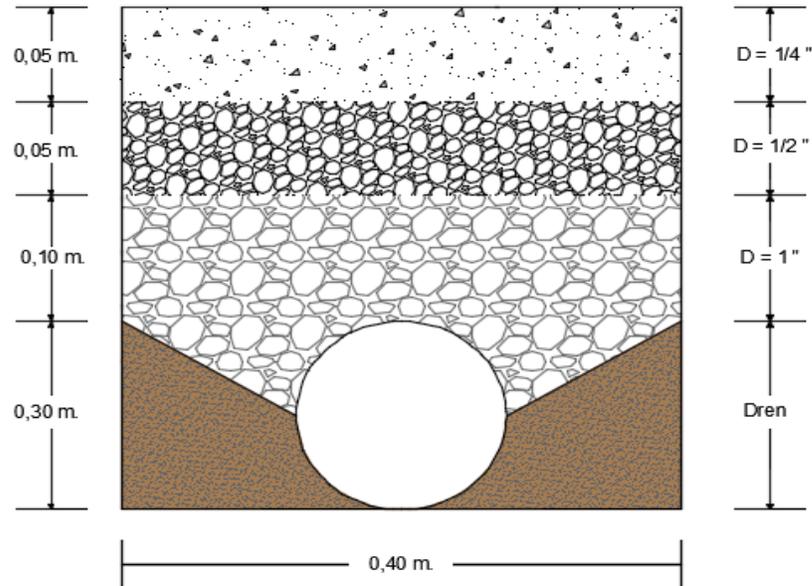
$$Y = 0.24 \text{ m}.$$

$$b = 0.48 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.20 \text{ m.}$$

$$b.=0.40 \text{ m.}$$



- Sección hidráulica para la Av. Marcelo Quiroga Santa Cruz y Av. San Cristóbal.

$$Q=k.*i.*A.$$

Datos:

$$Q=0.147\text{m}^3/\text{s.}$$

$$K=0.259\text{m}/\text{seg.}$$

$$i.=5.90 \text{ mm}/\text{mm.}$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.734=0.259*5.90*2y^2$$

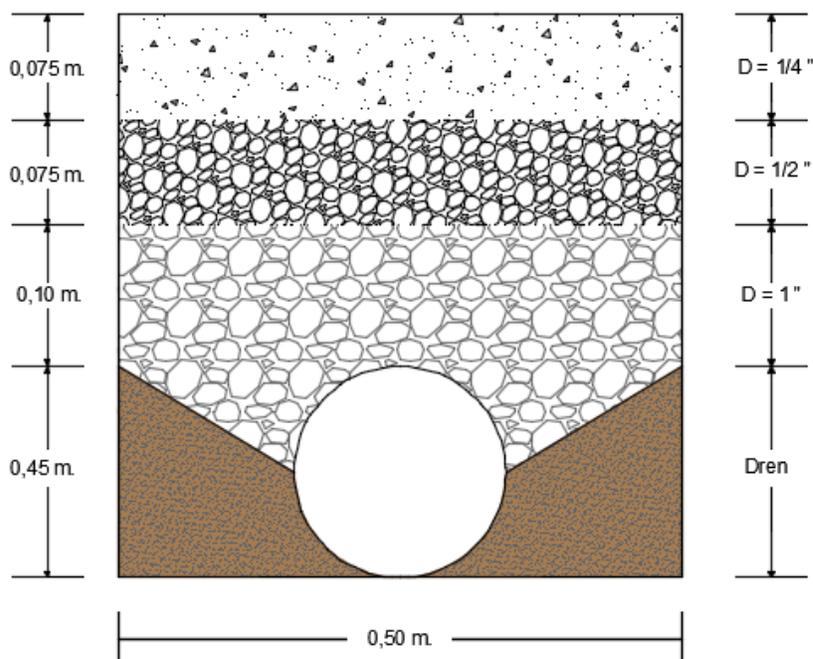
$$Y=0.50\text{m.}$$

b.=1 m

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

Y=0.25 m.

b.=0.50 m.



Áreas de aporte intersección Av. Circunvalación y Av. San Bernardo.

Las áreas de aporte se determinaron a partir de los planos de la zona en estudio para cada punto en particular, tomando en cuenta la topografía de la zona e inclinación de sus calles y avenidas, las áreas de aporte son las siguientes:

Ubicación	Área de aporte Km ²
-----------	--------------------------------

Calle San Placido y Calle San Pedro	0.0106
Calle San Pedro y Calle San Placido	0.00745
Calle San Antonio y Av. Circunvalación	0.0152
Calle San Roque y Av. Circunvalación	0.00562
Av. Circunvalación y Av. San Bernardo	0.00649

Coefficiente de escurrimiento.

Para la obtención del coeficiente de escurrimiento del área en estudio según las características particulares de cada zona la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomiendan un coeficiente de escurrimiento de 0.70, para barrios adyacentes al centro de la ciudad de menor densidad de habitación con calles y vías pavimentadas

Caudal de aporte.

La estimación del caudal de aporte se realizará a partir del método racional

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

C= Coeficiente de escurrimiento adimensional

I= Intensidad en mm/h.

A= Área de drenaje en Km².

- **Caudal de aporte Calle San Placido y Calle San Pedro.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0106}{3.6} = 0.294 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle San Pedro y Calle San Placido.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.00745}{3.6} = 0.206 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle San Antonio y Av. Circunvalación.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.0152}{3.6} = 0.421 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Calle San Roque y Av. Circunvalación.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.00562}{3.6} = 0.156 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Av. Circunvalación y Av. San Bernardo.**

$$Q = \frac{0.70 * 142.56 * 0.00649}{3.6} = 0.180 \frac{m^3}{s}$$

Cálculo de secciones hidráulicas para el punto de la intersección Av. Circunvalación y San Bernardo.

- **Sección hidráulica para la Calle San Placido y Calle San Pedro.**

$$Q=k.*i.*A.$$

Datos:

$$Q=0.294\text{m}^3/\text{s}.$$

$$K=0.259\text{m}/\text{seg}.$$

$$i.=5.90\text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.294=0.259*5.90*2y^2$$

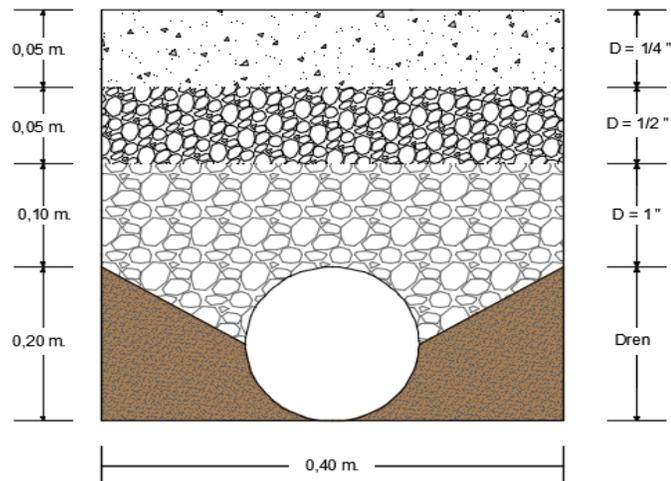
$$Y=0.31\text{m}.$$

$$b.=0.62\text{m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.20\text{ m}.$$

$$b.=0.40\text{ m}.$$



- **Sección hidráulica para la Calle San Pedro y Calle San Placido**

$$Q=k.*i.*A.$$

Datos:

$$Q=0.206\text{m}^3/\text{s}.$$

$$K=0.259\text{m}/\text{seg}.$$

$$i.=5.90\text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.206=0.259*5.90*2y^2$$

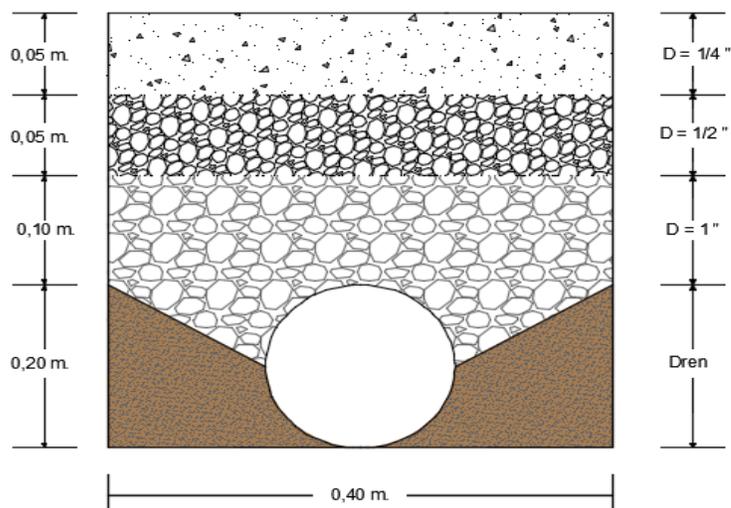
$$Y=0.26\text{m}.$$

$$b.=0.52\text{m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.20\text{ m}.$$

$$b.=0.40\text{ m}.$$



- **Sección hidráulica para la Calle San Antonio y Av. Circunvalación.**

$$Q=k.*i.*A.$$

Datos:

$$Q=0.421\text{m}^3/\text{s}.$$

$$K=0.259\text{m}/\text{seg}.$$

$i=5.90$ mm/mm.

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.421=0.259*5.90*2y^2$$

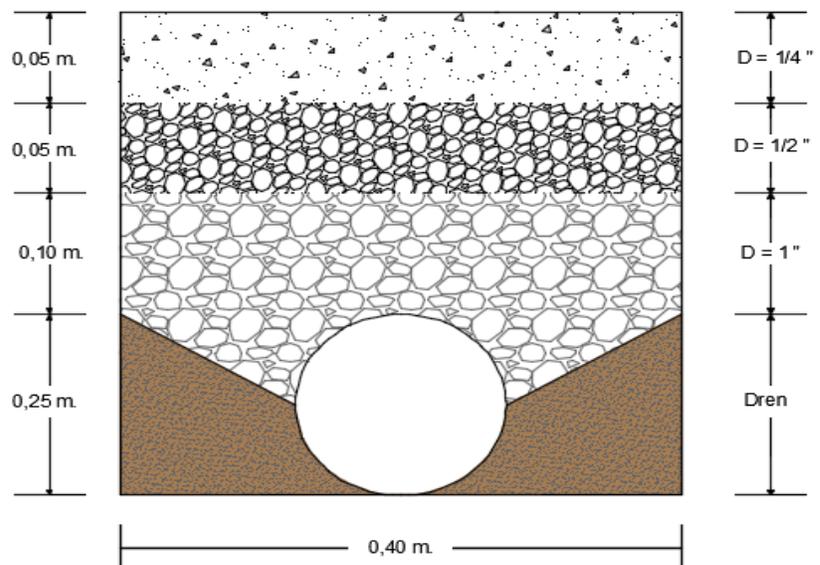
$$Y=0.37m.$$

$$b.=0.74m$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.20 m.$$

$$b.=0.40 m.$$



- Sección hidráulica para la Av. Circunvalación y Av. San Bernaedo.

$$Q=k.*i.*A.$$

Datos:

$$Q=0.180m^3/s.$$

$K=0.259\text{m/seg.}$

$i.=5.90\text{ mm/mm.}$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 2y$$

$$0.482=0.259*5.90*2y^2$$

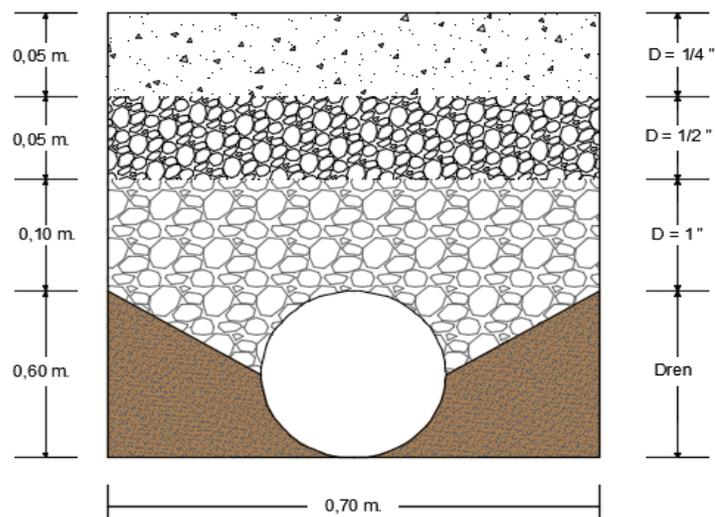
$Y=0.40\text{m.}$

$b.=0.80\text{m}$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$Y=0.20\text{ m.}$

$b.=0.40\text{ m.}$



Calculo Hidráulico para el Barrio San Jorge II

Tiempo de concentración:

El tiempo de concentración es igual a la suma del tiempo de entrada y el tiempo de recorrido. Según la Norma Boliviana 688 el tiempo de entrada mínimo es de 10 min.

Para el cálculo de la intensidad se considerará un tiempo de concentración igual al tiempo de entrada.

$$T_c = T_e = 10\text{min}$$

Intensidad

$$I = \frac{896.1416 * 5^{0.132751}}{(10 + 3)^{0.8}} = 142.56 \frac{mm}{h}$$

Se adoptará este valor de intensidad para toda el área en estudio por ser el valor más desfavorable.

. Áreas de aporte.

Las áreas de aporte se determinaron a partir de los planos de la zona en estudio para cada punto en particular, tomando en cuenta la topografía de la zona e inclinación de sus calles y avenidas, las áreas de aporte son las siguientes:

Ubicación	Área de aporte Km²
Calle Alberto Sánchez y Av. Juan de Dios Mealla	0.0313
Calle Dr. Dillman Flores Prada y Av. Juan de Dios Mealla	0.0376
Calle Julio La Faye Sanjinez y Av. Juan de Dios Mealla	0.0278

Calle Pio Martinez y Av. Juan De Dios Mealla	0.0145
Av. Dr. Jorge Paz Galarza y Av. Juan De Dios Mealla	0.0240
Av. Juan De Dios Mealla y Av. Dr. Jorge Paz Galarza.	0.0271

Coefficiente de escurrimiento.

Para la obtención del coeficiente de escurrimiento del área en estudio según las características particulares de cada zona la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomiendan un coeficiente de escurrimiento de 0.65.

Caudal de aporte.

La estimación del caudal de aporte se realizará a partir del método racional

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

C= Coeficiente de escurrimiento adimensional

I= Intensidad en mm/h.

A= Área de drenaje en Km².

- **Caudal de aporte calle Alberto Sánchez y Av. Juan de Dios Mealla.**

$$Q = \frac{0.65 * 142.56 * 0.0313}{3.6} = 0.806 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Dr. Dillman Flores Prada y Av. Juan de Dios Mealla**

$$Q = \frac{0.65 * 142.56 * 0.0376}{3.6} = 0.968 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Julio La Faye Sanjinez y Av. Juan de Dios Mealla**

$$Q = \frac{0.65 * 142.56 * 0.0278}{3.6} = 0.716 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Pio Martínez y Av. Juan De Dios Mealla**

$$Q = \frac{0.65 * 142.56 * 0.0145}{3.6} = 0.373 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Av. Dr. Jorge Paz Galarza y Av. Juan De Dios Mealla**

$$Q = \frac{0.65 * 142.56 * 0.0240}{3.6} = 0.618 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte Av. Juan De Dios Mealla y Av. Dr. Jorge Paz Galarza**

$$Q = \frac{0.65 * 142.56 * 0.0271}{3.6} = 0.697 \frac{m^3}{s}$$

Diseño Hidráulico De La Cuneta Verde.

- Av. Dr. Jorge Paz Galarza y Av. Juan De Dios Mealla

Utilizando la ecuación de manning se tiene lo siguiente:

$$Q = \frac{1}{n} * A * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

DONDE:

Q= Caudal m³/s.

n.= coeficiente de rugosidad.

A= Área de la sección transversal en m².

Rh= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente longitudinal en m/m.

Datos:

Q=0.618 m³/s.

n.=0.075 zona pastosa.

S=1%

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 1.155y$$

$$0.618 = \frac{1}{0.075} * 5y^2 * 0.6981y^{2/3} * 0.01^{1/2}$$

Y= 0.45m.

b.=0.90m.

$$T= b+2zy.$$

T= 3.6 m.

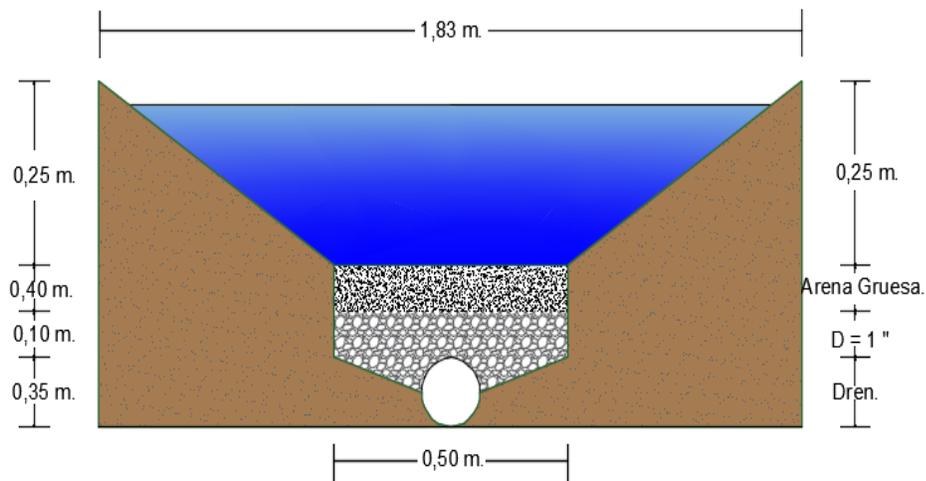
Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.23 \text{ m.}$$

$$b.=0.45\text{m}$$

$$T= b+2zy.$$

$$T= 1.83 \text{ m.}$$



Diseño Hidráulico De La Zanja o Dren Filtrante.

Debido a que se cuenta con un material filtrante en la captación la ecuación que se utilizara será la siguiente, la cual toma en cuenta el coeficiente de permeabilidad y el gradiente hidráulico.

$$Q = kiA.$$

DONDE:

Q= Caudal m^3/s .

K= coeficiente de permeabilidad cm/seg .

i.= gradiente hidráulico mm/mm .

- **Sección hidráulica para la calle Alberto Sánchez y Av. Juan de Dios Mealla.**

$$Q = k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K = 0.259 \text{ m}/\text{seg}.$$

$$i = 5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 2y$$

$$0.806 = 0.259 \cdot 5.90 \cdot 2y^2$$

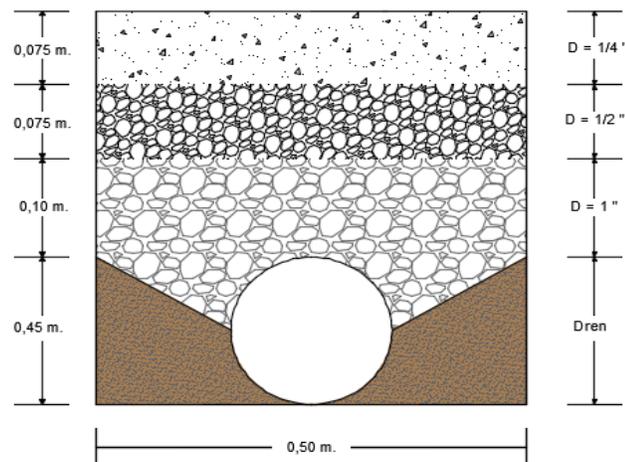
$$Y = 0.51 \text{ m}.$$

$$b = 1.02 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.25 \text{ m}.$$

$$b = 0.51 \text{ m}$$



- **Sección hidráulica para la calle Dr. Dillman Flores Prada y Av. Juan de Dios Mealla.**

$$Q = k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q = 0.968 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K = 0.259 \text{ m}/\text{seg}.$$

$$i = 5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 2y$$

$$0.968 = 0.259 \cdot 5.90 \cdot 2y^2$$

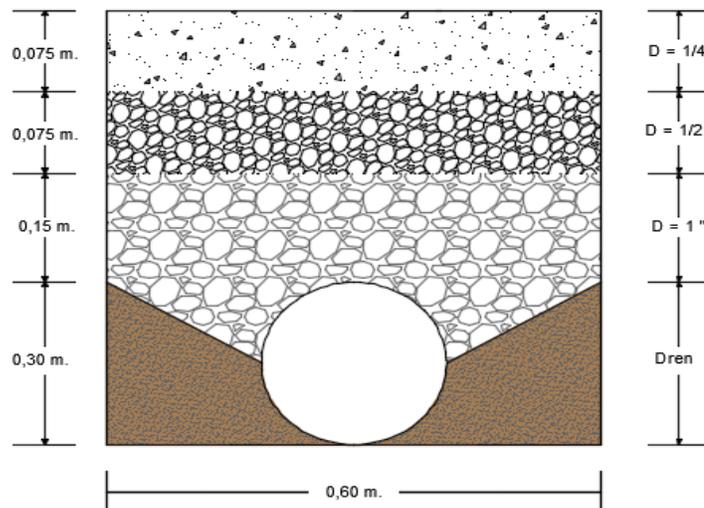
$$Y = 0.56 \text{ m}.$$

$$b = 1.12 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.30 \text{ m}.$$

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



- **Sección hidráulica para la calle Pio Martínez y Av. Juan De Dios Mealla.**

$$Q = k \cdot i \cdot A.$$

Datos:

$$Q = 0.373 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$K = 0.259 \text{ m}/\text{seg}.$$

$$i = 5.90 \text{ mm}/\text{mm}.$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b = 2y$$

$$0.373 = 0.259 \cdot 5.90 \cdot 2y^2$$

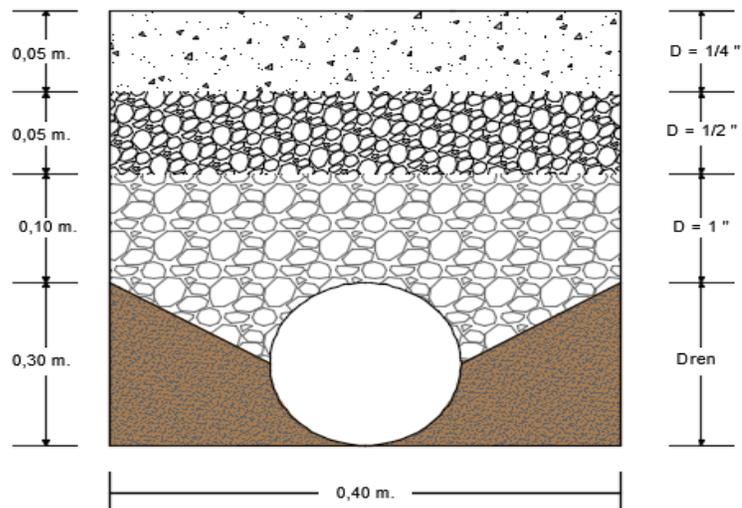
$$Y = 0.35 \text{ m}.$$

$$b = 0.70 \text{ m}$$

Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y = 0.20 \text{ m}.$$

$$b = 0.40 \text{ m}$$



- **Sección hidráulica para la Av. Juan De Dios Mealla Av. Dr. Jorge Paz Galarza.**

Datos:

$$Q=0.697 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$n.=0.075$ zona pastosa.

$$S=1\%$$

Trabajando como una sección de máxima eficiencia hidráulica tenemos que:

$$b.= 1.155y$$

$$0.697 = \frac{1}{0.075} * 5y^2 * 0.6981y^{2/3} * 0.01^{1/2}$$

$$Y= 0.49\text{m}.$$

$$b.=0.98\text{m}.$$

$$T= b+2zy.$$

$$T= 3.92 \text{ m}.$$

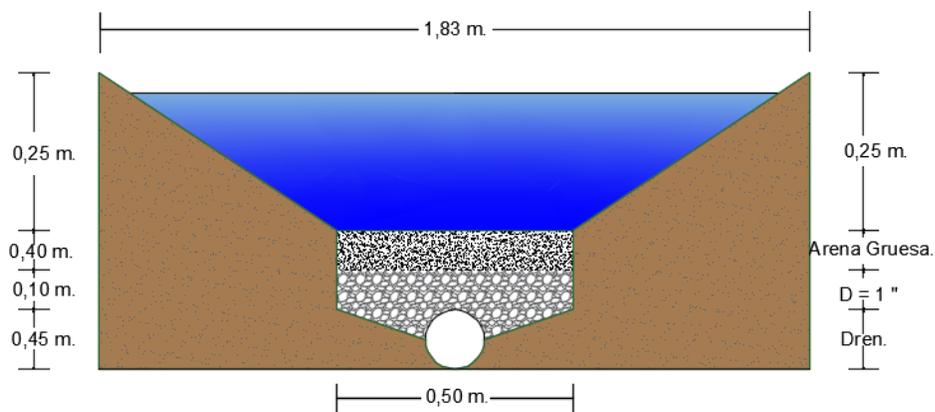
Para ambos lados de la acera de la calzada se tiene la sección hidráulica igual a:

$$Y=0.25 \text{ m}.$$

$$b.=0.49\text{m}$$

$$T= b+2zy.$$

$$T= 2 \text{ m}.$$



3.6 Presupuesto De Construcción De Las Obras Por Cada Barrio

PRESUPUESTO DE LA CONSTRUCCION DE DRENAJE NO CONVENCIONAL PARA EL BARRIO TABLADITA I

PRESUPUESTO DE LA ZANJA DE INFILTRACION						
N°	DESCRIPCION DEL ITEM	UNIDA D	CANTIDA D	P. U. TOTAL	COSTO Bs	COSTO LITERAL
1	Demolición de Aceras y Transporte	m2	1703,21	40,60	69157,54	sesenta y nueve mil ciento cincuenta y siete bolivianos con 54/100
2	Excavación Suelo Duro 0 - 1,5 m	m3	425,80	143,05	60909,22	sesenta mil novecientos nueve bolivianos con 22/100
3	provisión y Colocación De Tubería	m	3508,42	113,60	398554,86	trecientos noventa y ocho mil quinientos cincuenta y cuatro bolivianos con 86/100
4	Relleno con Material de drenaje	m3	425,80	287,24	122308,41	ciento veinte y dos mil trescientos ocho bolivianos con 45/100
5	Losa De Hormigón Para Tapas	m2	1703,21	696,64	1186519,45	un millón ciento ochenta y seis mil quinientos diez y nueve con 89/100
6	Recubrimiento Con Geo textil	m2	3406,41	178,47	607936,89	seiscientos siete mil novecientos treinta y seis bolivianos con 43/100
7	Cámaras De Inspección	pza	69,00	1348,01	93012,43	noventa y tres mil doce bolivianos con 43/100
8	bloques de hormigón	m3	255,53	858,28	219311,05	doscientos diez y nueve mil trescientos once mil bolivianos con 05/100
9	Limpieza	m2	1703,21	16,36	27870,38	veinte siete mil ochocientos setenta bolivianos con 38/100

MONTO TOTAL ZANJA DE INFILTRACION EN Bs	2785580,23	dos millones setecientos ochenta y cinco mil quinientos ochenta bolivianos con 23/100
--	-------------------	---

MONTO TOTAL ZANJA DE INFILTRACION EN Sus	400227,044 6	cuatrocientos mil doscientos veintisiete dolares con 045/100
---	-----------------	---

PRESUPUESTO DE LA CUNETA VERDE						
N°	DESCRIPCION DEL ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. TOTAL	COSTO Bs	COSTO LITERAL
1	Demolición de Aceras y Transporte	m2	2362,30	40,60	95919,38	noventa y cinco mil novecientos diez y nueve bolivianos con 38/100
2	Excavación con Maquinaria	m3	141,74	73,76	10454,31	diez mil cuatrocientos cincuenta y cuatro bolivianos con 31/100
3	Previsión y Colocación De Tubería	m	1181,15	113,60	134178,08	ciento treinta y cuatro mil ciento setenta y ocho bolivianos con 08/100
4	Relleno con Material de drenaje	m3	94,49	287,24	27141,67	veinte siete mil ciento cuarenta y uno bolivianos con 67/100
5	Relleno Perfilado y Compactado con máquina.	m3	271,66	79,45	21583,70	veinte y un mil quinientos ochenta y tres bolivianos con 70/100
6	Recubrimiento Con Geotextil	m2	1181,15	178,47	210798,05	doscientos dos mil setecientos noventa y ocho bolivianos con 05/100
7	Cámaras De Inspección	pza.	24,00	1348,01	32352,15	treinta y dos mil trescientos cincuenta y dos bolivianos con 15/100
8	provisión y colocación de césped	m2	2716,65	109,66	297899,96	disiento noventa y siete mil ochocientos noventa y nueve bolivianos con 96/100
9	Limpieza	m2	590,58	16,36	9663,87	nueve mil seiscientos sesenta y tres bolivianos con 87/100

MONTO TOTAL CUNETA VERDE EN Bs	839991,17	ochocientos treinta y nueve mil novecientos noventa y un bolivianos con 17/100
---	-----------	--

MONTO TOTAL CUNETAS VERDE EN Sus	120688,387	ciento veinte mil seiscientos ochenta y ocho dólares con 39/100
---	------------	---

MONTO TOTAL EN Bs	3625571,40	tres millones seiscientos veinte y cinco mil quinientos setenta y un bolivianos con 40/100
MONTO TOTAL EN Sus	520915,431 6	quinientos veinte y mil novecientos quince bolivianos con 43/100

PRESUPESTO DE LA CONSTRUCCION DE DRENAJE NO CONVENCIONAL PARA EL BARRIO SAN BERNARDO						
PRESUPUESTO ZANJA DE INFILTRACION						
Nº	DESCRIPCION DEL ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. TOTAL	COSTO Bs	COSTO LITERAL
1	Demolición de Aceras y Transporte	m2	4661,64	40,60	189282,32	ciento ochenta y nueve mil doscientos ochenta y dos bolivianos con 32/100
2	Excavación Suelo Duro 0 - 1,5 m	m3	1165,41	143,05	166707,89	ciento sesenta y seis mil setecientos siete bolivianos con 89/100
3	provisión y Colocación De Tubería	m	10559,20	113,60	1199520,14	un millón ciento noventa y nueve mil quinientos veinte bolivianos con 14/100
4	Relleno con Material de drenaje	m3	1165,41	287,24	334756,81	trescientos treinta y cuatro mil setecientos cincuenta y seis bolivianos con 81/100
5	Losa De Hormigón Para Tapas	m2	4661,64	696,64	3247480,99	tres millones doscientos cuarenta y siete mil cuatrocientos ochenta bolivianos con 99/100

6	Recubrimiento Con Geotextil	m2	9323,28	178,47	1663911,63	un millón seiscientos sesenta y tres mil novecientos once bolivianos con 63/100
7	Cámaras De Inspección	pza.	178,00	1348,01	239945,10	doscientos treinta y nueve mil novecientos cuarenta y cinco bolivianos con 10/100
8	bloques de hormigón	m3	776,94	858,28	666829,18	seiscientos sesenta y seis mil ochocientos veinte y nueve bolivianos con 18/100
9	Limpieza	m2	5179,60	16,36	84756,34	ochenta y cuatro mil setecientos cincuenta y seis bolivianos con 34/100

MONTO TOTAL ZANJA DE INFILTRACION EN Bs	7793190,39	siete millones setecientos noventa y tres mil ciento noventa bolivianos con 39/100
MONTO TOTAL ZANJA DE INFILTRACION EN Sus	1119711,26 4	un millón ciento diez y nueve setecientos once bolivianos con 26/100

PRESUPUESTO CUNETAS VERDES						
Nº	DESCRIPCION DEL ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. TOTAL	COSTO Bs	COSTO LITERAL
1	Demolición de Aceras y Transporte	m2	2704,92	40,60	109831,21	ciento nueve mil ochocientos treinta y uno bolivianos con 21/100
2	Excavación con Maquinaria	m3	787,61	73,76	58091,73	cincuenta y ocho mil noventa y uno bolivianos con 73/100
3	provisión y Colocación De Tubería	m	1710,13	113,60	194269,96	ciento noventa y cuatro mil doscientos sesenta y nueve mil bolivianos con 96/100
4	Relleno con Material de drenaje	m3	127,29	287,24	36563,26	treinta y seis mil quinientos sesenta y tres bolivianos con 26/100

5	Relleno Perfilado y Compactado con máquina.	m3	315,04	79,45	25030,59	veinte cinco mil treinta bolivianos con 59/100
6	Recubrimiento Con Geotextil	m2	1591,13	178,47	283966,56	doscientos ochenta y tres mil novecientos sesenta seis bolivianos con 56/100
7	Cámaras De Inspección	pza	32,00	1348,01	43136,20	cuarenta y tres mil ciento treinta y seis bolivianos con 20/100
8	provisión y colocación de césped	m2	1591,13	109,66	174479,02	ciento setenta y cuatro mil cuatrocientos setenta y nueve bolivianos con 02/100
9	Limpieza	m2	795,57	16,36	13018,22	trece mil diez y ocho bolivianos con 22/100

MONTO TOTAL CUNETAS VERDE EN Bs	938386,75	novecientos treinta y ocho mil trecientos ochenta y seis bolivianos con 75/100
MONTO TOTAL CUNETAS VERDE EN Sus	134825,682 3	ciento treinta y cuatro mil ochocientos veinte cinco dólares con 68/100

MONTO TOTAL EN Bs	8731577,14	ocho millones setecientos treinta y un mil quinientos setenta y siete bolivianos con 14/100
MONTO TOTAL EN Sus	1254536,94 6	un millón doscientos cincuenta y cuatro mil quinientos treinta y seis dólares con 95/100

PRESUPUESTO DE LA CONSTRUCCION DE DRENAJE NO CONVENCIONAL PARA EL BARRIO SAN JORGE II

PRESUPUESTO ZANJA DE INFILTRACION						
Nº	DESCRIPCION DEL ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. TOTAL	COSTO Bs	COSTO LITERAL
1	Demolición de Aceras y Transporte	m2	1692,72	40,60	68731,60	sesenta y ocho mil setecientos treinta y un bolivianos con 60/100
2	Excavación Suelo Duro 0 - 1,5 m	m3	423,18	143,05	60534,44	sesenta mil quinientos treinta y cuatro bolivianos con 44/100
3	provisión y Colocación De Tubería	m	3485,44	113,60	395944,34	trecientos noventa y cinco mil novecientos cuarenta y cuatro bolivianos con 34/100
4	Relleno con Material de drenaje	m3	423,18	287,24	121555,84	ciento veinte y un mil quinientos cincuenta y cinco bolivianos con 84/100
5	Losa De Hormigón Para Tapas	m2	1692,72	696,64	1179215,05	un millón ciento setenta y nueve mil doscientos quince bolivianos con 05/100
6	Recubrimiento Con Geotextil	m2	3385,44	178,47	604194,34	seiscientos cuatro mil ciento noventa y cuatro bolivianos con 34/100
7	Cámaras De Inspección	pza.	68,00	1348,01	91664,42	noventa y un mil seiscientos sesenta y cuatro bolivianos con 42/100
8	bloques de hormigón	m3	253,91	858,28	217923,21	doscientos diecisiete mil novecientos veinte y tres bolivianos con 21/100
9	Limpieza	m2	1692,95	16,36	27702,64	veinte y siete mil setecientos dos bolivianos con 64/100

MONTO TOTAL ZANJA DE INFILTRACION Bs	2767465,87	dos millones setecientos sesenta y siete cuatrocientos sesenta y cinco bolivianos con 87/100
---	-------------------	--

MONTO TOTAL ENZANJA DE INFILTRACION Sus	397624,4071	treientos noventa y siete mil seiscientos vente y cuatro bolivianos con 41/100
--	-------------	---

PRESUPUESTO CUNETETA VERDE						
N°	DESCRIPCION DEL ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. TOTAL	COSTO Bs	COSTO LITERAL
1	Demolición de Aceras y Transporte	m2	2248,52	40,60	91299,43	noventa y un mil doscientos noventa y nueve bolivianos con 43/100
2	Excavación con Maquinaria	m3	674,56	73,76	49753,51	cuarenta y nueve mil setecientos cincuenta y tres bolivianos con 51/100
3	provisión y Colocación De Tubería	m	1180,26	113,60	134076,98	ciento treinta y cuatro mil setenta y seis bolivianos con 98/100
4	Relleno con Material de drenaje	m3	89,92	287,24	25828,96	veinte cinco mil ochocientos veinte y ocho bolivianos con 96/100
5	Relleno Perfilado y Compactado con máquina.	m3	224,85	79,45	17864,75	diecisiete mil ochocientos sesenta y cuatro bolivianos con 75/100
6	Recubrimiento Con Geotextil	m2	1124,26	178,47	200644,98	doscientos mil seiscientos cuarenta y cuatro bolivianos con 98/100
7	Cámaras De Inspección	pza.	23,00	1348,01	31004,14	treinta y un mil cuatro bolivianos con 14/100
8	provisión y colocación de césped	m2	1591,13	109,66	174479,02	ciento setenta y cuatro mil cuatrocientos setenta y nueve bolivianos con 02/100
9	Limpieza	m2	1124,26	16,36	18396,82	dieciocho mil trescientos noventa y seis bolivianos con 82/100

MONTO TOTAL CUNETETA VERDE EN Bs	743348,59	setecientos cuarenta y tres mil trescientos cuarenta y ocho bolivianos con 59/100
--	-----------	--

MONTO TOTAL CUNETTA VERDE EN Sus	106802,9586	ciento y seis mil ochocientos dos dólares con 96/100
--	-------------	--

MONTO TOTAL EN Bs	3510814,46	tres millones quinientos diez mil ochocientos catorce bolivianos con 46/100
MONTO TOTAL EN Sus	504427,3656	quinientos cuatro mil cuatrocientos veinte siete bolivianos con 37/100

3.7.2. Análisis de los resultados obtenidos

3.7.2.1 En condición de transitabilidad.

Se realizó un análisis de tráfico respecto a la velocidad donde se obtuvieron los siguientes resultados, tanto para aforo de velocidad con agua en la calzada y velocidad sin agua en la misma, donde se establece una notoria reducción por la presencia de agua en las calles de dichos barrios, esta presencia de agua en las calzadas provoca una incomodidad en tanto en los conductores, porque reduce el ancho de la vía de circulación, también reduce la fricción pavimento neumático y genera una niebla por el salpicado, provocando en algunos casos riesgos de accidentes de tránsito, el deterioro del vehículo y del pavimento mismo en las partes bajas por la presencia de varias horas que puede quedar detenida el agua.

En cuanto a la transitabilidad de los peatones se ve prácticamente imposible poder circular por las aceras y cruzar las calles por el salpicado de agua que genera un vehículo y por los tirantes que se generan que sobre pasan los 40 cm, y en estos barrios más aun por que no cuentan con un drenaje de tipo convencional o pluvial, utilizando de esta forma la calzada como un medio para drenar el agua proveniente de precipitación, causando de este modo que se formen grandes caudales en las intercepciones y puntos bajos y generando un riesgo inminente de inundación de la propiedad pública y privada.

Barrio TABLADITA I

VELOCIDAD CON AGUA EN LA CALZADA.

$$V=19.359 \text{ m/seg}$$

VELOCIDAD SIN AGUA EN LA CALZADA.

$$V=29.377 \text{ m/seg.}$$

Porcentaje de reducción de transitabilidad con agua en la calzada es igual a:

Factor De reducción 34.10%

En este barrio se tuvo una reducción de velocidad del treinta y cuatro por ciento por lo cual podemos decir que estamos en una reducción de un tercio de la velocidad promedio normal que circula normalmente.

- Barrio SAN BERNARDO.

VELOCIDAD CON AGUA EN LA CALZADA.

$$V=19.066 \text{ m/seg}$$

VELOCIDAD SIN AGUA EN LA CALZADA.

$$V=37.786 \text{ m/seg.}$$

Porcentaje de reducción de transitabilidad con agua en la calzada es igual a:

Factor De reducción 50.458%

En el barrio San Bernardo se evidencia una reducción en un cincuenta por ciento por lo que vemos que en este barrio el factor de reducción de la transitabilidad es el agua en la calzada a falta de un drenaje que pueda evacuar estas aguas provenientes de la lluvia, en este barrio se obtuvo un valor mayor de reducción por ser un barrio de poco tráfico en lo que se refiere a la avenida la paz, en donde los vehículos imprimen grandes velocidades.

- Barrio SAN JORGE II.

VELOCIDAD CON AGUA EN LA CALZADA.

$$V=17.873 \text{ m/seg}$$

VELOCIDAD SIN AGUA EN LA CALZADA.

$$V=35.661 \text{ m/seg.}$$

Porcentaje de reducción de transitabilidad con agua en la calzada es igual a:

Factor De reducción 50.119%

En donde se puede establecer una reducción hasta en un cincuenta por ciento por lo que se puede evidenciar que con agua en la calzada la reducción es evidente en algunos

casos es perjudicial para la normal circulación en dichas calles, donde se trata de una zona residencial con un tráfico reducido y donde en época seca se imprime mucha velocidad pero en época de lluvias se ve afectada por el agua en la calzada, por tener una pendiente pronunciada y la confluencia de prácticamente todas las calles a un solo punto bajo lo que es la avenida JUAN DE DIOS MEALLA, haciendo que esta sobrepase las aceras por no contar con un sistema de drenaje urbano.

3.7.2.2 Estudio de permeabilidad

Se realizó el estudio de permeabilidad para los barrios en estudio donde se obtuvo los siguientes resultados:

- Barrio tabladita.

$$I = \frac{58}{28800} = 0.0020 \frac{mm}{seg}$$

- Barrio San Bernardo.

$$I = \frac{5.167}{28800} = 0.00018 \frac{mm}{seg}$$

- Barrio San Jorge II.

$$I = \frac{15.167}{28800} = 0.000537 \frac{mm}{seg}$$

El estudio de permeabilidad se lo realizó durante 8 horas en donde se puede evidenciar que se cuenta con suelos prácticamente impermeables por que la infiltración en este tiempo fue típica de una arcilla que se encuentra entre los rangos (0.001-00001) donde se puede evidenciar que no existe infiltración y por lo tanto funcionara en este caso como un sistema normal de conducción de agua hacia un punto de desembocadura o de posterior almacenamiento para un reusó adecuado en riego de las mismas cunetas vegetadas o áreas verdes de la zona como plazas o jardines teniendo en cuenta que la misma pasa por un tratamiento previo que se genera con la infiltración en el material permeable.

El estudio de permeabilidad del forro filtrante da valores muy satisfactorios, el valor que se obtuvo es de: **K=25,9cm/seg**. Lo cual nos garantiza la infiltración necesaria para evacuar el agua de la calzada rápidamente y conducirla hacia un punto de desembocadura más cercano de la zona.

3.7.2.3 Análisis de la hidrología (intensidad máxima utilizada)

Se realizó el cálculo de la hidrología mediante la fórmula de Gumbell con la cual se obtuvo una intensidad máxima igual a **I_{max}= 188.05mm/h**, para un tiempo de concentración mínimo recomendado por la norma boliviana NB 688 de alcantarillado sanitario y pluvial donde nos establece como un tiempo mínimo igual a 10 min. Haciendo una comparación con la ecuación definida por Absalon Harmin Mamani Fita en su trabajo de tesis "Estimación y actualización de las ecuaciones Intensidad-Duración – Frecuencia para las principales ciudades y poblaciones del departamento de Tarija" basada en el modelo de Sherman donde para la ciudad de Tarija se tiene la siguiente ecuación:

$$I = \frac{896.1416 * T^{0.132751}}{(d + 3)^{0.8}}$$

Dónde:

I= Intensidad

d= Duración de la lluvia o tiempo de concentración en minutos.

T= Periodo de retorno en años (5 años)

Para el cálculo de la intensidad se considerará un tiempo de concentración igual al tiempo de entrada.

$$T_c = T_e = 10\text{min}$$

Intensidad

$$I = \frac{896.1416 * 5^{0.132751}}{(10 + 3)^{0.8}} = 142.56 \frac{mm}{h}$$

Donde realizando la comparación entre ambas ecuaciones se opta para este presente estudio de utilizar la ecuación Sherman adecuada a las condiciones de la ciudad de Tarija propuesta en su trabajo de tesis de grado de Absalon Harmin Mamani Fita.

3.7.2.4 Alternativa escogida para aplicar en las zonas de estudio

Teniendo en cuenta la topografía, y geometría de las calles de los barrios en estudio se optó por utilizar dos alternativas que mejor se adecuan a las calles de estos barrios las alternativas son las cunetas verdes y los drenes filtrantes o zanjas de infiltración, las mismas serán implementadas en las aceras para evacuar el agua de la calzada lo más rápido posible garantizando de este modo la transitabilidad de vehículos y peatones en época de lluvia.

El análisis de la comparación de costos se realizara con la tesis de proyecto de grado “DISEÑO FINAL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA EL BARRIO PEDRE ANTONIO FLORES DE LA CIUDAD DE TARIJA”. Realizada por Carlos Ramiro Hoyos Alvarez. Donde se tiene las siguientes conclusiones:

- **Área total de diseño**
18.86 has.
- **Presupuesto total del diseño**
1304266.32 Bs.

Para relacionar con el proyecto actual se realizó una comparación de áreas entre la tesis y el trabajo presente.

Realizaremos una relación entre áreas de estudio y el precio.

Barrio tabladita I

- **Área de diseño**
10.308 has.

Presupuesto para un diseño convencional.

- **Presupuesto de diseño**

712851.391 Bs.

Presupuesto para las alternativas de drenaje no convencional.

- Presupuesto de diseño.
3625571.17 Bs.

Barrio San Bernardo

- Área de diseño
22.768 has.

Presupuesto para un diseño convencional.

- Presupuesto de diseño
1574524.686 Bs.

Presupuesto para las alternativas de drenaje no convencional.

- Presupuesto de diseño.
8731577.14 Bs.

Barrio San Jorge II

- Área de diseño
11.724 has.

Presupuesto para un diseño convencional.

- Presupuesto de diseño
810775.097 Bs.

Presupuesto para las alternativas de drenaje no convencional.

- Presupuesto de diseño.
3510814.46 Bs.

Análisis Técnico, Económico, Social Y Ambiental, Entre Un Drenaje Convencional Con Las Alternativas De Drenaje No Convencional.

ANALISIS TECNICO ECONOMICO SOCIAL Y AMBIENTAL		
ANALISIS	Alternativas de Drenaje No Convencional	Drenaje Convencional

<p style="text-align: center;">Aspecto Técnico</p>	<p>Técnicamente las alternativas de drenaje pluvial son alternativas de un drenaje medio a lento por tratarse de sistemas que buscan la infiltración en el subsuelo y así de este modo les convierte técnicamente en desventaja ante un sistema de drenaje convencional y más aún en los barrios de nuestra ciudad de Tarija después del estudio de clasificación de suelos donde se determinó que los mismos corresponden a arcillas con un bajo coeficiente de infiltración, a pesar que las alternativas propuestas en el presente trabajo de tesis tratan de captar el agua al inicio en donde se está generando las escorrentías además de realizar una captación rápida de no dejar llegar el agua proveniente de patios ni de techos de las viviendas a la calzada.</p>	<p>Un sistema de drenaje convencional a lo contrario de las alternativas de drenaje sostenible usa las calzadas como elementos de transporte de agua de lluvia generando en algunos casos que se ocupe parte de los carriles por donde transitan los vehículos, pero una vez llegada a las bocas tormentas estas aguas son evacuadas inmediatamente por tubos colectores hacia un punto de desembocadura.</p>
	<p>En la parte económica se realizó un análisis del presupuesto total para toda la obra de las alternativas propuestas por cada barrio de donde se tienen los siguientes resultados.</p>	<p>El presupuesto para las obras de un drenaje convencional se la realizo una comparación con un proyecto de tesis de grado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Barrio Tabladita I

<p>Aspecto Económico</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Barrio Tabladita I. 3625571,40 Bs. • Barrio San Bernardo. 8731577,14 Bs. • Barrio San Jorge II 3510814,46 Bs. <p>donde se puede evidenciar que son obras de una inversión fuerte inicial y durante su operación de igual manera porque necesitan de un mantenimiento riguroso y una concientización y educación de la población en su conjunto</p>	<p>712851.391 Bs.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Barrio San Bernardo 1574524.686 Bs. • Barrio San Jorge II 810775.097 Bs. <p>Las obras de drenaje convencional en cuanto al precio se trata de sistemas de menor inversión inicial, y de un mantenimiento eventual.</p>
<p>Aspecto Social</p>	<p>Dentro del aspecto social las alternativas de drenaje no convencional necesitan de un alto mantenimiento y participación de la ciudadanía en su conjunto para evitar contaminar y botar residuos sólidos flotantes para no obstruir de esta forma el material permeable, y de tratar a estas alternativas como parte de jardines públicos en el caso de las cunetas verdes.</p>	<p>Las obras de drenaje convencional no necesitan de un mantenimiento riguroso por tratarse de estructuras que van en el subsuelo el mantenimiento que se realiza es periódico solo de cámaras de inspección y las bocas de tormenta que no se encuentren saturadas este mantenimiento se lo realizara en caso que sea necesario.</p>

<p style="text-align: center;">Aspecto Ambiental</p>	<p>En el aspecto ambiental las alternativas planteadas son alternativas que apoyan mucho en ese sentido por tratarse de alternativas que buscan recrear el ciclo hidrológico antes de la actuación humana o antes de la urbanización tienen la misión de infiltrar el agua en el subsuelo, haciéndole pasar por un filtro tratando de limpiar y descontaminar el agua en lo posible, para después en algunos casos almacenarlas en reservorios, posteriormente reutilizarla o desembocarla al medio de receptor natural de una manera más limpia y más regulada, también reducir el calor y dar a la ciudadanía un aspecto más ecológico, paisajístico y agradable.</p>	<p>En este aspecto los alcantarillados de drenaje pluvial no aportan ningún beneficio ambiental más al contrario producen una descarga rápida a los medios receptores como ser quebradas o ríos, alterando de este modo su régimen normal y a las propiedades próximas a los mismos, causando daños a la biodiversidad por los contaminantes que arrastran de las calles y avenidas,</p>
--	---	--

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

- Se identificó tres zonas o barrios urbanos los cuales no cuentan con un drenaje de agua de lluvia, haciendo de esta forma que se generen grandes charcos a lo largo de sus calles e intersecciones.
- Se consultó toda la bibliografía posible de sistemas de drenaje urbano no convencional en donde se estableció dos alternativas que mejor se adecuan a la geometría de las aceras de sus calles de las zonas en estudio.
- Los barrios estudiados y que se evidencio que si tienen problemas en tránsito de vehículos y peatones en época de lluvias uno por la topografía que presentan y otro por que no cuentan con un sistema de evacuación de aguas pluviales donde en muchos casos se entra hasta en las viviendas de los vecinos del lugar.
- Se logró constatar y verificar una disminución considerable de la velocidad por la presencia de agua en la calzada lo cual produce incomodidad en la ciudadanía en su conjunto.
- El estudio de la hidrología se la evaluó con dos formas una por la ecuación de Gumbell, y otra por la tesis de Absalon Harmin Mamani Fita en su trabajo de

tesis "Estimación y actualización de las ecuaciones Intensidad- Duración – Frecuencia para las principales ciudades y poblaciones del departamento de Tarija" en donde optamos por esta ultima la cual se adecua más a las características de la zona.

- Las alternativas de drenaje convencional que más se adecua a las aceras de las zonas en estudio son las cunetas verdes y las zanjas de infiltración o drenes franceses.
- El diseño se lo realizo mediante la fórmula de maninng para la cuneta verde y la formula reducida de Darcy para secciones porosas, estableciendo las dimensiones más adecuadas para la evacuación total del agua de la calzada.
- La hipótesis planteada para este estudio no se cumple puesto que con las alternativas de drenaje no convencional no se lograra la adecuada transitabilidad en las calles y avenidas de nuestros barrios en estudio, por tratarse de sistemas de infiltración lo que hace que el proceso de evacuación sea más lento en comparación con uno de drenaje convencional.
- Las alternativas planteadas en cuanto al **aspecto técnico** son más lentas para evacuar el agua proveniente de la escorrentía directa que un sistema de drenaje convencional, pero si se puede emplazar en suelos con una permeabilidad adecuada para hacer que infiltre en el subsuelo, aportar la recarga de los acuíferos, reducir diámetros de los colectores, evitar la contaminación por el arrastre directo de contaminantes de las calles y avenidas y de esta manera reducir los caudales pico de aporte directo a los cauces naturales donde desembocan.
- En cuanto al **aspecto económico** se puede decir que su precio es más alto y no es factible de construirla en barrios con una alta densidad poblacional, pero si en barrios o urbanizaciones nuevas y no así en zonas ya consolidadas por el movimiento de tierras que se necesita realizar, y los otros servicios básicos ya existentes en la zona para no causar incomodidades, también por el minucioso mantenimiento que se tiene que realizar en dichas obras para tratar que no se saturen por el arrastre de sedimentos y basura que existe en las calles y avenidas.

- Teniendo en cuenta el **aspecto social** las alternativas planteadas necesita de un mantenimiento riguroso y una concientización de la población para mantener el drenaje libres de basuras, para así de esta forma garantizar su adecuado funcionamiento.
- En el **aspecto ambiental** son obras que van a dar un aporte adecuado ya que las mismas funcionan como filtros de los contaminantes que se generan en las calles de las ciudades, por su cobertura verde reduce el calor y le aporta un aroma agradable al medio ambiente.

4.2 Recomendaciones.

- Se tiene que tener mucho cuidado al momento de la estimación de la hidrología tratando que los datos sean los más precisos, para evitar un sobredimensionamiento de las obras de drenaje por el costo que implican las mismas.
- Por tratarse de obras nuevas en nuestro medio se recomienda buscar mucha información de experiencia en países vecinos y hacer un manipuleo e interpretación correcta de la misma para no utilizar alternativas que no se adecuen a la zona por el tipo de suelo y geometría de las calles de nuestras urbanizaciones.
- Se recomienda a las autoridades municipales prever y planificar las nuevas urbanizaciones con más áreas verdes y espacios más amplios de veredas, de aceras y calzadas, para así de este modo tener una ciudad con más áreas verdes y reducir los picos de escorrentía superficial y el sobrecalentamiento por las áreas impermeables que presentan actualmente nuestros barrios.
- Estas obras requieren de un mantenimiento periódico para evitar la obstrucción del material permeable y una concientización de los habitantes de las zonas de emplazamiento para evitar que los mismos echen basura en dichas obras.
- Se recomienda el uso de estas alternativas en zonas o barrios de baja densidad poblacional con espacios más amplios de aceras para emplazarlas adecuadamente, en cuanto al tipo de suelos se recomienda suelos con alta permeabilidad para que de esta manera se produzca la infiltración en el

subsuelo y se recarguen los acuíferos, se reduzcan los picos de aporte directo de escorrentía urbana hacia los cauces naturales donde se vierten estas aguas.

- También se recomienda el uso de estas alternativas en drenaje de carreteras para reemplazar las cunetas impermeables, o en zonas urbanas de ciudades con una mayor regularidad de precipitación por tratarse de cunetas vegetadas que necesitan estar la mayor cantidad de tiempo húmedas para que no se sequen la vegetación que las compone.