

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción.

El desarrollo de la ciudad de Tarija, trajo como consecuencia una pérdida de superficie permeable debido a la urbanización de la misma, de esta manera se reduce el caudal de infiltración en las áreas de aporte a cada sumidero, generando caudales de escorrentías mayores.

De igual manera, las modificaciones realizadas en las calles de la zona central de Tarija, disminuyeron la capacidad hidráulica de las vías, al reducir el ancho de la calzada. De esta manera, se produjo tirantes de agua elevados que dificultan el tránsito vehicular en presencia de lluvia.

Al producirse una precipitación de alta intensidad, los caudales generados no son captados en forma eficientes por los sumideros, provocando escorrentías a través de las calzadas que representan una amenaza para los usuarios. La presencia de agua reduce la adherencia entre la llanta y el hormigón, por otro lado, el salpicado continuo y la niebla que se produce reducen la visibilidad siendo los causales de accidentes.

En España un grupo de Investigación de la Universidad de Cantabria, creó en el año 2003 la línea de investigación denominada “Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible”, con la colaboración de la Universidad de Coventry de Reino Unido, donde se plantea una alternativa a partir de sistemas de recepción directa del agua de lluvia o de la escorrentía superficial en los que se permite la infiltración superficial. Se trata de sistemas que, además de poder estar conectados a otros, pueden por si mismos cerrar el ciclo del agua conectando la superficie con el sustrato permeable. Dentro de estos sistemas se encuentran los firmes permeables, que son una sección construida por el hombre de manera que permita el paso vertical del agua a través suyo, entre los que se presentan aceras y caminos, tanto de vehículos como de personas.

La utilización de un sistema adicional de recepción de aguas de lluvia en la ciudad de Tarija reduciría las inundaciones de las vías, brindando un mejor servicio a los usuarios y seguridad a los vecinos.

Basándonos en estudios previos y utilizando hormigón drenante como firme permeable, se pretende determinar el porcentaje de reducción de los tirantes de agua producidos en los sumideros. De esta forma, se obtendrá un valor que pueda ser utilizado en el diseño de pavimento de nuevas vías o en reestructuración de la carpeta de rodadura en calles de la zona central de la ciudad de Tarija.

1.2 Justificación.

La presencia de agua en las calles producidas por precipitación, la impermeabilidad de la capa de rodadura y la deficiencia de captación de los sumideros por obstrucciones o falta de mantenimiento, ponen en riesgo la seguridad de los usuarios, debido a que el agua disminuye la adherencia entre neumático - calzada, y la niebla producida por la lluvia disminuye la visibilidad y causa fatiga en el conductor; las cuales son causales de accidentes.

Las implementaciones de los sistemas urbanos de drenaje sostenible ayudan a contrarrestar los efectos negativos de la urbanización en el ciclo hidrológico. Por medio de estos se mejora la calidad del agua de lluvia en el sitio donde se produce; así se pueden obtener beneficios gracias al almacenamiento, no sólo para el aprovechamiento del agua en las actividades diarias, sino en el control de inundaciones que con el cambio climático y la impermeabilidad de las zonas urbanizadas día a día se hacen más evidentes.

La utilización de un material permeable como capa de rodadura en la reestructuración de las calles de la ciudad reduciría el caudal de escorrentía, porque serviría como un sistema de captación de agua por infiltración a lo largo de las calles y avenidas. De esta manera, se disminuiría el tirante de agua presente en las calzadas y se brindaría un mejor servicio a los usuarios.

Una de las alternativas posibles para la solución de esta problemática es el uso de pavimentos de hormigón drenante. Lamentablemente, en nuestro país no se realizó la aplicación de esta tecnología que conlleva importantes beneficios económicos y ambientales como el control del agua que escurre superficialmente, la reducción de la contaminación acústica, el aumento de la seguridad vial y la reducción de costos, considerando integralmente el sistema vial y el sistema de drenaje pluvial. Se destaca, además, la posibilidad que brinda este material para lograr pavimentos de hormigón drenante coloreado, con tonos naturales de la tierra que se usan para integrar el hormigón con el paisaje circundante y reducir la ganancia de calor o el uso de un color de contraste que ayuda a localizar e identificar distintas zonas de circulación.

Para poder estimar el resultado que produciría la utilización de pavimento drenante en las calles de la ciudad de Tarija, el presente trabajo pretende determinar en qué medida se reduce el tirante de agua al utilizar una calzada permeable, obteniendo un valor que pueda ser utilizado en el cálculo de pavimento en nuevas calles o en la restructuración de calles antiguas como ser el centro de la ciudad de Tarija.

Con la obtención de estos valores se podrá determinar si la utilización de calzadas de hormigón drenante en puntos bajos de la ciudad de Tarija son una solución viable al problema de la evacuación de aguas. De esta manera, se tendrá una base para la utilización de este sistema que brindaría seguridad a los usuarios, flujo normal de circulación vehicular en presencia de lluvia y reduciría el riesgo de inundaciones.

1.3 Diseño teórico.

1.3.1. Planteamiento del problema.

1.3.1.1. Situación Problemática.

La impermeabilización del área urbana como consecuencia del desarrollo de la ciudad de Tarija, impide la infiltración de las aguas caídas por precipitación, generando de esta manera caudales mayores que no pueden ser captados en su totalidad por los sumideros, situación que genera la presencia de agua en las calzadas que ponen en riesgo la seguridad de los usuarios.

En nuestro medio no se cuenta con proyectos que nos sirvan como experiencia y permitan tener una referencia para la utilización de material como sistema adicional de recepción de aguas de lluvia. Por esta razón, las instituciones y empresas no consideran este tipo de pavimentos como una alternativa de solución al drenaje de aguas por no saber el resultado que se podría obtener.

Con el fin de contar con una estimación del resultado que puede producir la utilización de este pavimento, es necesario conocer de qué manera influye la utilización de hormigón drenante en los tirantes y analizar el comportamiento de los sumideros para determinar la aplicabilidad de este tipo de pavimento en la ciudad de Tarija.

1.3.1.2. Problema.

¿Cuál es el caudal de infiltración que genera la utilización de pavimento drenante para reducir tirantes en puntos críticos de la ciudad de Tarija?

1.3.2. Objetivos.

1.3.2.1. Objetivo General.

Realizar el análisis de sumideros en puntos críticos de la ciudad de Tarija con la aplicación de pavimento drenante.

1.3.2.2. Objetivos Específicos.

- Analizar y estudiar las características y metodologías para el diseño de pavimento drenante.
- Estudiar la metodología de diseño de sumideros en vías urbanas.
- Realizar la hidrología e hidráulica para sumideros, y determinar los tirantes generados en los puntos críticos de la ciudad de Tarija.
- Estimar el caudal de infiltración que genera el pavimento drenante y determinar la reducción del tirante en la calzada.
- Establecer la relación entre tirante en la calzada y captación del sumidero.
- Definir la relación entre caudal de escorrentía y caudal de infiltración producido por el pavimento drenante.

- Establecer los resultados finales del análisis de sumideros con la utilización de pavimento drenante en puntos críticos de la ciudad de Tarija.
- Realizar las conclusiones y recomendaciones del trabajo de aplicación.

1.4.Diseño Metodológico.

1.4.1. Componentes.

1.4.1.1. Unidad de estudio.

Los sumideros del sistema pluvial de la ciudad de Tarija.

1.4.1.2. Población.

Sumideros de la ciudad de Tarija.

1.4.1.3. Muestra.

Sumideros en puntos críticos de la ciudad de Tarija con alternativa de pavimento drenante.

1.4.1.4. Muestreo.

Los sumideros a ser analizados corresponden a los ubicados en los puntos más críticos de la ciudad de Tarija.

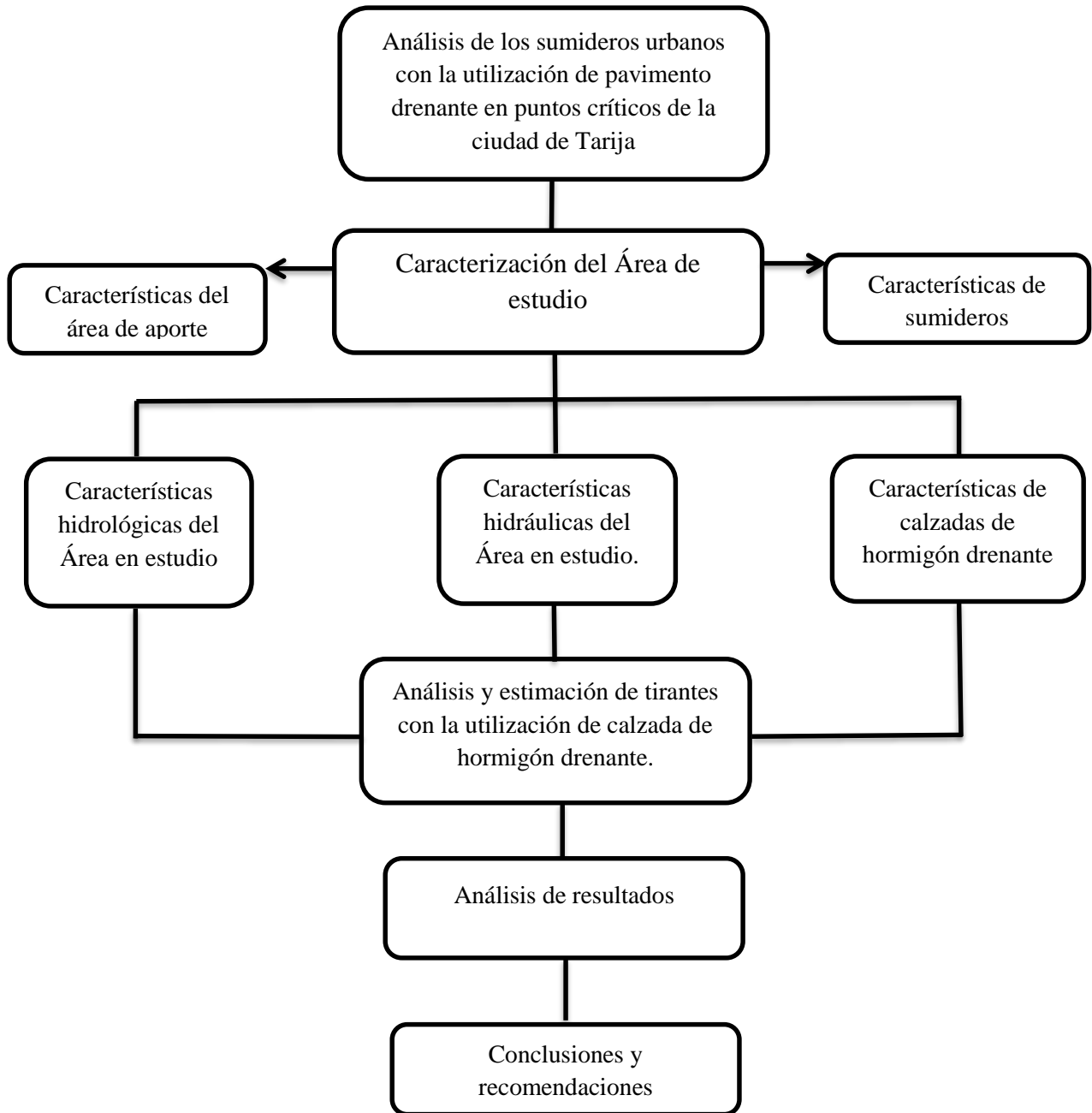
1.4.2. Métodos y técnicas empleadas.

1.4.2.1. Metodología.

Para analizar los sumideros con la utilización de pavimentos de hormigón drenante, se seguirán los siguientes pasos:

- Ubicar los puntos críticos de la ciudad de Tarija a ser estudiados.
- Realizar la hidrología para sumideros y obtener los caudales generados.
- Determinar la captación de los sumideros y establecer las características hidráulicas de las vías en estudio.
- Determinar el material a ser utilizado en la elaboración del hormigón drenante, realizar los ensayos de laboratorio y obtener su dosificación.
- Realizar los ensayos de infiltración y estimar el caudal de reducción en la calzada.

- Determinar el caudal reducido debido a la captación del sumidero y la infiltración en el pavimento drenante, obteniendo el tirante que se produciría con la utilización de un firme permeable.
- Realizar un análisis de los resultados.



1.4.2.2. Técnicas.

Las técnicas en este trabajo de aplicación son documentales y experimentales.

- Documentales por los documentos bibliográficos a utilizar para el diseño de sumideros y dosificación de hormigón drenante.
- Experimentales porque se realizarán ensayos de laboratorio para establecer la dosificación y el caudal de infiltración en el hormigón drenante.

1.4.2.3. Medios.

Para la ejecución del proyecto de aplicación se utilizarán los siguientes materiales:

- Plano de la ciudad de Tarija.
- Cinta métrica
- Instrumentos de laboratorio de hormigones como ser: juego de Tamices, recipientes, moldes, varillas, hornos, balanzas eléctricas.



Juego de tamices



Recipiente



Balanza



Molde y varilla

Figura 1. Equipos de laboratorio

A: Juego de Tamices. B: Recipiente. C: Balanza. C: Moldes y varillas

- Equipo de ensayo de permeabilidad.



Figura 2. Equipos de ensayos de permeabilidad recomendados por ACI

CAPÍTULO II

DISEÑO DE SUMIDEROS CON CALZADA DE PAVIMENTO DRENANTE

2.1. Aspectos generales del drenaje urbano

2.1.1. Vías urbanas

2.1.1.1. Características

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 como se controlan 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 el esparcimiento máximo permitido, la profundidad del agua en la cuneta o en el bombeo de la calle o tipos de entrada.

Regularmente, desde el punto de vista del sistema de transporte de drenaje de 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, 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 agua de lluvias sobre la calzada.

En términos prácticos se podría clasificar el sistema de calles de acuerdo a sus dimensiones y uso, en local, recolector, principal o autopista, dependiendo del tránsito promedio diario.

Tabla 1. Características de las calles

Clasificación	Función	Ancho / número de carriles	Señalización e intersecciones	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
Recolectoras	Recogen y transportan el tráfico entre las calles locales y arteriales.	Ancho bajo y moderado con dos o cuatro carriles móviles.	Señales de pare o de tránsito.	Uno o ambos 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 acceso	Usualmente prohibido.
Autopistas.	Proporcionan un transporte rápido y eficiente a largas distancias.	Ancho alto con cuatro carriles o más.	Cruce en trébol y rampas de acceso. Acceso limitado.	Siempre prohibido.
Fuente: Héctor Rodríguez Díaz. Drenaje Urbano. Elementos de diseño				

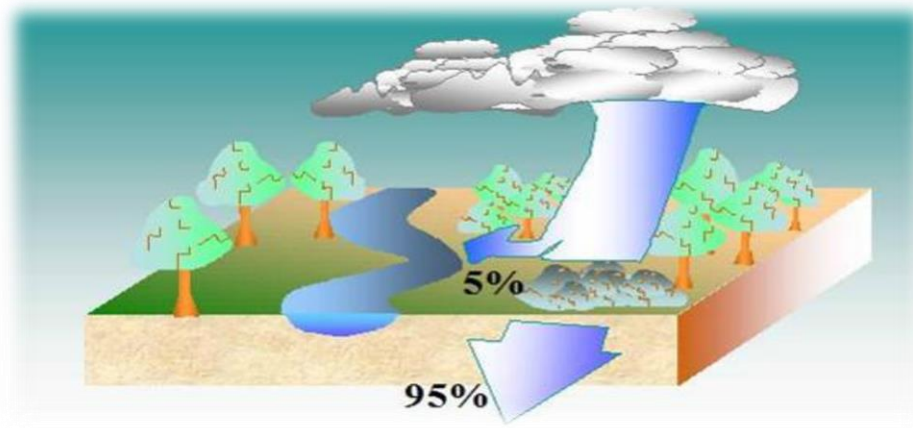
2.1.1.2. Esguimiento superficial

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 esgorentía superficial y subsuperficial. Esta esgorentía 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 apenas es permeable, 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 difícilmente se produce la 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.

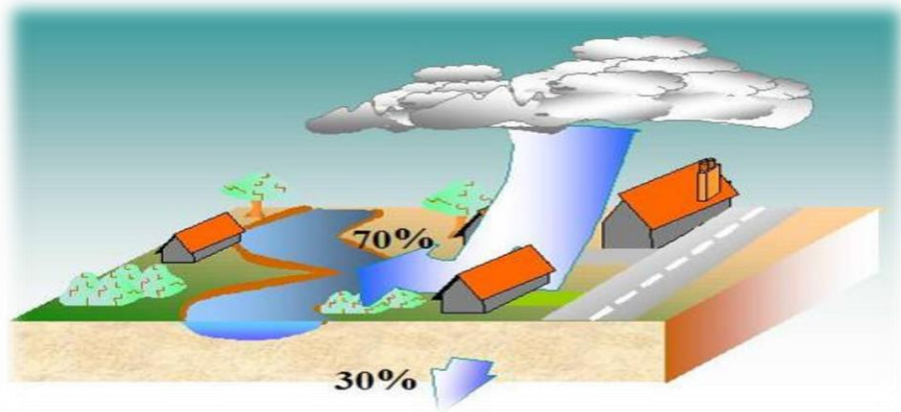
Se estima como media que, en una zona natural sin urbanizar, el porcentaje de agua que se gestiona de forma natural sin producir escorrentía es de un 95%, la cual se vierte a los cauces naturales.



Fuente: Coupe, S.

Figura 3. Reparto de escorrentía e infiltración en un entorno natural

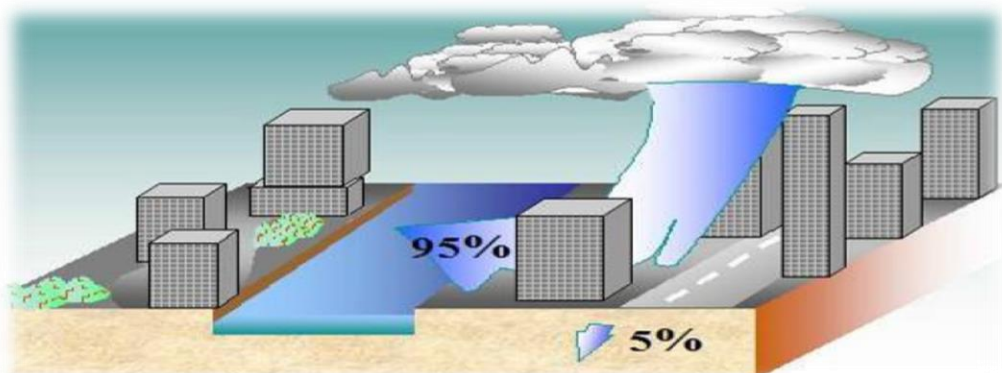
En el caso de una zona urbanizada de baja densidad, como pueden ser entornos rurales y zonas residenciales fuera de los núcleos de las ciudades, el valor de infiltración decrece hasta un 30%, con lo que se genera una escorrentía del 70%.



Fuente: Coupe, S.

Figura 4. Reparto de escorrentía e infiltración en un entorno rural

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.



Fuente: Coupe, S.

Figura 5. Reparto de escorrentía e infiltración en un entorno urbano

Debido a la creciente urbanización producida en nuestros entornos, se requiere cada vez más una adecuada gestión de esas ingentes cantidades de esorrentía superficial que se generan en nuestras ciudades.

2.1.2. Componentes en un drenaje urbano

2.1.2.1. Cordones de andén y cunetas

Los cordones de andén y cunetas proveen delimitación 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.



Figura 6. Cordón de andén y cuneta

2.1.2.2. 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 los coloca en los puntos bajos del terreno, donde pudiera acumularse el agua.



Figura 7 Sumidero

2.1.2.3. 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 su interior. Un brocal de hierro fundido o de concreto armado protege su desembocadura a la superficie y una tapa perforada cubre la boca.

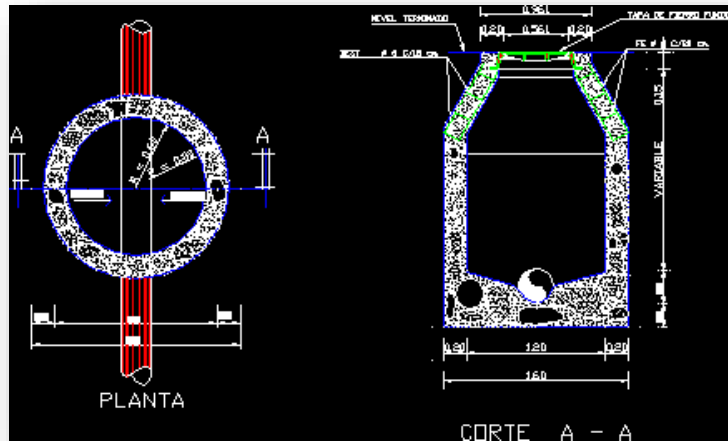


Figura 8. Cámara de inspección

2.1.2.4. 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.



Figura 9. Colector de aguas pluviales

2.2.Hidrología e hidráulica de sumideros

2.2.1. Obtención de caudales – Método racional

La Norma Boliviana de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial establece que, para la estimación del caudal de diseño, 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:

$$Q= C * i * A$$

Dónde:

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:

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

Dónde:

Q= Caudal pico del escurrimiento de aguas pluviales, en m³/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 km².

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 2.

Tabla 2. Métodos hidrológicos en función a las áreas de la cuenca.

Área de la cuenca. (A)	Método hidrológico.
A < 50 ha	Método racional
50 ha < A < 500 ha	Método racional modificado
A > 500 ha	Otros métodos; por ejemplo hidrograma unitario.
Fuente: Norma Boliviana 688- Diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial.	

2.2.1.1. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía en general, se selecciona de acuerdo a la cobertura del suelo, tomando como referencia los valores que se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 3. Coeficientes de escorrentías típicos 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: Héctor Rodríguez Díaz Drenaje Urbano. Elementos de diseño.	

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.

2.2.1.2. Área de drenaje

El origen de las áreas de drenaje está dado por la infraestructura y desarrollo urbano y por las vías y el tipo de edificaciones. El área se define de acuerdo al 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.

2.2.1.3. 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:

$$T_c = T_e + T_r$$

Dónde:

T_c= Tiempo de concentración.

T_e= Tiempo de entrada

T_r = Tiempo de recorrido

2.2.1.3.1. 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 una función de la longitud, la pendiente promedio y la naturaleza de la cuenca. Para su 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)

2.2.1.3.2. 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, determinadas por la ecuación de Manning para la 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)

2.2.1.4. 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 determinará 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”.

Para el cálculo de intensidad se emplea 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.

2.2.1.5. 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 4 Periodo de retorno o grado de protección (años)

Características del área de drenaje.	Mínimo	Aceptable	Recomendable
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 a 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.			

2.2.2. Hidráulica de sumideros

Según el libro de Drenaje Urbano de Héctor Alfonso Rodríguez Díaz, la ubicación de la estructura de entrada define la capacidad hidráulica. Para sumideros localizados en puntos bajos de la vía, la capacidad hidráulica se calcula de la misma forma que la capacidad de un vertedero, cuando la lámina de agua sobre la estructura de entrada es baja, o como orificio si el sumidero funciona en condiciones sumergidas. Las características hidráulicas de la cuneta y el esparcimiento máximo permitido sobre la vía definen la capacidad de los sumideros en tramos con pendiente.

2.2.2.1. Capacidad de intersección y eficiencia de los sumideros sobre un tramo de vía con pendiente

En un conjunto dado de condiciones, la capacidad de interceptación de entrada es el flujo interceptado por un sumidero, en tanto que la eficiencia de un sumidero es el porcentaje de flujo total sobre la cuneta que el sumidero interceptará.

La eficiencia del sumidero depende de los cambios en la pendiente transversal, la pendiente longitudinal, el flujo total de la cuneta y, en menor medida, de la rugosidad del pavimento. La eficiencia se define por la siguiente expresión:

$$E = \frac{Q_i}{Q_s}$$

Dónde:

E= Eficiencia

Qi= Caudal total de la calle en $\frac{m^3}{s}$

Qs= Flujo interceptado en $\frac{m^3}{s}$

El flujo que no es interceptado por el sumidero se denomina arrastre o la derivación Q_b

$$Q_b = Q_s - Q_i * (1 - c)$$

Siendo C un factor de obstrucción.

2.2.2.2. Capacidad de intersección de sumideros en un punto bajo o una depresión

Los sumideros en los lugares bajos funcionan como vertedero en condiciones de poca altura y como orificios a mayores profundidades.

La condición hidráulica como orificio comienza a profundidades que dependen del tamaño de la rejilla, la altura del bordillo de apertura o la anchura de la ranura de la entrada, según sea el caso. A profundidades en las que la condición hidráulica de las estructuras prevalece como vertedero y como orificio, el flujo está en una etapa de transición. Para estas profundidades, el control de flujo no puede estar claramente definido y éste puede fluctuar entre vertedero y orificio

2.3. Sumideros

Una vez que el flujo se ha dirigido hacia la cuneta, la siguiente etapa es su evacuación hacia la red de agua de lluvias o hacia el sistema de drenaje natural. En el caso del drenaje urbano, los puntos de entrada se conocen como sumideros.

2.3.1. Tipos de sumideros

Los cuatro tipos principales de sumideros para la evacuación de escurrimiento son:

Sumidero de rejilla: Es aquel que tiene una abertura en la cuneta, cubierta por una rejilla.

Sumidero lateral o de ventana: Este sumidero consta de una abertura vertical en el cordón de andén. Está cubierto en la parte superior por una losa de concreto que, en este caso, es la acera.

Sumidero combinado: Está constituido por los dos sumideros anteriores, localizados frente a frente.

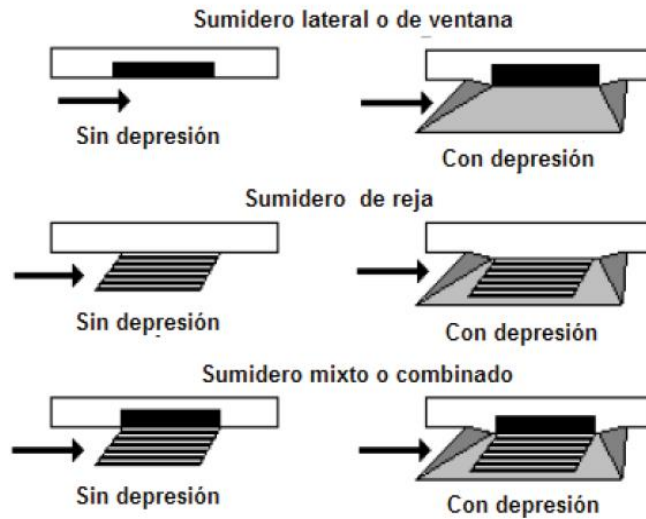


Figura 10. Tipos de sumideros

2.3.2. Diseño de sumideros

2.3.2.1. Sumidero Lateral

La longitud requerida de un sumidero lateral, para la interceptación completa de un flujo dado en la calle se calcula con la siguiente formula empírica:

$$L_t = K_C * Q_S^{0.42} * S_O^{0.3} * \left(\frac{1}{n * S_e} \right)^{0.6}$$

Dónde:

L_t = Longitud del sumidero lateral en metros para interceptar el 100% del flujo de la cuneta.

K_C = Coeficiente de unidades: Para sistema Internacional 0,817 y para el sistema inglés 0,6.

Q_S = Caudal en la calle $\frac{m^3}{s}$

S_O = Pendiente longitudinal de la vía m/m.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

S_e = Pendiente equivalente m/m.

Para una depresión en la cuneta resulta:

$$S_e = S_x + s_w * E_w$$

Para una cuneta sin depresión:

$$S_e = S_x$$

S_x = Bombeo o pendiente transversal.

s_w = Pendiente transversal en la cuneta.

E_w = Relación del flujo frontal $\frac{Q_w}{Q_s}$.

Q_w = Flujo frontal transportado por la cuneta.

Q_s = Flujo transportado por la calle (Flujo de cuneta más flujo de ancho de vía).

La capacidad de un sumidero lateral con una longitud menor que la longitud requerida se puede calcular con la siguiente expresión:

$$Q_a = Q_s \left[1 - \left(1 - \frac{L_e}{L_t} \right)^{1.80} \right]$$

Dónde:

Q_a = Capacidad de interceptación del sumidero lateral.

L_e = Longitud efectiva del sumidero lateral.

$$L_e = L_c * (1 - c)$$

L_c = Longitud menor que la longitud L_t , es decir la longitud estándar de un sumidero lateral.

2.3.2.2. Sumidero de rejilla

La intercepción de flujo frontal por una rejilla es determinada por la velocidad del flujo en la cuneta, la velocidad de salpicadura y la longitud de rejilla.

La velocidad de salpicadura es la velocidad bajo una rejilla obstruida. Y su cálculo se realiza a través de la siguiente formula:

$$V_o = p + q * L - r * L^2 + s * L^3$$

De donde L es la longitud de rejilla y los valores de p, q, r y s están determinados por la siguiente tabla:

Tabla 5 Velocidades de salpicadura sobre varios tipos de rejillas

Número	Tipo rejilla	p	q	r	s
1	Barra P-1-7/8	0,6767	4,03	2,1325	0,6458
2	Barra P-1-1/8	0,5364	3,12	1,4764	0,3229
3	Platinas	0,0914	4,85	4,2979	1,6146
4	Barra 45°	0,3018	2,64	1,1811	0,3229
5	Barra P-1-7/8-4	0,2256	2,44	0,8858	0,2153
6	Barra 30°	0,1554	2,34	0,6562	0,1076
7	Reticulada	0,0853	2,28	0,5906	0,1076

Fuente: Héctor Rodríguez Díaz. Drenaje Urbano. Elementos de diseño

El porcentaje de intercepción del flujo frontal R_f es expresado por:

- Si la velocidad de escurrimiento es mayor que la velocidad de salpicadura entonces:

$$R_f = 1 - K_C * (V_S - V_O)$$

- Si la velocidad de escurrimiento es menor que la velocidad de salpicadura entonces:

$$R_f = 1$$

Dónde:

V_s = Velocidad de flujo en la cuneta $\frac{m}{s}$

K_c = Coeficiente según unidades que se vaya a emplear: Sistema Internacional 0,295 y Sistema Inglés 0,09

El porcentaje de interceptación del flujo lateral R_s es expresado por:

$$R_s = \frac{1}{1 + \frac{0.0828 * V_s^{1.8}}{S_x * L^{2.3}}}$$

Dónde:

V_s = Velocidad de flujo en la cuneta ($\frac{m}{s}$)

S_x = Pendiente transversal de la vía ($\frac{m}{m}$)

L = Longitud de la rejilla (m)

Como resultado la capacidad total de interceptación ideal de un sumidero de rejilla es igual a:

$$Q_i = [R_f * E_w + R_s(1 - E_x)] * Q_s$$

Dónde:

E_w = Relación del flujo frontal $\frac{Q_w}{Q_s}$.

$E_x = 1 - E_w$

Aplicando el factor de obstrucción al área de la rejilla, la capacidad de interceptación real será:

$$Q_r = Q_i(1 - C)$$

Donde C es el factor de obstrucción en sumidero de rejilla y por lo general es 0,5.

No obstante, es preferible asignarle el factor de obstrucción a la longitud de rejilla obteniendo así el valor de la longitud efectiva.

$$L_e = L(1 - C)$$

2.4. Concreto Drenante

2.4.1. Definición

Un estudio de investigación en concreto drenante realizado por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa en Perú, define al concreto drenante como una mezcla de agregado grueso, cemento, agua, y poco o ninguna arena. También conocido como el hormigón "sin finos" o poroso, esta mezcla crea una estructura de célula abierta, permitiendo al agua de lluvia infiltrarse al suelo subyacente. Simulando la superficie de tierra natural, el hormigón drenante es excelente para la evacuación de agua de lluvia.

2.4.2. Ventajas, inconvenientes y desafíos del concreto drenante

Las ventajas de los pavimentos de concreto drenante sobre los pavimentos de concreto convencional, según el comité ACI 522, son:

- Controla la contaminación que arrastra la corriente en las aguas de lluvias.
- Incremento de las instalaciones de parqueo, eliminando áreas para la retención de agua.
- Controla la escorrentía de aguas de lluvias.
- Reduce el deslizamiento sobre la superficie de caminos y carreteras.
- Reduce el deslumbramiento sobre la superficie de rodadura en gran medida, particularmente cuando está mojado por la noche.
- Reduce la interacción del ruido entre la llanta y el pavimento.
- Elimina o reduce el tamaño de las alcantarillas.
- Permite que el aire y el agua lleguen a las raíces de los árboles, aun cuando el pavimento esté dentro de la línea de goteo.

El concreto drenante ha sido ampliamente utilizado en estacionamientos vehiculares, filtro de evacuación de agua, aceras, bases de pavimentos, calles y otras vías, incluso de alto tráfico. La dosificación de los componentes del concreto drenante crea una estructura abierta que permite el paso libre del agua y el aire. Ciertos tipos de pavimento drenante permiten drenar desde 1.35 hasta 12.17 litros por segundo por metro cuadrado (l/s/m²), que es mucho mayor a las lluvias más fuertes, lo cual genera una ventaja en la evacuación rápida del agua.

La resistencia mecánica y la durabilidad del concreto drenante utilizado en pavimentos son menores que los de otros materiales elaborados con concreto hidráulico convencionales, pero pueden llegar a valores similares con una buena dosificación de la mezcla. Existen experiencias de uso del material como capa de rodadura y material de base en varios países del mundo.

El concreto drenante no necesita tratamiento especial cuando es utilizado como capa de base en lugares donde no existe la posibilidad de colmatación por arrastre de finos.

Sub bases impermeables, tales como arcilla, deben tener una capa permeable de al menos 15 cm instalados entre ella y el pavimento para recolectar el agua y evacuarla lateralmente al sistema de drenaje previsto.

Entre los posibles inconvenientes y desafíos a superar están:

- Uso limitado para zonas de tráfico de vehículos pesados.
- Prácticas de construcción especializadas.
- Tiempo de curado extendido.
- Sensibilidad al contenido de agua y control del concreto fresco.
- Cuidado y atención especial en el diseño para algunos tipos de suelos como los expansivos y susceptible a heladas, además los suelos con una muy baja permeabilidad.
- Falta de métodos de ensayo estandarizados.
- Atención especial que puede exigirse con la calidad del agua subterránea.
- Periodo de vida corto.

- Atención especial al diseño y construcción.
- No deberá utilizarse en zonas de protección de pozos o zonas de recarga de acuíferos para abastecimiento de agua; ya que la escorrentía puede afectar la calidad del agua (dependerá del entorno y del uso, por ejemplo, si filtraran aceites o líquidos que perjudiquen los mantos acuíferos).

Una de las preocupaciones al usar el material en capas de pavimentos, cuando existen riesgos de colmatación por arrastre de finos, es la necesidad de realizar el mantenimiento periódicamente en intervalos cortos de tiempo, si los niveles de materiales finos llegan a ocupar los vacíos, entonces será necesario en la etapa de diseño del proyecto tener en cuenta los dispositivos requeridos para el mantenimiento. Lavar con agua a presión permite restablecer las condiciones de permeabilidad del pavimento.

También preocupa el hecho de que siendo el suelo quien capta el agua y que también sustenta toda la estructura, en condiciones de saturación puede darse la pérdida de carga de soporte. Este hecho está impulsando investigaciones alrededor del mundo, especialmente en los lugares donde utilizan este sistema de pavimento.

2.4.3. Caracterización de los materiales componentes del concreto drenante

El concreto drenante, principalmente consiste de cemento portland normal, agregado grueso de tamaño uniforme, y agua. Esta combinación forma un aglomerado de agregado grueso rodeado de una delgada capa de pasta de cemento endurecida en sus puntos de contacto. Esta configuración produce vacíos entre el agregado grueso, el cual permite que el agua se infiltre a una tasa mucho mayor que el concreto convencional.

La resistencia y permeabilidad obtenidas con un pavimento drenante están determinadas por la mezcla que se va a utilizar. Las variables que afectan el comportamiento del concreto drenante son: granulometría, dosis de cemento, relación agua/cemento, aditivo y contenido de vacíos.

La granulometría utilizada resulta fundamental en las propiedades que tendrá el concreto drenante. Se debe utilizar agregados que presenten como mínimo dos caras

fracturadas con ausencia casi total de finos, pues impermeabilizarían o sellarían la mezcla; así al tener un tamaño de agregado bastante uniforme, se puede obtener un porcentaje elevado de vacíos.

2.4.3.1. Agregados

Los agregados deberán cumplir con los requisitos de la Norma ASTM C33-07 y ASTM D448-07. De modo que, los agregados que no cumplan con las especificaciones de las normas anteriormente señaladas, pero que hayan demostrado mediante ensayos especiales o en uso, que producen concreto drenante con resistencia y permeabilidad adecuadas, pueden ser utilizados cuando así lo autorice el supervisor.

Los agregados se deben almacenar en depósitos o compartimentos adecuados y separados para cada tamaño de agregado. Cada compartimento se debe diseñar para que la operación de descarga sea libre y eficiente; de tal manera que, haya una mínima segregación. Los controles de operación deben permitir la interrupción de la descarga de material a la báscula en el momento deseado de manera que el material se pueda medir con precisión (aplica a máquinas dosificadoras).

Existen dos características en los agregados que tienen una importante influencia sobre el proporcionamiento de las mezclas de concreto y son:

La granulometría (tamaño de partícula y distribución)

Importante para:

- Trabajabilidad.
- Proporcionamiento de la mezcla.
- Contenido de cemento y por ende el contenido de agua.
- Compactabilidad de la mezcla.
- Estética del pavimento.

La naturaleza de las partículas (forma, porosidad, textura superficial)

La calidad del agregado en el concreto drenante es igualmente importante como en el concreto convencional. Deben ser evitadas las partículas largas o escamosas. La graduación estrecha del agregado grueso debe ser dura y limpia, libres de recubrimiento, tal como polvo o arcilla, o sustancia química absorbida que pueda ser perjudicial a la adherencia pasta/agregado o a la hidratación del cemento.

Estas dos características afectan la trabajabilidad del concreto fresco, pero también se logra una mezcla económica, ya que afecta a la cantidad de concreto que puede fabricarse con una cantidad determinada de cemento y agua:

Son preferibles las fuentes de agregados con un registro de servicio con rendimiento aceptable. En ausencia de ello, puede llevarse a cabo una combinación de ensayos que proporcionen una base para evaluar la idoneidad del agregado candidato y pueda incorporarse en la mezcla del concreto drenante.

El peso unitario de los agregados deberá ser determinado de acuerdo a ASTM C29/C29M - 07. Para fuentes desconocidas y/o nuevas de agregados, los resultados de los ensayos se llevarán a cabo por la norma ASTM C33/C33M - 07 y ASTM D448 – 08, la cual deberá ser revisada con el aporte de la experiencia de un ingeniero en materiales.

2.4.3.1.1. Agregado grueso

La estructura interna de un concreto drenante puede describirse como un conjunto de partículas de agregado grueso, en contacto y unidas entre sí por puentes constituidos por la pasta (cemento y agua) o el mortero que forma la arena (cuando hay presencia de finos en la mezcla) y la pasta; estos puentes son los que movilizan la resistencia del concreto. Esto se puede observar en la compresión de las probetas cilíndricas donde se produce la ruptura de estos puentes, siendo menor el evento de fractura del agregado grueso.

El número de puentes que se forman por unidad de volumen es función principalmente del tamaño y la graduación del agregado grueso. La diferencia que presenta el concreto drenante, dependiendo del tipo de agregado grueso, es notable; con un agregado

uniforme se consigue menos resistencia que con uno graduado y será mucho menor cuanto mayor sea el diámetro del agregado.

Ya que prácticamente existe contacto entre las partículas de agregado grueso, los esfuerzos mecánicos se concentran y es conveniente ser más restrictivo en lo que respecta al desgaste de los Ángeles. Como valor de referencia puede emplearse el que fue adoptado por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, que indica utilizar agregados con un desgaste de Los Ángeles menor del 22%, absorción menor al 1% y un coeficiente de forma superior a 0.18.

Deberán evitarse agregados bien graduados, puesto que reducen la porosidad, y pueden no proveer un adecuado contenido de vacíos. Se sugiere un límite máximo de agregado grueso que pase el 15% de la malla N^o 4 (4.75 mm).

La humedad del agregado al tiempo de la mezcla es importante. La absorción del agregado deberá satisfacer la condición para lograr la condición saturada superficialmente seca (SSS). De otra manera, con un agregado seco resultará una mezcla, a la cual le falte adecuada trabajabilidad para su colocación y compactación.

El agregado, excesivamente húmedo, puede contribuir a que la pasta fluya, causando obstrucción intermitente en la estructura de vacíos deseada

2.4.3.1.2. Agregado fino

El agregado fino si es utilizado, debe cumplir con la Norma ASTM C 33 – 08 "Especificación Estándar para Agregados de Concreto" y no deberá exceder de 0.10 m³ por 1.0 m³ de concreto drenante.

Dependiendo del pasante del agregado grueso en la malla N^o 4 y como límite máximo del 15%, se podrá adicionar agregado fino según lo siguiente:

- Para un pasante del 5 al 10% de la malla N^o 4 (4.75 mm) agregar 74 kg/m³ de agregado fino.
- Para un pasante del 0 al 5% de la malla N^o 4 (4.75 mm) agregar 119 kg/m³ de agregado fino.

Conocer las características de los agregados a utilizar en la mezcla de concreto drenante, permitirá determinar la influencia que tendrán, ya sea en estado fresco como en estado endurecido. La tabla 6 nos indica cómo afecta la caracterización en dichos aspectos:

Tabla 6 Influencia de los Agregados en el Concreto Drenante en Estado Fresco y Endurecido

Características de los agregados	Aspectos influidos en el concreto	
	Concreto Fresco	Concreto Endurecido
Granulometría	Manejabilidad Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Economía
Limpieza (materia orgánica , limo, arcilla y otros finos)	Requerimiento de agua.	Durabilidad Resistencia mecánica
Densidad (Gravedad específica)	Peso Unitario	Peso Unitario
Absorción de Partículas	Perdida de agua en la mezcla	Resistencia mecánica Permeabilidad
Forma de Partículas	Trabajabilidad Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Economía
Textura Superficial	Trabajabilidad Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Resistencia al desgaste Economía
Tamaño Máximo	Segregación Peso Unitario Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Peso Unitario Permeabilidad Economía
Resistencia a la Abrasión	Ninguno	Resistencia a la Abrasión Durabilidad
Coefficiente de Expansión Térmica	Ninguno	Propiedades térmicas
Fuente: Normas ASTM C33-07, ASTM C 1688-09, ASTM C 131-07, ASTM C29-07		

2.4.3.1.3. Relación ponderal entre el agregado fino y el agregado grueso (F/G)

El parámetro (F/G) tiene una gran influencia en el comportamiento del concreto drenante, está íntimamente relacionado con el tamaño máximo del agregado grueso; de manera que, a mayor tamaño del agregado grueso, y cuanto más uniforme sea, la relación (F/G) deberá ser menor. Es así que, el trabajo de tesis titulado: “Resistencia Mecánica y Condiciones de Obra del Concreto Drenante en los Pavimentos Según el Tipo de Granulometría” llevada a cabo por estudiantes de la Universidad de Medellín, Colombia; este valor parece indicar que el valor (F/G) debe oscilar entre 0.05 y 0.30.

Una relación inferior a 0.05 impide la formación de puentes suficientemente resistentes con dotaciones de cemento y, por otro lado, desampara excesivamente el conglomerante frente a ataques químicos de sustancias transportadoras por el agua o del agua pura misma.

Valores elevados de F/G producen efectos en función de la relación agua/cemento; en estado fresco, si se trabaja con valores altos de agua/cemento y mayor fluidez del mortero, éste escurre hacia las zonas inferiores del concreto, colmatando y cementando la masa de dichas zonas, lo cual disminuye la permeabilidad del conjunto y reduce los puentes entre los agregados.

2.4.3.2. Cemento

El cemento Portland, conforme a las Normas ASTM C 150, C 595 o C 1157, se utiliza como el aglutinante principal.

El almacenamiento debe garantizar que el cemento no pierda sus características físicas y químicas establecidas en las normas mencionadas, y se debe tener control sobre las emisiones de polvo. En el caso de que se almacenen varios tipos de cemento, estos se deben almacenar por separado.

Una mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo éste su capacidad de infiltración. Es recomendable usar una dosis que fluctúe entre los 300 Kg/m³ y los 400 Kg/m³, según requisitos de resistencia y permeabilidad.

2.4.3.3. Agua

La calidad del agua para concreto drenante será la misma que para los requisitos que gobiernan los concretos convencionales. El concreto drenante deberá ser proporcionado con una relativa baja relación agua/material cementante (a/mc) (típicamente 0.26 a 0.40), porque una cantidad de agua en exceso producirá que la pasta fluya y selle el sistema de poros. La adición de agua, por lo tanto, deberá ser monitoreada en el campo. Información adicional de la calidad del agua se encuentra en el comité ACI 301. Además, el agua reciclada de las operaciones de concreto puede ser utilizada, pero solamente si cumple las disposiciones de ASTM C94/94M – 07 o AASHTO M-157.

La dosis de agua utilizada para concreto drenante tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Una cantidad insuficiente de agua resultará en una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento desde la superficie del agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial.

2.4.3.4. Aditivos.

Los aditivos deben ser certificados por la casa productora del aditivo. Los aditivos químicos reductores de agua, retardantes y acelerantes deben cumplir las especificaciones de la Norma ASTM C 494 - 08, los aditivos incorporadores de aire deben cumplir con la Norma ASTM C 260 – 08 y para superfluidificantes con la Norma ASTM C 1017 - 08.

Los acelerantes pueden ser utilizados cuando el concreto drenante es colocado en climas fríos. Estudios reportan el uso de estabilizadores de hidratación como una ayuda en tiempo de trabajo de la mezcla y los modificadores de viscosidad para mejorar la trabajabilidad; estas ventajas también han sido observadas durante la producción actual y en la colocación en proyectos. Con el uso de múltiples aditivos en cualquier mezcla, es recomendado llevar a cabo la colocación de bachadas de prueba para identificar cualquier problema de incompatibilidad de aditivos y verificar que las propiedades en estado fresco y endurecido son sistemáticamente alcanzables.

En algunas circunstancias las dosis requeridas de incorporadores de aire, acelerantes y de aditivos retardantes pueden variar. Por consiguiente, se debe permitir un rango de dosificaciones con el fin de obtener los efectos deseados. Antes de la utilización de cualquier aditivo, se debe verificar mediante ensayos la compatibilidad de éstos, con el tipo y calidad del cemento.

Por otro lado, se recomienda utilizar estabilizadores de hidratación para el diseño y producción de concreto drenante. La función primaria del material debería ser como estabilizador de la hidratación, debido a que demora la hidratación del cemento, formando una barrera protectora alrededor de las partículas de cemento. También debe cumplir con los requisitos de ASTM C 494 – 08 Tipo B Retardantes o Tipo D Reductor de agua/retardante.

Cuando se genera en el ambiente mucho viento, y hay condiciones de ambiente seco se crean altas tasas de evaporación que reduce la ventana de tiempo para que la mezcla sea colocada más eficientemente. Por ello, el uso de retardantes de evaporación puede ser útil en este sentido.

Los aditivos colorantes también son incluidos en algunas mezclas, esto con un fin meramente decorativo, ya que no aporta alguna propiedad mecánica ni tampoco aporta a las características hidráulicas del concreto drenante. Los colorantes deben tener un alto poder de coloración, gran facilidad para mezclarse con el cemento, insolubles con el agua, estables a la luz y al ambiente, especialmente a los ambientes agresivos y por supuesto, no deben alterar el proceso de fraguado del concreto, ASTM C 979-10. El uso de pigmentos produce como resultado un concreto con el color integrado, de larga duración y gran belleza, mejora las características de terminado del concreto, vitalidad y excelente precisión en el color.

2.4.4. Propiedades.

Las propiedades del concreto drenante que se señalan en el texto realizado por Carlos Aire en el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, son las siguientes:

Propiedades en estado fresco

- **Revenimiento:** En general es cero, sin embargo, se usan valores en el rango de 20 a 50 mm. La prueba de revenimiento no es una prueba que se considera para fines de control de calidad, como en el caso del concreto convencional, solo se considera como un valor de referencia. Tal situación se debe principalmente a que la mezcla es demasiado rígida y la medición del revenimiento en la mayoría de los casos no es aplicable.
- **Peso unitario:** El peso unitario del concreto drenante es del orden del 70% del concreto convencional.
- **Tiempo de fraguado:** El tiempo de fraguado se reduce en el concreto drenante, por lo que en algunos casos se debe usar aditivos químicos para permitir la adecuada colocación.

Propiedades en estado endurecido

- **Porosidad:** La porosidad es una medida de los espacios vacíos entre los agregados. La condición para que un concreto sea permeable es que el contenido de vacíos sea mayor al 15%.
- **Permeabilidad:** La permeabilidad al igual que la porosidad depende de las propiedades de los materiales, la proporción de la mezcla y de los métodos de colocación y compactación. Una excesiva compactación reducirá la permeabilidad al sellar los poros necesarios para la filtración del agua.

Propiedades mecánicas

- **Resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión típica es del orden de 17 MPa, sin embargo, se pueden desarrollar resistencias hasta de 28 MPa. La resistencia a la compresión está influenciada por los materiales componentes, el esfuerzo de compactación y por el contenido de vacíos.
- **Resistencia a la flexión:** La resistencia a la flexión varía entre 1 y 3.8 MPa. Su determinación puede estar sujeta a una importante variabilidad, por lo que es

común medir la resistencia a la compresión y usar relaciones empíricas para estimar su valor.

- **Contracción:** La contracción por secado en el concreto drenante se presenta más pronto, sin embargo, es menor, a la mitad del valor esperado en el concreto convencional. La menor contracción permite eliminar el número de juntas, o en todo caso, respecto a los pavimentos construidos con concretos convencionales, colocarlas de forma más espaciada.

Tabla 7. Propiedades típicas del concreto drenante

PROPIEDAD	RANGO
Revenimiento ,mm	20
Peso unitario, $\frac{kg}{m^3}$	1600 - 2000
Tiempo de fraguado, hora	1
Porosidad, % (en volumen)	15 – 25
Permeabilidad, $\frac{lt}{m^2 \cdot min}$	120-320
Resistencia a compresión MPa	3.5-28
Resistencia a flexión, MPa	1 - 3.8
Contracción	$200 \cdot 10^{-4}$
Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto Autor :Carlos Aire	

2.4.5. Dosificación de concreto drenante

El procedimiento de diseño del concreto drenante difiere mucho con relación al concreto convencional, ya que éste se basa en la relación agua/cemento o la resistencia

del concreto ya sea a la compresión como a la tensión. En cambio, en el concreto drenante lo más importante es el porcentaje de vacíos y el volumen de pasta, puesto que el porcentaje de vacíos determinará la velocidad de infiltración y en consecuencia, la permeabilidad del concreto drenante; por otro lado el volumen de pasta asegura la adherencia entre las partículas del agregado grueso.

En el apéndice 6 del comité ACI 211.3, se proporciona un método para la dosificación de concreto drenante sin revenimiento, que se utiliza para pavimentos y otras aplicaciones donde el drenaje y la percolación son necesarios.

2.4.5.1. Materiales

Las graduaciones más comunes de agregado grueso utilizadas en el concreto drenante reúnen los requerimientos de la Norma ASTM C 33, los tamaños de malla de 9.5 a 2.36 mm (Tamaño N° 8), 12.5 a 4.75 mm (Tamaño N° 7), y 19.0 a 4.75 mm (Tamaño N° 67).

El agregado fino se incorpora para aumentar la resistencia a la compresión y reducir la percolación a través del concreto.

2.4.5.2. Relación agua/material cementante

La relación Agua/Material Cementante es una importante consideración para mantener la resistencia y la estructura de vacíos del concreto. Una alta relación Agua/Material Cementante reduce la adhesión de la pasta al agregado, y causa que la pasta fluya y llene los vacíos, aun cuando la compactación sea de menor intensidad. Una baja relación Agua/ Material Cementante tiende a causar bolas en el mezclador y evita una distribución uniforme. La experiencia muestra que un rango de 0.35 a 0.45 provee el mejor recubrimiento del agregado y estabilidad en la pasta.

2.4.5.3. Porcentaje de vacíos

Para asegurar que el agua filtre a través del concreto drenante, el porcentaje de vacíos, calculados como porcentaje de aire por el método gravimétrico (ASTM C 138), deber

ser 15% o mayor como se muestra en la figura 11. En este sentido, la resistencia a la compresión del concreto, según se muestra en la figura, para este contenido de vacíos sería aproximadamente de 24 MPa (3500 psi) a los 28 días. A mayor porcentaje de vacíos, mayor tasa de percolación, pero menor resistencia a la compresión. A menor porcentaje de vacíos, menor tasa de percolación, pero mayor resistencia a la compresión.

Además, la resistencia a la compresión aumenta conforme disminuye el tamaño máximo nominal del agregado.

2.4.5.4. Cantidad de agregado grueso

Los ensayos de la densidad seca varillada sobre el agregado grueso, realizado por la National Aggregates Association – National Ready Mixed Concrete Association (NAANRMCA) muestran que la densidad seca varillada del agregado grueso, determinado por la Norma ASTM C 29/29M-07, puede ser usada efectivamente en la proporción del concreto drenante, donde:

- b/b_0 = Volumen seco varillado del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto.
- b = Volumen real del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto.
- b_0 = Volumen real del agregado grueso en una unidad de volumen de agregado grueso.

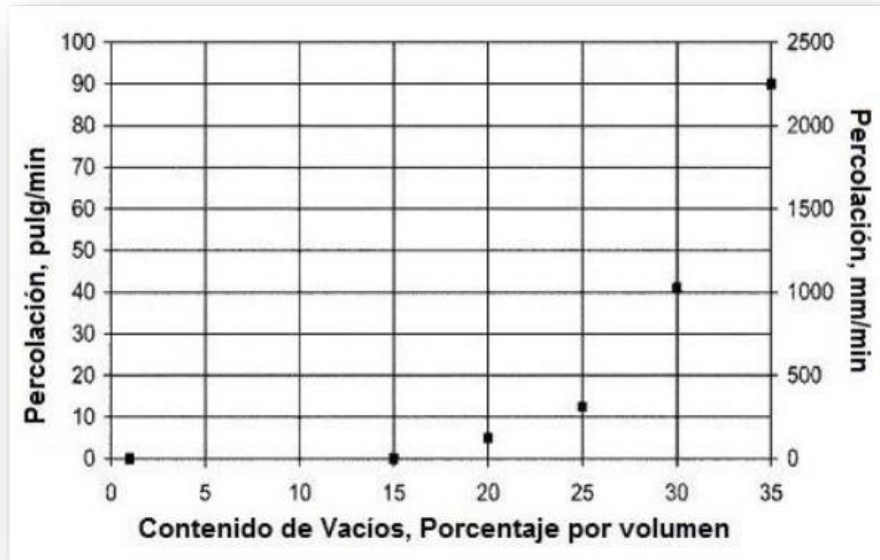
El valor b/b_0 compensa automáticamente los efectos de diferentes formas de partículas de agregado grueso, clasificación (graduación) y gravedad específica. Por otra parte, los valores de b/b_0 para una gama de agregados de tamaño máximo nominal normalmente se utilizan en concreto drenante, de 10 a 20 mm (3/8 a 3/4 pulgadas), y son muy similares.

La Tabla 7 expone los valores de b/b_0 para agregados grueso de tamaño N° 8 y N° 67 y para contenidos de agregado fino de 0, 10, y 20% del total de agregado.

Tabla 8. Valores Efectivos de b/b_0

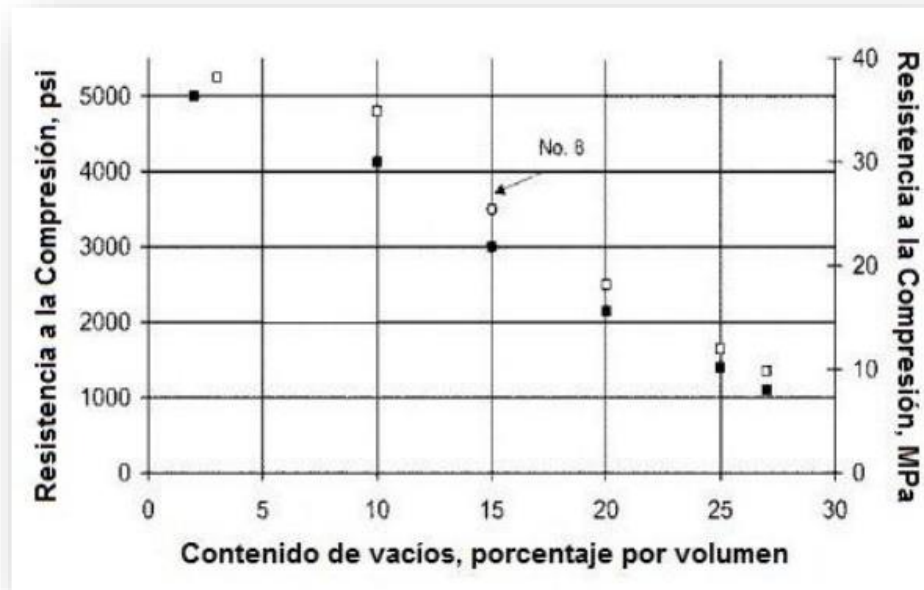
Porcentaje de Agregado Fino	b / b _o	
	ASTM C33 Tamaño N° 8	ASTM C33 Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: Comité ACI 211.3. Apéndice 6



Fuente: Comité ACI 211.3. Apéndice 6

Figura 11. Contenido de vacíos mínimo para la percolación basada en pruebas y métodos de ensayos de NAA-NRMCA (National Aggregates Association – National Ready Mixed Concrete Association)



Fuente: Comité ACI 211.3. Apéndice 6

Figura 12. Relación entre el contenido de vacíos y resistencia a la compresión a los 28 días para agregados de tamaño N° 67 y N° 8 de la Norma ASTM C33

2.4.5.5. Procedimiento de Dosificación.

El procedimiento de dosificación para el concreto drenante está basado en el volumen de pasta necesaria para ligar las partículas de agregado en conjunto, manteniendo el contenido de vacíos necesario, como se muestra en la figura. La cantidad de agregado depende de la densidad seca varillada y los valores b/bo seleccionados de la Tabla 8.

Una vez que el volumen de pasta se determina de la figura 13, y seleccionada la relación Agua/Material Cementante deseada, el cemento y las cantidades de agua puede determinarse a partir de la relación:

Volumen de Pasta (VP) = Volumen de Cemento + Volumen de Agua en m³, o

$$V_P = \frac{C}{3150} + \frac{W}{1000}$$

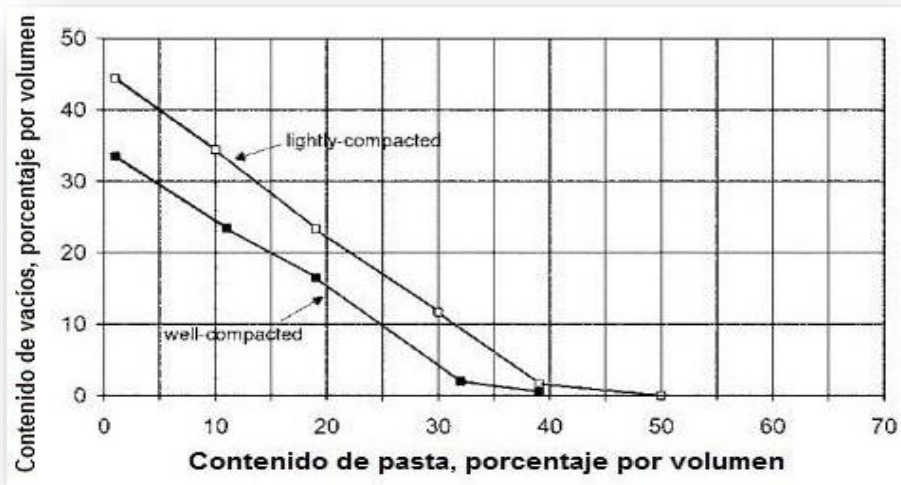
Donde **C** es la masa de cemento y **W** es la masa de agua. Si la relación Agua/ Cemento es (**W/C**), entonces:

$$W = \left(\frac{W}{C}\right) * C$$

Entonces:

$$W = \frac{C}{3150} + \frac{W * C}{C * 1000}$$

Cuando el agregado fino se utiliza, el volumen de pasta se debe reducir en un 2% por cada 10% de agregado fino del total del agregado, para concreto drenante bien compactado y un 1% por cada 10% de agregado fino del total del agregado, para concreto drenante ligeramente compactado. Estas reducciones son necesarias para mantener el mismo porcentaje de vacíos por volumen.



Fuente: Comité ACI 211.3. Apéndice 6

Figura 13. Relación entre pasta y contenido de vacíos para agregados de Tamaño N° 8 según designación de la Norma ASTM C 33.

La dosificación de la mezcla calculada debe ser revisada en el laboratorio por bachadas de prueba y ajustes según sea necesario.

Además, se recomienda que las bachadas de prueba incluyan dos mezclas adicionales con 30 kg/m³ más y 30 kg/m³ de cemento menos. Estas mezclas deben también incluir los ajustes apropiados en:

- Agua para producir la relación necesaria de Agua/Material Cementante
- Agregados para mantener el porcentaje de vacíos requerido. En general, el logro del contenido de vacíos requerido y de la tasa de percolación con una pasta estable es de mayor importancia que la resistencia a la compresión de la mezcla.

2.4.6. Ejemplos de aplicación del pavimento drenante



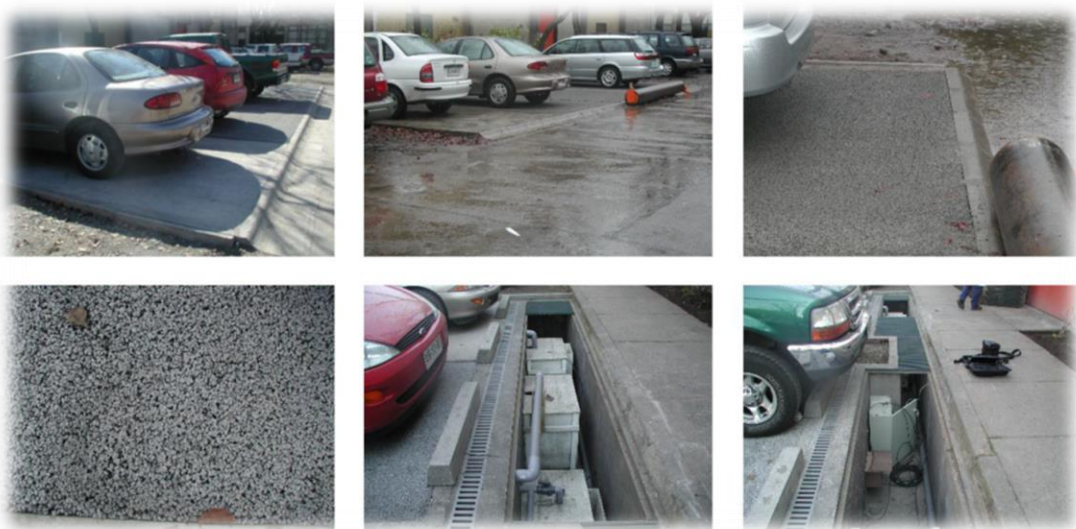
Fuente: Eco Concreto

Figura 14. Pavimento drenante frente al hotel Intercontinental de Zapopan, Jalisco (México)



Fuente: Ministerio de Transporte de Ontario

Figura 15. Pavimento drenante en Ontario Canadá



Fuente: Centro de Aguas Urbanas

Figura 16. Aplicación de pavimentos en concreto drenante para estacionamientos en el Campus San Joaquín de la Universidad Católica de Chile



Fuente: Concreto Permeable:
<http://www.concretopermeable.com/fichatecnica/hidrocreto>

Figura 17. Pavimento drenante en la plaza principal de Soyaló en el estado de Chiapas, México



Fuente: Universidad Nacional Autónoma de México

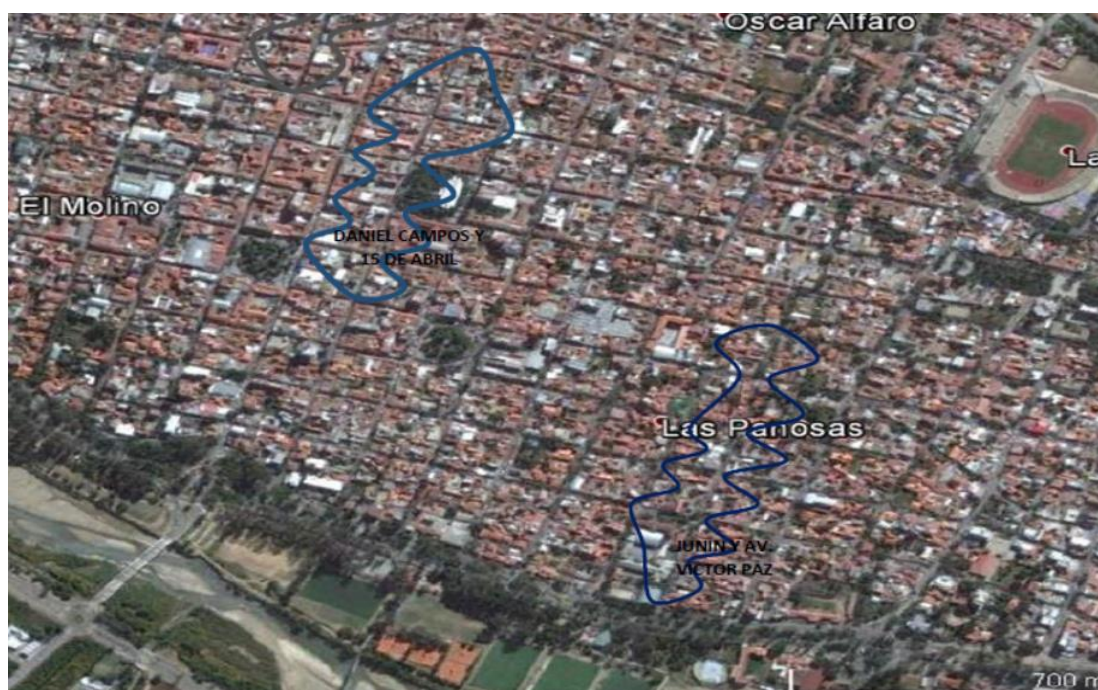
Figura 18. Estacionamiento frontal de la UNAM, construido con concreto drenante

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA EN PUNTOS CRÍTICOS DE LA CIUDAD DE TARIJA

3.1. Ubicación del área de estudio

Para realizar la aplicación práctica del pavimento drenante se seleccionaron siete puntos para ser analizados. En la zona central, entre las calles Cochabamba y avenida Jaime Paz Zamora y las calles Campero y O'Connor, se ubicaron tres puntos de estudio que son la calle Junín esquina Av. Víctor Paz, calle Daniel Campos esquina 15 de abril y calle General trigo esquina Domingo Paz.



Se analizaron zonas bajas sobre la Avenida Circunvalación donde se presentan problemas de drenaje, ubicando dos puntos para ser analizados que se encuentran en la

zona del barrio Moto Méndez sobre la calle Eudal Valdez esquina Av. Las Palmeras y en el Barrio Los Chapacos en la Av. Dr. Jorge Majluf esquina Av. Circunvalación.

En la zona de villa Fátima se estableció un punto en la calle Ingavi esquina Av. Los Membrillos.

Por último, en la Zona del Barrio San Martín se ubicó un punto en la Av. Los Molles esquina Av. Los Sauces por ser un punto donde se reúne parte de las escorrentías que bajan del barrio Méndez Arcos.

3.2. Características del área de estudio

3.2.1. Características del área de aporte

3.2.1.1. Punto en estudio calle Junín esquina Av. Víctor Paz

Se determinó el área de aporte a través de una visita de campo, donde a partir de las pendientes de las vías y la distribución de catastro se determinó un área que recolecta los caudales que bajan por la calle Junín desde la calle Ingavi hasta la avenida Víctor Paz.

El área de aporte a la calle Junín esquina Víctor Paz se encuentra en una zona central, con calles pavimentadas y áreas verdes reducidas. En vista del crecimiento de la población y el desarrollo futuro de esta zona, y en base a la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial que recomienda un coeficiente de escurrimiento que varía entre 0.7 y 0.90 para las características de esta vía, se adoptará por un valor promedio de 0.80.

3.2.1.2. Punto en estudio calle Daniel Campos y 15 de abril

El área de aporte se especificó a través de una visita de campo, donde a partir de las pendientes de las vías y la distribución de catastro se determinó un área que recolecta los caudales que bajan por la calle Daniel Campos a partir de la calle Cochabamba hasta la calle 15 de abril.

El área de aporte se localiza en una zona central densamente construida, donde la mayor parte del área de aporte se encuentra cubierta por tejados y pisos impermeables, con calles pavimentadas de sección reducida en el punto de estudio que puede generar

tirantes elevados. Considerando el crecimiento de esta zona y en base a la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial que recomienda un coeficiente de escurrimiento que varía entre 0.7 y 0.90, se adoptará por un valor de escurrimiento igual a 0.9, por considerarse una zona densamente construida.

3.2.1.3. Punto en estudio calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras

El área de aporte se especificó a través de una visita de campo, y así, a partir de las pendientes en las vías y la distribución de catastro se determinó un área que recolecta los caudales que bajan por la calle Eudal Valdez desde la calle José E. Días hasta la avenida Las Palmeras.

El área de aporte se encuentra en una zona adyacente al centro, con la mayor parte de su superficie cubierta por tejados y pisos impermeables, con calles pavimentadas y áreas verdes reducidas. En vista al desarrollo de esta zona y en base a la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial que recomienda un coeficiente de escurrimiento que varía entre 0.7 y 0.90, se adoptó un valor promedio de 0.80.

3.2.1.4. Punto en estudio Av. Dr. Jorge Majluf y Av. Circunvalación

Se delimitó el área de aporte a través de una visita de campo, donde a partir de las pendientes en las vías y la distribución de catastro se determinó un área que recolecta los caudales que bajan por la avenida Dr. Jorge Majluf desde la calle Sella Cercado hasta la avenida Circunvalación.

El área de aporte se localiza en una zona adyacente al centro, con gran parte de la superficie cubierta por tejados y pisos impermeables, calles pavimentadas y áreas verdes. Considerando el desarrollo de esta zona y en base a la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial que recomienda un coeficiente de escurrimiento que varía entre 0.7 y 0.90, se adoptó un valor promedio de 0.80.

3.2.1.5. Punto en estudio Av. Los Molles y Av. Los Sauces

El área de aporte se estableció a través de una visita de campo, de modo que, a partir de las pendientes en las vías y la distribución de catastro se determinó un área que recolecta los caudales que bajan por la avenida Los Molles desde la calle Pedro Lozano hasta la avenida Los Sauces.

El área de aporte se encuentra en una zona adyacente al centro densamente construida, con calles pavimentadas y áreas verdes. Para estas características del área de estudio, la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomienda un coeficiente de escurrimiento que varía entre 0.7 y 0.90, por lo que se adoptó por un valor promedio de 0.80.

3.2.1.6. Punto en estudio Calle Ingavi y Av. Los Membrillos

El área de aporte se la delimitó a partir de las pendientes en las vías y la distribución de catastro, así se determinó un área que recolecta los caudales que bajan por la calle Ingavi desde la avenida La Paz hasta la avenida Los Membrillos.

El área de aporte se encuentra en una zona adyacente al centro, con una superficie densamente construida, calles pavimentadas y áreas verdes. Para estas características del área de estudio, la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomienda un coeficiente de escurrimiento que varía entre 0.7 y 0.90, razón por la cual se adoptó por un valor promedio de 0.80.

3.2.1.7. Punto en estudio Calle General Trigo y Domingo Paz

El área de aporte se estableció a través de una visita de campo, donde a partir de las pendientes en las vías y la distribución de catastro se determinó un área que recolecta los caudales que bajan por la calle general trigo desde la calle Cochabamba hasta la calle Domingo Paz.

El área de aporte se encuentra en una zona central densamente construida, con calles pavimentadas. Para estas características del área de estudio, la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomienda un coeficiente de escurrimiento que varía entre 0.7 y 0.90, de modo que, se optó por el valor máximo de 0.90 por ser una zona central con superficies impermeables mayores.

3.2.2. Características de sumideros en estudio

3.2.2.1. Sumideros en área de estudio calle Junín esquina Av. Víctor Paz

Realizando un recorrido al área de estudio, se observaron dos tipos de sumideros con las siguientes características:

Tabla 9. Características de los sumideros punto Junín y Av. Víctor Paz

Tipo de Sumidero "Lateral"				
Ubicación	Longitud metros	Altura metros	Espaciamiento centímetros	Diámetro de barras en mm.
Junín y La Madrid (Izquierda)	0.74	0.10	-	-
Junín y La Madrid (Derecha)	0.72	0.15	6	12
La Madrid y Junín (Izquierda)	0.60	0.20	6	12
La Madrid y Junín (Derecha)	0.62	0.20	6	12
Junín y 15 de abril (Izquierda)	0.73	0.15	6	12
Junín y Avaroa (Izquierda)	1	0.20	9	12
Junín y Avaroa (Derecha)	0.97	0.15	9	12
Junín y Av. Víctor Paz (Izquierda)	2.04	0.15		
Tipo de Sumidero "Mixto"				
Ubicación	Longitud metros	Altura metros	Ancho de rejilla m.	Longitud de rejilla m.
Junín y Av. Víctor Paz (Derecha)	1	0.10	0.35	1
Fuente: Elaboración propia				

3.2.2.2. Sumideros sobre el área de estudio calle Daniel Campos y 15 de abril

Realizando un recorrido al área de estudio, se observaron sumideros laterales con las siguientes características:

Tabla 10. Características de los sumideros punto Daniel Campos y 15 de abril

Tipo de sumidero "Lateral"				
Ubicación	Longitud metros	Altura metros	Espaciamiento centímetros	Diámetro de barras en mm.
Daniel Campos y Domingo Paz (Izquierda)	0.98	0.14	6	12
Daniel Campos y Domingo Paz (Derecha)	0.98	0.13	6	12
Daniel Campos Pasando Domingo Paz (Izquierda)	1	0.15	-	-
Daniel Campos y Bolívar (Izquierda)	1	0.17	7.5	12
Daniel Campos y Bolívar (Derecha)	1	0.12	7.5	12
Bolívar y Daniel Campos (Izquierda)	1	0.18	7.5	12
Bolívar y Daniel Campos (Derecha)	0.85	0.16	7.5	12
Daniel Campos e Ingavi (Izquierda)	0.70	0.18	6	12
Daniel Campos e Ingavi (Derecha)	0.70	0.18	6	12
Ingavi y Daniel Campos (Derecha)	0.70	0.12	6	12
Daniel Campos entre Ingavi y La Madrid (Izquierda)	0.77	0.14	7	12
Daniel Campos y 15 de abril (Izquierda)	1	0.16	6	12
Daniel Campos y 15 de abril (Derecha)	1	0.16	6	12
Fuente: Elaboración propia				

3.2.2.3. Sumideros calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras

El área de aporte al punto de estudio no cuenta con un sistema de drenaje pluvial, por lo que se realizará un diseño de sumideros en el punto más bajo. Las características del sumidero diseñado son las siguientes:

Tabla 11. Características de los sumideros Calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras

Tipo de sumidero "Lateral"				
Ubicación	Longitud metros	Altura metros	Espaciamiento centímetros	Diámetro de barras en mm.
Eudal Valdez y Av. Las Palmeras (Izquierda)	2	0.15	6	12
Eudal Valdez y Av. Las Palmeras (Derecha)	2	0.15	6	12
Fuente: Elaboración propia				

3.2.2.4. Sumideros Av. Dr. Jorge Majluf y Av. Circunvalación

El área de aporte al punto de estudio no cuenta con un sistema de drenaje pluvial, razón por la cual, se realizará un diseño de sumideros en el punto más bajo. Las características del sumidero diseñado son las siguientes:

Tabla 12. Características de los sumideros Av. Dr. Jorge Majluf y Av. Circunvalación

Tipo de sumidero "Lateral"				
Ubicación	Longitud metros	Altura metros	Espaciamiento centímetros	Diámetro de barras en mm.
Jorge Majluf y Av. Circunvalación (Izquierda)	2	0.15	6	12
Jorge Majluf y Av. Circunvalación (Derecha)	2	0.15	6	12
Fuente: Elaboración Propia				

3.2.2.5. Sumideros calle Cedros y Av. Los Sauces

El área de aporte al punto de estudio no cuenta con un sistema de drenaje pluvial, por lo que se realizara un diseño de sumideros en el punto más bajo. Las características del sumidero diseñado son las siguientes:

Tabla 13. Características de los sumideros Av. Los Cedros y Av. Los Sauces

Tipo de sumidero "Lateral"				
Ubicación	Longitud metros	Altura metros	Espaciamiento centímetros	Diámetro de barras en mm.
Av. Los Cedros y Av. Los Sauces (Izquierda)	2	0.15	6	12
Av. Los Cedros y Av. Los Sauces (Derecha)	2	0.15	6	12

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2.6. Sumideros Calle Ingavi y Av. Los Membrillos

El área de aporte al punto de estudio no cuenta con un sistema de drenaje pluvial, por lo que se realizara un diseño de sumideros en el punto más bajo. Las características del sumidero diseñado son las siguientes:

Tabla 14. Características de los sumideros calle Ingavi y Av. Los Membrillos

Tipo de sumidero "Lateral"				
Ubicación	Longitud metros	Altura metros	Espaciamiento centímetros	Diámetro de barras en mm.
Ingavi y Av. Membrillos (Izquierda)	2	0.15	6	12
Ingavi y Av. Membrillos (Derecha)	2	0.15	6	12

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2.7. Sumideros Calle General Trigo y Domingo Paz

El área de aporte al punto de estudio no cuenta con un sistema de drenaje pluvial, por lo que se realizara un diseño de sumideros en el punto más bajo. Las características del sumidero diseñado son las siguientes:

Tabla 15. Características de los sumideros calle General Trigo y Domingo Paz

Tipo de Sumidero "Mixto"				
Ubicación	Longitud metros	Altura metros	Ancho de rejilla m.	Longitud de rejilla m.
General Trigo y Domingo Paz (Izquierda)	1	0.10	0.5	1
Fuente: Elaboración Propia				

3.3. Descripción hidrológica del área de estudio

3.3.1. Punto en estudio calle Junín esquina Av. Víctor Paz

3.3.1.1. Intensidad de lluvia.

Para el cálculo de la intensidad se utilizó 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.

3.3.1.2. Área de aporte

A partir de los planos de la zona en estudio se determinó las áreas de aporte para cada punto donde existen sumideros, las áreas de aporte son las siguientes:

Ubicación	Área de aporte Km²
Calle Junín y La Madrid	0.0056838
Calle La Madrid y Junín	0.0074788
Calle Junín y 15 de abril	0.0048508
Calle Junín y Avaroa	0.0253765
Calle Junín y Av. Víctor Paz	0.0093866

3.3.1.3. Coeficiente de escurrimiento

Para las características del área de estudio la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomiendan un coeficiente de

escurrimiento que varía entre 0.7 y 0.90. Se adoptará un valor de escurrimiento igual a 0.8.

3.3.1.4. 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 Junín y La Madrid**

$$Q = \frac{0.8 * 142.56 * 0.0056838}{3.6} = 0.1801 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle La Madrid y Junín**

$$Q = \frac{0.8 * 142.56 * 0.0074788}{3.6} = 0.2369 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Junín y 15 de abril**

$$Q = \frac{0.8 * 142.56 * 0.0048508}{3.6} = 0.1537 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Junín y Avaroa**

$$Q = \frac{0.8 * 142.56 * 0.0253765}{3.6} = 0.8039 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Junín y Av. Víctor Paz**

$$Q = \frac{0.8 * 142.56 * 0.0093866}{3.6} = 0.2974 \frac{m^3}{s}$$

3.3.2. Punto en estudio calle Daniel Campos esquina 15 de abril

3.3.2.1. Intensidad de lluvia

Para el cálculo de la intensidad se utilizó 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.

3.3.2.2. Área de aporte

A partir de los planos de la zona en estudio se determinó las áreas de aporte para cada punto donde existen sumideros, las áreas de aporte son las siguientes:

Ubicación	Área de aporte Km ²
Calle Daniel Campos y Domingo Paz	0.01771
Calle Daniel Campos y Bolívar	0.0079523
Calle Bolívar y Daniel Campos	0.0038526
Calle Daniel Campos e Ingavi	0.003800
Calle Ingavi y Daniel Campos	0.003754
Calle Daniel Campos y 15 de abril	0.01200

3.3.2.3. Coeficiente de escurrimiento

Para las características del área de estudio la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomienda un coeficiente de escurrimiento que varía entre 0.7 y 0.90. Se adoptará un valor medio de escurrimiento igual a 0.9.

3.3.2.4. 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 Daniel Campos y Domingo Paz**

$$Q = \frac{0.9 * 142.56 * 0.01771}{3.6} = 0.6312 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Domingo Paz y Daniel Campos**

$$Q = \frac{0.9 * 142.56 * 0.0038945}{3.6} = 0.1388 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Daniel Campos y Bolívar**

$$Q = \frac{0.9 * 142.56 * 0.0040578}{3.6} = 0.1446 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Bolívar y Daniel Campos**

$$Q = \frac{0.9 * 142.56 * 0.0038526}{3.6} = 0.1373 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Daniel Campos e Ingavi**

$$Q = \frac{0.9 * 142.56 * 0.0038}{3.6} = 0.1354 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Ingavi y Daniel Campos**

$$Q = \frac{0.9 * 142.56 * 0.003754}{3.6} = 0.1338 \frac{m^3}{s}$$

- **Caudal de aporte calle Daniel Campos y 15 de abril**

$$Q = \frac{0.9 * 142.56 * 0.012}{3.6} = 0.4277 \frac{m^3}{s}$$

3.3.3. Punto en estudio Calle Eudal Valdez esquina Av. Las Palmeras

3.3.3.1. Intensidad de lluvia

Para el cálculo de la intensidad se utilizó 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.

3.3.3.2. Área de aporte

A partir de los planos de la zona se determinó el área de aporte para el punto en estudio.

Ubicación	Área de aporte Km ²
Calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras	0.02434

3.3.3.3. Coeficiente de escurrimiento.

Para las características del área de estudio la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomienda un coeficiente de escurrimiento igual a 0.8.

3.3.3.4. 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.

$$Q = \frac{0.8 * 142.56 * 0.02433}{3.6} = 0.7708 \frac{m^3}{s}$$

3.3.4. Punto en estudio Av. Dr. Jorge Majluf y Av. Circunvalación

3.3.4.1. Intensidad de lluvia

Para el cálculo de la intensidad se utilizó 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.

3.3.4.2. Área de aporte

A partir de los planos de la zona se determinó el área de aporte para el punto en estudio.

Ubicación	Área de aporte Km²
Av. Dr. Jorge Majluf y Av. Circunvalación	0.06493

3.3.4.3. Coeficiente de escurrimiento

Para las características del área de estudio la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomienda un coeficiente de escurrimiento igual a 0.8.

3.3.4.4. 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.

$$Q = \frac{0.8 * 142.56 * 0.06493}{3.6} = 2.0570 \frac{m^3}{s}$$

3.3.5. Punto en estudio Av. Los Molles y Av. Los Sauces

3.3.5.1. Intensidad de lluvia

Para el cálculo de la intensidad se utilizó 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.

3.3.5.2. Área de aporte

A partir de los planos de la zona se determinó el área de aporte para el punto en estudio.

Ubicación	Área de aporte Km ²
Av. Los Molles entre calle 3 y Fray Antonio Zampa	0.012238
Av. Los Molles y Av. Los Sauces	0.047108

3.3.5.3. Coeficiente de escurrimiento

Para las características del área de estudio la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomienda un coeficiente de escurrimiento igual a 0.80.

3.3.5.4. 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.

- **Punto Av. Los Molles entre calle 3 y Fray Antonio Zampa**

$$Q = \frac{0.8 * 142.56 * 0.012238}{3.6} = 0.3877 \frac{m^3}{s}$$

- **Punto Av. Los Molles y Av. Los Sauces**

$$Q = \frac{0.8 * 142.56 * 0.047108}{3.6} = 1.4924 \frac{m^3}{s}$$

3.3.6. Punto en estudio calle Ingavi y Av. Los Membrillos

3.3.6.1. Intensidad de lluvia

Para el cálculo de la intensidad se utilizó 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.

3.3.6.2. Área de aporte

A partir de los planos de la zona se determinó el área de aporte para el punto en estudio.

Ubicación	Área de aporte Km ²
Calle Ingavi y Av. Los Membrillos	0.03734

3.3.6.3. Coeficiente de escurrimiento

Para las características del área de estudio la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomienda un coeficiente de escurrimiento igual a 0.80.

3.3.6.4. 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.

$$Q = \frac{0.8 * 142.56 * 0.03734}{3.6} = 1.1829 \frac{m^3}{s}$$

3.3.7. Punto en estudio calle General Trigo y Domingo Paz

3.3.7.1. Intensidad de lluvia

Para el cálculo de la intensidad se utilizó 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.

3.3.7.2. Área de aporte

A partir de los planos de la zona se determinó el área de aporte para el punto en estudio.

Ubicación	Área de aporte Km ²
Calle General Trigo y Domingo Paz	0.019415

3.3.7.3. Coeficiente de escurrimiento

Para las características del área de estudio la Norma Boliviana 688 de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial recomienda un coeficiente de escurrimiento igual a 0.90.

3.3.7.4. 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.

$$Q = \frac{0.9 * 142.56 * 0.019415}{3.6} = 0.6920 \frac{m^3}{s}$$

3.4. Descripción hidráulica del área de estudio

3.4.1. Punto en estudio calle Junín esquina Av. Víctor Paz

3.4.1.1. Capacidad de sumideros existentes en el área de aporte

Se realizó el cálculo de la capacidad hidráulica de sumideros a partir de la metodología propuesta por Héctor Alfonso Rodríguez Díaz en su libro "Drenaje Urbano Elementos

De Diseño''. El procedimiento de cálculo se presenta en anexos, a continuación, se presenta la capacidad hidráulica de cada sumidero:

Tabla 16. Capacidad de los sumideros punto Junín y Av. Víctor Paz

Capacidad de Sumidero "Lateral"		
Ubicación	Longitud metros	Capacidad m³/s
Junín y La Madrid (Izquierda)	0.74	0.00854
Junín y La Madrid (Derecha)	0.72	0.00890
La Madrid y Junín (Izquierda)	0.60	0.01269
La Madrid y Junín (Derecha)	0.62	0.00957
Junín y 15 de abril (Izquierda)	0.73	0.02757
Junín y Avaroa (Izquierda)	1	0.04138
Junín y Avaroa (Derecha)	0.97	0.03338
Junín y Av. Víctor Paz (Izquierda)	2	0.05585
Capacidad de Sumidero "Mixto"		
Ubicación	Longitud metros	Capacidad m³/s
Junín y Av. Víctor Paz (Derecha)	1	0.13441
Fuente: Elaboración Propia		

3.4.1.2. Tirante de agua en la calzada

Para la determinación del tirante de agua en la calzada del punto en estudio se realizó un arrastre de los caudales que no son captados por los sumideros.

Siendo el caudal igual a:

$$Q_c = Q_a - Q_s$$

Dónde:

Qc= Caudal de cálculo m³/s

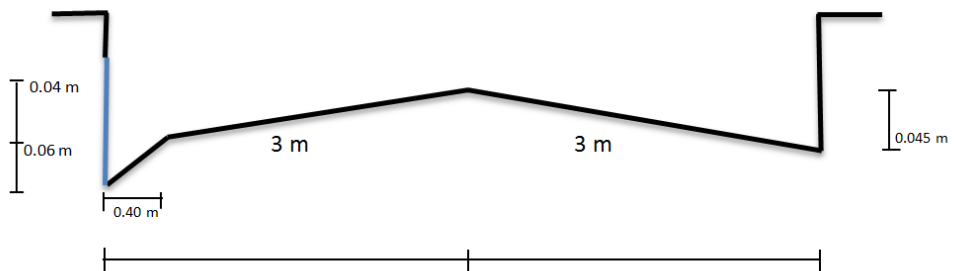
Qa= Caudal de aporte m³/s

Qs= Caudal captado por los sumideros m³/s

$$Q_c = 1.672 - 0.3320 = 1.340 \frac{m^3}{s}$$

Con la utilización de la ecuación de Manning se determinó el tirante para la siguiente sección en estudio:

Sección de la calzada calle Junín



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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = \frac{0.40 * 0.06}{2} + (0.40 * 0.04) + \frac{0.04 * 2.60}{2} + \frac{3 * 0.045}{2} + [(Y - 0.10) * 6]$$

$$A = 0.1475 + [(Y - 0.10) * 6]$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = Y + \sqrt{0.40^2 + 0.06^2} + \sqrt{2.60^2 + 0.04^2} + \sqrt{3^2 + 0.045^2} + (Y - 0.055)$$

$$P = 2Y + 5.9501$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.1475 + (Y - 0.10) * 6}{(2 * Y) + 5.9501}$$

La pendiente de la vía es igual a 2.11% dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante en la calzada.

El caudal de aporte considerando la captación de los sumideros es igual a 1.34 m³/s.

$$1.34 = \frac{1}{0.011} * (0.1475 + (Y - 0.10) * 6) * \left(\frac{0.1475 + (Y - 0.10) * 6}{2 * Y + 5.9501} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.0211^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación se obtiene un tirante de 0.1635 m. al ingreso del sumidero.

3.4.2. Punto en estudio calle Daniel Campos y 15 de abril

3.4.2.1. Capacidad de sumideros existentes en el área de aporte

Se realizó el cálculo de la capacidad hidráulica de sumideros a partir de la metodología propuesta por Héctor Alfonso Rodríguez Díaz en su libro "Drenaje Urbano Elementos De Diseño". El procedimiento de cálculo se presenta en anexos, a continuación, se presenta la capacidad hidráulica de cada sumidero:

Tabla 17. Capacidad de los sumideros punto Daniel Campos y 15 de abril.

Capacidad de Sumidero "Lateral"		
Ubicación	Longitud metros	Capacidad m ³ /s
Daniel Campos y Domingo Paz (Izquierda)	0.98	0.01858
Daniel Campos y Domingo Paz (Derecha)	0.98	0.01694
Daniel Campos Pasando Domingo Paz (Izquierda)	1	0.03138
Daniel Campos y Bolívar (Izquierda)	1	0.02404
Daniel Campos y Bolívar (Derecha)	1	0.04125
Bolívar y Daniel Campos (Izquierda)	1	0.00795
Bolívar y Daniel Campos (Derecha)	0.85	0.00958
Daniel Campos e Ingavi (Izquierda)	0.70	0.03136
Daniel Campos e Ingavi (Derecha)	0.70	0.03207
Ingavi y Daniel Campos (Derecha)	0.70	0.00536
Daniel Campos entre Ingavi y La Madrid (Izquierda)	0.77	0.01596
Daniel Campos y 15 de abril (Izquierda)	1	0.02291
Daniel Campos y 15 de abril (Derecha)	1	0.02291
Fuente: Elaboración Propia		

3.4.3.2. Tirante de agua en la calzada

Para la determinación del tirante de agua en la calzada del punto en estudio se realizó un arrastre de los caudales que no son captados por los sumideros.

Siendo el caudal igual a:

$$Q_c = Q_a - Q_s$$

Dónde:

Qc= Caudal de cálculo m³/s

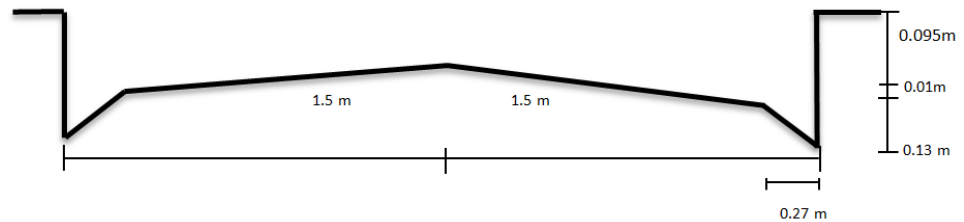
Qa= Caudal de aporte m³/s

Qs= Caudal captado por los sumideros m³/s

$$Q_c = 1.7488 - 0.28029 = 1.4685 \frac{m^3}{s}$$

Con la utilización de la ecuación de Manning se determinó el tirante en la siguiente sección:

Sección de la calzada calle Daniel Campos



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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = 2 * \left[\left(\frac{0.27 * 0.13}{2} \right) + (0.27 * 0.01) + \left(\frac{1.23 * 0.01}{2} \right) + ((Y - 0.14) * 1.5) \right]$$

$$A = 0.0528 + (Y - 0.14) * 3$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * \left(Y + \sqrt{0.27^2 + 0.13^2} + \sqrt{1.23^2 + 0.01^2} \right) = 2 * (Y + 1.53)$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.0528 + (y - 0.14) * 3}{2 * (Y + 1.53)}$$

La pendiente de la vía es igual a 0.825 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante en la calzada.

El caudal de aporte considerando la captación de los sumideros es igual a 1.4685 m³/s.

$$1.4685 = \frac{1}{0.011} * (0.0528 + (y - 0.14) * 3) * \left(\frac{0.0528 + (y - 0.14) * 3}{2 * (Y + 1.53)} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.00825^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación se obtiene un tirante de 0.3221 m. al ingreso del sumidero.

3.4.3. Punto en estudio calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras

3.4.3.1. Capacidad de sumideros

Se realizó el cálculo de la capacidad hidráulica de sumideros a partir de la metodología propuesta por Héctor Alfonso Rodríguez Díaz en su libro "Drenaje Urbano Elementos De Diseño". El procedimiento de cálculo se presenta en anexos, a continuación, se presenta la capacidad hidráulica de cada sumidero:

Tabla 18. Capacidad de los sumideros punto Eudal Valdez y Av. Las Palmeras

Capacidad de Sumidero "Lateral"		
Ubicación	Longitud metros	Capacidad m³/s
Eudal Valdez y Av. Las Palmeras (Izquierda)	2	0.04877
Eudal Valdez y Av. Las Paleras (Derecha)	2	0.04877
Fuente: Elaboración Propia		

3.4.4.2. Tirante de agua en la calzada

Para la determinación del tirante de agua en la calzada del punto en estudio se realizó un arrastre de los caudales que no son captados por los sumideros.

Siendo el caudal igual a:

$$Q_c = Q_a - Q_s$$

Dónde:

Qc= Caudal de cálculo m³/s

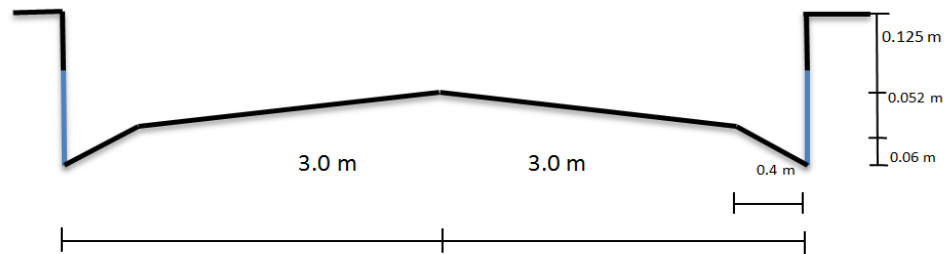
Qa= Caudal de aporte m³/s

Qs= Caudal captado por los sumideros m³/s

$$Q_c = 0.7708 - 0.09754 = 0.6733 \frac{m^3}{s}$$

Con la utilización de la ecuación de Manning se determinó el tirante para la siguiente sección en estudio:

Sección de la calzada calle Eudal Valdez



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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = 2 * \left[\left(\frac{0.40 * 0.06}{2} \right) + (0.40 * 0.052) + \left(\frac{2.60 * 0.052}{2} \right) + ((Y - 0.112) * 3) \right]$$

$$A = 0.2008 + (Y - 0.1120) * 6$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * \left(Y + \sqrt{0.40^2 + 0.06^2} + \sqrt{2.6^2 + 0.052^2} \right) = 2 * (Y + 3.0050)$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.2008 + (y - 0.1120) * 6}{2 * (Y + 3.0050)}$$

La pendiente de la vía es igual a 1.20 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante en la calzada.

El caudal de aporte considerando la captación de los sumideros es igual a 0.6733 m³/s.

$$0.6733 = \frac{1}{0.011} * (0.2008 + (y - 0.1120) * 6) * \left(\frac{0.2008 + (y - 0.1120) * 6}{2 * (Y + 3.0050)} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.015^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación se obtiene un tirante de 0.1432 m. al ingreso del sumidero.

3.4.4. Punto en estudio Av. Dr. Jorge Majluf y Av. Circunvalación

3.4.4.1. Capacidad de sumideros

Se realizó el cálculo de la capacidad hidráulica de sumideros a partir de la metodología propuesta por Héctor Alfonso Rodríguez Díaz en su libro "Drenaje Urbano Elementos De Diseño". El procedimiento de cálculo se presenta en anexos, a continuación, se presenta la capacidad hidráulica de cada sumidero:

Tabla 19. Capacidad de los sumideros punto Av. Dr. Jorge Majluf y Av. Circunvalación

Capacidad de Sumidero "Lateral"		
Ubicación	Longitud metros	Capacidad m³/s
Av. Dr. Jorge Majluf y Av. Circunvalación (Izquierda)	2	0.04231
Av. Dr. Jorge Majluf y Av. Circunvalación (Derecha)	2	0.04231
Fuente: Elaboración Propia		

3.4.7.2. Tirante de agua en la calzada

Para la determinación del tirante de agua en la calzada del punto en estudio se realizó un arrastre de los caudales que no son captados por los sumideros.

Siendo el caudal igual a:

$$Q_c = Q_a - Q_s$$

Dónde:

Qc= Caudal de cálculo m³/s

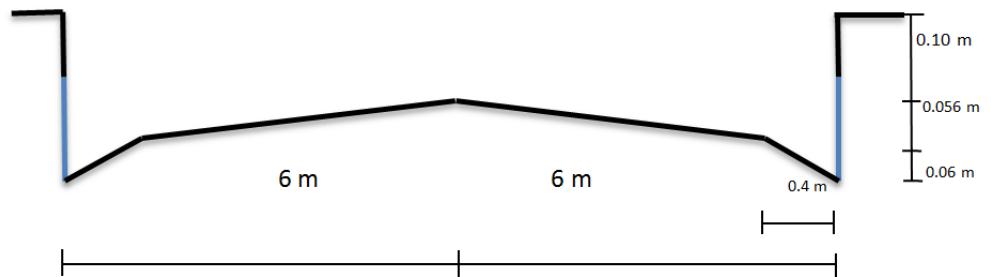
Qa= Caudal de aporte m³/s

Qs= Caudal captado por los sumideros m³/s

$$Q_c = 2.0570 - 0.08462 = 1.9724 \frac{m^3}{s}$$

Con la utilización de la ecuación de Manning se determinó el tirante para la siguiente sección en estudio:

Sección de la calzada Av. Dr. Jorge Majluf



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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = 2 * \left[\left(\frac{0.40 * 0.06}{2} \right) + (0.40 * 0.056) + \left(\frac{5.60 * 0.056}{2} \right) + ((Y - 0.116) * 6) \right]$$

$$A = 0.3824 + (Y - 0.116) * 12$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * \left(Y + \sqrt{0.40^2 + 0.06^2} + \sqrt{5.6^2 + 0.056^2} \right) = 2 * (Y + 6.0048)$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.3824 + (y - 0.116) * 12}{2 * (Y + 6.0048)}$$

La pendiente de la vía es igual a 4.3 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante en la calzada.

El caudal de aporte considerando la captación de los sumideros es igual a 1.9724 m³/s.

$$1.9724 = \frac{1}{0.011} * (0.3824 + (y - 0.116) * 12) * \left(\frac{0.3824 + (y - 0.116) * 12}{2 * (Y + 6.0048)} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.043^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación se obtiene un tirante de 0.1428 m. al ingreso del sumidero.

3.4.5. Punto en estudio Av. Los Molles y Av. Los Sauces

3.4.5.1. Capacidad de sumideros

Se realizó el cálculo de la capacidad hidráulica de sumideros a partir de la metodología propuesta por Héctor Alfonso Rodríguez Díaz en su libro "Drenaje Urbano Elementos De Diseño". El procedimiento de cálculo se presenta en anexos, a continuación, se presenta la capacidad hidráulica de cada sumidero:

Tabla 20. Capacidad de los sumideros punto Av. Los Molles y Av. Los Sauces

Capacidad de Sumidero "Lateral"		
Ubicación	Longitud metros	Capacidad m³/s
Av. Los Molles y Av. Los Sauces (Izquierda)	2	0.06541
Av. Los Molles y Av. Los Sauces (Derecha)	2	0.06541
Capacidad de Sumidero "Mixto"		
Ubicación	Longitud metros	Capacidad m³/s
Av. Los Molles entre calle Fray Antonio Zampa y calle 3 (Izquierda)	1.95	0.13584
Fuente: Elaboración Propia		

3.4.5.2. Tirante de agua en la calzada

Para la determinación del tirante de agua en la calzada del punto en estudio se realizó un arrastre de los caudales que no son captados por los sumideros.

Siendo el caudal igual a:

$$Q_c = Q_a - Q_s$$

Dónde:

Qc= Caudal de cálculo m³/s

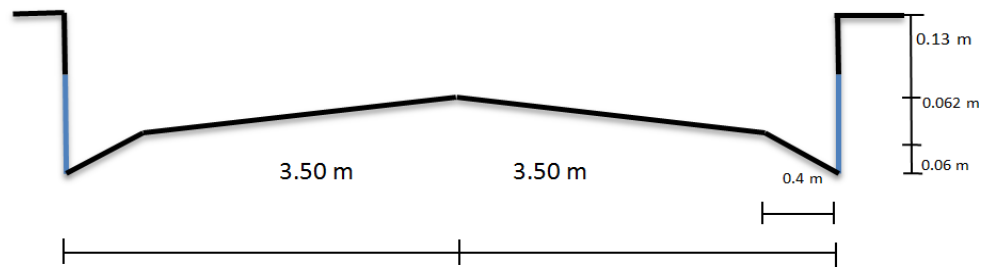
Qa= Caudal de aporte m³/s

Q_s = Caudal captado por los sumideros m^3/s

$$Q_c = 1.8801 - 0.2666 = 1.6135 \frac{m^3}{s}$$

Con la utilización de la ecuación de Manning se determinó el tirante para la siguiente sección en estudio:

Sección de la calzada Av. Los Molles



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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = 2 * \left[\left(\frac{0.40 * 0.06}{2} \right) + (0.40 * 0.062) + \left(\frac{3.10 * 0.062}{2} \right) + ((Y - 0.122) * 3.5) \right]$$

$$A = 0.2658 + (Y - 0.122) * 7$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * \left(Y + \sqrt{0.40^2 + 0.06^2} + \sqrt{3.10^2 + 0.062^2} \right) = 2 * (Y + 3.5051)$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.2658 + (y - 0.122) * 7}{2 * (Y + 3.5051)}$$

La pendiente de la vía es igual a 2.85 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante en la calzada.

El caudal de aporte considerando la captación de los sumideros es igual a 1.6135 m³/s.

$$1.6135 = \frac{1}{0.011} * (0.2658 + (y - 0.122) * 7) * \left(\frac{0.2658 + (y - 0.122) * 7}{2 * (Y + 3.5051)} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.0285^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación se obtiene un tirante de 0.1661 m. al ingreso del sumidero.

3.4.6. Punto en estudio Calle Ingavi y Av. Los Membrillos

3.4.6.1. Capacidad de sumideros

Se realizó el cálculo de la capacidad hidráulica de sumideros a partir de la metodología propuesta por Héctor Alfonso Rodríguez Díaz en su libro "Drenaje Urbano Elementos De Diseño". El procedimiento de cálculo se presenta en anexos, a continuación, se presenta la capacidad hidráulica de cada sumidero:

Tabla 21. Capacidad de los sumideros punto calle Ingavi y Av. Los Membrillos

Capacidad de Sumidero "Lateral"		
Ubicación	Longitud metros	Capacidad m³/s
Calle Ingavi y Av. Los Membrillos (Izquierda)	2	0.05308
Calle Ingavi y Av. Los Membrillos (Derecha)	2	0.05308
Fuente: Elaboración Propia		

3.4.6.2. Tirante de agua en la calzada

Para la determinación del tirante de agua en la calzada del punto en estudio se realizó un arrastre de los caudales que no son captados por los sumideros.

Siendo el caudal igual a:

$$Q_c = Q_a - Q_s$$

Dónde:

Q_c = Caudal de cálculo m^3/s

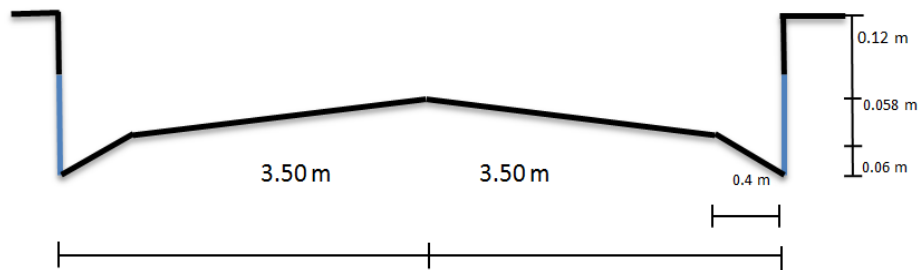
Q_a = Caudal de aporte m^3/s

Q_s = Caudal captado por los sumideros m^3/s

$$Q_c = 1.1829 - 0.10616 = 1.077 \frac{m^3}{s}$$

Con la utilización de la ecuación de Manning se determinó el tirante para la siguiente sección en estudio:

Sección de la calzada calle Ingavi



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

Dónde:

V = Velocidad en m/s

R = Radio hidráulico en m .

S = Pendiente m/m

n = Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = 2 * \left[\left(\frac{0.40 * 0.06}{2} \right) + (0.40 * 0.058) + \left(\frac{3.10 * 0.058}{2} \right) + ((Y - 0.118) * 3.5) \right]$$

$$A = 0.2502 + (Y - 0.118) * 7$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * \left(Y + \sqrt{0.40^2 + 0.06^2} + \sqrt{3.10^2 + 0.058^2} \right) = 2 * (Y + 3.5050)$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.2502 + (Y - 0.118) * 7}{2 * (Y + 3.5050)}$$

La pendiente de la vía es igual a 1.95 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante en la calzada.

El caudal de aporte considerando la captación de los sumideros es igual a 1.077 m³/s.

$$1.077 = \frac{1}{0.011} * (0.2502 + (Y - 0.118) * 7) * \left(\frac{0.2502 + (Y - 0.118) * 7}{2 * (Y + 3.5050)} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.0195^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación se obtiene un tirante de 0.1543 m. al ingreso del sumidero.

3.4.7. Punto en estudio calle General Trigo y Domingo Paz

3.4.7.1. Capacidad de sumideros

Se realizó el cálculo de la capacidad hidráulica de sumideros a partir de la metodología propuesta por Héctor Alfonso Rodríguez Díaz en su libro "Drenaje Urbano Elementos De Diseño". El procedimiento de cálculo se presenta en anexos, a continuación, se presenta la capacidad hidráulica de cada sumidero:

Tabla 22. Capacidad de los sumideros punto General Trigo y Domingo Paz

Capacidad de Sumidero "Mixto"		
Ubicación	Longitud metros	Capacidad m³/s
General Trigo y Domingo Paz (Izquierda)	1	0.0972
Fuente: Elaboración Propia		

3.4.7.2. Tirante de agua en la calzada

Para la determinación del tirante de agua en la calzada del punto en estudio se realizó un arrastre de los caudales que no son captados por los sumideros.

Siendo el caudal igual a:

$$Q_c = Q_a - Q_s$$

Dónde:

Q_c = Caudal de cálculo m^3/s

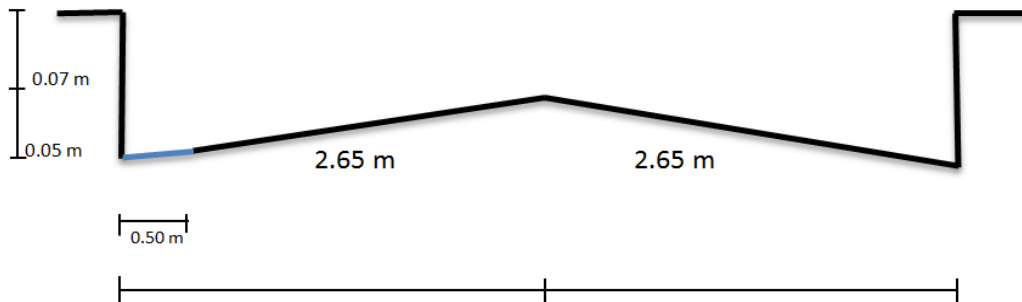
Q_a = Caudal de aporte m^3/s

Q_s = Caudal captado por los sumideros m^3/s

$$Q_c = 0.6920 - 0.0972 = 0.5948 \frac{m^3}{s}$$

Con la utilización de la ecuación de Manning se determinó el tirante para la siguiente sección en estudio:

Sección de la calzada calle General Trigo



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

Dónde:

V = Velocidad en m/s

R = Radio hidráulico en m .

S = Pendiente m/m

n = Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = 2 * \left[\left(\frac{2.65 * 0.05}{2} \right) + ((Y - 0.05) * 2.65) \right]$$

$$A = 0.1325 + (Y - 0.05) * 5.30$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * \left(Y + \sqrt{2.65^2 + 0.05^2} \right) = 2 * (Y + 2.6505)$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.1325 + (Y - 0.05) * 5.30}{2 * (Y + 2.6505)}$$

La pendiente de la vía es igual a 2.10 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante en la calzada.

El caudal de aporte considerando la captación de los sumideros es igual a 0.5948 m³/s.

$$0.5948 = \frac{1}{0.011} * (0.1325 + (Y - 0.05) * 5.30) * \left(\frac{0.1325 + (Y - 0.05) * 5.30}{2 * (Y + 2.6505)} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.0210^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación se obtiene un tirante de 0.0830 m. al ingreso del sumidero.

3.5. Características de pavimento de hormigón drenante

3.5.1. Caracterización de los agregados

Se realizaron ensayos de laboratorio a los agregados a utilizar en el diseño de la mezcla, dichos ensayos bajo las normas ASTM y AASHTO son los siguientes:

- ASTM C566-84: Contenido de humedad de los agregados.
- ASTM C 136; AASHTO T 127: Análisis granulométrico agregado grueso y fino.



A



B



C

Figura 20. Granulometría Agregado Grueso. A: Muestra seca de 5000 gr. B: Agitado mecánico con Rop Tap

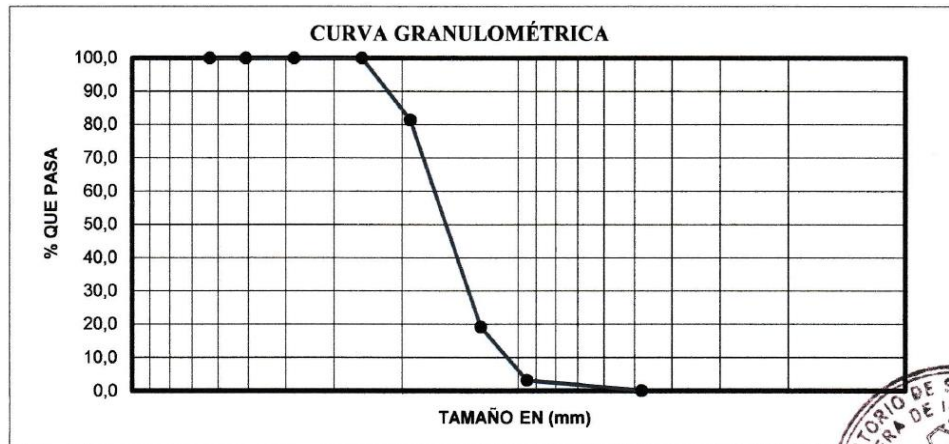
C: Muestras retenidas en los tamices para ser pesadas



GRANULOMETRÍA - AGREGADO GRUESO

Proyecto: Analisis De Sumideros Con Pavimento Poroso	Identif. Muestra: Agregado Grueso
Procedencia: Áridos Vafercon	Laboratoristas: Rodrigo Yañez
Solicitante: U.A.J.M.S.	Fecha: 25/08/2015

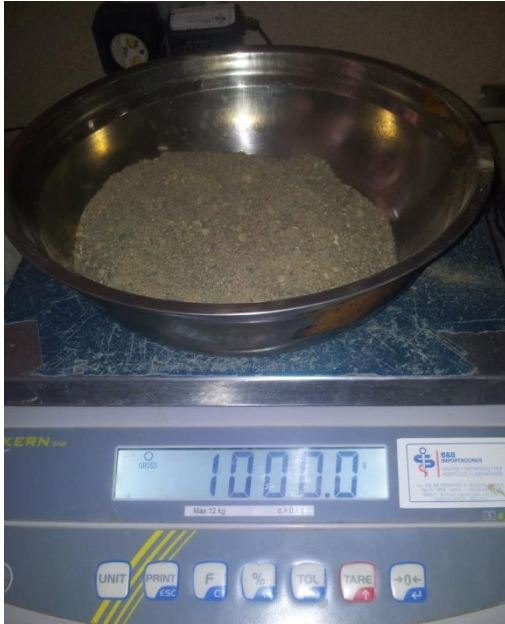
Peso Total (gr.) =			5000				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especif. ASTM	
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
1 1/2	38,10	0,00	0,00	0,00	100,0	95	100
1	25,40	0,00	0,00	0,00	100,0		
3/4	19,05	930,50	930,50	18,61	81,4	35	70
1/2	12,50	3107,80	4038,30	80,77	19,2		
3/8	9,50	797,40	4835,70	96,71	3,3	10	30
Nº4	4,80	155,10	4990,80	99,82	0,2	0	5
BASE	0	8,90	4999,70	99,99	0,0		
SUMA =		4999,70					
PÉRDIDAS =		0,30	TAMAÑO MAX : 3/4"				
MF =		7,15					



HUMEDAD	
DATO	gr
Peso Muestra Húmeda	1000,40
Peso Muestra seca	982,00
Peso Agua	18,40
% de Humedad	1,87



Ing. Moisés Díaz Ayarde
 Resp. Lab. Suelos y Hormigones



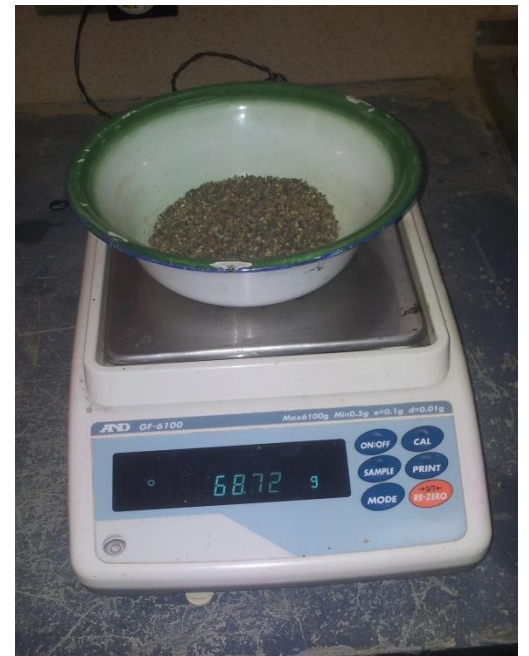
A



B



C



D

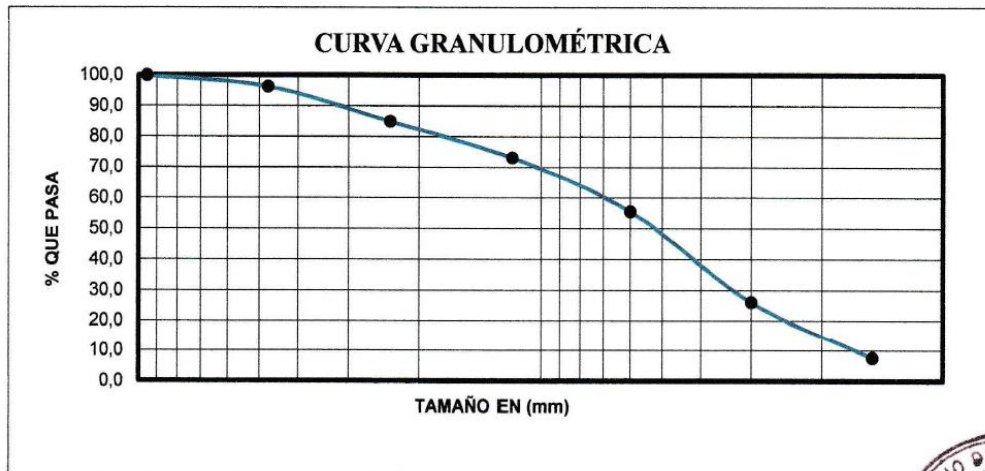
Figura 21. Granulometría Agregado Fino. A: Muestra seca de 1000 gr. B: Muestra lavada por tamiz N °200 C: Agitado mecánico de muestra seca. D: Peso de muestra retenida en cada tamiz



GRANULOMETRÍA - AGREGADO FINO

Proyecto: Analisis De Sumideros Con Pavimento Poroso	Identif. Muestra: Agregado Fino
Procedencia: Áridos Vafercon	Laboratoristas: Rodrigo Yañez
Solicitante: U.A.J.M.S.	Fecha: 25/08/2015

Peso Total (gr.)		1000				Especificacion ASTM C-33	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total		
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
Nº4	4,75	37,20	37,20	3,72	96,3	95	100
Nº8	2,36	113,40	150,60	15,06	84,9	100	100
Nº16	1,18	118,40	269,00	26,90	73,1	45	80
Nº30	0,60	174,90	443,90	44,39	55,6	100	100
Nº50	0,30	294,50	738,40	73,84	26,2	10	30
Nº100	0,15	184,80	923,20	92,32	7,7	2	10
BASE		76,40	999,60	99,96	0,0		
SUMA		999,6					
PÉRDIDAS		0,4					
MF =		2,56					



HUMEDAD	
DATO	gr
Peso Muestra Húmeda	500,00
Peso Muestra seca	490,50
Peso Agua	9,50
% de Humedad	1,94



Ing. Moisés Díaz Ayarde
 Resp. Lab. Suelos y Hormigones

- ASTM C 127; AASHTO T 85: Peso específico y absorción del agregado grueso.



A



B



C



D

Figura 22. Peso Específico Agregado Grueso A: Muestra lavada y saturada B: Muestra de 5000 gr superficialmente seca. C: Peso de muestra sumergida en agua. D: Secado de muestra para ser secada



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGON

PESO ESPECÍFICO - AGREGADO GRUESO

Proyecto: Analisis De Sumideros Con Pavimento Poroso	Identif. Muestra: Agregado Grueso
Procedencia: Áridos Vafercon	Laboratoristas: Rodrigo Yañez
Solicitante: U.A.J.M.S.	Fecha: 25/08/2015

MUESTRA N°	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (gr)	PESO MUESTRA SAT. DENTRO DEL AGUA "C" (gr)	PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFICO S.S.S. (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABS.
1	4932,00	5000,00	3128,00	2,63	2,67	2,73	1,38
2	4930,00	5000,00	3125,00	2,63	2,67	2,73	1,42
3	4930,00	5000,00	3126,00	2,63	2,67	2,73	1,42
PROMEDIO				2,63	2,67	2,73	1,40

(B-C) = Este término es la pérdida de peso de la muestra sumergida y significa por lo tanto el volúmen de agua desplazado o sea el volúmen de la muestra.

Ing. Moisés Díaz Ayarde
Resp. Lab. Suelos y Hormigones



- ASTM C 128; AASHTO T 84: Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.



A



B



C



D

Figura 23. Peso Específico Agregado Fino. A: Secado de muestra saturada. B: Muestra de 500 gr de agregado superficialmente seco. C: Peso de muestra más matraz con agua. D: Secado de la muestra para ser pesada



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
 PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGON

PESO ESPECÍFICO - AGREGADO FINO

Proyecto: Analisis De Sumideros Con Pavimento Poroso	Identif. Muestra: Agregado Fino
Procedencia: Áridos Vafercon	Laboratoristas: Rodrigo Yañez
Solicitante: U.A.J.M.S.	Fecha: 25/08/2015

MU N°	PESO MUESTRA (gr)	PESO MATRÁZ (gr)	MUESTRA + MATRAZ + AGUA (gr)	PESO AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOL. DEL MATRÁZ "V" (ml)	P. E. GRANEL (gr/cm ³)	P. E. S.S.S. (gr/cm ³)	P. E. APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABS
1	500	178,1	972	293,90	489,10	500,00	2,37	2,43	2,51	2,18
1	500	178,1	970,9	292,80	489,00	500,00	2,36	2,41	2,49	2,20
1	500	178,1	971,9	293,80	489,00	500,00	2,37	2,42	2,51	2,20
PROMEDIO							2,37	2,42	2,50	2,19

Ing. Moisés Díaz Ayarde

Resp. Lab. Suelos y Hormigones



- ASTM C-29; AASHTO T 19: Determinación de peso unitario suelto y varillado del agregado grueso y fino.



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
 PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGON

PESO UNITARIO - AGREGADO GRUESO

Proyecto: Analisis De Sumideros Con Pavimento Poroso	Identif. Muestra: Agregado Grueso
Procedencia: Áridos Vafercon	Laboratoristas: Rodrigo Yañez
Solicitante: U.A.J.M.S.	Fecha: 25/08/2015

PESO UNITARIO SUELTO

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	8885,00	14000,00	28110,00	19225,00	1,373
2	8885,00	14000,00	28360,00	19475,00	1,391
3	8885,00	14000,00	28015,00	19130,00	1,366
PROMEDIO					1,377

PESO UNITARIO COMPACTADO

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	8885,00	14000,00	29905,00	21020,00	1,501
2	8885,00	14000,00	29635,00	20750,00	1,482
3	8885,00	14000,00	29855,00	20970,00	1,498
PROMEDIO					1,494

Ing. Moisés Díaz Ayarde

Resp. Lab. Suelos y Hormigones





UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGON

PESO UNITARIO - AGREGADO FINO

Proyecto: Analisis De Sumideros Con Pavimento Poroso	Identif. Muestra: Agregado Fino
Procedencia: Áridos Vafercon	Laboratoristas: Rodrigo Yañez
Solicitante: U.A.J.M.S.	Fecha: 25/08/2015

PESO UNITARIO SUELTO

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	2611,50	3000,00	7560,00	4948,50	1,650
2	2611,50	3000,00	7585,00	4973,50	1,658
3	2611,50	3000,00	7540,00	4928,50	1,643
PROMEDIO					1,650

PESO UNITARIO COMPACTADO

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	2611,50	3000,00	7890,00	5278,50	1,760
2	2611,50	3000,00	7905,00	5293,50	1,765
3	2611,50	3000,00	7885,00	5273,50	1,758
PROMEDIO					1,761

Ing. Moisés Díaz Ayarde
Resp. Lab. Suelos y Hormigones



- ASTM C 131: Porcentaje de desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de los ángeles.

	UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE COMUNICACIÓN CARRERA DE INGENIERIA CIVIL (TARIJA-BOLIVIA)	
	Proyecto: Analisis de sumideros con pavimento drenante	
Procedencia: Aridos Elercom Solicitante: U.A.J.M.S.	Identificación Agregado: Tolomosa Laboratoristas: Rodrigo Yañez Fecha: 25/08/2015	

ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ANGELES ASTM C-131

TABLA ASTM C-131 SEGÚN EL TAMAÑO DE MATERIAL QUE SE TENGA

METODO		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL AEMPLEAR (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	Nº4			2500±10	
Nº4	Nº8				5000±10
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
Nº DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACION		30	15	15	15

DATOS DE LABORATORIO

METODO A		METODO B		METODO C		METODO D	
TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO
1"	1250	1/2"	2500	1/4"	2500	Nº8	5000
3/4"	1250	3/8"	2500	Nº	2500		
1/2"	1250						
3/8"	1250						

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{P_{\text{INICIAL}} - P_{\text{FINAL}}}{P_{\text{FINAL}}} * 100$$

MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
A	3500	3500	0	35% MAX
B	5000	4070	22,85	35% MAX
C	5000	5000	0	35% MAX
D	5000	5000	0	35% MAX

SEPARACION DE PIEDRA PIZARRA

PESO DE LA MUESTRA	PESO DE LA PIEDRA PIZARRA	PESO FINAL
5000	930	4070



Ing. Moises Diaz Ayarde
JEFE DE LAB. DE SUELOS Y HORMIGONES

- ASTM C 204: Determinación de la finura del cemento.



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
 PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGON

FINURA DEL CEMENTO

Proyecto: Analisis De Sumideros Con Pavimento Poroso	Identif. Muestra: Cemento
Procedencia: Cemento El Puente	Laboratoristas: Rodrigo Yañez
Solicitante: U.A.J.M.S.	Fecha: 25/08/2015

MU N°	PESO MUESTRA (gr)	PESO RETENIDO MALLA 40 (gr)	PESO RETENIDO MALLA 200 (gr)	PESO PASA MALLA 200 (gr)	PESO QUE NO PASA MALLA 200 (gr)	FINURA DE CEMENTO (%)
1	50,01	0,02	1,45	48,54	1,47	2,94
1	50,04	0,04	1,78	48,22	1,82	3,64
1	50,02	0,02	1,66	48,34	1,68	3,36
PROMEDIO						3,31

Ing. Moisés Díaz Ayarde
 Resp. Lab. Suelos y Hormigones



- ASTM C 188 – 84; AASHTO T 133-86: Peso específico del cemento

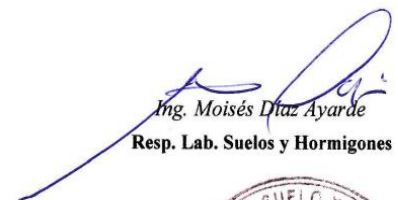


UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
 PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGON

PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO

Proyecto: Analisis De Sumideros Con Pavimento Poroso	Identif. Muestra: Cemento
Procedencia: Cemento El Puente	Laboratoristas: Rodrigo Yañez
Solicitante: U.A.J.M.S.	Fecha: 25/08/2015

MUESTRA N°	PESO MUESTRA DE CEMENTO (gr)	VOLUMEN INICIAL EN MATRAZ (cm3)	VOLUMEN FINAL EN MATRZ (cm3)	VOLUMEN DESPLAZADO (cm3)	PESO ESPECÍFICO CEMENTO (gr/cm3)
1	64,08	300,00	320,00	20,00	3,20
2	64,05	300,00	320,00	20,00	3,20
3	64,01	300,00	320,00	20,00	3,20
PROMEDIO					3,20


 Ing. Moisés Díaz Ayarde
 Resp. Lab. Suelos y Hormigones



3.5.2. Dosificación de hormigón drenante

La dosificación del hormigón drenante se realizó siguiendo las recomendaciones de la norma ACI 211.3 a partir de los datos obtenidos en laboratorio.

Datos:

Relación agua / cemento: 0.35

Porcentaje de vacíos: 20 %

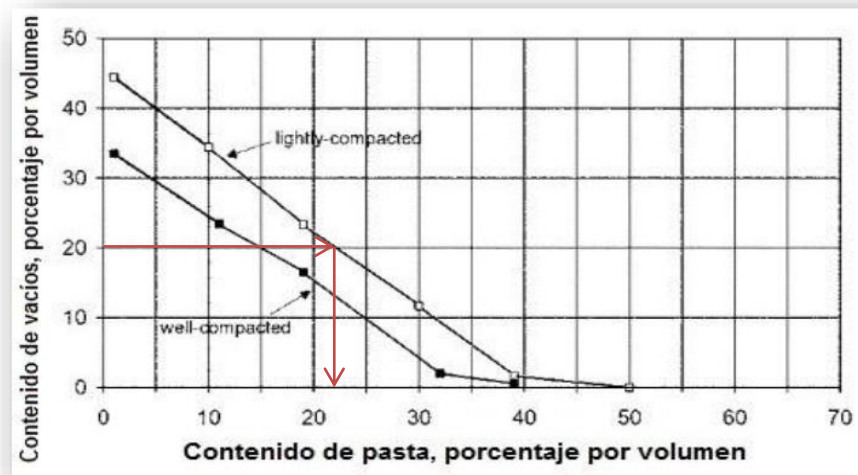
Peso específico del cemento 3.20 gr/cm^3

Peso específico de la grava: 2.67 gr/cm^3

Peso específico de la arena: 2.42 gr/cm^3

3.5.2.1. Determinación del contenido de pasta

Se determinó el volumen de pasta a partir de la figura 9 para un hormigón ligeramente compactado y con contenido de vacíos del 20 %.



Se determinó un contenido de pasta de 22 %, según recomendaciones de ACI si se utiliza agregado fino en el diseño de la mezcla el contenido de pasta debe ser reducido

un 1% por cada 10% del agregado fino del total de agregado para hormigón drenante ligeramente compactado.

El hormigón será diseñado con un contenido de agregado fino igual al 10 % del total del agregado. Por lo tanto, el volumen de pasta será igual a:

$$V_p = 22 * 0.99 = 21.78 \%$$

El volumen de pasta será igual al 21.78 % es decir 0.2178 m³ de pasta por cada m³ de hormigón drenante.

3.5.2.2. Volumen de agregado

El volumen del agregado se estableció a partir de la diferencia entre el volumen total de hormigón drenante y el volumen de pasta más porcentaje de vacíos.

$$V_a = V_t - V_p - V_v$$

Dónde:

V_a = Volumen de agregado

V_t = Volumen total = 1 m³

V_p = Volumen de pasta en m³.

V_v = Volumen de vacíos en m³

$$V_a = 1 - 0.2178 - 0.2 = 0.5822 \text{ m}^3$$

Volumen de agregado fino: El volumen de agregado fino será igual al 10% del total del volumen de agregado.

$$V_f = 0.5822 * 0.10 = 0.05822 \text{ m}^3$$

Peso de agregado fino:

El peso del agregado fino será igual al volumen de agregado fino multiplicado por el peso específico del agregado fino.

$$P_f = 0.05822m^3 * 2420 \frac{kg}{m^3} = 140.90 kg$$

El peso del agregado fino será igual a 140.90 kg por cada metro cubico de hormigón drenante.

Volumen de agregado grueso: El volumen de agregado grueso será igual al 90% del total de volumen de agregado.

$$V_g = 0.5822 * 0.90 = 0.52398 m^3$$

Peso de agregado grueso:

El peso del agregado grueso será igual al volumen de agregado grueso multiplicado por el peso específico del agregado grueso.

$$P_g = 0.52398m^3 * 2670 \frac{kg}{m^3} = 1399 kg$$

El peso del agregado grueso será igual a 1399 kg por cada metro cubico de hormigón drenante.

3.5.2.3. Volumen de cemento

Sabiendo que el volumen de pasta es igual al volumen de cemento más el volumen de agua se tiene la siguiente relación:

$$V_p = V_{cemento} + V_{agua}$$

$$V_p = \frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso especifico cemento}} + \frac{\text{Peso de agua}}{\text{peso especifico del agua}}$$

A partir de la relación agua / cemento el peso del agua se puede expresar de la siguiente manera:

$$V_p = \frac{c}{\text{Peso especifico cemento}} + \frac{\left(\frac{a}{c}\right) * c}{\text{Peso especifico del agua}}$$

Siendo c el peso del cemento en kg. Reemplazando valores en la ecuación:

$$0.2178 \text{ m}^3 = \frac{c}{3200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{(0.35) * c}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$c = \frac{0.2178 \text{ m}^3}{\frac{1}{3200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{0.35}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 328.75 \text{ kg}$$

El peso de cemento es igual a 328.75 kg de cemento por metro cubico de hormigón drenante.

El volumen de cemento será igual a:

$$V_c = \frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso especifico del cemento}}$$

$$V_c = \frac{328.75 \text{ kg}}{3200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.1027 \text{ m}^3$$

3.5.2.4. Contenido de agua

La cantidad de agua se obtendrá a partir de la relación agua/ cemento.

$$\text{Peso agua} = \left(\frac{\text{peso agua}}{\text{peso cemento}} \right) * \text{Peso cemento}$$

$$\text{Peso agua} = (0.35) * 328.75 \text{ kg} = 115.06 \text{ kg}$$

El volumen de agua será igual a:

$$V_{\text{agua}} = \frac{\text{Peso agua}}{\text{Peso específico agua}}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{115.06 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.1150 \text{ m}^3$$

3.5.2.5. Resultados de dosificación

Los valores obtenidos para cada componente del hormigón drenante son los siguientes:

Pesos por metro cubico de hormigón drenante	
Cemento	328.75 kg
Grava	1399 kg
Arena	140.90 kg
Agua	115.06 kg
Peso total del hormigón	1983.71 kg

Volumen por metro cubico de hormigón drenante	
Cemento	0.1027 m ³
Grava	0.52398 m ³
Arena	0.05822 m ³
Agua	0.1150 m ³
Vacíos	0.20 m ³

3.5.3. Resistencia a compresión y flexión

Se realizaron los ensayos de rupturas de probetas y vigas de hormigón drenante en el laboratorio de suelos y hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



a



b

Figura 24. Ensayo de rupturas de probetas de hormigón drenante

a) Maquina hidráulica para ensayos de hormigón b) lectura de resistencia a compresión



a



b

Figura 25. Ensayo de resistencia a flexión

a) Ensayo de resistencia a flexión b) Vigas falladas a flexión

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Resistencia a compresión

Probeta N°	Sección (cm²)	Lectura (KN)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm²)
1	176,715	185,7	18570	105,1
2	176,715	169,8	16980	96,1
3	176,715	173,7	17370	98,3
Promedio				99,8

Resistencia a flexión

Viga. Nº	Lado de viga "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Resistencia flexión (Kg/cm2)
1	15	7,5	765,00	10,20
2	15	8,1	826,20	11,02
3	15	7,2	734,40	9,79
Promedio				10,34

3.5.4. Caudal de infiltración

No existe normativa para evaluar este parámetro, sin embargo, en el comité ACI 522 hace mención de un aparato para calcular este valor, y describe un permeámetro de carga variable. Para lo cual se moldearon 3 cilindros de altura de 30 cm y 15 cm de diámetro.

Para la realización del ensayo se siguieron los siguientes pasos:

- Se elaboró un permeámetro de carga variable para una muestra de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto.
- Se introdujo una muestra de hormigón drenante de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto en el permeámetro, se llenó de agua hasta una altura de carga de 30 cm.



A



B

Figura 20. (A) Permeámetro de carga variable (B) Muestra de hormigón drenante

- Se abre la llave y se toma el tiempo en que infiltran los 30 cm de agua.



A



B

Figura 26. Ensayo de permeabilidad (A) Descarga de agua infiltrada (B) Medición de tiempo de infiltración

Muestra	Ensayo N°	Carga cm	Tiempo segundos	Tiempo promedio	Infiltración mm/s
1	1	30	26.75	27.12	11.06
	2	30	27.61		
	3	30	27.01		
2	1	30	26.62	26.64	11.26
	2	30	26.47		
	3	30	26.84		
3	1	30	26.66	26.70	11.24
	2	30	26.80		
	3	30	26.64		
Infiltración promedio a utilizar en cálculo					11.19 mm/s

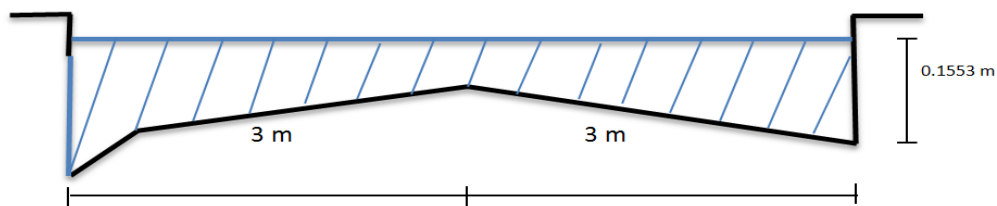
3.6. Características hidráulicas con variante de pavimento drenante

3.6.1. Punto en estudio calle Junín esquina Av. Víctor Paz

3.6.1.1. Tirante de agua en la calzada

El tirante producido en el punto de estudio es igual a 0.1635 metros el cual se reducirá debido a la infiltración que permite el pavimento drenante.

Sección de la calzada calle Junín



Aplicando pavimento drenante sobre la calle Junín entre Avaroa y Avenida Víctor Paz el tirante sería reducido 11.19 mm/s generando un tirante igual a:

$$T_r = T_n - I$$

Dónde:

Tr: Tirante reducido en metros

Tn: Tirante normal sin variante de pavimento drenante en metros.

I: Infiltración del pavimento drenante en metros.

$$T_r = 0.1635 - 0.01119 = 0.15231\text{m}$$

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante en el punto de estudio es igual a 0.15231 metros.

3.6.1.2. Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante

Para estimar el caudal de reducción se utilizará la ecuación de Manning y la ecuación de la continuidad, asumiendo un coeficiente de rugosidad para pavimento normal debido a que no se cuenta con valores establecidos para este tipo de pavimento.

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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante es igual al 0.09881 m

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = 0.1475 + [(0.15231 - 0.10) * 6] = 0.46136 \text{ m}^2$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = (2 * 0.15231) + 5.9501 = 6.25472 \text{ m}$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{0.46136 \text{ m}^2}{6.25472 \text{ m}} = 0.0738 \text{ m}$$

La pendiente de la vía es igual a 2.11% dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante máximo en la sección

$$Q = \frac{1}{0.011} * 0.46136 * (0.0738)^{\frac{2}{3}} * 0.0211^{\frac{1}{2}} = 1.0719 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal reducido con la utilización de pavimento drenante será igual a:

$$Q_r = Q_n - Q_d$$

Dónde:

Q_r : Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante en m^3/s .

Q_n : Caudal en el punto de estudio con calzada de pavimento normal en m^3/s

Q_d : Caudal en el punto de estudio con la utilización de pavimento drenante en m^3/s .

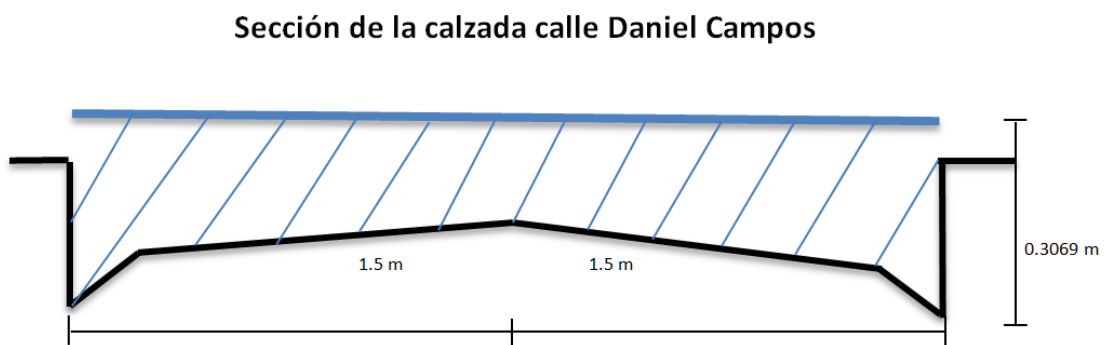
$$Q_r = 1.34 \frac{m^3}{s} - 1.0719 \frac{m^3}{s} = 0.2681 \frac{m^3}{s}$$

Con la utilización de pavimento drenante en el punto en estudio nos permite evacuar un caudal de $0.2681 m^3/s$.

3.6.2. Punto en estudio calle Daniel Campos y 15 de abril

3.6.2.1. Tirante de agua

El tirante producido en el punto de estudio es igual a 0.3069 metros el cual se reducirá debido a la infiltración que permite el pavimento drenante.



El tirante de agua según se muestra en la imagen es mayor a la altura del cordón, en las condiciones actuales la capacidad de la calle es excedida.

Para el cálculo del caudal de reducción se considerará una altura de cordón mayor al tirante de agua. Ya que la altura reducida del cordón se debe a los constantes recapamientos que tuvo la calzada.

Aplicando pavimento drenante sobre la calle Daniel Campos entre La Madrid y 15 de abril el tirante sería reducido 11.19 mm/s generando un tirante igual a:

$$T_r = T_n - I$$

Dónde:

Tr: Tirante reducido en metros

Tn: Tirante normal sin variante de pavimento drenante en metros.

I: Infiltración del pavimento drenante en metros.

$$T_r = 0.3221 - 0.01119 = 0.31091\text{m}$$

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante en el punto de estudio es igual a 0.31091 metros.

3.6.2.2. Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante

Para estimar el caudal de reducción se utilizará la ecuación de Manning y la ecuación de la continuidad, asumiendo un coeficiente de rugosidad para pavimento normal debido a que no se cuenta con valores establecidos para este tipo de pavimento.

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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante es igual al 0.31091 m

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = [0.0528 + ((0.31091 - 0.14) * 3)] = 0.56553 \text{ m}^2$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * (0.31091 + 1.53) = 3.68182 \text{ m}$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{0.56553}{3.68182} = 0.1536 \text{ m}$$

La pendiente de la vía es igual a 0.825 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante máximo en la sección

$$Q = \frac{1}{0.011} * 0.56553 * (0.1536)^{\frac{2}{3}} * 0.00825^{\frac{1}{2}} = 1.3393 \frac{m^3}{s}$$

El caudal reducido con la utilización de pavimento drenante será igual a:

$$Q_r = Q_n - Q_d$$

Dónde:

Q_r: Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante en m³/s.

Q_n: Caudal en el punto de estudio con calzada de pavimento normal en m³/s

Q_d: Caudal en el punto de estudio con la utilización de pavimento drenante en m³/s.

$$Q_r = 1.4685 \frac{m^3}{s} - 1.3393 \frac{m^3}{s} = 0.1292 \frac{m^3}{s}$$

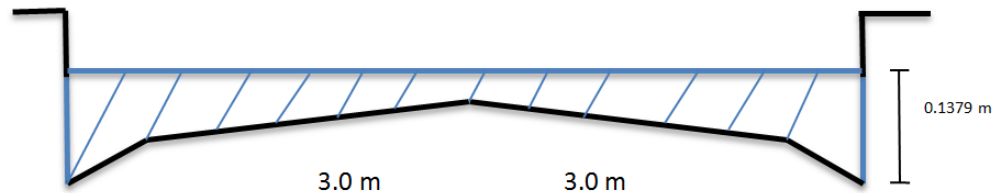
Con la utilización de pavimento drenante en el punto en estudio nos permite evacuar un caudal de 0.1292 m³/s.

3.6.3. Punto en estudio calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras

3.6.3.1. Tirante de agua

El tirante producido en el punto de estudio después del sumidero es igual a 0.1432 metros el cual se reducirá debido a la infiltración que permite el pavimento drenante.

Sección de la calzada calle Eudal Valdez



Aplicando pavimento drenante sobre la calle Eudal Valdez entre Av. Las Palmeras y Pedro F. Tordoya el tirante sería reducido 11.19 mm/s generando un tirante igual a:

$$T_r = T_n - I$$

Dónde:

Tr: Tirante reducido en metros

Tn: Tirante normal sin variante de pavimento drenante en metros.

I: Infiltración del pavimento drenante en metros.

$$T_r = 0.1432 - 0.01119 = 0.13201\text{m}$$

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante en el punto de estudio es igual a 0.13201 metros.

3.6.3.2. Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante

Para estimar el caudal de reducción se utilizará la ecuación de Manning y la ecuación de la continuidad, asumiendo un coeficiente de rugosidad para pavimento normal debido a que no se cuenta con valores establecidos para este tipo de pavimento.

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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante es igual al 0.12671 m

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = [0.2008 + ((0.13201 - 0.1120) * 6)] = 0.32086m^2$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * (0.13201 + 3.0050) = 6.27402 m$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{0.32086}{6.27402} = 0.0511 m$$

La pendiente de la vía es igual a 1.5 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante máximo en la sección

$$Q = \frac{1}{0.011} * 0.32086 * (0.0511)^{\frac{2}{3}} * 0.015^{\frac{1}{2}} = 0.4919 \frac{m^3}{s}$$

El caudal reducido con la utilización de pavimento drenante será igual a:

$$Q_r = Q_n - Q_d$$

Dónde:

Q_r: Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante en m³/s.

Q_n: Caudal en el punto de estudio con calzada de pavimento normal en m³/s

Q_d: Caudal en el punto de estudio con la utilización de pavimento drenante en m³/s.

$$Q_r = 0.6733 \frac{m^3}{s} - 0.4919 \frac{m^3}{s} = 0.1814 \frac{m^3}{s}$$

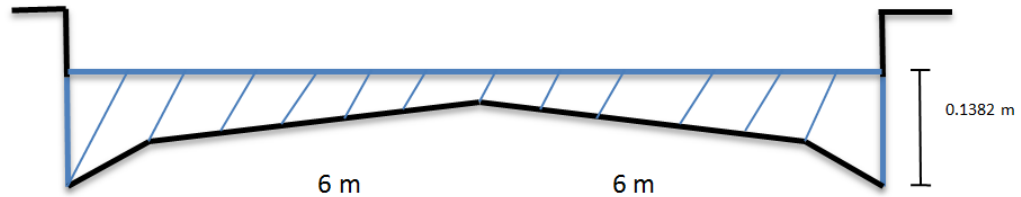
Con la utilización de pavimento drenante en el punto en estudio nos permite evacuar un caudal de 0.1814 m³/s.

3.6.4. Punto en estudio Av. Dr. Jorge Majluf y Av. Circunvalación

3.6.4.1. Tirante de agua

El tirante producido en el punto de estudio después del sumidero es igual a 0.1382 metros el cual se reducirá debido a la infiltración que permite el pavimento drenante.

Sección de la calzada Av. Dr. Jorge Majluf



Aplicando pavimento drenante sobre la Av. Dr., Jorge Majluf entre Av. Circunvalación y Tolomosa el tirante sería reducido 11.19 mm/s generando un tirante igual a:

$$T_r = T_n - I$$

Dónde:

Tr: Tirante reducido en metros

Tn: Tirante normal sin variante de pavimento drenante en metros.

I: Infiltración del pavimento drenante en metros.

$$T_r = 0.1428 - 0.01119 = 0.13161\text{m}$$

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante en el punto de estudio es igual a 0.13161 metros.

3.6.4.2. Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante

Para estimar el caudal de reducción se utilizará la ecuación de Manning y la ecuación de la continuidad, asumiendo un coeficiente de rugosidad para pavimento normal debido a que no se cuenta con valores establecidos para este tipo de pavimento.

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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante es igual al 0.13161 m

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = [0.3824 + ((0.13161 - 0.116) * 12)] = 0.56972 \text{ m}^2$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * (0.13161 + 6.0048) = 12.273 \text{ m}$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{0.56972}{12.273} = 0.04642 \text{ m}$$

La pendiente de la vía es igual a 4.30 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante máximo en la sección

$$Q = \frac{1}{0.011} * 0.56972 * (0.04642)^{\frac{2}{3}} * 0.043^{\frac{1}{2}} = 1.3872 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal reducido con la utilización de pavimento drenante será igual a:

$$Q_r = Q_n - Q_d$$

Dónde:

Qr: Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante en m³/s.

Qn: Caudal en el punto de estudio con calzada de pavimento normal en m³/s

Qd: Caudal en el punto de estudio con la utilización de pavimento drenante en m³/s.

$$Q_r = 1.9724 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} - 1.3872 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.5852 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

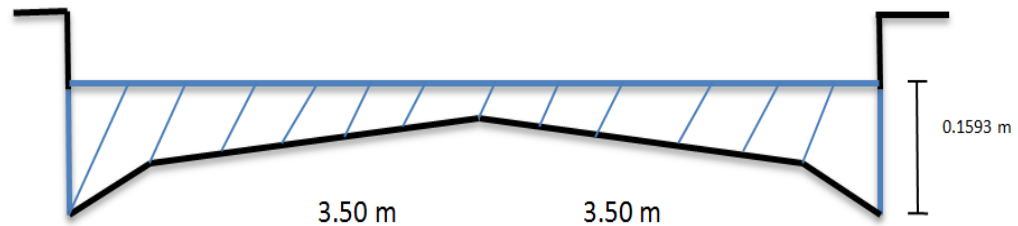
Con la utilización de pavimento drenante en el punto en estudio nos permite evacuar un caudal de 0.5852 m³/s.

3.6.5. Punto en estudio Av. Los Molles y Av. Los Sauces

3.6.5.1. Tirante de agua

El tirante producido en el punto de estudio después del sumidero es igual a 0.1661 metros el cual se reducirá debido a la infiltración que permite el pavimento drenante.

Sección de la calzada Av. Los Molles



Aplicando pavimento drenante sobre la Av. Los Molles entre Av. Los Sauces el tirante sería reducido 11.19 mm/s generando un tirante igual a:

$$T_r = T_n - I$$

Dónde:

T_r : Tirante reducido en metros

T_n : Tirante normal sin variante de pavimento drenante en metros.

I : Infiltración del pavimento drenante en metros.

$$T_r = 0.1661 - 0.01119 = 0.15491\text{m}$$

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante en el punto de estudio es igual a 0.15491 metros.

3.6.5.2. Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante

Para estimar el caudal de reducción se utilizará la ecuación de Manning y la ecuación de la continuidad, asumiendo un coeficiente de rugosidad para pavimento normal debido a que no se cuenta con valores establecidos para este tipo de pavimento.

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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante es igual al 0.15491 m

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = [0.2658 + ((0.15491 - 0.122) * 7)] = 0.49617 \text{ m}^2$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * (0.15491 + 3.5052) = 7.32022 \text{ m}$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{0.49617}{7.32022} = 0.0678m$$

La pendiente de la vía es igual a 2.85 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante máximo en la sección

$$Q = \frac{1}{0.011} * 0.49617 * (0.0678)^{\frac{2}{3}} * 0.0285^{\frac{1}{2}} = 1.2661 \frac{m^3}{s}$$

El caudal reducido con la utilización de pavimento drenante será igual a:

$$Q_r = Q_n - Q_d$$

Dónde:

Q_r: Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante en m³/s.

Q_n: Caudal en el punto de estudio con calzada de pavimento normal en m³/s

Q_d: Caudal en el punto de estudio con la utilización de pavimento drenante en m³/s.

$$Q_r = 1.6135 \frac{m^3}{s} - 1.2661 \frac{m^3}{s} = 0.3474 \frac{m^3}{s}$$

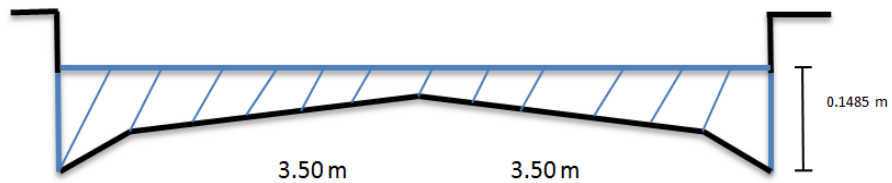
Con la utilización de pavimento drenante en el punto en estudio nos permite evacuar un caudal de 0.3474 m³/s.

3.6.6. Punto en estudio calle Ingavi y Av. Los Membrillos

3.6.6.1. Tirante de agua

El tirante producido en el punto de estudio después del sumidero es igual a 0.1543 metros el cual se reducirá debido a la infiltración que permite el pavimento drenante.

Sección de la calzada calle Ingavi



Aplicando pavimento drenante sobre la Av. Los Molles entre Av. Los Sauces el tirante sería reducido 11.19 mm/s generando un tirante igual a:

$$T_r = T_n - I$$

Dónde:

T_r : Tirante reducido en metros

T_n : Tirante normal sin variante de pavimento drenante en metros.

I : Infiltración del pavimento drenante en metros.

$$T_r = 0.1543 - 0.01119 = 0.14311 \text{ m}$$

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante en el punto de estudio es igual a 0.14311 metros.

3.6.6.2. Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante

Para estimar el caudal de reducción se utilizará la ecuación de Manning y la ecuación de la continuidad, asumiendo un coeficiente de rugosidad para pavimento normal debido a que no se cuenta con valores establecidos para este tipo de pavimento.

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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante es igual al 0.14311 m

El área hidráulica de la sección será igual a:

$$A = [0.2502 + ((0.14311 - 0.118) * 7)] = 0.42597 \text{ m}^2$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * (0.14311 + 3.5050) = 7.2962 \text{ m}$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{0.42597}{7.2962} = 0.05838 \text{ m}$$

La pendiente de la vía es igual a 1.95 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante máximo en la sección

$$Q = \frac{1}{0.011} * 0.42597 * (0.05838)^{\frac{2}{3}} * 0.0195^{\frac{1}{2}} = 0.8138 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal reducido con la utilización de pavimento drenante será igual a:

$$Q_r = Q_n - Q_d$$

Dónde:

Q_r: Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante en m³/s.

Q_n: Caudal en el punto de estudio con calzada de pavimento normal en m³/s

Q_d: Caudal en el punto de estudio con la utilización de pavimento drenante en m³/s.

$$Q_r = 1.077 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} - 0.8138 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.2632 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con la utilización de pavimento drenante en el punto en estudio nos permite evacuar un caudal de 0.2632 m³/s.

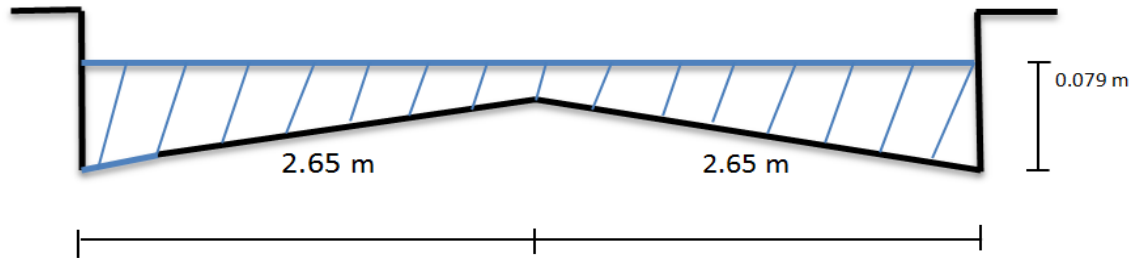
3.6.7. Punto en estudio calle General Trigo y Domingo Paz

3.6.7.1. Tirante de agua

El tirante producido en el punto de estudio después del sumidero es igual a 0.083 metros el cual se reducirá debido a la infiltración que permite el pavimento drenante.

Aplicando pavimento drenante sobre la calle General Trigo entre Domingo Paz y

Sección de la calzada calle General Trigo



Corrado el tirante sería reducido 11.19 mm/s generando un tirante igual a:

$$T_r = T_n - I$$

Dónde:

T_r : Tirante reducido en metros

T_n : Tirante normal sin variante de pavimento drenante en metros.

I : Infiltración del pavimento drenante en metros.

$$T_r = 0.083 - 0.01119 = 0.07181 \text{ m}$$

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante en el punto de estudio es igual a 0.07181 metros.

3.6.7.2. Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante

Para estimar el caudal de reducción se utilizará la ecuación de Manning y la ecuación de la continuidad, asumiendo un coeficiente de rugosidad para pavimento normal debido a que no se cuenta con valores establecidos para este tipo de pavimento.

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

Dónde:

V= Velocidad en m/s

R= Radio hidráulico en m.

S= Pendiente m/m

n= Coeficiente de rugosidad

Aplicando la ecuación de la continuidad para colocar la ecuación de Manning en función del caudal tenemos:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³/s

A= Área de la sección en m²

El tirante producido con la utilización de pavimento drenante es igual al 0.07181 m

El área hidráulica de la sección es igual a:

$$A = [0.1325 + ((0.07181 - 0.05) * 5.30)] = 0.2481 \text{ m}^2$$

El perímetro mojado de la sección es igual a:

$$P = 2 * (0.07181 + 2.6505) = 5.4446 \text{ m}$$

El radio hidráulico es igual a:

$$R = \frac{0.2481}{5.4446} = 0.0456 \text{ m}$$

La pendiente de la vía es igual a 2.10 % dato que fue tomado para el cálculo de la capacidad de sumideros.

Remplazando los valores e iterando encontramos el tirante máximo en la sección

$$Q = \frac{1}{0.011} * 0.2481 * (0.0456)^{\frac{2}{3}} * 0.0210^{\frac{1}{2}} = 0.4172 \frac{m^3}{s}$$

El caudal reducido con la utilización de pavimento drenante será igual a:

$$Q_r = Q_n - Q_d$$

Dónde:

Q_r: Caudal reducido con la utilización de pavimento drenante en m³/s.

Q_n: Caudal en el punto de estudio con calzada de pavimento normal en m³/s

Q_d: Caudal en el punto de estudio con la utilización de pavimento drenante en m³/s

.

$$Q_r = 0.5948 \frac{m^3}{s} - 0.4172 \frac{m^3}{s} = 0.1776 \frac{m^3}{s}$$

Con la utilización de pavimento drenante en el punto en estudio nos permite evacuar un caudal de 0.1776 m³/s.

3.7.Costo de construcción de pavimento drenante

3.7.1. Calle Junín y Av. Víctor Paz

La alternativa de solución que se plantea para la captación del caudal de infiltración en los puntos en estudio es mediante canales, los cuales se encontraran ubicados a un lado de la calzada, a ambos ejes de la vía.

Los valores de la capa sub base y la altura de la losa de hormigón rígido se asumió a partir de proyectos realizados en nuestra ciudad. Asumiendo una altura de capa sub base de 0.20 metros y una losa de hormigón rígido de 0.17 metros.

3.7.1.1. Determinación de altura de hormigón drenante

La determinación de la altura de losa de hormigón drenante se la determinara con el criterio de poder evacuar los caudales de infiltración en la losa de pavimento drenante.

El caudal total de infiltración en nuestro tramo es igual a 0.2681 m³/s, como se consideran dos canales el caudal de diseño para cada canal es igual a 0.1341 m³/s.

A partir de la ecuación de lo continuidad:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del canal en m³/s.

V = Velocidad de infiltración en el pavimento drenante 0.0112 m/s.

A= Área de la sección necesaria para captar el caudal de diseño.

Se asumirá una longitud constructiva de pavimento drenante igual a 80 metros, por ser el espacio disponible sobre la vía en estudio.

Colocando la ecuación en función de la altura de losa y la longitud de pavimento obtenemos:

$$Q = V * L * h$$

$$h = \frac{Q}{L * V}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del canal en m³/s.

V = Velocidad de infiltración en el pavimento drenante 0.0112 m/s.

L= Longitud de pavimento drenante igual a 80 metros.

h= Altura de losa de pavimento drenante en metros.

Remplazando los valores en la ecuación obtenemos:

$$h = \frac{0.1341 \text{ m}^3/\text{s}}{80 \text{ m} * 0.0112 \text{ m/s.}} = 0.1497 \text{ m.}$$

Se asumirá una altura de pavimento drenante de 0.15 metros.

3.7.1.2. Diseño de canal

El diseño del canal se determinará a partir de la ecuación de Manning para un canal rectangular de máxima eficiencia.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

S= La pendiente en el canal igual a 0.2%

A= Área de la sección m² para un canal de máxima eficiencia igual a 2*y².

R= Radio hidráulico m igual a 0.5*y

N= Coeficiente de rugosidad 0.013

Remplazando los valores en la ecuación:

$$0.1341 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{1}{0.014} * (2 * y^2) * \left(\frac{y}{2}\right)^{\frac{2}{3}} * 0.002^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación obtenemos un valor de altura de canal de 0.28 m Constructivamente u considerando una altura libre de 0.10 metros asumimos una altura de canal de 0.40 metros

Por la ecuación de máxima eficiente para un canal rectangular $b = 2*y$

$$b = 2 * 0.30 = 0.60m$$

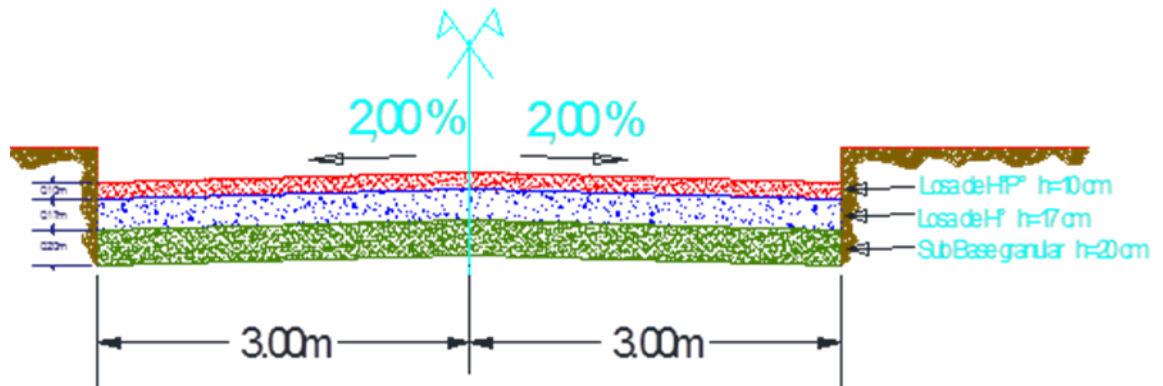
3.7.1.3. Costo de construcción

Las actividades a realizar en la construcción del pavimento drenante y sus precios unitarios son los siguientes:

Tabla 23. Precios unitarios para actividades de construcción de pavimento drenante

Actividad	Unidad	Precio unitario. Bs
Demolición carpeta existente	m ²	40.60
Excavación	m ³	59.71
Conformación de capa sub base	m ³	117.17
Junta longitudinal	m	4.92
Junta transversal	m	80.29
Pantalla impermeable	m ³	768.27
Hormigón rígido	m ³	768.27
Corte y sello de juntas	m	23.23
Hormigón Drenante	m ³	715.61
Demolición de acera	m ²	40.60
Excavación manual	m ³	37.82
Canal de hormigón ciclópeo	m ³	1078.22
Apoyos de hormigón	m ³	1471.82
Tapa de hormigón para canal	m ³	1821.09
Relleno y compactado	m ³	62.28
Acera de hormigón	m ²	789.94
Limpieza	m ²	16.36
Fuente: Elaboración propia		

El detalle del precio unitario y el computo métrico para cada actividad se encuentra adjunto en anexos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 27: Sección tipo de pavimento drenante

Las características de la sección de pavimento drenante se detalla en anexos, con una capa sub base de 20 cm, losa de hormigón rígido de 17 cm y una losa de hormigón drenante de 15 cm.

Para las características de la sección se realizó el computo métrico para cada actividad, obteniendo el siguiente costo de ejecución de la alternativa de solución:

Tabla 24. Costo de pavimento calle Junín y Av. Víctor Paz

N°	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo en Bs
1	Demolición carpeta existente	m ²	481.62	40.60	19553.77
2	Excavación	m ³	250.27	59.71	14943.62
3	Conformación de capa sub base	m ³	96.26	117.17	11278.78
4	Junta longitudinal	m	80	4.92	393.6
5	Junta transversal	m	80	80.29	6423.2
6	Pantalla impermeable de hormigón	m ³	0.384	768.27	295.02
7	Hormigón rígido	m ³	81.62	768.27	62706.20
8	Corte y sello de juntas	m	80	23.23	1858.40
9	Junta longitudinal	m	80	4.92	393.60
10	Hormigón Drenante	m ³	72.01	715.61	51531.08
11	Corte y sello de juntas	m	80	23.23	1858.40
12	Demolición de acera	m ²	144	40.60	5846.4
13	Excavación manual	m ³	122.40	37.82	4629.168
14	Canal de Hormigón	m ³	44.4	1221.57	54237.71
15	Apoyos de hormigón	m ³	0.648	1471.82	953.74
16	Tapa de hormigón para canal	m ³	10.08	1821.09	18356.59
17	Relleno y compactado	m ³	11.52	62.28	717.47
18	Acera de hormigón	m ²	144	789.94	789.94
19	Limpieza	m ²	624	16.36	10208.64
Costo total					379936.74
Fuente: Elaboración Propia					

El costo de construcción del pavimento drenante en la calle Junín y Avenida Víctor Paz es de 379936.74 bs.

3.7.2. Calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras

La alternativa de solución que se plantea para la captación del caudal de infiltración en los puntos en estudio es mediante canales, los cuales se encontraran ubicados a un lado de la calzada, a ambos ejes de la vía.

Los valores de la capa sub base y la altura de la losa de hormigón rígido se asumió a partir de proyectos realizados en nuestra ciudad. Asumiendo una altura de capa sub base de 0.20 metros y una losa de hormigón rígido de 0.17 metros.

3.7.2.1. Determinación de altura de hormigón drenante

La determinación de la altura de losa de hormigón drenante se la determinara con el criterio de poder evacuar los caudales de infiltración en la losa de pavimento drenante.

El caudal total de infiltración en nuestro tramo es igual a 0.1320 m³/s, como se consideran dos canales el caudal de diseño para cada canal es igual a 0.066 m³/s.

A partir de la ecuación de lo continuidad:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del canal en m³/s.

V = Velocidad de infiltración en el pavimento drenante 0.0112 m/s.

A= Área de la sección necesaria para captar el caudal de diseño.

Se asumirá una longitud constructiva de pavimento drenante igual a 65 metros, por ser el espacio disponible sobre la vía en estudio.

Colocando la ecuación en función de la altura de losa y la longitud de pavimento obtenemos:

$$Q = V * L * h$$

$$h = \frac{Q}{L * V}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del canal en m³/s.

V = Velocidad de infiltración en el pavimento drenante 0.0112 m/s.

L= Longitud de pavimento drenante igual a 65 metros.

h= Altura de losa de pavimento drenante en metros.

Remplazando los valores en la ecuación obtenemos:

$$h = \frac{0.066\text{m}^3/\text{s}}{65\text{m} * 0.0112\text{m}/\text{s}} = 0.090 \text{ m.}$$

Se asumirá una altura constructiva de 0.10 m.

3.7.2.2. Diseño de canal

El diseño del canal se determinará a partir de la ecuación de Manning para un canal rectangular de máxima eficiencia.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

S= La pendiente en el canal igual a 0.2%

A= Área de la sección m^2 para un canal de máxima eficiencia igual a $2*y^2$.

R= Radio hidráulico m igual a $0.5*y$

N= Coeficiente de rugosidad 0.014

Remplazando los valores en la ecuación:

$$0.066m^3/s = \frac{1}{0.014} * (2 * y^2) * \left(\frac{y}{2}\right)^{\frac{2}{3}} * 0.002^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación obtenemos un valor de altura de canal de 0.214 m Constructivamente y considerando una altura libre de asumimos una altura de canal de 0.30 metros

Por la ecuación de máxima eficiente para un canal rectangular $b= 2*y$

$$b = 2 * 0.214 = 0.428m$$

Se asumirá un ancho de canal de 0.45m.

3.7.2.3. Costo de construcción

Las características de la sección de pavimento drenante se detalla en anexos, con una capa sub base de 20 cm, losa de hormigón rígido de 17 cm y una losa de hormigón drenante de 10 cm.

Para las características de la sección se realizó el computo métrico para cada actividad, obteniendo el siguiente costo de ejecución de la alternativa de solución:

Tabla 25. Costo de pavimento calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras

N°	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo en Bs
1	Demolición carpeta existente	m ²	391.20	40.60	15882.72
2	Excavación	m ³	164.34	59.71	9812.74
3	Conformación de capa sub base	m ³	78.26	117.17	9169.72
4	Junta longitudinal	m	65	4.92	319.8
5	Junta transversal	m	65	80.29	5218.85
6	Pantalla impermeable de hormigón	m ³	0.324	768.27	248.92
7	Hormigón rígido	m ³	66.31	768.27	50943.98
8	Corte y sello de juntas	m	65	23.23	1509.95
9	Junta longitudinal	m	65	4.92	319.80
10	Hormigón Drenante	m ³	39.01	715.61	27915.95
11	Corte y sello de juntas	m	65 m	23.23	1509.95
12	Demolición de acera	m ²	97.50	40.60	3958.5
13	Excavación manual	m ³	68.25	37.82	2581.22
14	Canal de Hormigón	m ³	28.28	1221.57	34546
15	Apoyos de hormigón	m ³	0.351	1471.82	516.61
16	Tapa de hormigón para canal	m ³	6.83	1821.09	12438.04
17	Relleno y compactado	m ³	7.80	62.28	485.78
18	Acera de hormigón	m ²	97.50	789.94	77019.15
19	Limpieza	m ²	487.50	16.36	7975.05
Costo total					262373.19
Fuente: Elaboración Propia					

El costo de construcción del pavimento drenante en la calle Eudal Valdez y Avenida Las Palmeras es de 262373.19 bs

3.7.3. Av. Los Sauces y Av. Los molles

La alternativa de solución que se plantea para la captación del caudal de infiltración en los puntos en estudio es mediante canales, los cuales se encontraran ubicados a un lado de la calzada, a ambos ejes de la vía.

Los valores de la capa sub base y la altura de la losa de hormigón rígido se asumió a partir de proyectos realizados en nuestra ciudad. Asumiendo una altura de capa sub base de 0.20 metros y una losa de hormigón rígido de 0.17 metros.

3.7.3.1. Determinación de altura de hormigón drenante

La determinación de la altura de losa de hormigón drenante se la determinara con el criterio de poder evacuar los caudales de infiltración en la losa de pavimento drenante.

El caudal total de infiltración en nuestro tramo es igual a 0.3474 m³/s, como se consideran dos canales el caudal de diseño para cada canal es igual a 0.1737 m³/s.

A partir de la ecuación de lo continuidad:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del canal en m³/s.

V = Velocidad de infiltración en el pavimento drenante 0.0112 m/s.

A= Área de la sección necesaria para captar el caudal de diseño.

Se asumirá una longitud constructiva de pavimento drenante igual a 65 metros, por ser el espacio disponible sobre la vía en estudio.

Colocando la ecuación en función de la altura de losa y la longitud de pavimento obtenemos:

$$Q = V * L * h$$

$$h = \frac{Q}{L * V}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del canal en m³/s.

V = Velocidad de infiltración en el pavimento drenante 0.0112 m/s.

L = Longitud de pavimento drenante igual a 65 metros.

h = Altura de losa de pavimento drenante en metros.

Remplazando los valores en la ecuación obtenemos:

$$h = \frac{0.1737\text{m}^3/\text{s}}{65\text{m} * 0.0112\text{m}/\text{s}} = 0.2386\text{m}$$

Se asumirá una altura constructiva de 0.25 m.

3.7.3.2. Diseño de canal

El diseño del canal se determinará a partir de la ecuación de Manning para un canal rectangular de máxima eficiencia.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

S= La pendiente en el canal igual a 0.2%

A= Área de la sección m² para un canal de máxima eficiencia igual a 2*y².

R= Radio hidráulico m igual a 0.5*y

N= Coeficiente de rugosidad 0.014

Remplazando los valores en la ecuación:

$$0.1737\text{m}^3/\text{s} = \frac{1}{0.014} * (2 * y^2) * \left(\frac{y}{2}\right)^{\frac{2}{3}} * 0.002^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación obtenemos un valor de altura de canal de 0.31 m Constructivamente y considerando una altura libre asumimos una altura de canal de 0.40 metros

Por la ecuación de máxima eficiente para un canal rectangular $b= 2*y$

$$b = 2 * 0.31 = 0.62\text{m}$$

Se asumirá un ancho de canal de 0.65m.

3.7.3.3. Costo de construcción

Las características de la sección de pavimento drenante se detalla en anexos, con una capa sub base de 20 cm, losa de hormigón rígido de 17 cm y una losa de hormigón drenante de 10 cm.

Para las características de la sección se realizó el computo métrico para cada actividad, obteniendo el siguiente costo de ejecución de la alternativa de solución:

Tabla 26. Costo de pavimento Av. Los Sauces y Av. Los Molles

N°	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo en Bs
1	Demolición carpeta existente	m ²	456.4	40.60	18529.84
2	Excavación	m ³	260.20	59.71	15536.54
3	Conformación de capa sub base	m ³	91.30	117.17	10697.621
4	Junta longitudinal	m	65	4.92	319.8
5	Junta transversal	m	65	80.29	5218.85
6	Pantalla impermeable de hormigón	m ³	0.588	768.27	451.74
7	Hormigón rígido	m ³	77.37	768.27	59441.05
8	Corte y sello de juntas	m	65	23.23	1509.95
9	Junta longitudinal	m	65	4.92	319.80
10	Hormigón Drenante	m ³	113.77	715.61	81414.95
11	Corte y sello de juntas	m	65	23.23	1509.95
12	Demolición de acera	m ²	123.50	40.60	5014.1
13	Excavación manual	m ³	117.33	37.82	4437.42
14	Canal de Hormigón	m ³	39	1221.57	47641.23
15	Apoyos de hormigón	m ³	0.8775	1471.82	1291.52
16	Tapa de hormigón para canal	m ³	8.645	1821.09	15743.32
17	Relleno y compactado	m ³	9.88	62.28	615.33
18	Acera de hormigón	m ²	123.50	789.94	97557.59
19	Limpieza	m ²	578.50	16.36	9464.26
Costo total					376714.87
Fuente: Elaboración Propia					

El costo de construcción del pavimento drenante en Av. Los Sauces y Av. Los Molles es de 376714.87 bs.

3.7.4. Calle Ingavi y Av. Los Membrillos

La alternativa de solución que se plantea para la captación del caudal de infiltración en los puntos en estudio es mediante canales, los cuales se encontraran ubicados a un lado de la calzada, a ambos ejes de la vía.

Los valores de la capa sub base y la altura de la losa de hormigón rígido se asumió a partir de proyectos realizados en nuestra ciudad. Asumiendo una altura de capa sub base de 0.20 metros y una losa de hormigón rígido de 0.17 metros.

3.7.4.1. Determinación de altura de hormigón drenante

La determinación de la altura de losa de hormigón drenante se la determinara con el criterio de poder evacuar los caudales de infiltración en la losa de pavimento drenante.

El caudal total de infiltración en nuestro tramo es igual a 0.2632 m³/s, como se consideran dos canales el caudal de diseño para cada canal es igual a 0.1316 m³/s.

A partir de la ecuación de lo continuidad:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del canal en m³/s.

V = Velocidad de infiltración en el pavimento drenante 0.0112 m/s.

A= Área de la sección necesaria para captar el caudal de diseño.

Se asumirá una longitud constructiva de pavimento drenante igual a 75 metros, por ser el espacio disponible sobre la vía en estudio.

Colocando la ecuación en función de la altura de losa y la longitud de pavimento obtenemos:

$$Q = V * L * h$$

$$h = \frac{Q}{L * V}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del canal en m³/s.

V = Velocidad de infiltración en el pavimento drenante 0.0112 m/s.

L= Longitud de pavimento drenante igual a 75 metros.

h= Altura de losa de pavimento drenante en metros.

Remplazando los valores en la ecuación obtenemos:

$$h = \frac{0.1316\text{m}^3/\text{s}}{75\text{m} * 0.0112\text{m}/\text{s}} = 0.16\text{m}.$$

Se asumirá una altura constructiva de 0.2 m para garantizar la captación en el canal

3.7.4.2. Diseño de canal

El diseño del canal se determinará a partir de la ecuación de Manning para un canal rectangular de máxima eficiencia.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

S= La pendiente en el canal igual a 0.2%

A= Área de la sección m^2 para un canal de máxima eficiencia igual a $2*y^2$.

R= Radio hidráulico m igual a $0.5*y$

n= Coeficiente de rugosidad 0.014

Remplazando los valores en la ecuación:

$$0.1316m^3/s = \frac{1}{0.014} * (2 * y^2) * \left(\frac{y}{2}\right)^{\frac{2}{3}} * 0.002^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación obtenemos un valor de altura de canal de 0.28 m
Constructivamente y considerando una altura libre asumimos una altura de canal de 0.40 metros

Por la ecuación de máxima eficiente para un canal rectangular $b= 2*y$

$$b = 2 * 0.28 = 0.56m$$

Se asumirá un ancho de canal de 0.6m.

3.7.4.3. Costo de construcción

Las características de la sección de pavimento drenante se detalla en anexos, con una capa sub base de 20 cm, losa de hormigón rígido de 17 cm y una losa de hormigón drenante de 10 cm.

Para las características de la sección se realizó el computo métrico para cada actividad, obteniendo el siguiente costo de ejecución de la alternativa de solución:

Tabla 27. Costo de pavimento calle Ingavi y Av. Los Membrillos

N°	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo en Bs
1	Demolición carpeta existente	m ²	526.40	40.60	21371.84
2	Excavación	m ³	273.78	59.71	16347.40
3	Conformación de capa sub base	m ³	105.30	117.17	12338
4	Junta longitudinal	m	75	4.92	369
5	Junta transversal	m	75	80.29	6021.75
6	Pantalla impermeable de hormigón	m ³	0.518	768.27	397.96
7	Hormigón rígido	m ³	89.27	768.27	68583.46
8	Corte y sello de juntas	m	75	23.23	1742.25
9	Junta longitudinal	m	75	4.92	369
10	Hormigón Drenante	m ³	105.02	715.61	75153.36
11	Corte y sello de juntas	m	75	23.23	1742.25
12	Demolición de acera	m ²	135	40.60	5481
13	Excavación manual	m ³	121.50	37.82	4595.13
14	Canal de Hormigón	m ³	42.75	1221.57	52222.12
15	Apoyos de hormigón	m ³	0.81	1471.82	1192.17
16	Tapa de hormigón para canal	m ³	9.45	1821.09	17209.30
17	Relleno y compactado	m ³	10.80	62.28	672.62
18	Acera de hormigón	m ²	135	789.94	106641.9
19	Limpieza	m ²	660	16.36	10797.6
Costo total					403248.13
Fuente: Elaboración Propia					

El costo de construcción del pavimento drenante en calle Ingavi y Av. Los Membrillos es de 403248.13bs.

3.7.5. Calle General Trigo y Domingo Paz

La alternativa de solución que se plantea para la captación del caudal de infiltración en los puntos en estudio es mediante canales, los cuales se encontraran ubicados a un lado de la calzada, a ambos ejes de la vía.

Los valores de la capa sub base y la altura de la losa de hormigón rígido se asumió a partir de proyectos realizados en nuestra ciudad. Asumiendo una altura de capa sub base de 0.20 metros y una losa de hormigón rígido de 0.17 metros.

3.7.5.1. Determinación de altura de hormigón drenante

La determinación de la altura de losa de hormigón drenante se la determinara con el criterio de poder evacuar los caudales de infiltración en la losa de pavimento drenante.

El caudal total de infiltración en nuestro tramo es igual a 0.1776 m³/s, como se consideran dos canales el caudal de diseño para cada canal es igual a 0.0888 m³/s.

A partir de la ecuación de lo continuidad:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del canal en m³/s.

V = Velocidad de infiltración en el pavimento drenante 0.0112 m/s.

A= Área de la sección necesaria para captar el caudal de diseño.

Se asumirá una longitud constructiva de pavimento drenante igual a 65 metros, por ser el espacio disponible sobre la vía en estudio.

Colocando la ecuación en función de la altura de losa y la longitud de pavimento obtenemos:

$$Q = V * L * h$$

$$h = \frac{Q}{L * V}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del canal en m³/s.

V = Velocidad de infiltración en el pavimento drenante 0.0112 m/s.

L= Longitud de pavimento drenante igual a 65 metros.

h= Altura de losa de pavimento drenante en metros.

Remplazando los valores en la ecuación obtenemos:

$$h = \frac{0.0888\text{m}^3/\text{s}}{65\text{m} * 0.0112\text{m}/\text{s}} = 0.12\text{m}.$$

Se asumirá una altura constructiva de 0.15 m para garantizar la captación en el canal

3.7.5.2. Diseño de canal

El diseño del canal se determinará a partir de la ecuación de Manning para un canal rectangular de máxima eficiencia.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

S= La pendiente en el canal igual a 0.2%

A= Área de la sección m² para un canal de máxima eficiencia igual a 2*y².

R= Radio hidráulico m igual a 0.5*y

n= Coeficiente de rugosidad 0.014

Remplazando los valores en la ecuación:

$$0.0888\text{m}^3/\text{s} = \frac{1}{0.014} * (2 * y^2) * \left(\frac{y}{2}\right)^{\frac{2}{3}} * 0.002^{\frac{1}{2}}$$

Iterando la ecuación obtenemos un valor de altura de canal de 0.239 m Constructivamente y considerando una altura libre asumimos una altura de canal de 0.35 metros

Por la ecuación de máxima eficiente para un canal rectangular $b= 2*y$

$$b = 2 * 0.239 = 0.478\text{m}$$

Se asumirá un ancho de canal de 0.5m.

3.7.5.3. Costo de construcción

Las características de la sección de pavimento drenante se detalla en anexos, con una capa sub base de 20 cm, losa de hormigón rígido de 17 cm y una losa de hormigón drenante de 10 cm.

Para las características de la sección se realizó el compute métrico para cada actividad, obteniendo el siguiente costo de ejecución de la alternativa de solución:

Tabla 28. Costo de pavimento calle General Trigo y calle Domingo Paz

N°	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo en Bs
1	Demolición carpeta existente	m ²	345.56	40.60	14029.74
2	Excavación	m ³	162.44	59.71	9699.29
3	Conformación de capa sub base	m ³	69.13	117.17	8099.96
4	Junta longitudinal	m	65	4.92	319.80
5	Junta transversal	m	65	80.29	5218.85
6	Pantalla impermeable de hormigón	m ³	0.339	768.27	260.44
7	Hormigón rígido	m ³	58.58	768.27	45005.26
8	Corte y sello de juntas	m	65	23.23	1509.95
9	Junta longitudinal	m	65	4.92	319.8
10	Hormigón Drenante	m ³	51.68	715.61	36982.72
11	Corte y sello de juntas	m	65	23.23	1509.95
12	Demolición de acera	m ²	104	40.60	4222.4
13	Excavación manual	m ³	78	37.82	2949.96
14	Canal de Hormigón	m ³	32.18	1221.57	39310.12
15	Apoyos de hormigón	m ³	0.5265	1471.82	774.91
16	Tapa de hormigón para canal	m ³	7.28	1821.09	13257.53
17	Relleno y compactado	m ³	8.32	62.28	518.17
18	Acera de hormigón	m ²	104	789.94	82153.76
19	Limpieza	m ²	448.50	16.36	7337.46
Costo total					273480.09
Fuente: Elaboración Propia					

El costo de construcción del pavimento drenante en calle General Trigo y Domingo Paz es de 273480.09bs.

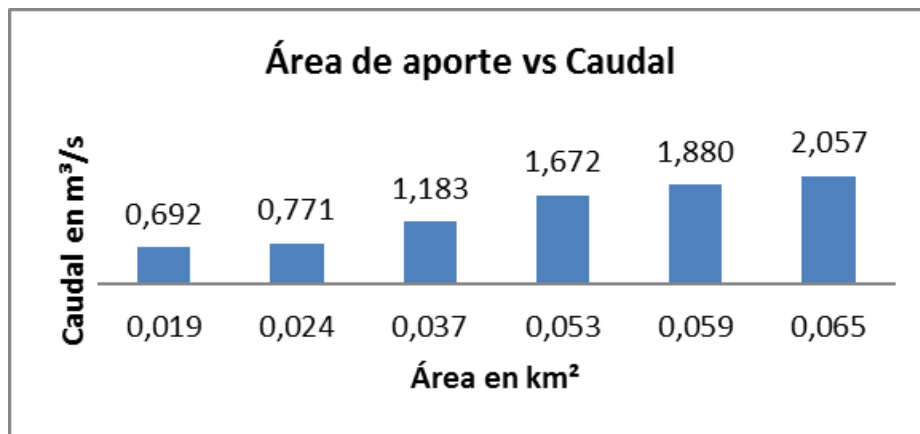
3.8. Análisis y resultados

3.8.1. Relación de caudales vs área de aporte en vías en estudio

Los valores obtenidos para las vías en estudio son las siguientes:

Punto en estudio	Área de aporte km ²	Caudal de aporte m ³ /s
Calle Junín y Av. Víctor Paz.	0.05280	1.672
Calle Ingavi y Av. Los Membrillos	0.03734	1.1829
Calle General Trigo y Domingo Paz	0.019415	0.6920
Calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras.	0.02430	0.7708
Av. Dr. Jorge Majluf y Av. Circunvalación.	0.06490	2.0570
Av. Los Molles y Av. Los Sauces.	0.05930	1.8801

Se obtuvo la siguiente gráfica de los valores de área de aporte y caudales para cada punto en estudio:



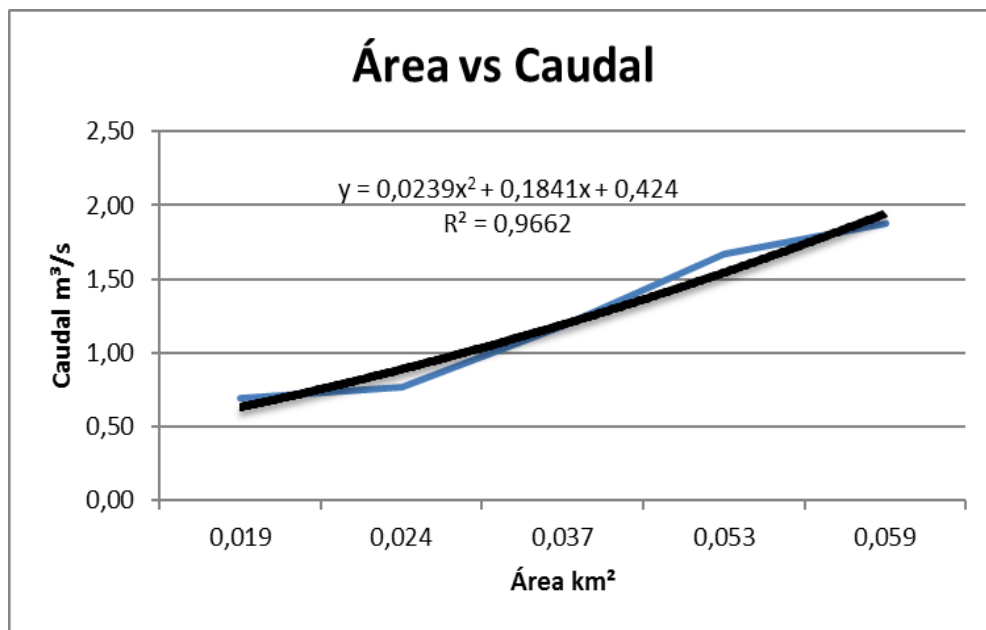
En la gráfica de caudales en función del área de aporte, se observa que los mayores caudales se producen en los puntos de estudio de Av. Dr. Jorge Majluf esquina Circunvalación y Av. Los Sauces esquina Av. Los molles. Esta situación se debe a las

características de su área de aporte, ya que estos puntos cuentan con áreas de drenaje mayor y una superficie densamente poblada que permite que la mayor parte de la precipitación escurra superficialmente.

El menor caudal se produce en Calle General Trigo esquina Domingo Paz debido a que su área de aporte es menor a la de otros puntos.

En los diferentes sitios de estudio, se evidencia que a mayor área de aporte se generan mayores caudales, los cuales necesitan ser evacuados efectivamente y de manera rápida, para brindar seguridad en la circulación vehicular bajo precipitaciones extraordinarias.

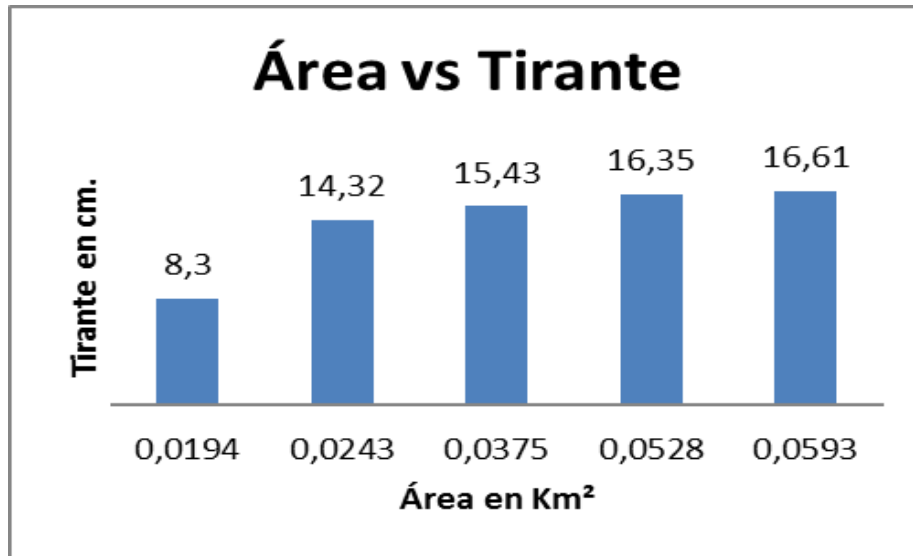
A partir de los valores establecidos para cada punto obtenemos una ecuación que nos permitirá obtener el valor del caudal a partir de un área de aporte.



3.8.2. Relación de área vs tirante

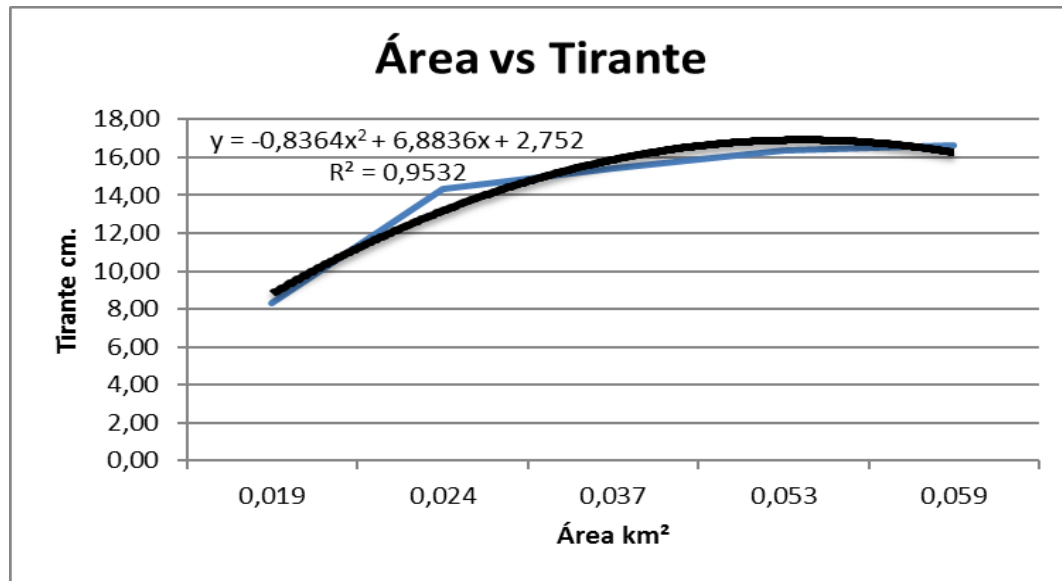
Los tirantes obtenidos para cada punto en estudio son los siguientes:

Punto en estudio	Área de aporte km ²	Tirante cm
Calle Junín y Av. Víctor Paz.	0.05280	16.35
Calle Ingavi y Av. Los Membrillos	0.03734	15.43
Calle General Trigo y Domingo Paz	0.019415	8.30
Calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras.	0.02430	14.32
Av. Los Molles y Av. Los Sauces.	0.05930	16.61



En la gráfica se observa que a mayor área de aporte mayor es el tirante y existe mayor necesidad de utilizar pavimento drenante.

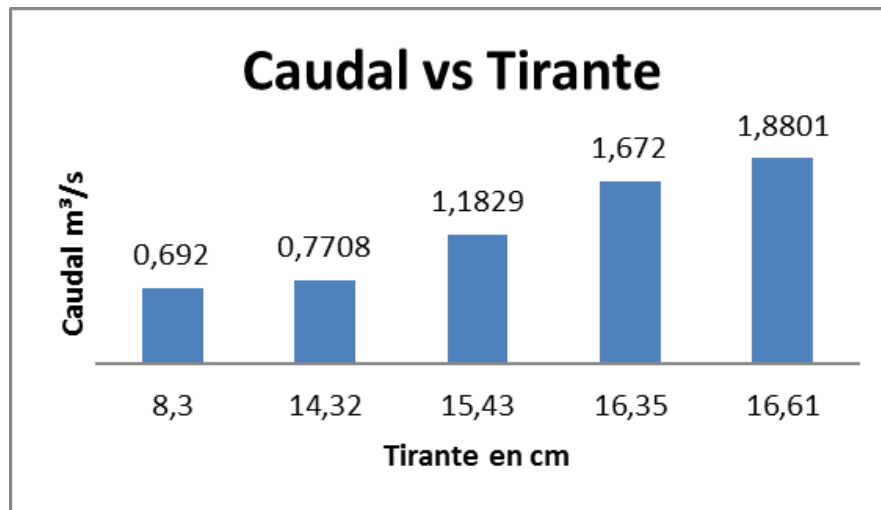
A partir de los valores de tirantes y áreas de aporte se obtuvo una ecuación para poder estimar el tirante:



3.8.3. Relación caudal vs tirante

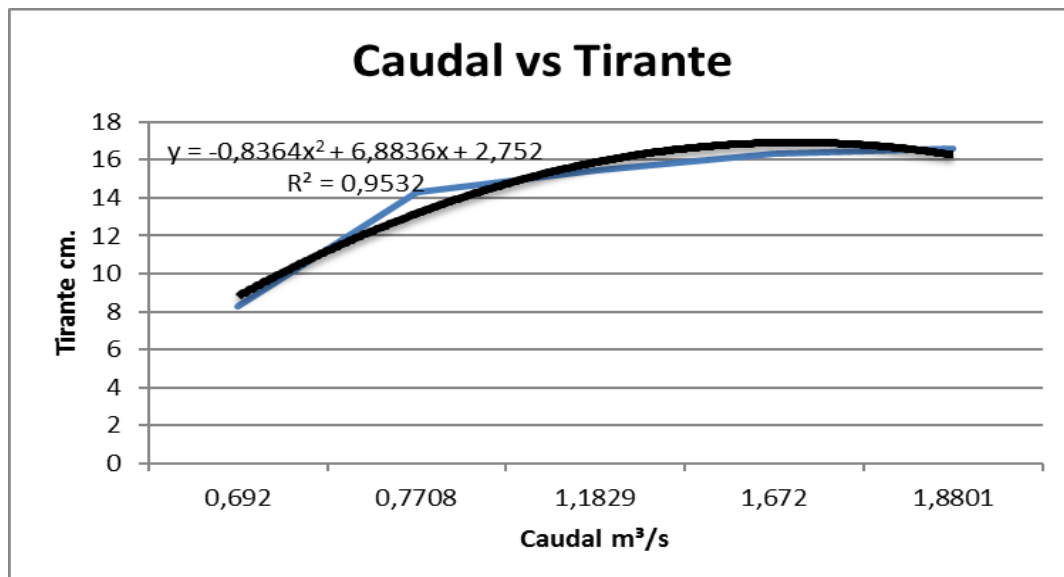
Los tirantes obtenidos para cada punto en estudio son los siguientes:

Punto en estudio	Caudal m³/s	Tirante cm
Calle Junín y Av. Víctor Paz.	1.672	16.35
Calle Ingavi y Av. Los Membrillos	1.1829	15.43
Calle General Trigo y Domingo Paz	0.6920	8.30
Calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras.	0.7708	14.32
Av. Los Molles y Av. Los Sauces.	1.8801	16.61



En la gráfica se evidencia que, a mayor caudal, mayor es el tirante y existe mayor necesidad de utilizar pavimento drenante.

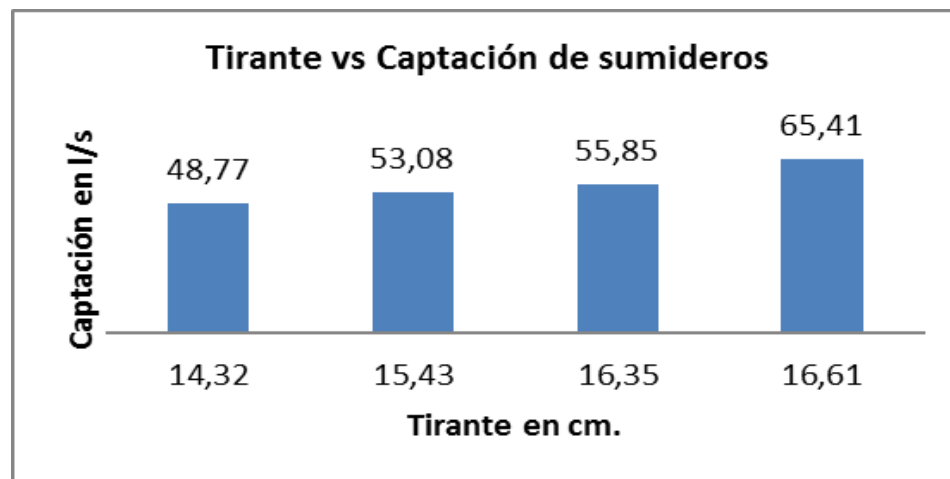
Con los valores para cada punto se obtuvo una ecuación que nos permita estimar el tirante en la calzada a partir del caudal.



3.8.4. Relación de tirantes en sumideros vs captación de sumideros en el área de estudio

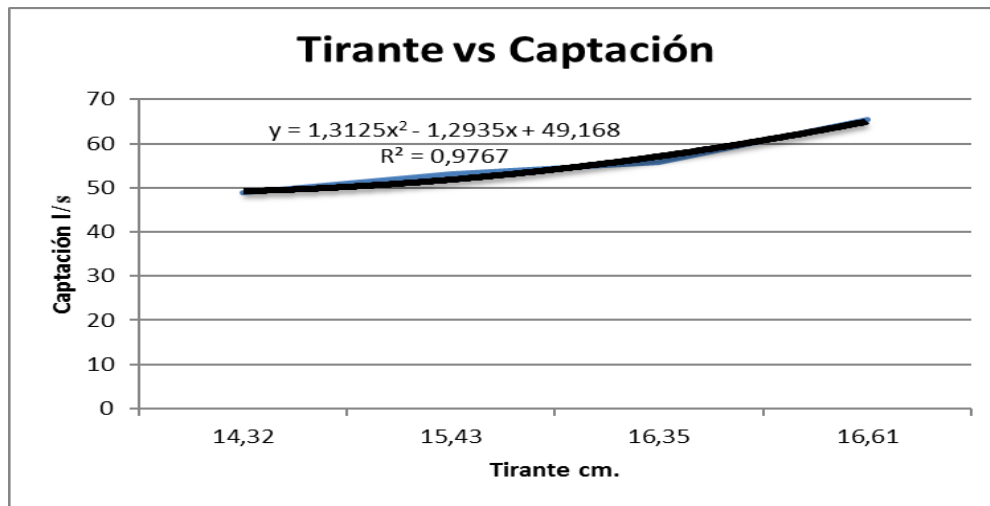
Para realizar una relación entre los tirantes y la captación en los sumideros, se analizó los sumideros laterales con longitudes iguales a 2 metros:

Punto de estudio	Tirante en sumidero cm.	Captación l/s.
Calle Junín y Av. Víctor Paz (Izquierda)	16.35	55.85
Calle Ingavi y Av. Los Membrillos (Izquierda y Derecha)	15.43	53.08
Calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras (Izquierda y Derecha)	14.32	48.77
Av. Los Molles y Av. Los Sauces (Izquierda y Derecha)	16.61	65.41



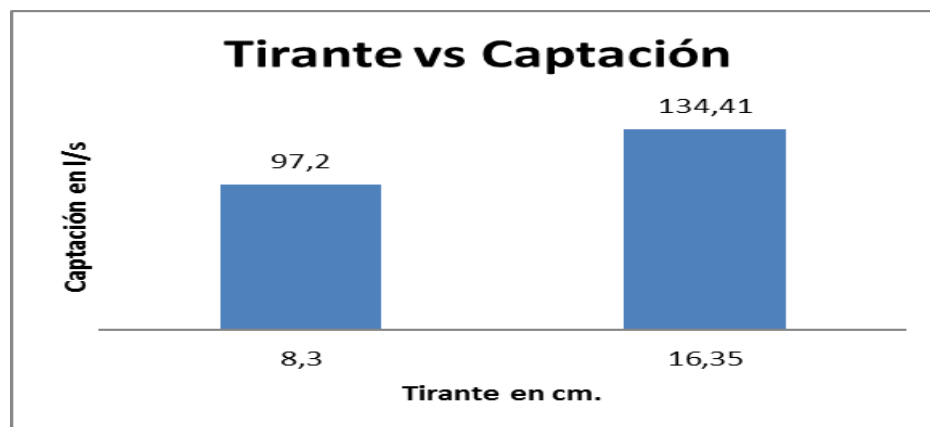
Se examinaron sumideros con longitudes iguales a 2 metros para observar el comportamiento de los sumideros de características similares en función al tirante. En la relación se evidenció que mientras mayor es el tirante en la calzada, mayor es la captación del sumidero.

A partir de los valores obtenidos se determinó una ecuación que permite estimar la captación de un sumidero lateral según su tirante.



Entre los sumideros de estudio se tienen dos sumideros mixtos que son:

Punto de estudio	Tirante en sumidero cm.	Longitud de sumidero m.	Captación l/s.
Calle Junín y Av. Víctor Paz (Sumidero mixto Derecha)	16.35	1	134.1
Calle General Trigo y Domingo Paz	8.30	1	97.20

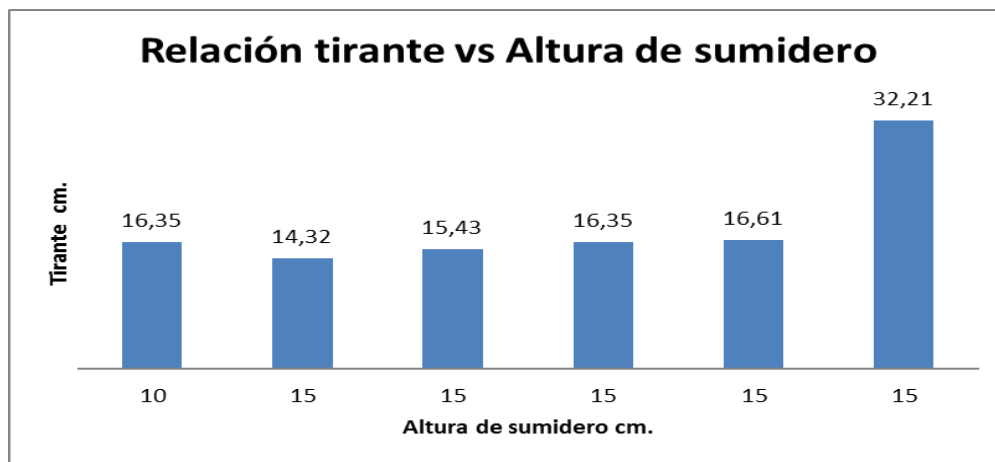


En la gráfica de captación de sumideros mixtos, se observa que a mayor tirante mayor es la captación.

3.8.5. Relación de tirantes en sumideros vs altura de sumideros en área de estudio

Los valores para cada sumidero son los siguientes:

Punto de estudio	Tirante cm.	Altura de sumidero cm.
Calle Junín y Av. Víctor Paz (Izquierda)	16.35	15
Calle Junín y Av. Víctor Paz (Derecha)	16.35	10
Calle Daniel Campos y 15 de Abril (Izquierda y derecha)	32.21	15
Calle Ingavi y Av. Los Membrillos (Izquierda y derecha)	15.43	15
Calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras (Izquierda y derecha)	14.32	15
Av. Los Molles y Av. Los Sauces (Izquierda y Derecha)	16.61	15



En la gráfica se observa que la altura de sumideros es menor al valor estimado del tirante, por lo que, los sumideros objeto de estudio no estarían trabajando de manera efectiva en la evacuación de escorrentía.

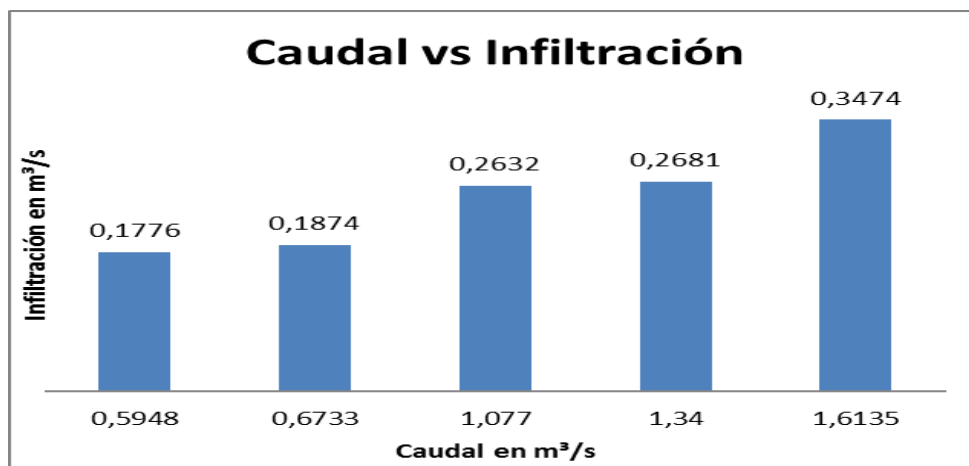
En la calle Eudal Valdez esquina Av. Las Palmeras, el valor del tirante está por rebasar la altura del sumidero, en este punto el tirante es menor a la altura del sumidero debido a que el área de aporte es menor, por lo cual genera un caudal menor.

3.8.6. Relación de caudales vs infiltración en carpeta drenante

Se analizaron los valores de caudales considerando la captación de los sumideros existentes en el área de aporte en base a la infiltración que producirá la carpeta drenante.

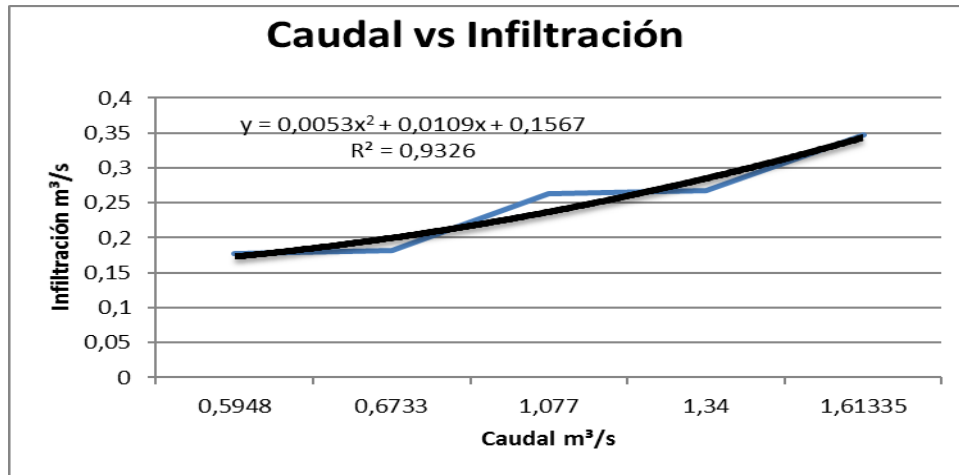
Los valores obtenidos para cada punto son los siguientes:

Punto en estudio	Caudal después del sumidero m ³ /s	Infiltración m ³ /s
Calle Junín y Av. Víctor Paz.	1.34	0.2681
Calle Ingavi y Av. Los Membrillos	1.077	0.2632
Calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras.	0.6733	0.1814
Calle General Trigo y Domingo Paz	0.5948	0.1776
Av. Los Molles y Av. Los Sauces.	1.6135	0.3474



En la gráfica de caudal vs infiltración se observa que, a mayor caudal de aporte, mayor es el valor de la infiltración.

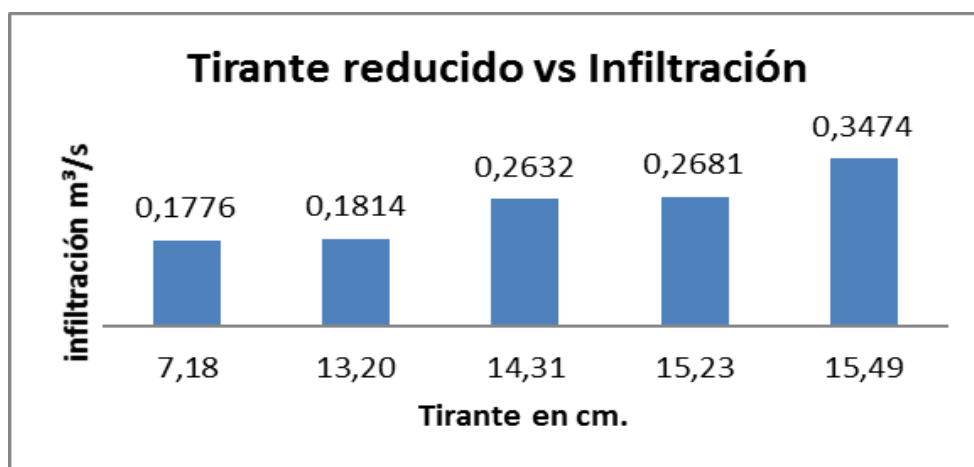
Con los valores para cada punto se determinó una ecuación que permite estimar el valor de la infiltración a partir de un caudal.



3.8.7. Relación de tirantes reducido vs infiltración en carpeta drenante

Se examinaron los valores de infiltración en función a los tirantes en cada punto en estudio.

Punto en estudio	Tirante cm.	Tirante reducido cm.	Reducción %	Infiltración m³/s
Calle Junín y Av. Víctor Paz.	16.35	15.23	6.85	0.2681
Calle General Trigo y Domingo Paz	8.30	7.18	13.49	0.1776
Calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras.	14.32	13.20	7.82	0.1814
Calle Ingavi y Av. Los Membrillos.	15.43	14.31	7.26	0.2632
Av. Los Molles y Av. Los Sauces.	16.61	15.49	6.74	0.3474

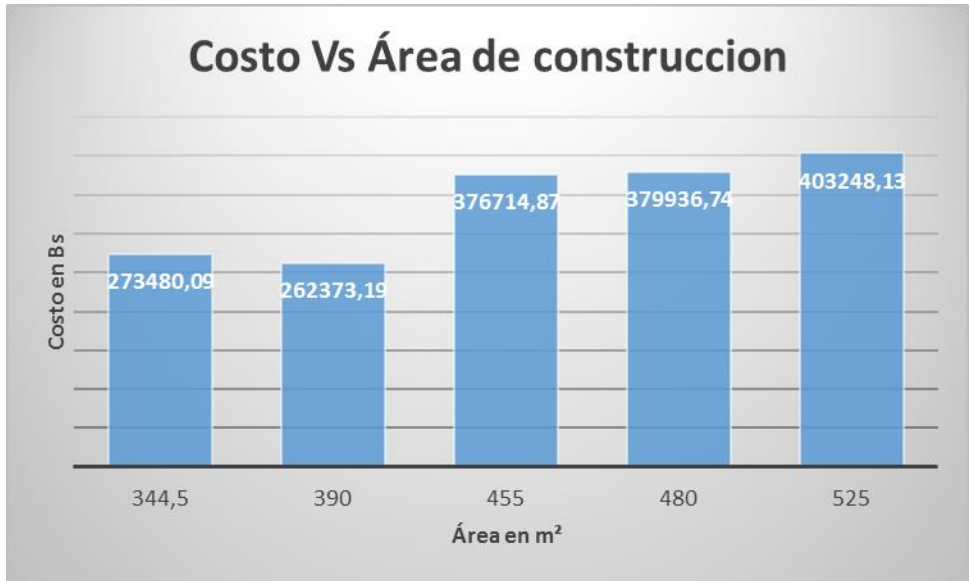


En la gráfica de tirante reducido vs infiltración se evidencia que mientras mayor es el tirante, mayor es el valor de la infiltración. La utilización de pavimento drenante en los puntos en estudio permitirá reducir el valor del tirante en un rango de 6.7 a 13.5 % bajo una precipitación extraordinaria.

3.8.8. Relación costo pavimento drenante vs área de construcción

Los valores obtenidos para cada punto son los siguientes:

Punto en estudio	Superficie m ²	Costo total Bs	Costo Bs/m ²
Calle Junín y Av. Víctor Paz.	480	379936.74	791.53
Calle Ingavi y Av. Los Membrillos	525	403248.13	768.09
Calle Eudal Valdez y Av. Las Palmeras.	390	262373.19	672.75
Calle General Trigo y Domingo Paz	344.50	273480.09	793.85
Av. Los Molles y Av. Los Sauces.	455	376714.87	827.94
Promedio de costo			770.83



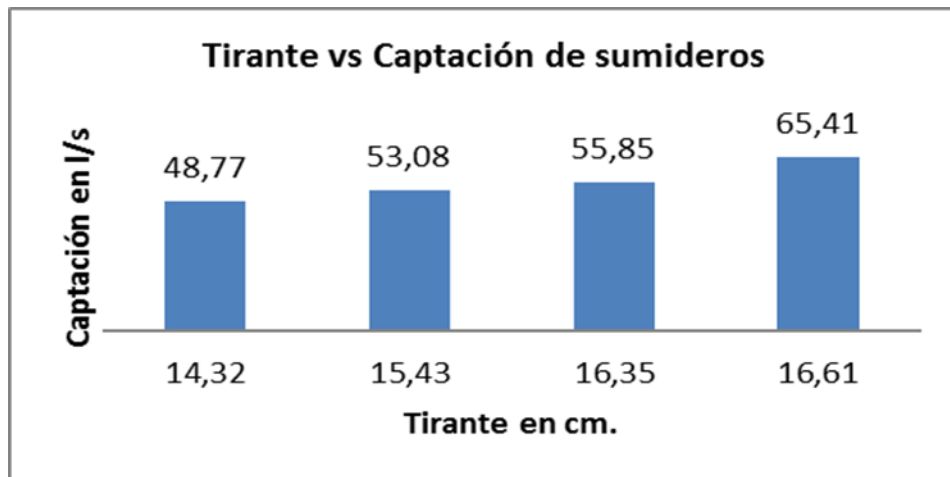
Según la gráfica, se establece que, a mayor área de construcción, mayor es el costo del proyecto; así el costo promedio de la construcción de pavimento drenante es de 770.83 bs/m².

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se estudió las características y metodologías para el diseño de pavimento drenante.
- Se realizó el ensayo de infiltración en el pavimento drenante, obteniendo un resultado de 11.19 mm/s.
- Se realizó la hidrología e hidráulica de sumideros, alcanzando los siguientes resultados de tirantes y captación:

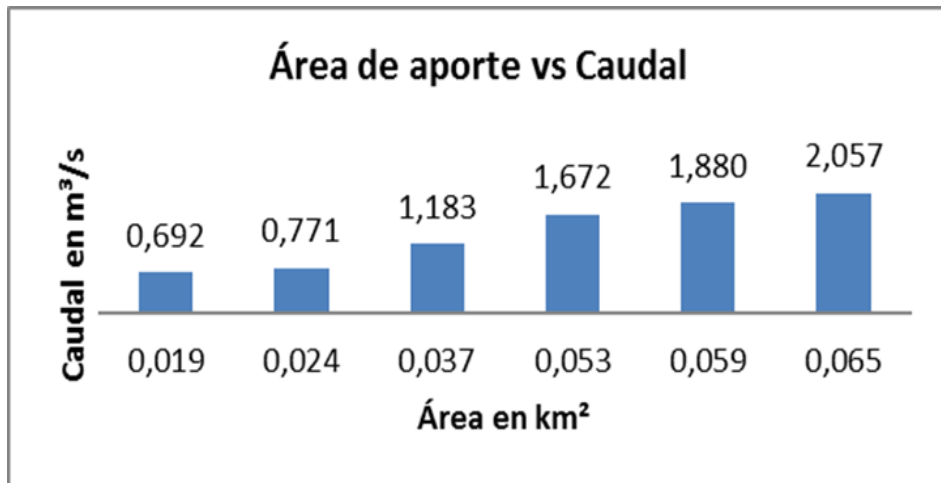


Por lo que se obtuvo la siguiente ecuación para determinar la captación de un sumidero:

$$Q = 1.3125y^2 - 1.2935y + 49.168$$

Donde la captación Q está en l/s y el tirante en cm.

- A mayor área de aporte, mayor es el caudal de escorrentía, de modo que los resultados obtenidos son los siguientes:

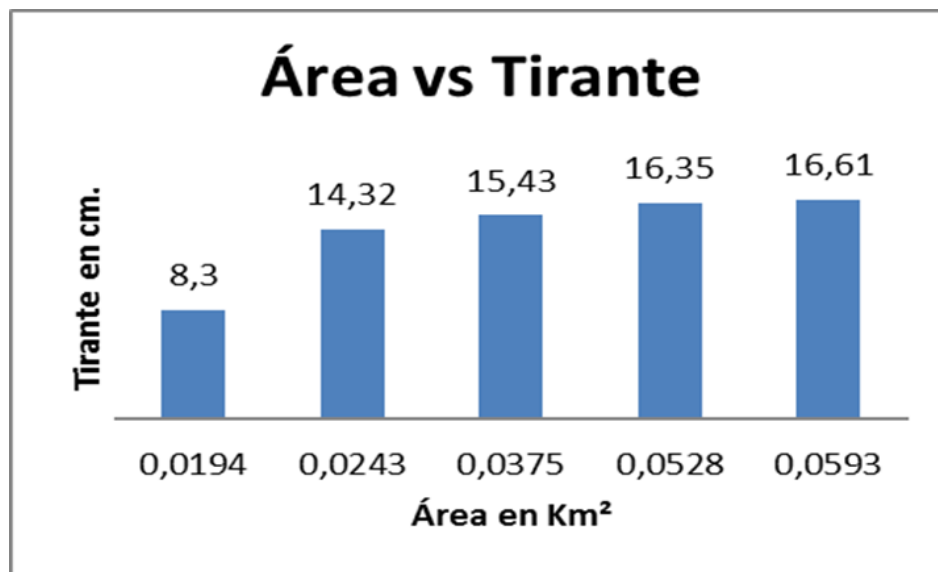


Así una estimación rápida del caudal en un punto en estudio se puede lograr mediante la siguiente ecuación:

$$Q = 0.0239 * A^2 + 0.1841 * A + 0.424$$

Donde el caudal es expresado en m³/s y el área en km².

- A mayor área de aporte, mayor es el tirante en la calzada y mayor es la necesidad de utilizar pavimento drenante.



Para estimar el valor del tirante en calles de entre 5 y 6 metros de ancho de calzada, se puede emplear la siguiente ecuación:

$$T = -0.8664 * A^2 + 6.8836 * A + 2.752$$

Donde el valor del tirante está en cm y el área en km².

- La captación de un sumidero está en función a su longitud, pendiente longitudinal y transversal de la vía.
- Los sumideros existentes no trabajan de manera eficiente, por lo que generan tirantes elevados.
- Con la utilización de pavimento drenante, el tirante en la calzada quedaría reducido entre un 7 a 14 %, logrando evacuar caudales entre 168 a 325 l/s.
- El costo promedio de construcción de pavimento drenante es de 770.83 bs/m²

4.2.RECOMENDACIONES

- La norma ACI recomienda utilizar agregados de un tamaño máximo de ¾ para obtener mejores resultados.
- Utilizar pavimento drenante en estacionamientos vehiculares, calles de poco a mediano tráfico.
- Llevar a cabo la prueba experimental del tramo para verificar in situ y comparar los resultados obtenidos en laboratorio.
- Realizar un estudio de sistema de evacuación para los caudales infiltrados por el pavimento drenante.
- Efectuar estudios acerca del proceso de colmatación y la prevención de la misma.
- Estudiar cómo fallan los Pavimentos Rígidos de Concreto Drenante y proporcionar soluciones para las técnicas de mantenimiento, reparación y rehabilitación
- Conducir una investigación para la determinación de espesores, en función del suelo sobre el que se coloca la estructura del Pavimento Rígido de Concreto Drenante.