

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“SISTEMA DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE ENTRE
LA AV. NUEVO CAJAMARCA Y JR. YURIMAGYAS,
CAJAMARCA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Danny Ronald Rojas Vasquez

Asesor:

Ing. Mg. Julio Paima Arroyo

Cajamarca - Perú

2021



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi mamá Coquita y a mi papá Wilder que desde el cielo sé que ilumina.

A mi esposa Cintia por estar siempre allí en todo.

A mis hijos Diego y Thiago para que siempre recuerden que no hay nada imposible en esta
vida.

A toda mi familia

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida y la salud.

A la Universidad por la oportunidad brindada.

A mis hermanos por el ejemplo e impulso que me dan.

A mis padres por el apoyo.

A mi esposa por su comprensión y paciencia.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPITULO II. METODOLOGIA	57
CAPITULO III. RESULTADOS	94
CAPITULO IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES	108
REFERENCIAS.	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Tipos de Sumideros.....	16
Tabla 02: Trazo de una Red de Alcantarillado.....	17
Tabla 03: Secciones Transversales de Conductos Cerrados	18
Tabla 04: Secciones Transversales de Conductos Abiertos.....	18
Tabla 05: Coeficiente de escorrentía para zonas de nuevas urbanizaciones.....	38
Tabla 06: Coeficientes de Escorrentía para Zonas Urbanas.....	39
Tabla 07: Registro del Fluviógrafo Tormenta 2003	61
Tabla 08: Calculo de Intensidades 2003.....	63
Tabla 09: Para los 30 Primeros Minutos (10:00 am - 10: 30 am).....	65
Tabla 10: Intensidades Máximas año 2003.....	66
Tabla 11: Intensidades Máximas (m /h) de la Estación WEBERBAWER	67
Tabla 12: Caudales Generales para Distintos Periodos de Retorno	68
Tabla 13: Datos Hidrograma de Aguacero de 2 años Periodo de Retorno de 6 Horas con Incrementos de 1 hora	72
Tabla 14: Datos Hidrograma de Aguacero de 10 años Periodo de Retorno de 6 Horas con Incrementos de 1 Hora.	72
Tabla 15: Distribución a Través del Método de Bloqueo Alterno Centrado para $T = 2$; 10 años/ 6 horas ...	73
Tabla 16: Datos Hietograma de Aguacero de 2 años Periodo de Retorno de 24 horas con Incrementos de 1 hora	76
Tabla 17: Datos Hidrograma de Aguacero de 10 años Periodo de Retorno de 24 horas con Incrementos de 1 hora	77
Tabla 18: Distribución del Método de bloques Alterno Centrado para $T = 2$; 10 años/ 6 horas.	78
Tabla 19: Valor del Coeficiente de Escorrentía Según el Tipo de Área	86
Tabla 20: Coeficiente de Escorrentía Según el Tipo de Superficie	86
Tabla 21: Coeficiente de Manning para Escorrentía Superficial.	87
Tabla 23: Elemento Hidráulicos de SWMM	89
Tabla 24: Caudal y Velocidad Máxima Actual (Sin Investigación)	94
Tabla 25: Caudal y Velocidad Máxima con la Solución.....	95
Tabla 26: Eficiencia del Sistema de Drenaje en las Diferentes Calles de Estudio.	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 03: Ciclo Hidrológico del Agua.....	22
Figura 04: Pluviómetro Simple Estandarizado. A la Izquierda Vista General. Arriba Derecha, Vista desde Arriba. A la Derecha Abajo, Vista del Interior, con el Recipiente de Acumulación y la Regla de Medida. ...	24
Figura 05: Pluviógrafo Mecánico de Sifón con Registro en Papel. A la Izquierda Vista General. A la Derecha Vista del Interior, con el Reloj Mecánico y Banda de Papel Semanal, Estanque con Sifón y Flotador de Aguja, y el Aforador Volumétrico Abajo para Medir la Precipitación Acumulada.	25
Figura 07: Registro de una Tormenta Mediante la Precipitación en Intervalos Regulares Hietograma, o con la Precipitación Acumulada en Función del Tiempo	27
Figura 08: Hietograma de Tormenta.....	27
Figura 09: Curvas IDF en la Estación Punta Ángeles en Valparaíso.....	30
Figura 10: Cambios en las Condiciones Físicas Hidrológicas en Respuesta a la Urbanización de la Cuenca.	34
Figura 11: Relación entre impermeabilidad y coeficiente de escorrentía según Urbanas, B. R., Guo, C. Y., & Tucker, L. S., 1990.....	36
Figura 12: Ejemplo de Estimación de Superficies de Suelo de Diferente uso en Zonas Típicas de la Ciudad.	37
Figura 13: Forma del Hidrograma Según Duración de la Tormenta.	44
Figura 14: Modelo de Gestión de Aguas Pluviales.	48
Figura 15: Idealización de una Cuenca en SWMM. (MDU, SWMM. 2010).....	51
Figura 16: Discretización del Sitio Convertido en Subcuencas.	52
Figura 17: Hietograma de Tormenta 2003.....	64
Figura 18: Curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF)	71
Figura 19: Hietograma de Diseño para T = 2 años/6 horas.....	74
Figura 20: Hietograma de Diseño para T = 10 años/6 horas.....	75
Figura 21: Hietograma de Diseño para T = 10 años/24 horas.....	79
Figura 22: Hietograma de Diseño para T = 2 años / 24 horas.....	80
Figura 23: Modelamiento de la Cuenca Urbana.....	81
Figura 24: Delimitación de la Cuenca Urbana.....	82
Figura 25: Modelamiento de la Cuenca Urbana.....	83
Figura 26: Definición de la Longitud Superficial y la Pendiente para Sub Cuenca SC - 001.....	84
Figura 27: Coeficiente de Escorrentía Según el uso del Suelo.....	85

RESUMEN

Como parte de este proyecto de investigación, se realizó un estudio del actual sistema de drenaje pluvial de la Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimaguas con el fin de descubrir aquellas razones del insuficiente sistema actual de drenaje en dichas calles. Para mejorar esta ineficiencia del sistema de drenaje pluvial se aplicará el sistema de drenaje urbano sostenible, aprovechando el sardinel central para mejorar la gestión del agua de lluvia. Durante los periodos de fuertes lluvias que superan los límites de diseño del actual sistema de drenaje, se producen inundaciones y grandes dificultades en una parte de la población de Cajamarca. Haciendo el diseño de la cámara de retención de agua en el sardinel central de la Av. Nuevo Cajamarca y procesando la información en el programa SWMM, nos da la solución a los problemas de inundación. Debido a la geografía de la ciudad de Cajamarca, las inundaciones ocurren en regiones topográficamente bajas, lo que tiene un impacto significativo en las edificaciones e infraestructura que están vinculadas a estas áreas, siendo evidente la falta de un sistema adecuado de drenaje urbano sostenible.

Palabra clave:

Drenaje urbano, aguas pluviales.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El aumento de los inconvenientes en cuanto a saneamiento y tratado de las aguas pluviales, así como de la contaminación como resultado de las técnicas inadecuadas, están siendo causados debido al constante aumento de las superficies impermeables provocado por la urbanización. A consecuencia de ello el ciclo natural del agua se ve drásticamente afectado. Las técnicas tradicionales que consisten en transportar la escorrentía a niveles inferiores lo más rápidamente posible a través de cunetas impermeables, son inadecuadas a largo plazo para resolver el problema. Por tal motivo esta tesis está planteando la aplicación del sistema de drenaje urbano pluvial sostenible, aprovechando las áreas verdes.

Debido a que los fenómenos meteorológicos y los cambios climáticos ocurren con una alta frecuencia en el departamento de Cajamarca, se pueden dar lluvias en casi cualquier momento del año en esta localidad. Por otro lado, como consecuencia de la expansión descontrolada de la urbanización, no se ha puesto suficiente empeño en el desarrollo de escenarios de escorrentía pluvial siendo ello obligación por parte de las autoridades como lo es la Municipalidad Provincial de Cajamarca el ponerse al tanto y verificar que el Plan Maestro sea cumplido a cabalidad. Por otro lado, la municipalidad no cumple con las normas y reglamentos que regulan la recolección, transporte y disposición de las precipitaciones. En consecuencia, las precipitaciones se canalizan mediante el sistema único de drenaje pluvial, lo que provoca que las tuberías de alcantarillado lleguen a colapsar en varios lugares de Cajamarca. Este sistema se formó como resultado del colapso de las líneas de alcantarillado en varias áreas de la zona de Cajamarca debido a las persistentes inundaciones provocadas por las intensas lluvias. Esto ha provocado el fracaso de todos los sistemas de evacuación, así como la intransitabilidad de las carreteras, además de las pérdidas materiales, que se han agravado año tras año sin solución aparente a la vista. El sistema de drenaje urbano pluvial

sostenible ayuda a mejorar y gestionar la cantidad y calidad del agua de lluvia para ser evacuadas a su disposición final.

Es necesario conocer los estudios y avances que se han realizado en el contexto nacional e internacional, tanto desde la perspectiva hidráulica como ambiental puesto que además estos son capaces de reducir la cantidad de contaminación que ingresa al medio ambiente aplicando el sistema de drenaje urbano sostenible.

Conseguir que las prácticas sean sustentables es esencial de modo que se puede tener un mayor control de dichas escorrentías. Los funcionarios locales del municipio de Alto Libertad afirman que se están desarrollando estos sistemas para optimizar las oportunidades y beneficios que se pueden obtener con el apoyo del gobierno local. En pocas palabras, lo que se requiere es imitar los ciclos hidrológicos naturales al tiempo que se minimizan las consecuencias negativas de la expansión urbana y se maximiza la integración del paisaje, así como el beneficio social y ambiental.

Como nuestro objetivo general para la presente investigación de la tesis, es determinar mediante el programa swmm la capacidad hidráulica del drenaje urbano sostenible entre la Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021, para dar solución al aniego que se da en este punto de la ciudad y como los objetivos específicos tenemos, determinar el caudal de escorrentía que debemos evacuar aplicando el sistema de drenaje urbano sostenible, en el programa swmm, entre las calles Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021, determinar la condición actual del sistema de drenaje entre la Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021.

Según (Portal, 2014) se puede lograr aminorar los sistemas de drenaje que no cumplen las condiciones adecuadas en Cajamarca con el desarrollo de un estudio hidrológico apropiado que permita la aplicación de un sistema especializado, sin embargo no se incluye en la investigación una visión de Drenaje Urbano Sostenible (pág. 136).

Según ((INDECI), 2005), Cajamarca sufre de temporadas de lluvias usualmente en los meses de noviembre a marzo lo cual ocasiona inundaciones y erosiones debido a su intensidad y velocidad, no lográndose controlar debido a que no se cuenta con un sistema de drenaje de lluvia apropiado. (Pág. 91).

Se desarrolló el “Plan provincial de contingencia periodo de lluvias 2015 – 2016 y posible ocurrencia del fenómeno del niño”, a cargo de la Plataforma provincial de defensa civil con lo cual se buscó que la población se encuentre salvaguardada ante las intensas lluvias puesto que a la fecha no se ha logrado disminuir los riesgos que aquejan a esta localidad.

Según (Portal, 2014), al realizar su indagación acerca de los sistemas pluviales pudo rescatar un software SWMM al cual no se le había realizado a la fecha ningún tipo de mantenimiento siendo el motivo de las consecuencias negativas. (pág. 14).

Según el Manual de Agua Potable (2007) señala que se cuentan con nuevos instrumentos para el tratamiento del agua pluvial. Así mismo se señala que en la mayor parte las aguas las cuales son utilizadas de diversas maneras por el ser humano son contaminadas, por lo cual se requiere la eliminación pronta de aguas residuales, para de ese modo evitar tales problemas.

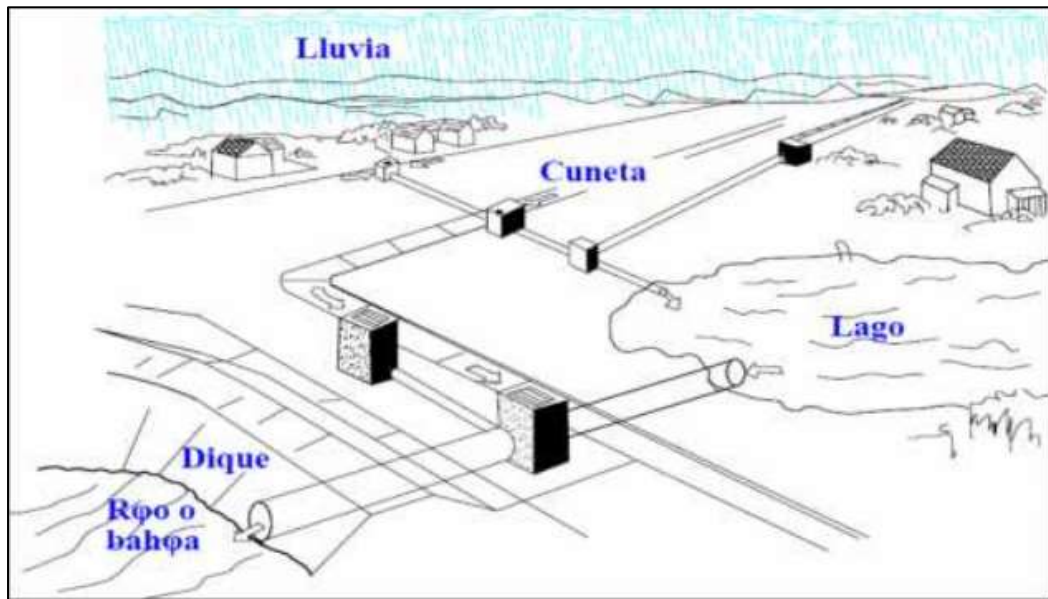
A consecuencia de que las superficies de hormigón y pavimento sean impenetrables, la cantidad de precipitaciones que se escapa de la superficie aumenta a medida que crece la población y se produce la urbanización. Por lo tanto, se construyen cunetas para la evacuación de aguas para que tengan mayor capacidad que los flujos de agua naturales que ya existen. Asimismo, las aguas tanto residuales y de lluvia son llevadas hasta un punto de eliminación, lo cual no queremos con esta tesis ya que queremos gestionar mejor el agua de lluvia.

- Descripción e importancia del alcantarillado

La función principal de este sistema es transportar las aguas residuales y las precipitaciones a lugares donde no causen daños o molestias a la comunidad local. Para evitar la formación y propagación de enfermedades asociadas a las aguas contaminadas, un sistema de alcantarillado consta de una red de tuberías e instalaciones de apoyo que permiten el funcionamiento, mantenimiento y reparación del sistema.

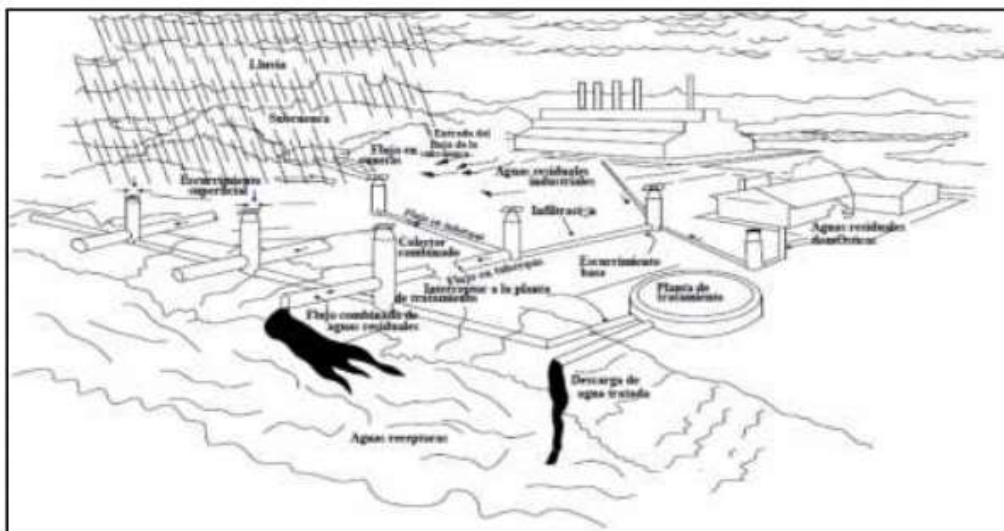
- Tipos; sanitarios; cuando únicamente transportan aguas residuales y mixtos cuando transportan ambos tipos de agua.

Figura N° 01: Sistema de Alcantarillado Pluvial



Fuente: Comisión Nacional del Agua 2007

Figura N° 02: Sistema de Alcantarillado Combinado



Fuente: Comisión Nacional del Agua 2007

Según (Ruiz, 2008), el sistema de drenaje cumple con la funcionalidad de impedir y dirigir el agua de las lluvias a un lugar en específico anteriormente determinado, evitando que provoquen inconvenientes de inundación en la urbanización, siendo importante de este modo que la persona que lleve a cabo el proyecto lo realice de una manera adecuada.

El proceso de drenaje del exceso de agua de las zonas urbanas para reducir las molestias y proteger los bienes materiales y las vidas es lo que se denomina drenaje pluvial urbano (RNE, 2010).

En el drenaje urbano, los fundamentos son los procesos físicos que tienen lugar a lo largo del funcionamiento de un sistema de drenaje. Este conocimiento, junto con la experiencia previa, permite a los investigadores identificar los principios básicos que controlen la conducta de las aguas pluviales y el sistema regulador.

De tal modo el diseño de los sistemas debe tener en consideración los principios que

se detallan a continuación (Ministerio de obras Públicas, 2013):

- El sistema de recursos urbanos está comprendido por las aguas pluviales el sistema de drenaje.
- Es importante reconocer que la lluvia urbana es una manifestación del ciclo hidrológico en las zonas urbanas y, como tal, es un tipo de recurso hídrico. La gestión del agua es fundamental, y es concebible elegir un enfoque en el que el agua de lluvia se considere un recurso para la comunidad, frente a otro en el que se vea como un residuo peligroso para la comunidad y el medio ambiente, ya sea de forma alternativa o simultánea.
- Las aguas pluviales generan un amplio abanico de dificultades, muchas de las cuales son consecuencia de la integración de diversas herramientas y del empleo de métodos de actuación consistentes y manejables para abordarlas.

Además, pueden influir en una serie de agentes sociales y naturales que se encuentran en diversos lugares de una cuenca. Además, la gran demanda de espacio y recursos en un entorno urbano hace necesario el desarrollo de un plan de gestión que alcance una serie de objetivos. En particular, se trata de regular la proporción y el modo de evacuación, aplicando el sistema de drenaje sostenible, garantizando al mismo tiempo la integridad de los diferentes ecosistemas y poblaciones biológicas, la gestión de la erosión y de los sedimentos, y los elementos recreativos de las cuencas hidrográficas, entre otros. Para hacer frente a estos numerosos retos y objetivos se necesitan herramientas integradas de gestión estructural y no estructural de las aguas pluviales dentro de la cuenca siendo compatibles con otras herramientas para poder abordarlos eficazmente. El sistema debe construirse de forma que sea tan adaptable como sea posible para acomodar cualquier posible modificación futura.

- El crecimiento urbano incontrolado provoca un aumento de los índices y magnitud de la corriente de agua y de la contaminación que trae consigo, tanto al inicio como al final del proyecto.

Las superficies naturales se impermeabilizan como consecuencia del desarrollo urbano, produciendo la reducción de la permeabilidad y conservación. Como consecuencia, los volúmenes y las tasas de escorrentía aumentan, y la escorrentía se produce con más fuerza como resultado. Además, los cambios en el uso del suelo dan lugar a la presencia de nuevos contaminantes que no estaban presentes anteriormente, incluso durante la fase de desarrollo de la urbanización. De acuerdo con un diseño adecuado, es posible regular una parte del aumento del volumen de escorrentía provocado por la urbanización y, al mismo tiempo, hacer que los caudales máximos vuelvan a ajustarse a los niveles naturales y controlar la contaminación a través de estrategias tales como el sistema de drenaje sostenible.

Se debe dar el mantenimiento de forma constante a las obras permitiendo así que estas respondan al fin por las que fueron creadas manteniendo a la vez la calidad de servicio, asimismo se debe dar la rehabilitación de las redes correspondientes.


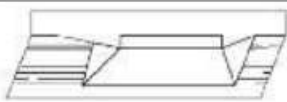
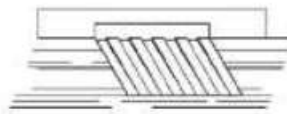
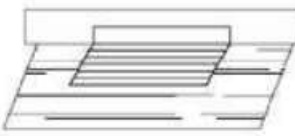
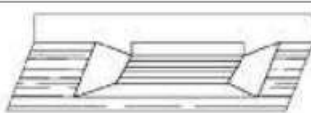
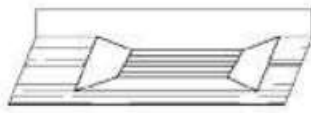

Según el Manual de Agua Potable (2007) señala que el sistema de alcantarillado está integrado por: Estructuras de contenedores, tuberías, de enlace y conservación, vertido, anexas y de disposición final.

Características:

Los desagües pluviales son estructuras de captación que recogen la escorrentía del área del lote y la transmiten al sistema de alcantarillado. Están espaciados en las calles para interceptar el flujo de agua en la región, particularmente aguas arriba de las intersecciones de calles y avenidas importantes. Hay varias variedades de desagües pluviales, a veces conocidos como alcantarillas pluviales: desagües de suelo, desagües combinados de acera, desagües longitudinales y desagües transversales.

Los desagües para el suelo se construyen al mismo nivel que la superficie del pavimento, mientras que los desagües para la acera también se construyen como parte del pavimento. Se construyen como un elemento integral del bordillo. Cuando se necesitan caudales más elevados, puede emplearse una combinación de los dos métodos. Las alcantarillas longitudinales son un tipo de alcantarilla de acera que se distingue de los otros tipos. La selección de una o varias de estas opciones depende totalmente de la inclinación en sentido longitudinal de las carreteras y de la cantidad de tráfico que se vaya a recoger. A veces se combinan con un rebaje en la capa del pavimento para aumentar su eficacia.

Tabla 01: *Tipos de Sumideros*

	De banqueta
	De banqueta deprimida
	De banqueta con canalizaciones
	De piso y banqueta
	De piso y baqueta deprimida
	De piso deprimida
	Transversal combinada con una de piso y Banqueta

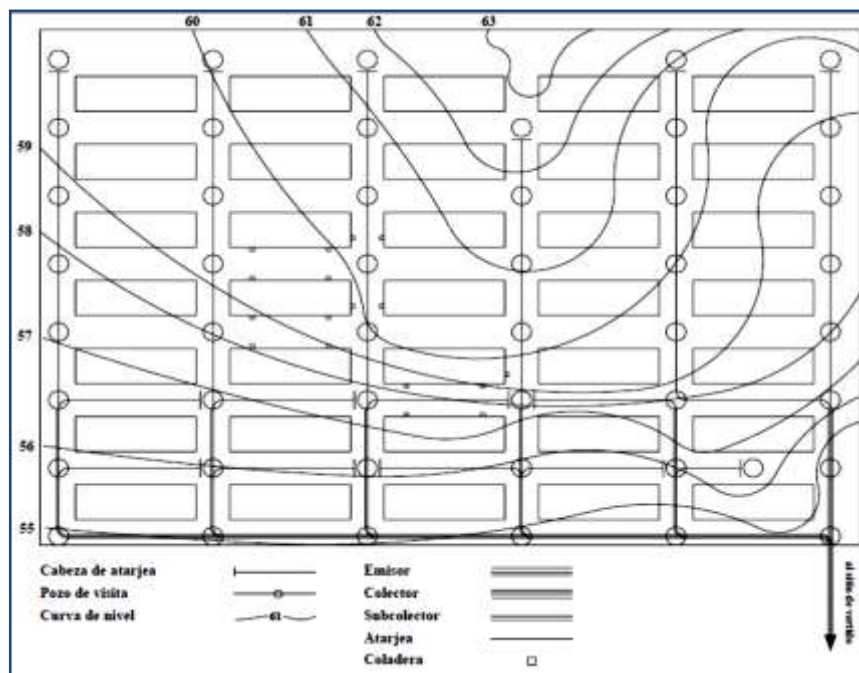
Fuente: ASCE, 1992

Las tuberías pueden clasificarse como alcantarillas, subcolectores, colectores o emisores en función de su valor en la red. Las alcantarillas o la red de alcantarillas se refieren a las tuberías de menor diámetro de la red en las que desagua la mayoría de las construcciones que van directo hacia la fuente. Asimismo, los subcolectores son mucho más grande que las alcantarillas, del mismo modo los colectores poseen mayores dimensiones representando la columna vertebral.

Del mismo modo, estos pueden ser de agrupados según el material y método con el cual han sido fabricados. Así se puede identificar los conductos prefabricados y las construidas in situ.

Los conductos prefabricados, a veces conocidos como "tubos", están formados por una variedad de materiales y suelen consistir en una sección circular. Suelen ser de PVC, hormigón o polietileno.

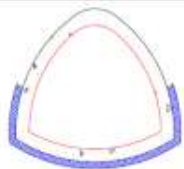
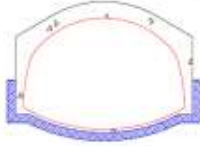

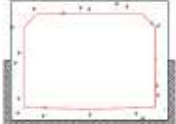
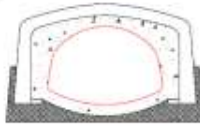
Tabla 02: Trazo de una Red de Alcantarillado



Fuente: CNA, 2017

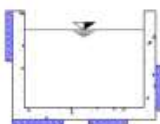



Usualmente los conductores son hechos de concreto presentando una estructura ya sea a cielo abierto o cerradas.

Tabla 03: *Secciones Transversales de Conductos Cerrados*

	Semiéptica
	Herradura
	Circular
	Rectangular (Cajón)
	Bóveda

FUENTE: CNA, 2017

Tabla 04: *Secciones Transversales de Conductos Abiertos*

	Rectangular
	Trapezoidal
	Triangular
	Combinada

FUENTE: CNA, 2017

El sistema de conexión y funcionamiento, son usualmente subterráneas los cuales se encuentran cubiertas y extienden hasta llegar al suelo. Según su tamaño, se denominan pozos de registro o arquetas. Esta forma de arquitectura permite examinar y poseer una mejor aireación y limpieza de los conductos.

Los pozos de registro se construyen al principio de las alcantarillas, en los lugares donde se presentan variaciones en cuanto a la tubería y en los que es necesario que se encuentren conectados a diversas tarjeas, estos suelen colocarse a intervalos de más de 125 a 175 metros en una misma tubería, en función al calibre que posean las tuberías que serán enlazadas.

Son clasificados según la utilidad y el tamaño de las tuberías que confluyen en ellos, así como el material utilizado para construirlos. Existen varios tipos de pozos de registro, entre los que se encuentran los pozos estándar, los pozos especiales, para conexiones oblicuas, de caja, de alianza, de desviación y con caída (adosada, común y escalonada). El tipo de pozo más común es el construido con ladrillo y hormigón.

Además, también se encuentran aquellos pozos que han sido pre elaborados de hormigón armado, así como polietileno y fibrocemento, usualmente son utilizados los comunes para calibres de menor tamaño y los de caja son utilizados al tener mayor magnitud.

La composición de la descarga es la tarea última del sistema de alcantarillado, el cual garantiza que estos residuos sean llevados de manera rápida a una corriente receptora. Debido a que estas estructuras son capaces de descargar el agua desde emisores compuestos por conductos cerrados o canales, se examinan dos tipos distintos de estructuras de descarga.

Las instalaciones complementarias son obras o edificios de una red de alcantarillado que no están conectados permanentemente a la red pero que facilitan su funcionamiento.

De acuerdo con la (Norma CE.040)- Reglamento Nacional de Edificación (Resolución Ministerial N° 126-2021-Vivienda), cada plan de drenaje urbano debe contener

la siguiente investigación, pero no se limita a ella: siendo importante fijar la mirada en el entorno lo cual permita ver los efectos del crecimiento urbano y de la intervención, proponiendo así alternativas de soluciones para un desarrollo eficaz, abarcando las características atmosféricas, territoriales, hidrográficas, del suelo y del subsuelo.

El clima influye en la manera en que estos sistemas funcionen siendo relevante los datos climáticos, en su mayoría de naturaleza meteorológica, sirven de base para diagnosticar y delimitar las partes de las redes de saneamiento.

El ornato urbano depende en gran medida de la geografía en la que se encuentre y aquello que se quiera lograr por lo cual es relevante que esto no afecte a la naturaleza y por el contrario traiga consigo mejoras proporcionando a los residentes sus propias funciones y elimine todas las formas de externalidades negativas. La morfología urbana también se verá influenciada por el plan sobre el que se desarrolle la ciudad, en base al Instrumento de Ordenación del Territorio y el desarrollo y/o la construcción de viviendas, industrias y otros fines. Es el propósito del drenaje urbano sostenible.

El relieve urbano está compuesto por una variedad de factores que contribuyen al drenaje urbano, entre los que se encuentran los siguientes

- Techados, residencias, estructuras, jardines y aparcamientos.
- Aceras, pasos de peatones, bordillos, cunetas y badenes.
- Parques, plazas, estanques y lagunas naturales y artificiales, y zonas húmedas.
- Cursos de agua en zonas urbanas, estuarios, regadíos, entre otros.

Tal como se verifica existe una fuerte interferencia debido a las diversas obras lo cual recae en los sistemas vistos. El sistema de drenaje urbano requiere el aprovechamiento de las aguas de lluvia desde las casas, edificios, etc.

La hidrología es muy variable en todo el territorio debido a la diversidad de condiciones que afectan a la escorrentía. Estas condiciones se encuentran asociadas al relieve e influenciadas por el clima diverso que se posee sumado a esto la litología y las propiedades que presente el suelo.

Los valles hidrográficos y su sistema, el cual está compuesto en base a canales que poseen anchura variable, constituyen el marco natural del escurrimiento en el ciclo del agua, siendo fundamental en la planificación, diseño y la gestión del drenaje urbano sostenible.

La red de drenaje, ya sea natural o artificial (primario, secundario y domiciliario), así como las características de las aguas del área urbana y de la cuenca en general, representa un componente primordial de los sistemas pluviales, ya sea como medios de recepción de las aguas originadas en áreas urbanas, así como por las inundaciones, siendo además parte del avenamiento dentro de las ciudades teniendo presencia así tanto en la red primaria y secundaria.

La hidrogeología analiza como el agua se comporta tanto dentro y debajo de la tierra. Es importante que para el diseño de los drenajes urbano sostenible se consideren las cualidades que posee el suelo, debido a las infiltraciones, retención y/o la detención del agua que pueda hacerse presente, lo que origina un nexo entre el agua y el suelo, además de verificar las condiciones que presenta este último y las instalaciones que posee en cuanto a los sistemas al igual que en su propiedad para infiltrar y retener el agua lo cual tiene un efecto directo sobre las salidas del agua, para su aplicación del sistema de drenaje urbano sostenible.

La hidrológica es el estudio del funcionamiento del agua y a pesar que esta es limitada se encuentra en constante actividad lo cual es debido al ciclo hidrológico el cual da inicio con la evaporación, seguido de la condensación, precipitación teniendo la posibilidad de penetrar en él o fluir sobre el llegando a su punto final con la escorrentía superficial la cual da lugar a la formación de pequeños arroyos y ríos, con la aplicación del sistema de drenaje

urbano sostenible se busca recuperar el ciclo hidrológico, aprovechando las áreas verdes de la ciudad.

Figura 01: Ciclo Hidrológico del Agua



Fuente: CNA,2017

La precipitación es, por consiguiente, el punto número uno del ciclo hidrológico, siendo aquí el agua mucho más explotable llegando a tener un contacto más rápido con las personas (MDU,2003)

Desde la perspectiva del saneamiento urbano de las aguas procedentes de la lluvia, o del agua creada directamente por la precipitación una vez que llega al suelo, es fundamental entender cómo se comporta, ya que es la principal demanda del sistema. A su vez, conocer cómo se convierte la precipitación en escorrentía superficial es crucial para el cálculo del tamaño del drenaje y aplicar el sistema de drenaje urbano sostenible.

La hidrología es una disciplina natural que examina la existencia, el movimiento y la distribución del agua en la faz de la tierra, así como las cualidades que posee y sus interacciones (Béjar, 2002).

Toda el agua que corre hacia los arroyos y ríos, así como el agua que permanece en el suelo o viaja a través de los acuíferos, se origina en las precipitaciones. Este término

engloba la lluvia, la nieve y el granizo y son producidas cuando el aire humedecido se enfría lo necesario en la atmósfera para condensar el vapor de agua restante en torno a los centros de condensación. Al ser las gotas creadas lo suficientemente grandes y pesadas, la gravedad las obliga a caer. La precipitación viene determinada por la suma de vapor y el ritmo en que esta se enfría. Las masas de aire pueden enfriarse debido a influencias topográficas, a la convección térmica, a la actividad de los vientos o sus corrientes. La fuente de las lluvias influye sus características y, por lo tanto, es una variable de diseño clave. Tal es el caso de las precipitaciones convectivas suelen ser breves, muy potentes y afectan a una región relativamente limitada. La precipitación frontal, en cambio, afecta a una región más amplia y suele ser de mayor duración y menor grado de intensidad. (Manual de drenaje Urbano de Chile, 2003)

La precipitación corresponde a cualquier tipo de humedad la cual se va a originar en las nubes y que llega finalmente al suelo (Béjar, 2002).

La precipitación es controlada constantemente en los pluviógrafos o medidores de nieve y ocasionalmente en los pluviómetros en forma de altura de agua. Los pluviómetros son esencialmente cavidades que van a acopiar la precipitación y la cuantifican en términos de altura por unidad de superficie. Estos son equipos pequeños con un estándar definido que registran el agua recogida a un ritmo regular. (Figura 04).

Figura 02: *Pluviómetro Simple Estandarizado. A la Izquierda Vista General. Arriba Derecha, Vista desde Arriba. A la Derecha Abajo, Vista del Interior, con el Recipiente de Acumulación y la Regla de Medida.*



Fuente: *Fuente: Manual de Drenaje Urbano, 2003*

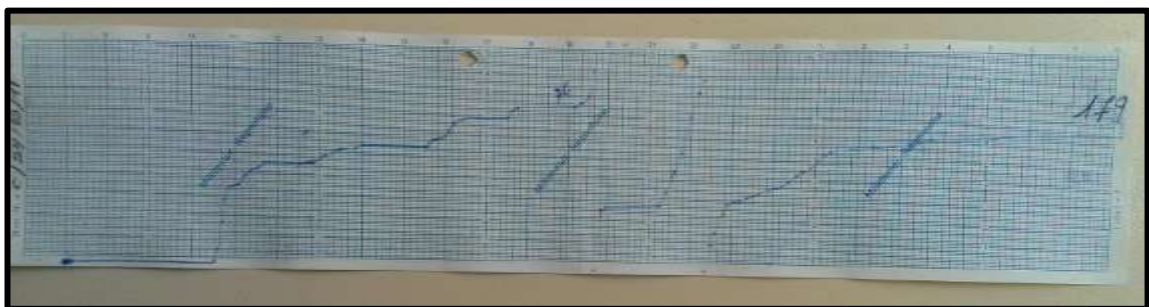
Los pluviómetros mantienen un registro continuo, para lo cual se proveen de un dispositivo que muestra la precipitación acumulada en función del tiempo de forma mecánica o electrónica. La gran parte de los pluviómetros son mecánicos, con un mecanismo de giro que funciona cada dos o tres meses y un registrador de notas que lleva la cuenta de la cuantía de agua retenida en un minúsculo depósito que se desagota a través de un sifón cuando el nivel llega a su máximo, observar figura 05.

Figura 03: *Pluviógrafo Mecánico de Sifón con Registro en Papel. A la Izquierda Vista General. A la Derecha Vista del Interior, con el Reloj Mecánico y Banda de Papel Semanal, Estanque con Sifón y Flotador de Aguja, y el Aforador Volumétrico Abajo para Medir la Precipitación Acumulada.*



Fuente: *Manual de Drenaje Urbano, 2003*

Figura 06: *Banda pluviométrica año 2012, Cajamarca*

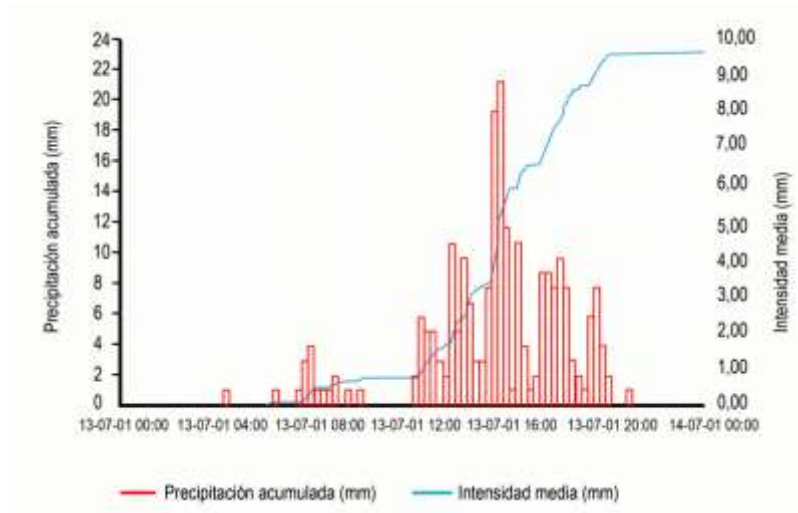


Fuente: *SENAMHI, Cajamarca*

Una tormenta es un plazo continuo de precipitaciones causado por una condición meteorológica favorable, que puede representarse matemáticamente como una serie de espacios de tiempo de lluvia. El lapso de tiempo que transcurre entre dos tormentas durante el cual no llueve es una cantidad que permite la autonomía estadística entre dos de ellas. Se efectuaron múltiples análisis estadísticos de récords de precipitación continua para definir el intervalo de tiempo entre tormentas, TET, que define su independencia estadística, y se determinó que este valor puede variar entre 6 y 24 horas, asumiendo un tiempo de 12 horas sin lluvia para definir sucesos distintos.

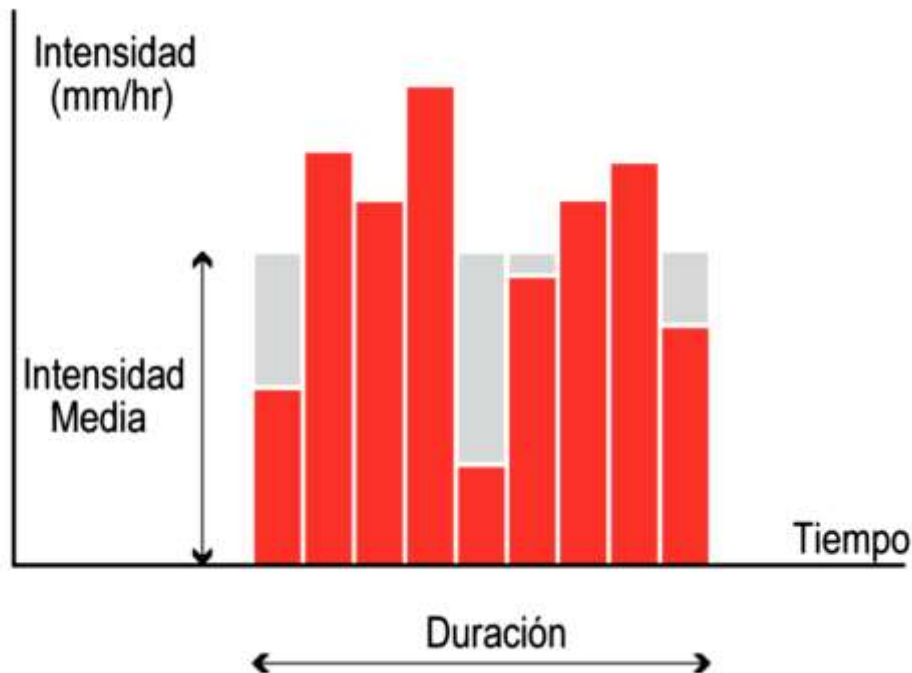
Desde la óptica de la ejecución de la información para el diseño de los sistemas de drenaje urbano, las principales cualidades de este episodio, o evento de precipitación, son su duración, su tamaño total, la fluctuación de la incidencia en el tiempo y la dispersión de la precipitación en el espacio. El registro de precipitaciones de una tormenta puede evaluarse a lo largo del tiempo trazando la intensidad de cada intervalo de tiempo o la precipitación acumulada, como se representa en la imagen 12. En resumen, se puede utilizar un sistema de hietograma, como el representado en la Ilustración 13, para evaluar las propiedades de una tormenta.

Figura 04: Registro de una Tormenta Mediante la Precipitación en Intervalos Regulares Hietograma, o con la Precipitación Acumulada en Función del Tiempo



Fuente: Manual de drenaje urbano de Chile, 2013

Figura 05: Hietograma de Tormenta.



Fuente: Manual de drenaje urbano de Chile, 2013

Una de las características más importantes y visibles está referida al total de lapsos de tiempo entre lluvias, siendo relevante la duración de estas las cuales mayormente son expresadas en minutos u horas.

La magnitud indica la cantidad global de precipitación que ha caído durante la tormenta o el volumen de precipitación que se ha recogido al final de la misma. Cuando se mide con un pluviómetro, es un valor puntual, pero cuando se aplica a una región más amplia, esta ve significativamente afectada debido a los cambios temporales y su geográfica especificándose así en milímetros.

El tamaño de la tormenta dividido por su longitud indica su intensidad media en milímetros por hora. La intensidad representativa es complicada de describir, ya que es posible referirse a intensidades altas o medias, así como a otras que lo reflejan.

El hietograma de la tormenta es la disposición de la precipitación en general en el tiempo en el trascurso de una tormenta. Representando un elemento importante para definir la respuesta de la escorrentía de la cuenca y, como tal, debe abordarse al evaluar una tormenta. Este es un gráfico que representa las precipitaciones o la magnitud de las mismas de acuerdo a los lapsos de tiempo.

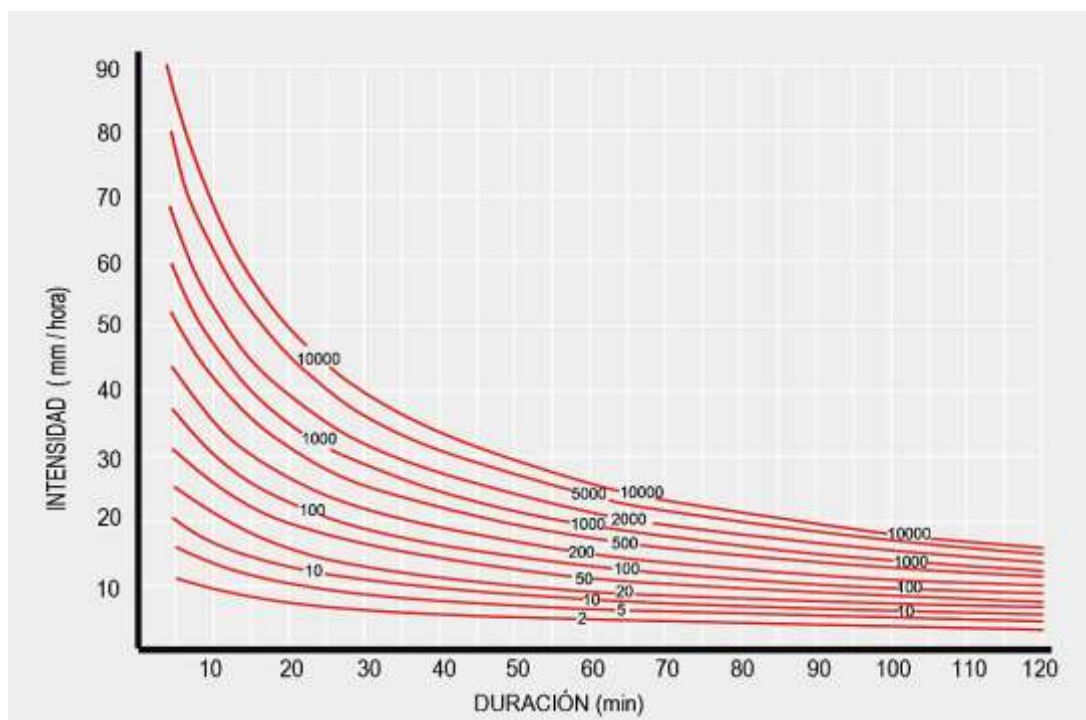
A escala urbana, se puede suponer una distribución espacial homogénea de las precipitaciones en las pequeñas cuencas de menos de cien hectáreas. Esto no quiere decir que no sea necesario calcular las cantidades de lluvia en lugares donde a menudo no se cuenta con información. Para las cuencas hidrográficas más amplias, es necesaria una asignación geográfica a partir de un modelo.

La probabilidad de que se produzca una tormenta es proporcional a la frecuencia con la que se ha registrado su ocurrencia en un determinado registro. Sin embargo, como cada tormenta es única, es necesario evaluar la probabilidad de un fenómeno multivariado. En consecuencia, es típico definir el tiempo y luego determinar la probabilidad de que la

precipitación supere una determinada cantidad dentro de esa duración. Así, se calcula la probabilidad de que se produzcan precipitaciones en 24 horas en un determinado año. Las llamadas relaciones intensidad-duración-frecuencia dan extensiones para diferentes duraciones, lo que permite utilizar este enfoque para precipitaciones de longitudes variadas. El estudio es típicamente preciso, evadiendo los cambios de intensidad de la tormenta, centrándose en la intensidad media de la misma, o en la precipitación total dividida por el tiempo. Por ello, también utilizamos los términos relación de precipitación, duración y frecuencia.

La conexión de intensidad, duración y frecuencia (IDF) es una técnica para describir y definir el comportamiento de la precipitación examinando las relaciones entre sus atributos, específicamente las interacciones entre la Duración, la Intensidad y la Frecuencia. Tales conexiones son también muy ventajosas puesto que representan el cambio en la fuerza de las precipitaciones a través de una serie de tiempos vinculados a ciertos grados de posibilidades de que se produzcan, siendo de gran ayuda para estimar en forma indirecta el flujo de pequeñas cuencas hidrográficas, principalmente impermeables, en función de las lluvias. A menudo, estas tendencias son exponenciales y el aumento de la duración de las precipitaciones son interpretadas como una minimización de la potencia. Se suele combinar en forma simétrica las curvas vinculadas a varias secuencias en el mismo gráfico para generar la familia de curvas vinculadas a un punto específico del gráfico.

Figura 06: *Curvas IDF en la Estación Punta Ángeles en Valparaíso.*



Fuente: *Plan Maestro de Valparaíso.*

Las características de una tormenta en razón de la construcción de los sistemas de drenaje urbano son; su longitud, tamaño total, su intensidad máxima, la fluctuación de la misma, su variabilidad, indicando además que el volumen de la misma tiene incidencia en el tamaño de las estructuras cuya función es almacenar, mientras que la intensidad incide en el tamaño de las estructuras del transporte.

El término "precipitación de diseño" se refiere a una tormenta de duración, tamaño e intensidad especificados en cada periodo predeterminado, de modo que las obras funcionan eficazmente ante precipitaciones comparables o menores, pero pueden fallar en el caso de sucesos más graves. Peor puede referirse a ocurrencias más largas, más intensas o de mayor tamaño en esta circunstancia.

Los plazos de retorno, la duración y la precipitación en su totalidad, son los principales factores que caracterizan la tormenta de diseño son el. Además, la distribución

temporal de las precipitaciones durante períodos más cortos que la duración total y la distribución geográfica en una región más amplia son características adicionales. Los requisitos de cuantificación de estas métricas se proporcionan y exploran con más detalle a continuación.

La posibilidad de que se originen las precipitaciones son dadas en razón al riesgo que se esté dispuesto a aceptar. En los distintos diseños de saneamiento de aguas pluviales en zonas urbanas se suelen contemplar principalmente dos clases de tormentas: una de diseño, en la que se acotan los componentes del circuito con plazos de respuesta que van desde los dos a los diez años, en base a las especificaciones del servicio, y otra de comprobación, en la que se verifica que no se produzcan problemas graves en situaciones extremas a pesar de que se admitan averías e inconvenientes, con plazos de respuesta que van desde los cincuenta a los cien años. En cualquier caso, se prevén valores particulares de diseño y verificación para las obras y redes de drenaje basados en criterios de servicio aceptables.

La duración global se relaciona con el período de concentración de la cuenca contribuyente para determinar una duración que genere la mayor cantidad de escorrentía. Al diseñar los componentes de transporte, la duración de la tormenta debe ser siempre mayor o igual que el periodo de concentración, con una duración que no exceda el doble del tiempo de concentración. Las duraciones largas, generalmente de 24 horas para los componentes de la red secundaria, deben tenerse en cuenta a la hora de dimensionar las obras de almacenamiento, como estanques o lagunas.

La precipitación total de la tormenta es una característica climática del lugar que puede determinarse mediante las relaciones de intensidad, duración, frecuencia y FID. Estas relaciones se utilizan para calcular la precipitación total de la tormenta para un tiempo de retorno y una duración determinados.

El hietograma refleja de manera gráfica la intensidad de las lluvias. Es, sin duda, un aspecto crítico en la determinación de la escorrentía de reacción de la cuenca y, como tal, debe abordarse al definir una tormenta de diseño. A pesar de que su efecto sobre la forma y la amplitud de la crecida onda está bien establecido, se acostumbra a seguir con supuestos muy básicos.

Cuando la precipitación llega al suelo, puede condensarse, penetrar o escurrirse. En las zonas metropolitanas, se debe acomodar estos flujos mediante sistemas de depósito o transporte. Es vital estimar y comprender a los flujos de manera que se pueda otorgar un adecuado dimensionamiento a los sistemas de drenaje urbano. Aunque los registros de la escorrentía superficial en las regiones metropolitanas son limitados, debido al tamaño compacto de las cuencas y a las superficies frecuentemente utilizadas con distintos componentes de almacenamiento y conducción, es posible predecir estos flujos basándose en el conocimiento de la cuenca y de las precipitaciones que los generan.

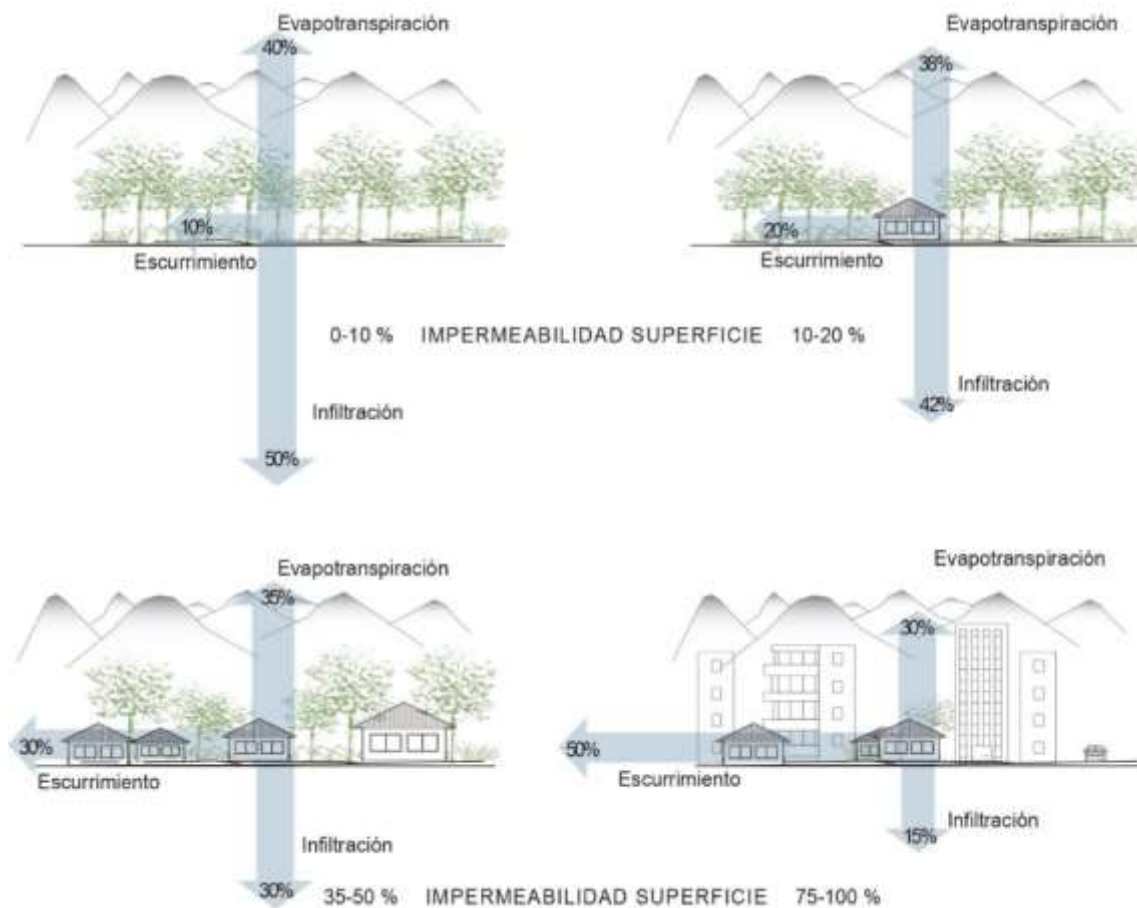
Cuando se produce un chubasco muy potente de forma repetida, puede observarse que la lluvia es primero atrapada por las plantas, los tejados y otras superficies o retenida temporalmente en depresiones y charcos, proceso conocido como intercepción. Esta interceptación puede ser grande al comienzo de un aguacero, pero la capacidad de almacenamiento de las superficies interceptoras es limitada, por lo que el volumen disponible se llena pronto y sólo disminuye debido a la evaporación, un fenómeno muy insignificante a lo largo de una precipitación. A medida que la lluvia continúa, se forma una fina película de agua en la superficie del suelo, denominada volumen de detención superficial, y se lanza un flujo hacia sectores inferiores que sirven de canales superficiales. Esta cantidad de agua de detención superficial puede penetrar en el suelo y aumentar la humedad en la zona no saturada, o puede permeabilizar hacia las zonas saturadas del suelo. En la mayoría de las tormentas de baja intensidad, el déficit de humedad del suelo se resuelve

antes de que se produzca una escorrentía superficial visible. El agua que ha entrado en el suelo, pero no se queda como humedad del suelo fluye hacia el canal de drenaje superficial como flujo subsuperficial o se filtra hacia los acuíferos subterráneos. La escorrentía superficial es menor al principio, pero crece con el tiempo y puede verse incrementada de forma significativa por la entrada de agua subterránea y subsuperficial, dependiendo del escenario.

Aunque el ciclo hidrológico es físicamente idéntico en las zonas naturales y en las urbanas, la hidrología de estas últimas está dominada por dos características: el predominio de las superficies impermeables, como las aceras y los tejados, y la presencia de la intervención humana en los sistemas de drenaje de la cuenca, como sistemas de alcantarillado, canales y otras obras. Debido a estas cualidades, una cuenca urbana responde a las precipitaciones mucho más rápidamente de lo que lo haría una cuenca en circunstancias naturales de extensión comparable. Además, el volumen de escorrentía de una cuenca urbana es mayor ya que hay menos superficie permeable disponible para la infiltración.

Como ya se ha dicho, la característica ligada al predominio de las superficies impermeables aumenta la escorrentía de las precipitaciones y al mismo tiempo altera su calidad. En consecuencia, a medida que aumenta la proporción de impermeabilidad en una cuenca, aumenta el coeficiente C de escorrentía medido. El aumento de la velocidad, en combinación con el aumento del volumen de la escorrentía y la concentración de la misma en las tuberías y canales, resulta en una concentración de flujos más rápidos en diversas regiones de la cuenca. El resultado final es un aumento del caudal máximo de la zona urbanizada.

Figura 7: Cambios en las Condiciones Físicas Hidrológicas en Respuesta a la Urbanización de la Cuenca.



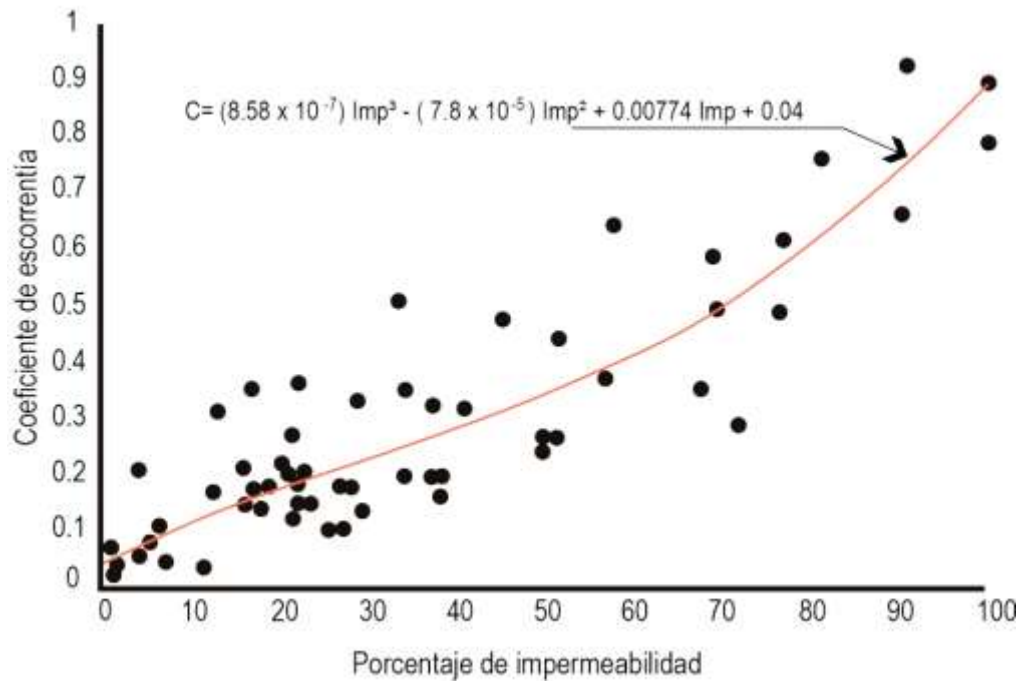
Cuando las precipitaciones tienen una duración indefinida, el coeficiente de escorrentía refleja el porcentaje del total de las precipitaciones que es absorbido inmediatamente por la escorrentía. El resto de la precipitación forma depresiones, se infiltra o se evapora. Este coeficiente toma un valor que varía en función de diversos elementos, como el tipo de precipitación, su volumen e intensidad, la naturaleza de la superficie, los usos del suelo y las pendientes del terreno, la vegetación, la permeabilidad, la inclinación y la humedad inicial del suelo, entre otros.

El índice de escorrentía debe utilizarse para determinar la cantidad de escorrentía generada por una tormenta en su totalidad. Cuando se utiliza para estimar los caudales o la relación entre el caudal y la intensidad de la lluvia, se realiza una extrapolación suponiendo que la lluvia tiene una duración indefinida y que se ha alcanzado el estado de régimen. Este es el caso, por ejemplo, de la técnica racional, que sólo es aplicable a las lluvias muy prolongadas, una vez que se ha alcanzado un equilibrio entre las precipitaciones y la escorrentía.

Este coeficiente se especifica para los chubascos de larga duración, de manera que, dada una tormenta de intensidad constante, existe un estado de régimen en el que el coeficiente de escorrentía es igual al porcentaje de escorrentía de la precipitación con respecto a la precipitación total. Es probable que durante los chubascos breves no se alcance el estado de régimen, ya que las extracciones son mayores y el coeficiente de escorrentía es menor cuando el terreno está seco. Por ello, en muchas circunstancias, se utiliza la duración de retorno de las precipitaciones para aproximar la cantidad de éstas y las condiciones previas en las que se descubrió el suelo.

También se basa en las cualidades y propiedades del suelo tras las lluvias prolongadas. Es evidente que la impermeabilidad del suelo y el coeficiente de escorrentía tienen una relación. Sin embargo, no se trata de una conexión lineal. El gráfico n° 07 ilustra los resultados de una investigación realizada en cuencas urbanas sobre la relación entre la impermeabilidad y la calidad del agua (Urbonas, B. R., Guo, C. Y., & Tucker, L. S., 1990). La permeabilidad se supone para los suelos naturales desnudos y los suelos con plantas naturales o artificiales. Todas las formas de tejados y aceras se consideran impenetrables.

Figura 8: Relación entre impermeabilidad y coeficiente de escorrentía según Urbanas, B. R., Guo, C. Y., & Tucker, L. S., 1990



Fuente: Manual de drenaje urbano-Chile, 2013

Esta investigación demuestra lo siguiente sobre el impacto de la impermeabilidad. La conexión es no lineal y muy dispersa, como demuestra el hecho de que el coeficiente de escorrentía para suelos con un 30% de impermeabilidad puede oscilar entre 0,15 y 0,50. Esto se debe a que la escorrentía está controlada por una serie de factores, como la pendiente de las superficies de la cuenca, las depresiones e incluso la red de drenaje. Además, el coeficiente de escorrentía es bajo en un suelo completamente poroso, aunque no es cero, sino entre 0,05 y 0,10. Tampoco es 1, sino que se sitúa entre 0,8 y 0,9 en cuencas completamente impermeables. En otras palabras, incluso las cuencas impermeables retienen y retienen algo de agua, ya que parte del agua que humedece el suelo no fluye. Los autores proporcionan la siguiente conexión media para el índice de precipitación:

$$C = (8,58 \times 10^{-7}) \times Imp^3 - (7,80 \times 10^{-5}) \times Imp^2 + (7,74 \times 10^{-3}) \times Imp$$

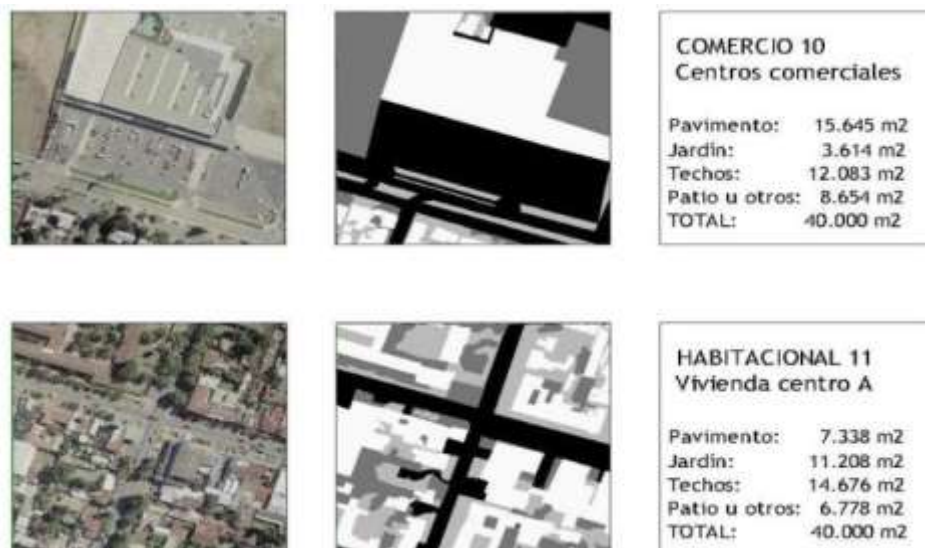
Imp = impermeabilidad (%)

El tanto por ciento de impenetrabilidad, a su vez, es proporcional a la superficie edificada en relación con la superficie total. Se ha demostrado que existe una relación entre el tamaño de la partición de la propiedad y la utilización de los lugares en las zonas metropolitanas.

Un enfoque para identificar las distintas superficies en cada circunstancia utilizando un SIG y asignando coeficientes de escorrentía a las zonas ponderadas por el uso del suelo. Este procedimiento puede utilizarse para diferenciar los distintos grados de urbanización de las zonas urbanas, como los tipos de vivienda existentes y permitidos, las subdivisiones de la superficie mínima, las densidades de población actuales, máximas y mínimas permitidas, los porcentajes de espacios verdes existentes y necesarios, y los grados de pavimentación existentes.

Los tejados, los aparcamientos, las calzadas y las avenidas, entre otros, deben clasificarse como superficies impermeables. La figura 12 ilustra cómo estimar la superficie con el fin de calcular el coeficiente de escorrentía ponderado.

Figura 9: *Ejemplo de Estimación de Superficies de Suelo de Diferente uso en Zonas Típicas de la Ciudad.*



Fuente: Manual de drenaje urbano-Chile, 2013

En ciertos lugares, como se menciona en el párrafo siguiente, también se puede estimar un coeficiente ponderado basado en la composición de las superficies elementales. Para las regiones de nueva urbanización, se puede determinar un coeficiente ponderado multiplicando las superficies de cada tipo de ocupación del suelo por los coeficientes de escorrentía indicados en el cuadro N° 05

Tabla 05: *Coeficiente de escorrentía para zonas de nuevas urbanizaciones*

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE		
	<i>Mínimo</i>	<i>Medio</i>	<i>Máximo</i>
Calles			
Asfalto no poroso	0.70	0.82	0.95
Hormigón	0.80	0.87	0.95
Adoquín de cemento sobre arena	0.50	0.60	0.70
Maicillo, ladrillo	0.30	0.40	0.50
Techos			
Zinc, latón, metálicos en general	0.85	0.90	0.95
Tejas, pizarras, cemento asbesto	0.70	0.80	0.90
Patios			
Baldosas, hormigón	0.80	0.87	0.95
Tierra, sin cobertura	0.50	0.50	0.70
Parques, plazas y jardines			
Prados, suelo arenoso	0.05	0.12	0.20
Prados, suelo arcilloso	0.15	0.25	0.35

Fuente: Ministerio de vivienda y urbanismo, 2005

Se recomienda para zonas urbanizadas utilizar siguientes coeficientes mostrados en la Tabla N° 06.

Tabla 06: *Coefficientes de Escorrentía para Zonas Urbanas*

TIPO DE ZONA	COEFICIENTE		
	<i>Mínimo</i>	<i>Medio</i>	<i>Máximo</i>
Áreas Residenciales			
Suburbios semiurbanos	0.25	0.32	0.40
Casas asiladas	0.30	0.40	0.50
Condominios asilados	0.40	0.50	0.60
Condominios pareados o continuos	0.60	0.67	0.75
Departamentos en edificios asilados	0.50	0.60	0.70
Departamentos en edificios continuos	0.70	0.80	0.90
Áreas Comerciales			
Comercio de alta densidad	0.70	0.82	0.95
Comercio de baja densidad	0.50	0.60	0.70
Áreas industriales			
Grandes industrias	0.50	0.65	0.80
Pequeñas industrias	0.60	0.75	0.90
Parques, plazas y jardines			
Parques, plazas y jardines	0.10	0.17	0.25

Fuente: Ministerio de vivienda y urbanismo, 2005

En este sentido, es preferible utilizar los valores medios de cada categoría, a no ser que haya una razón de peso para adoptar las cifras mínimas. Si se desea tener en cuenta la seguridad al mismo tiempo que se generan caudales mayores, podrían utilizarse los valores máximos indicados.

Las cifras de las tablas representan tormentas típicas con un periodo de retorno de dos a diez años. Se aconseja que durante las tormentas más grandes se utilice el mayor valor dentro de cada rango, o incluso valores más altos si se consideran aceptables.

El cálculo del coeficiente de escorrentía para las circunstancias actuales y futuras es crucial para la planificación y el diseño de las obras del sistema de drenaje. Hay que tener en cuenta que el coeficiente de escorrentía se emplea con dos objetivos distintos en cada

escenario. Por un lado, para describir zonas y escenarios que permitan estimar la cantidad de precipitación que drena de una cuenca. Se trata de un número mundial que puede calcularse en cuencas con registros de precipitaciones y caudales utilizando los valores medios anuales de ambos parámetros, por lo que representa un porcentaje de volúmenes. Puede utilizarse para definir las cuencas urbanas compuestas por partes homogéneas. Además, se utiliza para cuantificar los caudales de escorrentía instantáneos como porcentaje de la intensidad de la lluvia que los ha provocado, como hace la técnica racional. Por lo tanto, puede utilizarse tanto para la planificación como para el escalonamiento de las operaciones de conducción. Esta última debe limitarse a las superficies con un grado modesto de homogeneidad, especialmente en la red doméstica y en las pequeñas cuencas de la red secundaria. No debe utilizarse para estimar los caudales en la red primaria, ya que estos sistemas funcionan en condiciones permanentes, con una fuerte influencia de las condiciones iniciales, las características de las precipitaciones en cuanto a intensidad, duración y magnitud, así como las propiedades de las cuencas en cuanto a pendientes, depresiones y cauces, todo lo cual tiene un efecto significativo en el resultado del caudal máximo.

Existen varios enfoques posibles para determinar el caudal de diseño de un sistema de drenaje urbano, cada uno de los cuales es más o menos significativo en diferentes escenarios, en función de los datos hidrológicos disponibles y de las características de la cuenca. Cada uno de ellos es subjetivo en cierto modo y se basa en una serie de supuestos.

Por su lógica evidente, este enfoque, desarrollado por Mulvaney en 1850 (Mulvaney, 1850), ha tenido y sigue teniendo una importante aplicabilidad para predecir el caudal de diseño en cuencas urbanas y rurales pequeñas, a pesar de sus límites teóricos. Es válido para cuencas con una superficie inferior a 50 ha, con una superficie principalmente impermeable sin obras de almacenamiento, y un tiempo de concentración inferior a 1 hora. Este enfoque

puede utilizarse para determinar el tamaño de los conductores. Este enfoque crea una relación entre el caudal máximo y la precipitación de diseño y el tamaño de la cuenca contribuyente. La principal ventaja de esta estrategia es su simplicidad, que permite controlar fácilmente el resultado basándose en factores observables. El caudal contribuyente de una cuenca urbana se calcula de la siguiente manera:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3600}$$

De manera general se escribe:

Donde:

Q : Es el caudal a la salida de la cuenca [l/s]

i : La intensidad de la lluvia [mm/hora]

A : El área de la cuenca en m²

C : El coeficiente de escorrentía de la superficie.

$$Q = K \cdot \frac{C \cdot i \cdot A}{3600}$$

Siendo K un coeficiente que indica el nivel de homogeneidad con el que se dispersa la escorrentía, según la definición de Témez (1992):

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

El coeficiente K varía en función de la influencia de los picos de lluvias, que va desde 1 (hipótesis ideal de distribución uniforme de las precipitaciones a lo largo del tiempo estimado) y 2 (hipótesis opuesta de concentración extrema de la escorrentía en un instante). A falta de conocimientos específicos sobre la cuestión, se suele utilizar un valor de 1,2 para el coeficiente K.

La incidencia media de la lluvia I se asocia a una duración igual al período de concentración que se considera, que se fija en el valor que se indica a continuación:

$$T_c = t_e + t_r$$

Dónde:

T_c : Tiempo de concentración (hr)

T_e : Tiempo de recorrido en la superficie y los cauces naturales
(hr)

t_r : Tiempo de recorrido en las conducciones de la red (hr)

$$t_e = 0.3 \cdot \left(\frac{L}{J_e^{0.25}} \right)^{0.76}$$

L : Longitud del cauce principal

J_e : Pendiente media del cauce principal (m/m)

Este enfoque mantiene un flujo constante en la salida de la cuenca durante la precipitación especificada, que se considera de intensidad constante. Es habitual asociar la crecida resultante con el mismo período de retorno que la precipitación que la ha provocado, o con la lluvia de diseño utilizada.

A pesar de la aparente simplicidad del método, la determinación del coeficiente de escorrentía y de la intensidad de la lluvia de diseño requiere una consideración cuidadosa y prudente en cada circunstancia.

La intensidad de la lluvia de diseño corresponde a la que tiene una duración equivalente al tiempo de concentración de la zona y una frecuencia o período de retorno acorde con el valor y la importancia de la obra. Después de seleccionar una frecuencia o período de retorno y una duración de diseño, la intensidad de la lluvia puede estimarse utilizando la familia de curvas IDF que son representativas del sitio de interés.

El coeficiente de escorrentía depende de las características del terreno, el uso y la gestión del suelo, las condiciones de infiltración y otros elementos difíciles de cuantificar. Las tablas se utilizan junto con la experiencia y el juicio del diseñador para determinar el

valor más apropiado. En situaciones complejas, puede determinarse un coeficiente ponderado proporcional al área ocupada por cada tipo de superficie.

Al aplicar este procedimiento, es necesario tener en cuenta sus supuestos y limitaciones. La técnica parte del supuesto de que el coeficiente de escorrentía es constante a lo largo de las tormentas, lo que es más preciso durante las tormentas fuertes, cuando una parte importante de la superficie se satura y se comporta como una zona impermeable. Además, existe la idea de que la frecuencia de la lluvia de diseño es igual a la frecuencia máxima de escorrentía, lo que implica que el coeficiente de escorrentía es constante. Por último, está ampliamente aceptado que la situación pluvial más crítica se produce cuando la duración de la lluvia es igual a la duración de la concentración. La importancia de esta restricción puede determinarse mediante la simulación de los caudales estimados en diversos escenarios. El cálculo del tiempo de concentración mediante la extrapolación de fórmulas empíricas a situaciones distintas de aquellas en las que se derivaron puede dar lugar a errores significativos.

Este enfoque es una extensión del Método Racional para las precipitaciones con una duración superior al periodo de concentración de la zona, con el objetivo de obtener un hidrograma y no sólo una estimación del caudal máximo. Por lo tanto, el Método Racional es aplicable en los casos en que se requieren hidrogramas, como el dimensionamiento de las cuencas de retención de aguas pluviales.

Cuando la duración de la tormenta es igual al tiempo de concentración, se crea un hidrograma de respuesta triangular con un caudal máximo igual al valor especificado en la expresión del Método Racional y un tiempo de subida y bajada igual al tiempo de concentración.

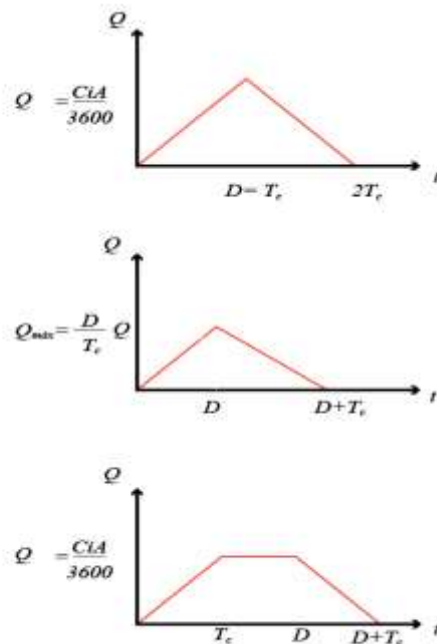
Cuando la duración de la lluvia es inferior al tiempo de concentración, se genera un hidrograma triangular con un tiempo de subida igual a la duración de la tormenta, un tiempo

de bajada igual al tiempo de concentración de la cuenca y un caudal máximo inferior al calculado mediante el Método Racional, como se indica a continuación:

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{D}{T_c} Q$$

Siendo Q el valor determinado por el Método Racional, D la determinación de la duración de la tormenta y Tc el periodo de concentración. Para las precipitaciones que duran más que el periodo de concentración, se crea un hidrograma trapezoidal con un caudal máximo igual al del Método Racional pero que se mantiene constante entre $t = T_c$ y $t = D$, tras lo cual disminuye a cero en el intervalo Tc. Estos hidrogramas se muestran visualmente en la figura 13.

Figura 10: Forma del Hidrograma Según Duración de la Tormenta.



Fuente: Manual de drenaje Urbano

El hidrograma unitario es la Función de respuesta al impulso unitaria del sistema hidrológico lineal. Además, se define como el hidrograma de escorrentía directa (HED)

producido por un centímetro de lluvia efectiva que cae uniformemente en toda la región de drenaje a una tasa constante durante un período efectivo.

Se utiliza exclusivamente para la escorrentía superficial y viene con un modelo lineal simple que puede utilizarse para derivar el hidrograma resultante de cualquier exceso de precipitación.

El enfoque del hidrograma unitario se basa en varios supuestos, que tienden a limitar su aplicabilidad a cualquier cuenca:

Independientemente de la intensidad de la lluvia, se supone que la precipitación efectiva de igual duración produce hidrogramas con base temporales equivalentes.

Los caudales resultantes se suman directamente para tormentas de igual duración. Se supone que la distribución temporal de la escorrentía directa es independiente de la intensidad de las precipitaciones.

Se supone que la distribución de las precipitaciones es uniforme para las tormentas de igual duración tanto espacial como temporalmente.

La hidráulica es el estudio de las propiedades físicas del agua. El agua drena y se acumula en contacto con la atmósfera en los sistemas de drenaje, proceso conocido como flujo libre, y drena bajo la influencia de las fuerzas de gravedad. Así, se observa que el agua tiende a escurrir por las superficies de las ciudades en la dirección de la mayor pendiente, por los fondos de los canales, y se acumula en las depresiones y zonas bajas.

La eficacia hidráulica de una red de alcantarillado en el transporte de aguas residuales, aguas pluviales o ambas viene determinada por sus características físicas.

Aplicando algunos de los principios de la hidráulica, se analizan y dimensionan estructuras sencillas, como los desagües pluviales, y otras más complicadas, como las redes de tuberías y canales.

Entre los conceptos hidráulicos fundamentales aplicables al diseño y la revisión de una red de alcantarillado figuran los siguientes: tipos de flujo, ecuaciones fundamentales de conservación de la masa (o de continuidad), cantidad de movimiento y energía, conceptos de energía específica, pérdidas de carga por fricción y locales, perfiles hidráulicos, salto hidráulico, estructuras hidráulicas especiales y métodos de tránsito de crecidas.

El drenaje, en general, se refiere al proceso de eliminar el exceso de agua. Dado que el exceso de agua puede producirse en diversas circunstancias, se evacua con diversos fines: drenaje de una casa, drenaje de una urbanización, drenaje de una ciudad, drenaje de una carretera, drenaje de un aeropuerto, drenaje de un campo deportivo y drenaje de un campo agrícola. (Máximo Villón, 2006).

Cuando un suelo es capaz de eliminar el agua sobrante por encima o dentro de él, independientemente de la fuente (lluvia, sobre riego), como resultado de sus suelos permeables profundos o de su situación topográfica (Máximo Villón, 2006).

Cuando la mano del hombre ayuda a evacuar el agua sobrante, el drenaje se realiza de forma artificial mediante el uso de drenajes, utilizados para expulsar el agua sobrante. Los drenajes utilizan la topografía para guiar el agua hacia los mismos, construidos en su mayoría en la zona baja del lugar (Máximo Villón, 2006).

Se señala además que una cuneta es una zona longitudinal ubicada al final de una calzada y paralela a ella. Su finalidad es recoger y canalizar el agua de lluvia fuera de la calzada, donde es bombeada.

Además de esta función principal se detallan a continuación aquellas que corresponden a la infraestructura vial:

Control del nivel freático.

Evacuación del agua infiltrada tanto en la superficie de la carretera como la superficie adyacente.

Las zanjas pueden construirse con diversos medios en base a la rapidez con la que fluye el agua a través de ellas, que está estrechamente relacionada con la pendiente paralela de la zanja, que por lo general es la misma que la carretera (Luis Baon Blázquez, 2000).

El SWMM es un modelo de simulación dinámico y distribuido para la investigación de los procesos de escorrentía pluvial y los sistemas de drenaje. Generalmente se utiliza en entornos metropolitanos para reproducir el volumen y la calidad de la escorrentía generada por un evento único o una serie de eventos (simulación continua). El código fuente y la interfaz gráfica de usuario pueden descargarse del sitio web de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos.

El programa cuenta con una amplia trayectoria en diversas aplicaciones y viene provisto de un manual y diversas investigaciones.

Figura 11: *Modelo de Gestión de Aguas Pluviales.*



Fuente: Manual de usuario, 2013

La aplicación consiente la simulación de la calidad y cantidad de agua que será retirada resultando ello útil para las alcantarillas metropolitanas. Es así que recoge las precipitaciones y genera la escorrentía mediante el uso de una serie de cuencas, evaluando el curso que esta sigue por medio de las redes y componentes de regulación, siguiendo además como es que se incrementa el agua de la escorrentía en cada una de las cuencas, a lo largo de la prueba que posee diversos periodos de tiempo.

El SWMM tiene en cuenta los numerosos procesos hidrológicos que tienen lugar en los emisores de aguas urbanas. Entre ellos se encuentran:

- Precipitación variable.
- Evaporación de aguas superficiales estancadas
- Acumulación y fusión de la nieve
- Precipitaciones desviadas por el almacenamiento de la depresión
- Las precipitaciones se infiltran en las capas de suelo no saturadas.
- Infiltración de agua en los acuíferos
- Intercambio de flujos entre acuíferos y sistemas de transporte
- Modelo de depósito no lineal para el flujo superficial.

Todos estos procesos son espacialmente variables, lo que se hace subdividiendo una región de investigación en zonas de captación de agua más pequeñas y homogéneas (N.d.T. llamadas cuencas hidrográficas). Cada una de estas subzonas tiene una proporción única de terreno permeable e impermeable. El flujo superficial puede producirse entre las subzonas del sistema de drenaje, las cuencas de captación o los lugares de entrada.

Además, SWMM proporciona una completa colección de herramientas de modelado de características hidráulicas para analizar el flujo inducido por la escorrentía y las entradas de flujo externas a través de una red de tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, y otras estructuras. Estas herramientas le permiten:

- Gestionar redes de cualquier tamaño: las tuberías abiertas y cerradas, así como los canales naturales, pueden tener diversas formas.
- Crear una gama de componentes especializados, incluyendo unidades de almacenamiento y tratamiento, divisores de flujo, bombas, vertederos y orificios
- Determinar la calidad de las aguas superficiales incluyendo los flujos y concentraciones externas, así como el intercambio de flujos con los acuíferos, los flujos de infiltración del

alcantarillado dependientes de la lluvia, los flujos sanitarios en tiempo seco y las entradas externas definidas por el usuario.

- Llevar a cabo análisis hidráulicos mediante el uso de una serie de enfoques, incluyendo el flujo uniforme, la modelización cinemática de las olas y la modelización dinámica completa de las olas.

- Se simulan numerosos regímenes de flujo, incluyendo el remanso, el flujo de entrada con una carga, el flujo inverso y la acumulación superficial.

- Simule la actividad de las bombas, la apertura de los orificios y la posición de la cresta del vertedero utilizando parámetros dinámicos definidos por el usuario.

Desde su introducción, SWMM se ha utilizado para analizar cientos de redes de aguas residuales y pluviales. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Diseño y tamaño de los componentes de la red de drenaje para minimizar las inundaciones:

- Las estructuras de control de inundaciones y los accesorios que las acompañan están dimensionados.

- Delimitación de zonas de inundación en barrancos y cauces naturales.

- Desarrollar soluciones de control de la red para limitar los vertidos de los sistemas unitarios.

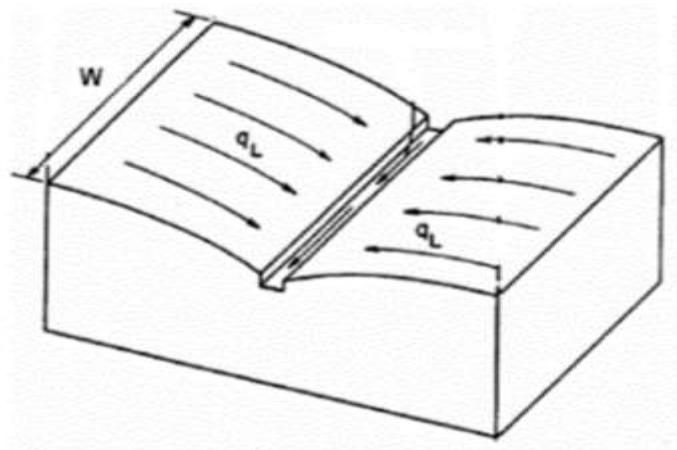
- Se evalúa la influencia de las entradas y las filtraciones en los resultados del sistema de aguas residuales.

- Calcular las cargas contaminantes de las fuentes no puntuales para los estudios de acumulación de residuos.

- Determinar si las BMPs son eficientes en la reducción de las cargas contaminantes durante un evento de tormenta.

El SWMM es un modelo distribuido, lo que implica que puede dividir una región de estudio en un número infinito de subcuencas irregulares para tener en cuenta la influencia de la variación espacial de la topografía, las rutas de drenaje, la cubierta vegetal y las propiedades del suelo en la producción de esorrentía. Como se ve en la figura 20, una subcuenca idealizada se imagina como un área rectangular con una pendiente constante y una anchura W que drena a un único canal de salida. Cada subcuenca se separa en tres subáreas: regiones impermeables que almacenan depresiones, áreas impermeables que no almacenan depresiones y áreas permeables que almacenan depresiones. Sólo la última región es permeable a las precipitaciones.

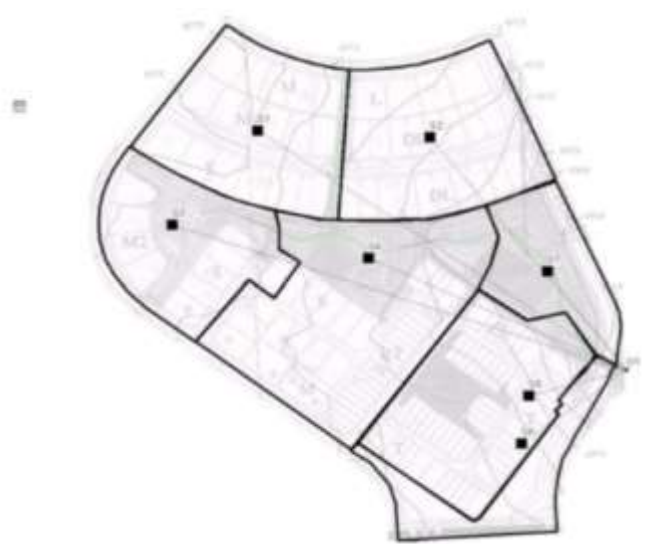
Figura 12: *Idealización de una Cuenca en SWMM. (MDU, SWMM. 2010)*



Fuente: *Manual de usuario SWMM, 2013*

El SWMM define las características hidrológicas de una subcuenca dentro de un área de estudio utilizando el siguiente conjunto de parámetros de entrada:

Figura 13: *Discretización del Sitio Convertido en Subcuencas.*



Fuente: Manual de usuario SWMM, 2013

El límite de la subcuenca define esta región. Su valor se obtiene directamente de los mapas del sitio o de los estudios de campo, o utilizando la herramienta de longitud automatizada del SWMM cuando se escala el mapa del área de estudio del SWMM.

La amplitud de una subcuenca se define como su superficie dividida por la longitud del canal de flujo superficial más largo del agua. Si existen varias vías de este tipo, la amplitud puede calcularse promediando sus longitudes.

Al utilizar esta estrategia, hay que tener cuidado para evitar incluir el flujo canalizado en la ruta del flujo. En entornos naturales, el verdadero flujo superficial sólo se produce hasta una distancia de unos 500 metros antes de consolidarse en flujo de corriente. Algunos flujos superficiales en las cuencas hidrográficas metropolitanas pueden ser efímeros antes de asentarse en canales abiertos o canalizaciones. La longitud máxima de un flujo superficial en una cuenca no urbanizada es de 500 metros, sin embargo, en las cuencas urbanas, la longitud habitual de un flujo superficial es la distancia entre la parte trasera de un lote

representativo y la mitad de la calle. Si la longitud del flujo superficial es muy variable en toda la subcuenca, debe utilizarse una media ponderada por zonas.

Debido a las dificultades para identificar con precisión todas las rutas de flujo superficial dentro de una subcuenca, el parámetro de la anchura se emplea a menudo como parámetro de calibración, con el valor cambiado para establecer una coincidencia satisfactoria entre los hidrogramas de escorrentía observados y calculados.

Es la pendiente de la superficie del terreno por donde fluye la escorrentía; es la misma para las superficies permeables e impermeables. La vía de flujo superficial se define por su pendiente, o por su media ponderada por área si la subcuenca tiene numerosas vías de este tipo.

La región de una subcuenca que está cubierta por superficies impermeables, como tejados y carreteras, que impiden la penetración de la lluvia. La impermeabilidad es a menudo la métrica más sensible en la clasificación hidrológica de una cuenca, y oscila entre el 5% en las regiones no desarrolladas y el 95% en las zonas densamente pobladas.

El coeficiente de rugosidad describe la resistencia que experimenta el flujo superficial cuando emerge de la superficie de la subcuenca. Dado que el SWMM utiliza la ecuación de Manning para determinar el flujo superficial, este valor será igual al coeficiente de rugosidad de Manning n . Es necesario separar las fracciones impermeable y permeable de una subcuenca porque el n permeable es a menudo muchos órdenes de magnitud mayor que el n impermeable (por ejemplo, 0,8 para zonas boscosas densas en comparación con 0,012 para el asfalto liso).

Una depresión de almacenamiento es un volumen vacío que debe llenarse antes de cualquier escorrentía. A las partes permeables e impermeables de una subcuenca se les pueden asignar varios valores. En ella se engloban las primeras abstracciones, como el encharcamiento de la superficie, la interceptación por los tejados planos y las plantas, y la

humectación de la superficie. Para las superficies impermeables y las zonas arboladas, los valores típicos varían entre 0,05 y 0,3 pulgadas.

Este parámetro describe la escorrentía inicial que se produce antes del comienzo de las precipitaciones y antes de que se cumpla el almacenamiento en la cuneta. Se refiere a los pavimentos cercanos a las cunetas que carecen de almacenamiento superficial, a los tejados a dos aguas que desaguan directamente en las cunetas de las calles y a los pavimentos de nueva construcción que pueden carecer de estanqueidad superficial. Esta variable se fija inicialmente en el 25%, pero puede modificarse para cada subcuenca. A menos que se den condiciones extraordinarias, se aconseja una depresión del 25% del área impermeable sin almacenamiento.

SWMM ofrece tres técnicas distintas para evaluar la pérdida de infiltración en las áreas de una cuenca subpermeable: Horton, Green-Ampt y Curva Numérica. No hay acuerdo sobre el modelo superior. El modelo de Horton tiene una larga historia de uso en simulaciones dinámicas, mientras que el modelo de Green-Ampt tiene una base más física. El modelo Numerical Curve se ha desarrollado a partir del conocido enfoque SCS Curve Number (aunque no es idéntico) y se utiliza para simplificar el modelo de escorrentía. En el presente trabajo se utiliza el modelo de Horton. Los parámetros de este modelo son los siguientes:

Tasa de infiltración máxima: Se refiere a la primera tasa de infiltración durante una tormenta. Su estimación es un reto, ya que depende de las condiciones de humedad del suelo en el fondo. Los valores típicos para suelos secos varían entre 1 pulg/h para las arcillas y 5 pulg/h para las arenas.

La tasa de infiltración mínima es la tasa a la que el suelo alcanza la saturación. Suele ser equivalente a la conductividad hidráulica saturada del suelo. Esta última varía

significativamente según el tipo de suelo (por ejemplo, desde 0,01 pulgadas por hora en el caso de las arcillas hasta 4,7 pulgadas por hora en el caso de las arenas).

El coeficiente de extinción indica la rapidez con la que la tasa de infiltración "decae" desde su valor inicial máximo hasta su valor mínimo. De 2 a 7 horas es un valor típico.

La cantidad de lluvia es la variable ficticia principal utilizada en la conducción para representar las precipitaciones. El volumen y la velocidad de las aguas pluviales están directamente relacionados con la cantidad y la distribución de las precipitaciones dentro de la cuenca. Cada subbasura del SWMM tiene un objeto del pluviómetro asociado que especifica el formato y el origen de la entrada de la subbasura pluvial.

Los usos del suelo son la categorización específica de la cuenca de la actividad establecida o de las características del suelo superficial. Los usos potenciales de la propiedad incluyen los terrenos residenciales, industriales, comerciales y no urbanizados. El césped, las aceras, las terrazas y los suelos no utilizados son sólo algunas de las características de los suelos superficiales. Los usos del suelo se examinan únicamente para un mejor entendimiento de las secuencias de deposición y arrastre de la contaminación en las cuencas hidrográficas.

El SWMM ofrece al usuario muchas opciones para identificar y asignar los usos del suelo a las regiones de las cuencas hidrográficas. Una técnica asigna diversos usos del suelo a cada cuenca hidrográfica, garantizando que cada uso del suelo tenga las mismas propiedades permeables e impermeables. Otra técnica consiste en formar cuencas hidrográficas con un único uso del suelo, lo que permite especificar diversas características de superficie permeable e impermeable para cada cuenca y, por tanto, para cada uso del suelo.

Los procesos que definen cada uso del suelo son los siguientes:

- Acumulación de contaminantes.

- Contaminación cruzada de contaminantes.
- Mantenimiento de las calles.

CAPITULO II. METODOLOGIA

El estar buscando tema de tesis hacía que viéramos la mayoría de problemas que nos rodeara, uno de ellos y el más notorio es las inundaciones de agua de lluvia cuando se dan las precipitaciones, al buscar información nos dimos cuenta de que no dan solución al problema y quieren evacuar de una manera abrupta hacia las cunetas existentes, ninguna hace mención de aprovechar y gestionar mejor el agua, es cierto de que nuestras cunetas de las vías existentes no son a diseño de la cantidad de lluvia que cae. Por más que nuestra geografía sea favorable para la evacuación, el mal diseño de pistas, veredas y cunetas hace que se inunde en diferentes partes de nuestra ciudad.

Primero, estuvimos investigando por la ciudad de Cajamarca, buscando cual es el lugar adecuado para realizar mi trabajo de investigación y encontré que entre la Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas se da una inundación y las casas de alrededor ya levantan sus veredas o ponen sacos con arena para que no entre el agua a sus casas. Esta esquina en especial ya que cuadras atrás de la Av. Nuevo Cajamarca las cotas hace que el agua solo vaya por un lado no distribuyendo el agua de lluvia adecuadamente, haciendo que vaya el agua por un solo carril causando problemas a la población.

El tema de drenaje urbano sostenible hace que hagamos un uso adecuado del agua de lluvia pudiendo así nosotros elegir por donde llevar el agua. Ya que vamos a gestionar mejor dicho elemento.

En este caso específico tenemos un separador de vía que tiene plantas en donde se hará un análisis determinándose además el periodo de recurrencia de las lluvias, para así proponer una solución con el diseño de cámara rompe presión y acumulación de agua de lluvia.

El tipo de diseño de la presente tesis de investigación es de “Investigación Descriptiva”, buscando plantear una propuesta para poder solucionar el problema encontrado en un área particular, ubicado entre la Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimaguas Cajamarca 2021, aplicando el sistema de drenaje urbano pluvial sostenible.

La población para la presente investigación estará determinada por el sistema de drenaje del Barrio Mollepampa. Cajamarca.

La muestra está definida por el área afecta en estudio y está determinada por la Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021.

Operacionalización de las Variables.

TITULO	Sistema de drenaje Urbano sostenible entre la Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021.						
OBJETIVO GENERAL	VARIABLES	DEFINICION DE VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	DEFINICION DEL INDICADOR	TECNICAS INSTRUMENTOS
Determinar mediante el programa swmm la capacidad hidráulica del drenaje urbano sostenible entre la Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021	<p>Variable dependiente:</p> <p>Determinar el caudal de escorrentía que debemos evacuar aplicando el sistema de drenaje urbano sostenible, en el programa swmm, entre las calles Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021</p>	<p>Se define como caudal de escorrentía o escurrimiento a la corriente de agua que vierte al rebasa su depósito o causas.</p> <p>La proporción de agua que sigue cada uno de estos cauces depende de factores como el clima, el tipo de pavimento y la pendiente de la calle en estudio.</p>	<p>Estudio Hidrológico</p>	<p>Hidrología</p>	<p>Ha</p>	<p>El área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, pata punto de recorrido.</p>	<p>Software</p>
	<p>Variable dependiente:</p> <p>Determinar la condición actual del sistema de drenaje entre la Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021.</p>	<p>El estado actual del sistema de drenaje permite la evacuación de las aguas, que se acumulan en los drenajes (cunetas), generando inundaciones que afectan a la población urbana, sus bienes, su calidad de vida y el riesgo al cual está enfrentado.</p>	<p>Eficiencia</p>	<p>Eficiencia de operación.</p>	<p>%</p>	<p>La eficiencia de operación, evalúa la calidad de la operación del sistema de drenaje y está definida por la relación entre las caudales o volúmenes distribuidos y los volúmenes de la fuente de agua determinada.</p>	

En la presente pesquisa, se analizaron las franjas pluviográficas de las precipitaciones máximas de 24 horas reportadas por el SENAMHI (Anexo N° 002).

Los tiempos en los que presenta variación la fuerza son indicados mediante la variación de la inclinación de la recta que denota las precipitaciones las cuales son anotadas en la columna 01.

Cada período de tiempo entre las horas de la columna 02 se registra en las precipitaciones.

Las precipitaciones parciales de la columna 02 se suman a las precipitaciones acumuladas de la columna 3.

El Apéndice 01 contiene tablas con el análisis de los pluviogramas; como ejemplo, se utilizó el registro de la tormenta de 2003.

Tabla 07: Registro del Fluviógrafo Tormenta 2003

REGISTRO TORMENTA 2003			
Fecha	Hora (1)	Precipitación(mm)	
		Horaria (2)	Total, en 24 hrs. (3)
17-mar-03	03:00:00 p.m.	0	0
17-mar-03	03:45:00 p.m.	0	0
17-mar-03	03:50:00 p.m.	0.2	0.2
17-mar-03	03:55:00 p.m.	0.1	0.3
17-mar-03	04:00:00 p.m.	0.5	0.8
17-mar-03	04:30:00 p.m.	0.8	1.6
17-mar-03	04:50:00 p.m.	0.1	1.7
17-mar-03	05:00:00 p.m.	0.5	2.2
17-mar-03	05:10:00 p.m.	0.3	2.5
17-mar-03	05:30:00 p.m.	0.1	2.6
17-mar-03	05:40:00 p.m.	0.1	2.72
17-mar-03	05:50:00 p.m.	0.6	3.32
17-mar-03	06:30:00 p.m.	1.2	4.5
17-mar-03	07:00:00 p.m.	1.1	5.6
17-mar-03	07:20:00 p.m.	0.9	6.5
17-mar-03	07:30:00 p.m.	0.3	6.8
17-mar-03	07:37:00 p.m.	3.2	10.0
17-mar-03	07:42:00 p.m.	0.7	10.7
17-mar-03	07:46:00 p.m.	0.4	11.1
17-mar-03	07:54:00 p.m.	0.5	11.6
17-mar-03	08:10:00 p.m.	0.4	12.0
17-mar-03	09:00:00 p.m.	2.6	14.6
17-mar-03	10:10:00 p.m.	1.8	16.4
17-mar-03	10:34:00 p.m.	0.3	16.7
17-mar-03	12:00:00 a.m.	2.0	18.7
18-mar-03	12:30:00 a.m.	0.5	19.2
18-mar-03	01:00:00 a.m.	0.2	19.4
18-mar-03	01:30:00 a.m.	0.6	20.0
18-mar-03	01:07:00 a.m.	0.1	20.1
18-mar-03	02:00:00 a.m.	0.00	20.1
18-mar-03	03:00:00 a.m.	0.00	0.0
18-mar-03	04:00:00 a.m.	0.00	0.0
18-mar-03	05:00:00 a.m.	0.00	0.0

Fuente: SENHAMI, Cajamarca, 2004.

Elaboración: Propia

Cálculo de la intensidad

Con el fin de calcular las intensidades, se recopiló la siguiente información del pluviograma:

Tiempo. - Las horas en las que se aprecian las variaciones de intensidad, según el estudio indicado.

Intervalo de tiempo. – de acuerdo a las horas indicadas en la columna 01

Tiempo Acumulado. – suma secuencial de los tiempos parciales de la columna (2).

Precipitación Parcial. - cantidad de precipitación que cae durante cada periodo de tiempo.

Precipitación Acumulada. - Es el total de las precipitaciones parciales de la columna (4).

Intensidad. - Para cada período de tiempo, es la altura de la precipitación en relación con una hora de duración. Se calcula mediante las siguientes fórmulas:

$$(6 - A) = \frac{\text{Lluvia Parcial} - \text{mm} - (4)}{\text{Intervalo de Tiempo min}(2)}$$

$$(6 - B) = (6 - A) \frac{\text{mm}}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{h}}$$

Las tablas tabuladas con el cálculo de intensidades del 2004 al 2013 se muestran en el apéndice 02, como ejemplo se toma la tabla 07 del año 2003.

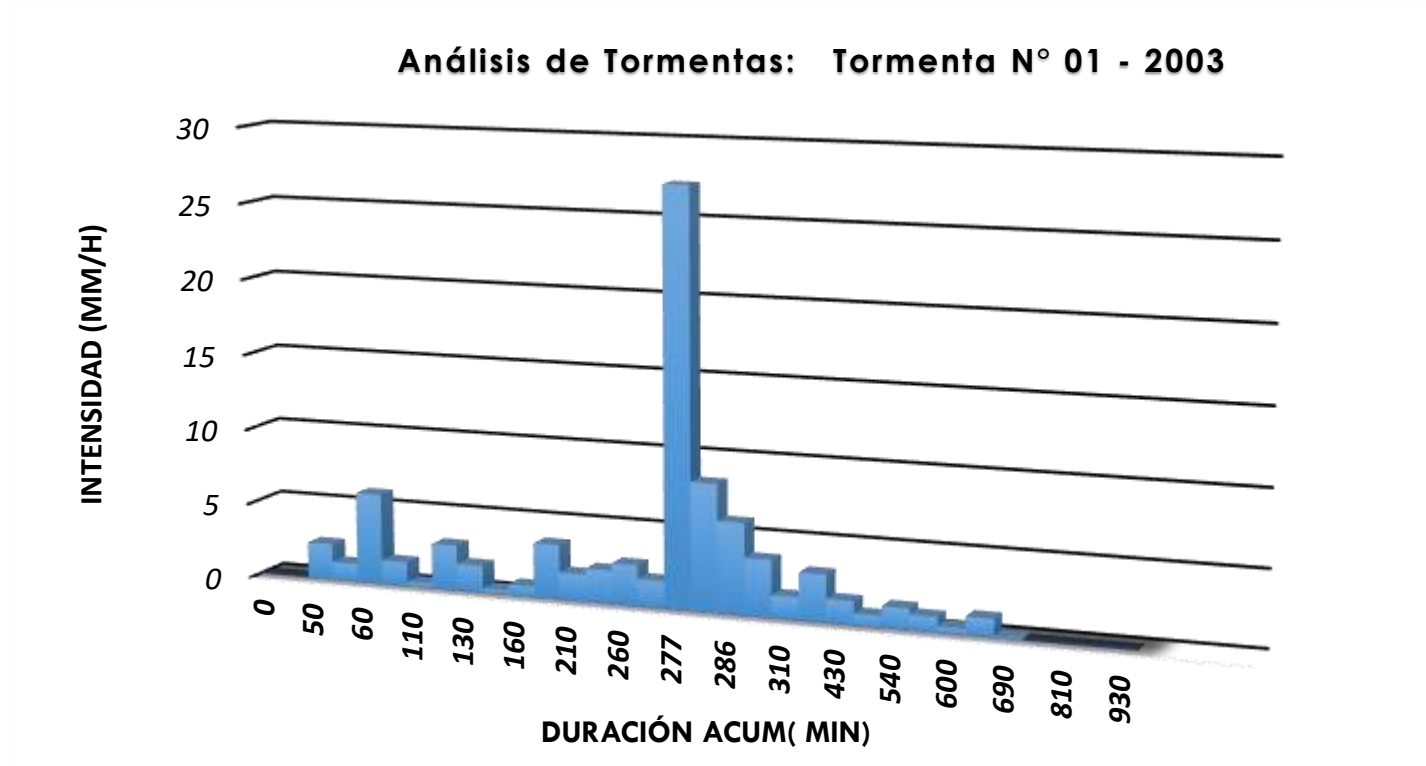
Tabla 08: Cálculo de Intensidades 2003

ANÁLISIS DE TORMENTAS: TABULACIÓN AÑO 2003						
Hora (1)	Tiempo Acumulado (min) (3)	Intervalo de tiempo (min) (2)	Lluvia acumulada (5)	Lluvia Parcial (4)	Intensidad (A)	
					(mm/min) (6-A)	(mm/h) (6-B)
03:00:00 p.m.	0	0	0.00	0.00	0.000	0.00
03:45:00 p.m.	45	45	0.00	0.00	0.000	0.00
03:50:00 p.m.	50	5	0.20	0.20	0.040	2.40
03:55:00 p.m.	55	5	0.30	0.10	0.020	1.20
04:00:00 p.m.	60	5	0.80	0.50	0.100	6.00
04:30:00 p.m.	90	30	1.60	0.80	0.027	1.60
04:50:00 p.m.	110	20	1.70	0.10	0.005	0.30
05:00:00 p.m.	120	10	2.20	0.50	0.050	3.00
05:10:00 p.m.	130	10	2.50	0.30	0.030	1.80
05:30:00 p.m.	150	20	2.60	0.10	0.005	0.30
05:40:00 p.m.	160	10	2.72	0.12	0.012	0.72
05:50:00 p.m.	170	10	3.32	0.60	0.060	3.60
06:30:00 p.m.	210	40	4.52	1.20	0.030	1.80
07:00:00 p.m.	240	30	5.62	1.10	0.037	2.20
07:20:00 p.m.	260	20	6.52	0.90	0.045	2.70
07:30:00 p.m.	270	10	6.82	0.30	0.030	1.80
07:37:00 p.m.	277	7	10.00	3.18	0.454	27.26
07:42:00 p.m.	282	5	10.70	0.70	0.140	8.40
07:46:00 p.m.	286	4	11.10	0.40	0.100	6.00
07:54:00 p.m.	294	8	11.60	0.50	0.063	3.75
08:10:00 p.m.	310	16	12.00	0.40	0.025	1.50
09:00:00 p.m.	360	50	14.60	2.60	0.052	3.12
10:10:00 p.m.	430	70	16.40	1.80	0.026	1.54
10:34:00 p.m.	454	24	16.70	0.30	0.013	0.75
12:00:00 a.m.	540	86	18.70	2.00	0.023	1.40
12:30:00 a.m.	570	30	19.20	0.50	0.017	1.00
01:00:00 a.m.	600	30	19.40	0.20	0.007	0.40
01:30:00 a.m.	630	30	20.00	0.60	0.020	1.20
01:07:00 a.m.	690	60	20.10	0.10	0.002	0.10
02:00:00 a.m.	750	60	20.10	0.00	0.000	0.00
03:00:00 a.m.	810	60	0.00	0.00	0.000	0.00
04:00:00 a.m.	870	60	0.00	0.00	0.000	0.00
05:00:00 a.m.	930	60	0.00	0.00	0.000	0.00

Fuente: SENHAMI, Cajamarca

Elaboración propia

Figura 14: *Hietograma de Tormenta 2003.*



Fuente: SENHAMI, Cajamarca

Elaboración propia

Se calcularon las intensidades máximas para 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 60 minutos, 120 minutos, 180 minutos, 360 minutos, 720 minutos y 1440 minutos. Una vez reunidos los datos que aparecen en las tablas de "Tabulación de análisis de tormentas", se determinaron las intensidades máximas para varios periodos de tiempo de la siguiente manera:

Determinación de la intensidad máxima de 30 minutos:

Se dividieron las porciones subsiguientes de la columna "Hora (1)" en intervalos de 30 minutos, como se observa en la Tabla N° 08:

Tabla 09: Para los 30 Primeros Minutos (10:00 am - 10:30 am)

Hora (1)	Tiempo Acumulado (min) (3)	Intervalo de tiempo (min) (2)	Lluvia acumulada (5)	Lluvia Parcial (4)	Intensidad (6)	
					(mm/min) (6-A)	(mm/h) (6-B)
10:00:00 a.m.	0	0	0.00	0.00	0.000	0.00
10:05:00 a.m.	5	5	0.20	0.20	0.040	2.40
11:03:00 a.m.	63	58	0.20	0.00	0.000	0.00

Según la tabla expuesta, el período comprendido entre las 10:00 y las 10:05 horas es de 5 minutos, con una intensidad de 2,4 mm/h.

Con un periodo de 25 minutos y una intensidad de 0,0 mm/h durante las 10:05 am - 10:30 am, podemos evaluar las intensidades:

$$Intensidad = \frac{(5 \times 2.4) + (25 \times 0)}{(5 + 25)} = 0.006 \frac{mm}{min} = 0.4 \frac{mm}{h}$$

La mayor intensidad de nuestra tormenta fue de 0,4 mm/h durante los primeros 30 minutos.

Para los siguientes 30 minutos (10:05 a.m. - 10:35 a.m.), tendríamos una intensidad de 0,0 mm/h desde las 10:05 a.m. hasta las 10:35 a.m., y por lo tanto para este intervalo, tendríamos una intensidad de 0,0 mm/h.

Así se procede con el resto de los intervalos, hasta que la tormenta haya durado todo el tiempo.

Una vez obtenidas las intensidades máximas, se promedian para obtener la intensidad máxima en 30 minutos.

Este método se reiterará para 5 minutos, 10 minutos, y así sucesivamente.

Tabla 10: *Intensidades Máximas año 2003*

Intensidad (5 min.)	Intensidad (10 min.)	Intensidad (15 min.)	Intensidad (30 min.)	Intensidad (60 min.)
27.26	17.83	13.89	8.17	5.35
Intensidad (120 min.)	Intensidad (180 min.)	Intensidad (360 min.)	Intensidad (720 min.)	Intensidad (1440 min.)
4.04	3.36	1.41	1.62	0.00

Modelación Hidráulica

Complementamos la tabla de intensidades máximas adquirida de la investigación Hidrológica aplicada al drenaje vial (F. Huamán, F. Alva. UNC, Perú 1999) con los datos recogidos y los de la Tabla N° 11:

Tabla 11: Intensidades Máximas (m/h) de la Estación WEBERBAWER

N° Años	Año	5 min.	10 min.	30 min.	60 min.	120 min.	
1	1973	101.0	71.0	24.0	14.0	11.0	Intensidades Máximas Obtenidas del Estudio hidrológico aplicado al drenaje de carreteras F. Huamán, F. Alva. UNC, Perú 1999)
2	1974	73.0	58.0	34.0	18.0	19.0	
3	1975	90.0	50.0	24.0	16.0	10.0	
4	1976	68.0	63.0	37.0	19.0	9.0	
5	1977	65.0	53.0	37.0	21.0	11.0	
6	1978	26.0	24.0	21.0	12.0	6.0	
7	1979	60.0	60.0	38.0	23.0	14.0	
8	1980	73.0	60.1	33.8	21.1	9.3	
9	1981	67.2	54.8	29.1	15.5	13.0	
10	1982	88.29	75.2	37.2	23.1	13.3	
11	1983	75.30	50.4	31.4	23.7	14.0	
12	1984	112.80	71.8	27.6	15.6	9.8	
13	1985	59.31	54.4	25.6	14.7	8.1	
14	1986	84.60	65.4	30.1	15.6	8.2	
15	1987	76.00	49.2	21.6	13.2	8.0	
16	1988	70.40	52.8	23.0	13.8	7.9	
17	1989	73.60	47.8	28.0	16.0	9.6	
18	1990	111.60	75.0	37.9	23.0	12.0	
19	1991	83.00	73.0	41.0	26.0	14.0	
20	1992	56.00	39.0	19.0	10.0	5.0	
21	1993	58.00	51.0	28.0	18.0	10.0	
22	1994	91.49	64.2	36.2	24.7	12.4	
23	1995	71.11	56.3	28.7	16.7	9.3	
24	1996	81.30	60.2	32.4	17.9	11.1	
25	1997	82.20	68.1	35.0	17.9	8.9	
26	1998	92.00	66.3	40.6	27.1	13.5	
27	1999	70.80	42.9	20.1	11.0	4.4	
28	2003	27.26	17.8	8.2	5.4	4.0	
29	2004	110.00	92.5	34.0	34.0	17.0	
30	2005	6.67	6.3	5.2	3.9	3.2	
31	2006	39.00	25.5	10.3	6.4	4.6	
32	2007	15.43	15.4	5.5	2.8	2.3	
33	2008	36.00	25.0	14.6	10.1	7.6	
34	2009	85.50	51.2	29.4	17.0	8.8	
35	2010	27.00	27.0	24.9	17.2	11.0	
36	2011	16.50	15.0	9.2	7.1	5.3	
37	2012	32.40	32.4	11.0	7.8	4.2	

Para los datos de la Tabla N° 11 de intensidades máximas, elegiremos un modelo probabilístico que capture adecuadamente el comportamiento de la variable. Para aplicar

estos modelos probabilísticos, es necesario calcular sus parámetros y ejecutar una prueba de bondad de ajuste.

Si el ajuste es satisfactorio, se puede emplear la distribución seleccionada; además, si se descubre la ley de distribución que rige las variables aleatorias, se puede calcular la probabilidad de ocurrencia de una determinada magnitud de un fenómeno hidrometeorológico. Además, se puede determinar la magnitud de un fenómeno para un tiempo de retorno determinado.

Tabla 12: Caudales Generales para Distintos Periodos de Retorno

Caudales Generados para distintos periodos de retorno								
Tr (año)	2	5	10	20	25	50	100	200
Int. (min.)								
5	60.59	92.25	112.38	130.97	136.72	154.05	170.73	186.87
10	46.63	68.77	82.66	95.38	99.31	111.1	122.4	133.3
30	24.41	35.76	42.86	49.36	51.36	57.38	63.14	68.69
60	15.02	22.11	26.55	30.62	31.87	35.64	39.26	42.74
120	8.86	12.64	14.97	17.1	17.75	19.7	21.57	23.36

Se confirma el R2 para la frecuencia de ocurrencia de 2 y 10 años:

Para Dos Años

$$y = 177.44x^{-0.609}$$

$$R^2 = 0.9888$$

Para Diez Años

$$y = 337.56x^{-0.632}$$

$$R^2 = 0.9901$$

Dado que los valores de R2 son relativamente próximos a 1, se continúa definiendo el evento de diseño tanto para T como para duraciones de 6 y 24h.

Para crear el hidrograma de diseño, primero se especifica la tormenta de diseño como un patrón de precipitación que se utilizará en el diseño de un sistema hidrológico, que sirve como entrada del sistema, y luego se calculan los caudales utilizando procesos

de lluvia-escorrimento y tránsito de caudales.

Las tormentas pueden construirse a partir de los datos históricos de precipitación en un lugar o de las características pluviométricas de las zonas circundantes. Su uso se extiende desde el uso del Método Racional de valores puntuales de precipitación para calcular los caudales hasta el uso de hietogramas de tormentas como entradas para el análisis lluvia-escorrimento.

Hace muchos años, cuando se utilizaba el Método Racional, sólo se consideraba el caudal máximo, sin tener en cuenta la distribución temporal del caudal (el hidrograma de caudal) o la distribución temporal de la precipitación (el hietograma de precipitación). Sin embargo, los enfoques de diseño más contemporáneos, como los basados en el análisis del flujo no permanente, necesitan predicciones precisas del hietograma de diseño para obtener los hidrogramas de diseño.

Utilicemos el método de bloques alternos, que se ha utilizado en Cuba durante siglos. Es un método sencillo para crear un hidrograma de diseño utilizando una curva IFD. Este define la lámina de precipitación que se produce durante una duración total T_d en intervalos de tiempo consecutivos de duración D_t .

En general, al calcular un hietograma de precipitaciones a partir de las curvas IFD deben realizarse los siguientes procesos:

- Selección del periodo de retorno: $T = 2$ y 10 años
- Selección de la Duración de la Lluvia: $T_d = 6$ h y 24 h.
- Intervalo de Tiempo: $t = 60$ minutos (Columna 1, Tabla N° 40, 41)
- Se calculan las intensidades medias totales, evaluando cada uno de estos intervalos en la curva correspondiente. (Columna 2, Tabla N° 40, 41)

Ejemplo: Para $t = 60$ minutos

$$y = 177.44x^{-0.609}$$

$$y = 177.44(60)^{-0.609}$$

$$y = 14.7 \text{ mm/h}$$

- Se calculan las láminas totales multiplicando la intensidad por t . (Columna 3, Tabla N° 10 y 11)

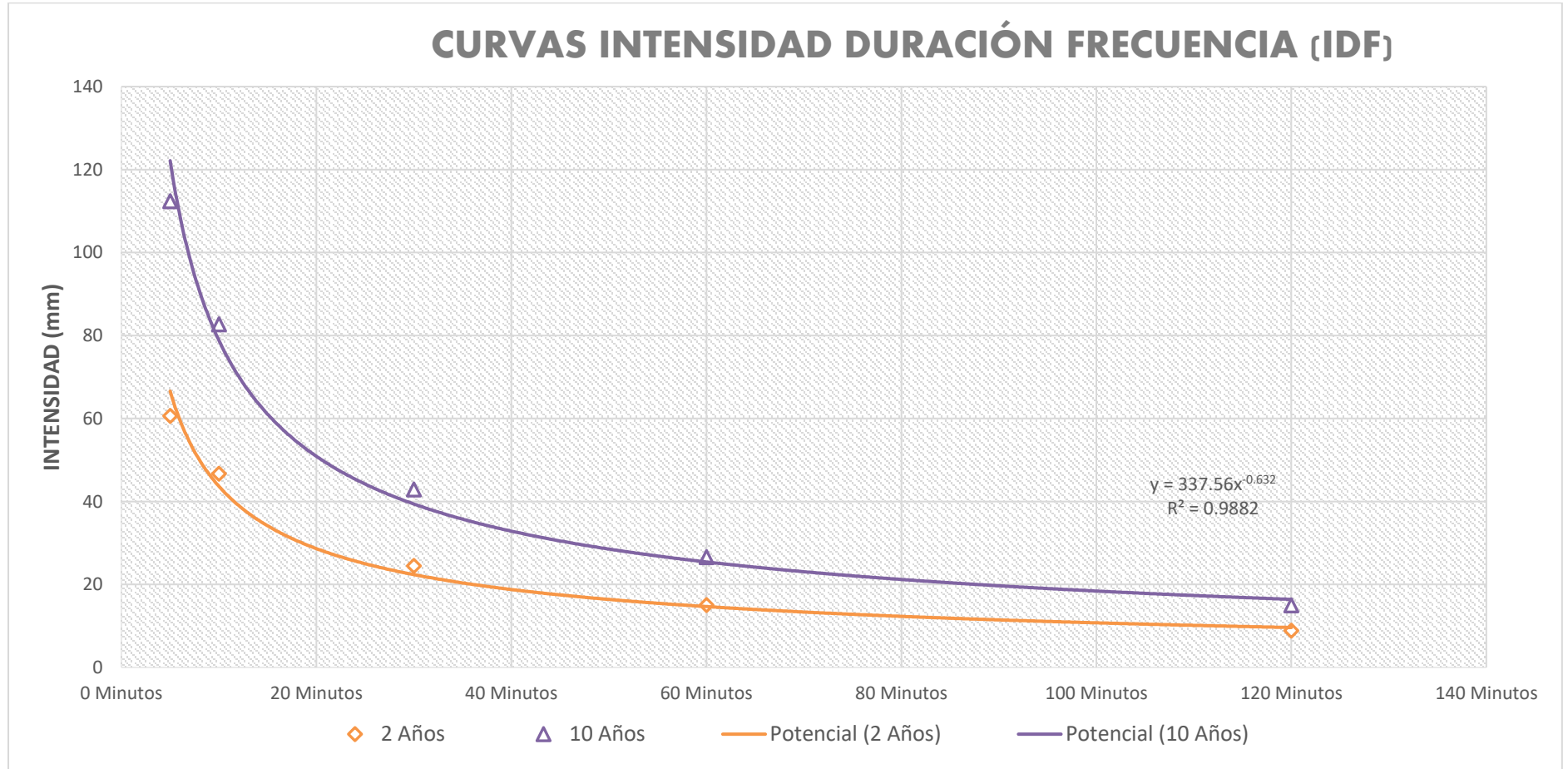
$$P(\text{mm}) = \frac{t \times l}{60} = \frac{60 \text{ min} \times 14.7 \text{ mm/h}}{60 \text{ min.}} = 14.7 \text{ mm}$$

$$P(\text{mm}) = \frac{t \times l}{60} = \frac{120 \text{ min} \times 9.6 \text{ mm/h}}{60 \text{ min.}} = 19.2 \text{ mm}$$

Las láminas por intervalos son calculadas como la diferencia entre los valores sucesivos de lámina de precipitación total. (Columna 4, Tabla N° 10, 11).

De la misma manera se procede para $T = 2$ y 10 años, de 6 y 24 horas.

Figura 15: *Curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF)*



Fuente: Elaboración propia

Pretendemos crear un hidrograma en intervalos de 1 hora de una lluvia de 6 horas. Así, 360 minutos se dividen en seis partes de 60 minutos.

Tabla 13: *Datos Hidrograma de Aguacero de 2 años Periodo de Retorno de 6 Horas con Incrementos de 1 hora*

Para el periodo de retorno de 2 años $y = 177.44x^{-0.609}$

<i>t(min)</i> <i>(1)</i>	<i>I(mm/h)</i> <i>(2)</i>	<i>P(mm)</i> <i>(3)</i>	ΔP <i>(4)</i>
60	14.7	14.7	14.7
120	9.6	19.2	4.6
180	7.5	22.5	3.3
240	6.3	25.2	2.7
300	5.5	27.5	2.3
360	4.9	29.5	2.0

Tabla 14: *Datos Hidrograma de Aguacero de 10 años Periodo de Retorno de 6 Horas con Incrementos de 1 Hora.*

Para el periodo de retorno de 10 años $y = 377.56x^{-0.632}$

<i>t(min)</i>	<i>I(mm/h)</i>	<i>P(mm)</i>	ΔP
60	25.4	25.4	25.4
120	16.4	32.8	7.4
180	12.7	38.0	5.3
240	10.6	42.3	4.2
300	9.2	45.9	3.6
360	8.2	49.1	3.2

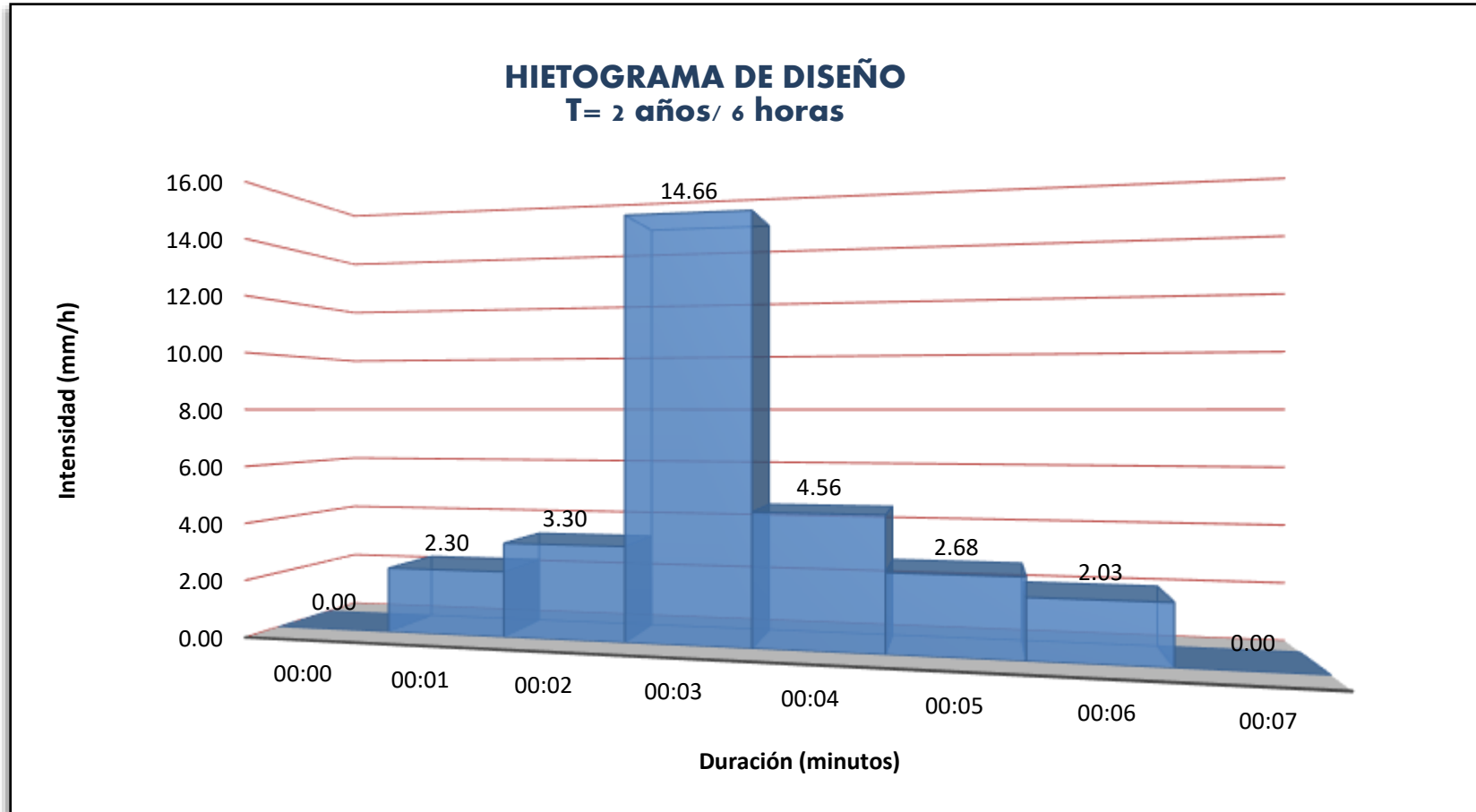
Tabla 15: *Distribución a Través del Método de Bloqueo Alterno Centrado para T = 2; 10 años/ 6 horas*

T= 2 años/ 6 horas	
Tiempo	I(mm/h)
00:00	0.00
00:01	2.30
00:02	3.30
00:03	14.66
00:04	4.56
00:05	2.68

T= 10 años/ 6 horas	
Tiempo	I(mm/h)
00:00	0.00
00:01	3.62
00:02	5.27
00:03	25.38
00:04	7.38
00:05	4.25
00:06	3.19
00:07	0.00

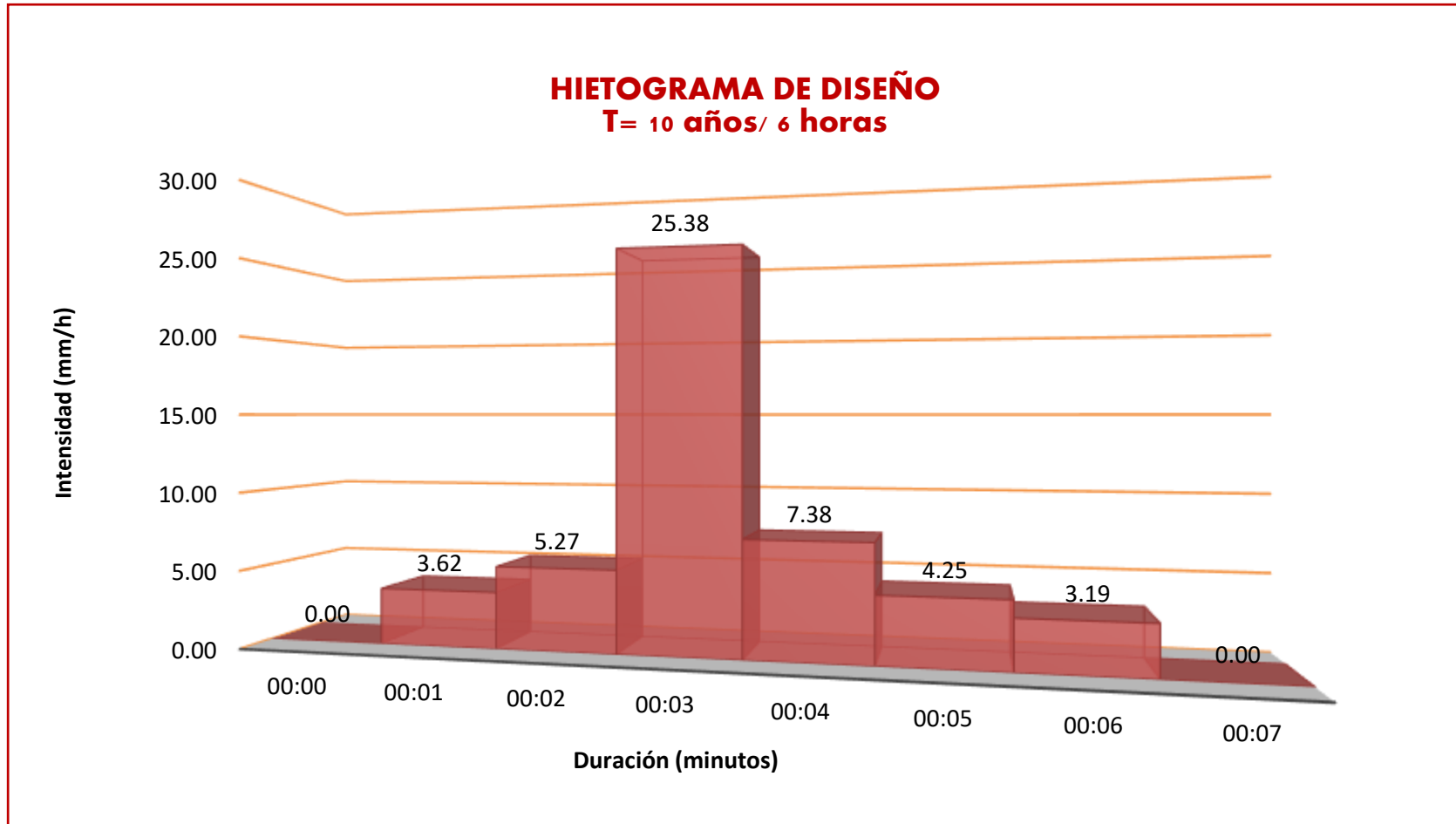
Dado que los aguaceros no se comportan de forma lineal, sino que comienzan con una intensidad baja, aumentan en el centro y disminuyen al final, los hietogramas son reorganizados en base a las curvas de tal modo que la intensidad máxima que se produce en el centro de la duración requerida y los demás bloques descienden alternativamente a la derecha y a la izquierda del bloque central para ser parte del hietograma de diseño.

Figura 16: *Hietograma de Diseño para T = 2 años/6 horas*



Fuente: Elaboración propia

Figura 17: *Hietograma de Diseño para T = 10 años/6 horas.*



Fuente: Elaboración propia

Pretendemos crear un hietograma en intervalos de 1 hora de una lluvia de 24 horas. Así,

1440 minutos se dividen en 24 partes.

Tabla 16: Datos Hietograma de Aguacero de 2 años Periodo de Retorno de 24 horas
con Incrementos de 1 hora

Para el periodo de retorno de 2 años $y = 177.44x^{-0.609}$

t(min)	I(mm/h)	P(mm)	ΔP	t(min)	I(mm/h)	P(mm)	ΔP
60	14.7	14.7	14.7	780	3.1	40.0	1.23
120	9.6	19.2	4.6	840	2.9	41.1	1.18
180	7.5	22.5	3.3	900	2.8	42.3	1.12
240	6.3	25.2	2.7	960	2.7	43.3	1.08
300	5.5	27.5	2.3	1020	2.6	44.4	1.04
360	4.9	29.5	2.0	1080	2.5	45.4	1.00
420	4.5	31.4	1.8	1140	2.4	46.4	0.97
480	4.1	33.1	1.7	1200	2.4	47.3	0.94
540	3.8	34.6	1.6	1260	2.3	48.2	0.91
600	3.6	36.1	1.5	1320	2.2	49.1	0.88
660	3.4	37.4	1.4	1380	2.2	50.0	0.86
720	3.2	38.7	1.3	1440	2.1	50.8	0.84

Tabla 17: Datos Hidrograma de Aguacero de 10 años Periodo de Retorno de 24 horas
con Incrementos de 1 hora

Para el periodo de retorno de 10 años $y = 377.56x^{-0.632}$

t(min)	I(mm/h)	P(mm)	ΔP	t(min)	I(mm/h)	P(mm)	ΔP
60	25.4	25.4	25.4	780	5.0	65.2	1.89
120	16.4	32.8	7.4	840	4.8	67.0	1.80
180	12.7	38.0	5.3	900	4.6	68.8	1.72
240	10.6	42.3	4.2	960	4.4	70.4	1.65
300	9.2	45.9	3.6	1020	4.2	72.0	1.59
360	8.2	49.1	3.2	1080	4.1	73.5	1.53
420	7.4	51.9	2.9	1140	3.9	75.0	1.48
480	6.8	54.6	2.6	1200	3.8	76.4	1.43
540	6.3	57.0	2.4	1260	3.7	77.8	1.38
600	5.9	59.2	2.3	1320	3.6	79.2	1.34
660	5.6	61.3	2.1	1380	3.5	80.5	1.31
720	5.3	63.3	2.0	1440	3.4	81.7	1.27

Tabla 18: *Distribución del Método de bloques Alterno Centrado para $T = 2$; 10 años/ 6 horas.*

T= 2 años/ 24 horas	
Tiempo	I(mm/h)
00:00	0.0
00:01	0.86
00:02	0.91
00:03	0.97
00:04	1.04
00:05	1.12
00:06	1.23
00:07	1.37
00:08	1.56
00:09	1.84
00:10	2.30
00:11	3.30
00:12	14.66
00:13	4.56
00:14	2.68
00:15	2.03
00:16	1.68
00:17	1.46
00:18	1.30
00:19	1.18
00:20	1.08
00:21	1.00
00:22	0.94
00:23	0.88
00:24	0.84
00:25	0.0

T= 10 años/ 24 horas	
Tiempo	I(mm/h)
00:00	0.0
00:01	1.31
00:02	1.38
00:03	1.48
00:04	1.59
00:05	1.72
00:06	1.89
00:07	2.11
00:08	2.42
00:09	2.86
00:10	3.62
00:11	5.27
00:12	25.38
00:13	7.38
00:14	4.25
00:15	3.19
00:16	2.62
00:17	2.25
00:18	2.00
00:19	1.80
00:20	1.65
00:21	1.53
00:22	1.43
00:23	1.34
00:24	1.27
00:25	0.0

Figura 18: *Hietograma de Diseño para T = 10 años/24 horas*

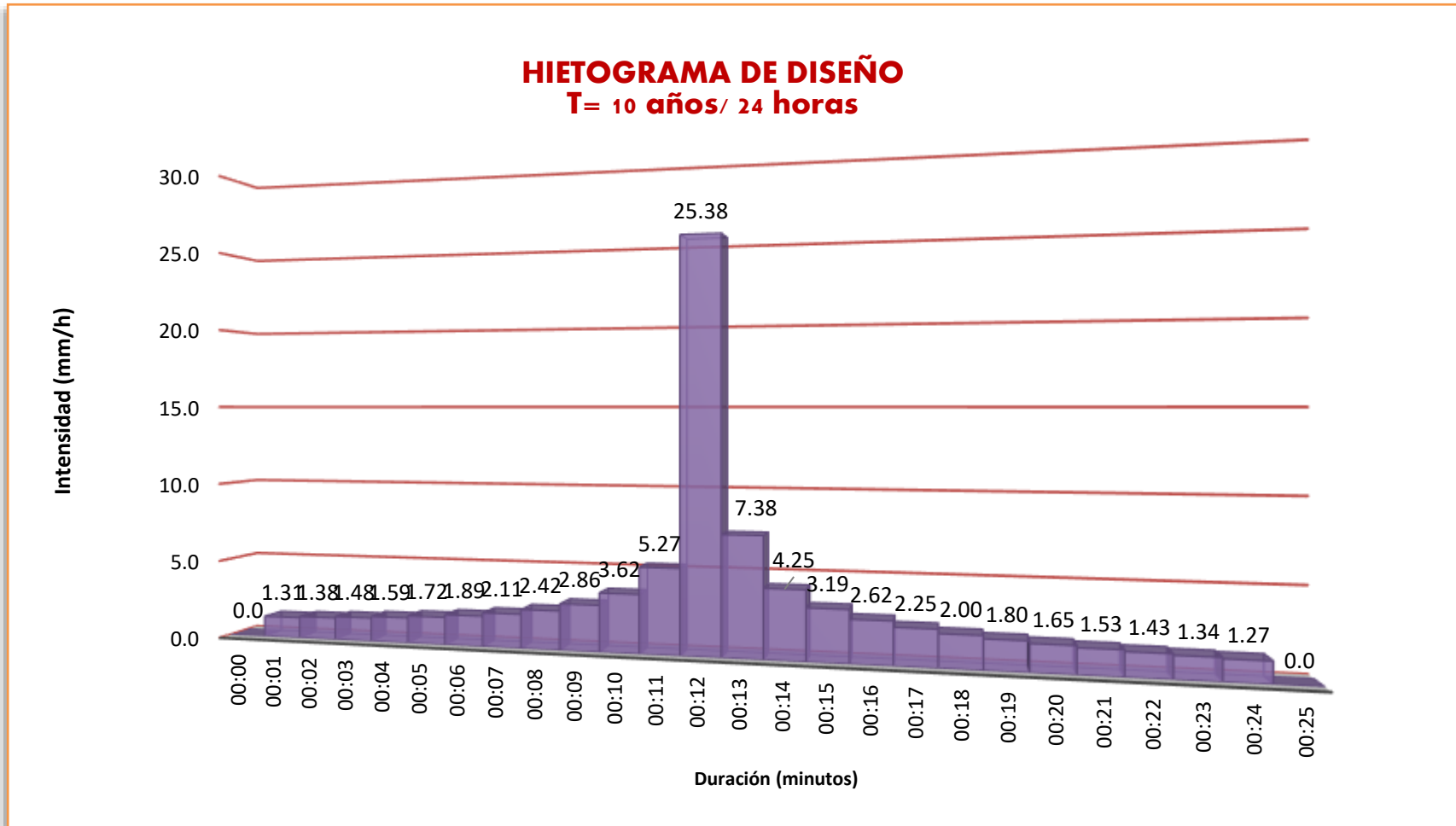
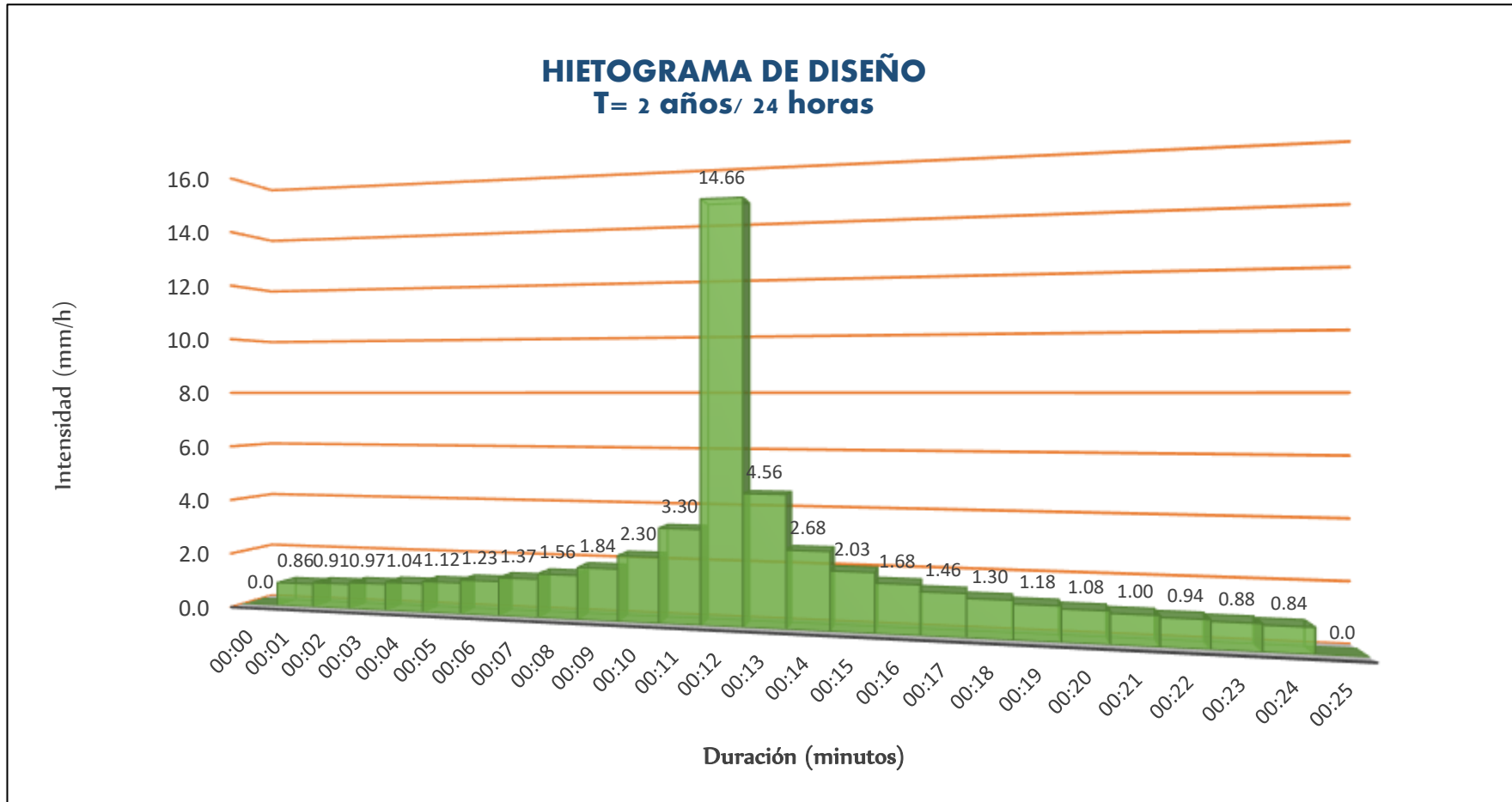
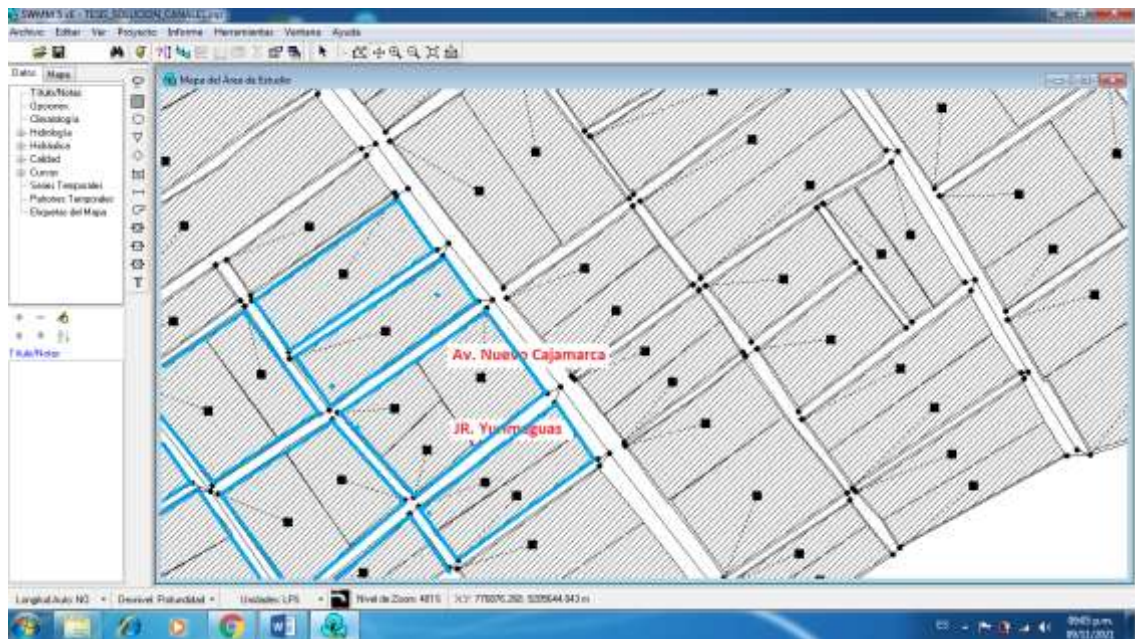


Figura 19: Hietograma de Diseño para $T = 2$ años / 24 horas



Se construyó la modelación SWMM para el reconocimiento topográfico además de visitar la zona para constatar el estado actual del sistema de drenaje y realizar un levantamiento topográfico para conocer los lugares que abastecen el flujo entre la avenida Nuevo Cajamarca y Yurimaguas Jr.

Figura 20: Modelamiento de la Cuenca Urbana



Fuente: Elaboración propia

Tras importar el modelo a SWMM, lo utilizaremos para construir un modelo hidrológico de nuestra cuenca urbana y para analizar las condiciones de escorrentía de las aguas pluviales tras el desarrollo. De tal modo se dividirá la cuenca en porciones más pequeñas denominadas subcuencas.

Se investigarán las propiedades de estas subcuencas empleadas por el SWMM para convertir la precipitación en escorrentía, teniendo en cuenta la conversión lluvia-escorrentía y los mecanismos de la corriente superficial.

En la imagen 41 se muestran que; las carreteras de nuestro sistema son de hormigón, se ha establecido la dirección de la escorrentía superficial en varias calles y los terrenos habitados tendrán una pendiente del 2% hacia la calle. El propósito de esta indagación es determinar el volumen de escorrentía de aguas pluviales que entra en nuestra calzada. Se

utilizará el enfoque descrito en la mayoría de los manuales de drenaje de aguas pluviales para determinar cómo se enfrenta ante las diversas tormentas de diseño simuladas con tiempos de retorno variables. El concepto de diseño empleado en este caso será para un evento de seis horas con un tiempo de retorno de dos a diez años.

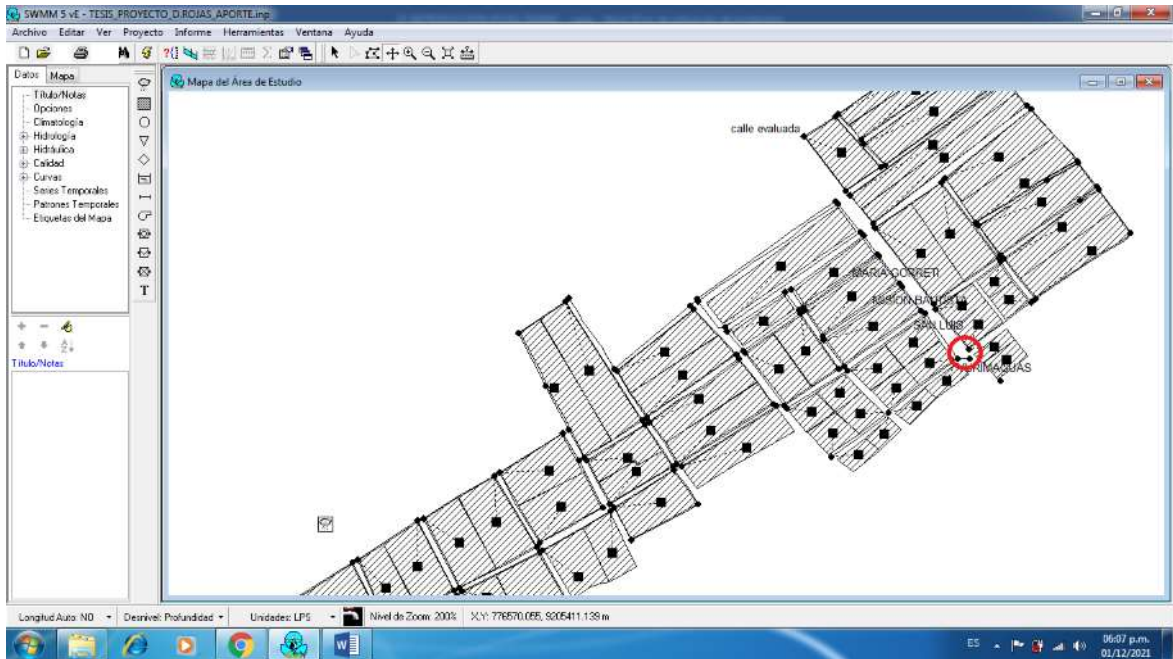
Figura 21: *Delimitación de la Cuenca Urbana.*



Fuente: Elaboración propia

Las características geométricas de cada subcuenca se presentan en el cuadro n° 46 (véase el apéndice 04), que incluye el tamaño de la subcuenca, la longitud del canal de flujo de la cuenca, la anchura, la cuesta y la impenetrabilidad. Las áreas se estimaron en función de la longitud automática del SWMM, con los contornos según las subcuencas.

Figura 22: Modelamiento de la Cuenca Urbana.



Fuente: Elaboración propia

Cálculo del Ancho

La figura 25 muestra el cálculo del flujo de la longitud de la ruta terrestre para la subcuenca "SC -01", que se compone completamente de lotes residenciales. Se observa como una región rectangular con una longitud de flujo superficial igual a la distancia entre la parte trasera de un lote típico y el centro de la calle (35,84 m en este caso). Por lo tanto, la anchura de la SWMM puede calcularse como sigue:

$$\text{Ancho}(C_{22}) = \frac{\text{Área } m^2}{\text{Longitud de Flujo por Tierra}} = \frac{1,600 \text{ } m^2}{35,84 \text{ } m} = 44.64 \text{ } m$$

Figura 23: Definición de la Longitud Superficial y la Pendiente para Sub Cuenca SC - 001



Fuente: Elaboración propia

El flujo superficial en las subcuencas principalmente urbanizadas se caracterizará por la pendiente más pronunciada, que normalmente es de alrededor del 2%.

En el SWMM, el parámetro de impermeabilidad es el área impermeable efectiva o directamente conectada, que suele ser menor que el área total de estanqueidad. El área impermeable efectiva se define como el área que drena directamente en un sistema de transporte de aguas pluviales, como un canal, una tubería o una zanja de drenaje. Lo ideal es determinar la impermeabilidad inmediatamente sobre el terreno o a partir de imágenes, calculando la proporción de espacio asignada a techados, calles, aparcamientos y vías de acceso, entre otras cosas. Cuando no se disponga de estas observaciones, habrá que recurrir a otros procedimientos. El uso de los coeficientes de escorrentía como indicador de la impermeabilidad es una técnica cautelosa que tiende a exagerar las descargas de escorrentía. Un coeficiente de escorrentía es un número empírico constante que indica la cantidad de precipitación que se transforma en escorrentía. El procedimiento es el siguiente:

Identificar todos los usuarios significativos de la tierra dentro de la subcuenca.

Calcular la superficie (A) de la subcuenca asignada a cada uso del suelo j.

Asignar un coeficiente "C" de escorrentía a cada uso del suelo. El coeficiente de escorrentía de las regiones permeables se considera nulo.

Calcular la impermeabilidad I como la media ponderada por superficie de todos los usos del suelo en la subcuenca, $I = (C_j A_j) / A$, donde A es la superficie total de la subcuenca.

Figura 24: Coeficiente de Escorrentía Según el uso del Suelo.

TIPO DE ÁREA	VALOR DE "C"	ID
a) Comercial		C
<i>Centro de Ciudad</i>	<i>0.70 a 0.95</i>	<i>C - C</i>
<i>Alrededores</i>	<i>0.50 a 0.70</i>	<i>C - A</i>
b) Residencial		R
<i>Unifamiliar</i>	<i>0.30 a 0.50</i>	<i>R - U</i>
<i>Multifamiliar Separado</i>	<i>0.40 a 0.60</i>	<i>R - MS</i>
<i>Multifamiliar agrupados</i>	<i>0.60 a 0.75</i>	<i>R - MA</i>
<i>Sub urbana</i>	<i>0.25 a 0.40</i>	<i>R - SU</i>
c) Industrial		I
<i>Liviana</i>	<i>0.50 a 0.80</i>	<i>I - L</i>
<i>Pesada</i>	<i>0.60 a 0.90</i>	<i>I - P</i>
d) Otros		O
<i>Parques y Cementerios</i>	<i>0.10 a 0.25</i>	<i>O - PC</i>
<i>Parques para juegos</i>	<i>0.20 a 0.35</i>	<i>O - PJ</i>

Tabla 19: Valor del Coeficiente de Escorrentía Según el Tipo de Área

TIPO DE SUPERFICIE	VALOR DE "C"	ID
e) Pavimentos		P
<i>Asfalto o Concreto</i>	<i>0.70 a 0.95</i>	<i>P – AC</i>
<i>Ladrillos</i>	<i>0.70 a 0.95</i>	<i>P – L</i>
f) Techos y Azoteas	0.70 a 0.95	TA
g) Caminos y Grava	0.30	CG
h) Áreas de Suelo Arenoso		ASA
<i>Llanas (2%)</i>	<i>0.05 a 0.10</i>	<i>ASA – LI</i>
<i>Medianas (2 a 7%)</i>	<i>0.10 a 0.15</i>	<i>ASA – M</i>
<i>Inclinadas (7% o más)</i>	<i>0.15 a 0.20</i>	<i>ASA – I</i>
i) Áreas de Suelo Pesado		ASP
<i>Llanas (2%)</i>	<i>0.13 a 0.17</i>	<i>ASP – LI</i>
<i>Medianas (2 a 7%)</i>	<i>0.18 a 0.22</i>	<i>ASP – M</i>
<i>Inclinadas (7% o más)</i>	<i>0.25 a 0.35</i>	<i>ASP – I</i>

Tabla 20: Coeficiente de Escorrentía Según el Tipo de Superficie

Las demás características de las subcuencas del sitio (coeficientes de rugosidad, conservación de la depresión y parámetros de infiltración) figuran en los cuadros N° 21 y N° 22.

Tabla 21: *Coefficiente de Manning para Escorrentía Superficial.*

SUPERFICIE	n
Asfalto Liso	0.011
Hormigón Liso	0.012
Revestimiento de Hormigón basto	0.013
Madera pulida	0.014
Ladrillo con mortero de cemento	0.014
Arcilla vitrificada	0.015
Fundición de hierro	0.015
Tuberías de metal corrugado	0.024
Superficie de escombrera	0.024
Terreno improductivo (libre de residuos)	0.05
Terreno cultivado	
Cubierta de residuos < 20%	0.06
Cubierta de residuos > 20%	0.17
Pasto natural	0.13
Hierba	
Corta, pradera	0.15
Densa	0.24
Hierba <i>Bermuda</i>	0.41
Bosque	
Con cubierta ligera de arbustos	0.40
Con cubierta dense de arbustos	0.80

Fuente: *McCuen, R. et al. (1996), Hydrology, FHWA-SA-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC.*

Tabla 22: *Valores Típicos de Almacenamiento en Depresión*

Valores Típicos de Almacenamiento de Depresión	
Superficie impermeable	1,25 – 2,5 mm
Césped y hierba	2,5 – 5 mm
Pastos y prados	≈5 mm

Fuente: *ASCE, (1992), Design & Construction of Urban Stormwater Management Systems, New York*

Ingreso de Valores.

Luego de haber determinado los parámetros geométricos de las sub cuencas (área, longitud de flujo, ancho, pendiente, porcentaje de impermeabilidad), niveles del índice de rugosidad de las áreas permeables como impermeables, se procede a ingresar dichos a las sub cuencas.







La superficie de drenaje hidráulico es la etapa anterior “Parámetros geométricos de las Sub – Cuencas” se mostró cómo construir un modelo hídrico de una vertiente urbana. En esta parte se mostrará cómo aplicar los elementos hidráulicos de SWMM y el flujo de enrutamiento, métodos que se utilizan para modelar un sistema de drenaje superficial. Una red de transporte será añadida al modelo y se dimensionará para pasar las tormentas sintéticas 2 horas con períodos de retorno de 2 y 10. Por simplicidad, los canales abiertos (por ejemplo, Swales o canales) se pueden utilizar para transportar el flujo




Se realizó una representación del sistema en una red de transporte es una serie de nodos conectados por enlaces. Los enlaces controlan la tasa de flujo de un nodo a otro y son típicamente conductos (por ejemplo, canales abiertos o tubos), pero también pueden ser orificios, vertederos o bombas. Los nodos definen la elevación del sistema de drenaje y la carga hidráulica variable en el tiempo aplicada en el extremo de cada enlace que conecta. El flujo transmitido a través de los enlaces y nodos del modelo se descarga en última instancia a un nodo final, llamado el emisario. Las propiedades de estos elementos del sistema de drenaje se explican en detalle en la barra lateral "Elementos hidráulico en SWMM".

El enrutamiento hidráulico es el proceso de agregar todos los flujos que entran en el extremo aguas arriba de cada conducto en una red de transporte y entregarlos al extremo aguas abajo en todo momento. Los flujos resultantes se ven afectados por factores tales como el almacenamiento de conducto, remanso, y recargos tubería. SWMM puede realizar el

enrutamiento hidráulico mediante tres métodos diferentes: Steady Flow, onda cinemática y onda dinámica.

Tabla 22: Elemento Hidráulicos de SWMM

Tipo de Elemento Hidráulico	Categoría el Elemento	Ejemplos o Tipos	Propiedades Requeridas	Propiedades Opcionales
N U D O S	Nudo 	<ul style="list-style-type: none"> _ Pozos de Registro _ Puntos de cambio en la pendiente del conducto o de la sección transversal. 	<ul style="list-style-type: none"> _ Elevación Invertida _ Máxima Profundidad _ Profundidad Inicial 	<ul style="list-style-type: none"> _ Recargo de Profundidad _ Tratamiento _ Entrada Caudal _ Zona Encharcada
	Divisor 	<ul style="list-style-type: none"> _ Cierre Tabular _ Presa _ Desbordamiento 	<ul style="list-style-type: none"> _ Invertir Elevación _ Enlace de Desvío _ Tipo _ Máxima Profundidad _ Profundidad Inicial 	<ul style="list-style-type: none"> _ Zona Encharcada _ Recargo de Profundidad _ Tratamiento _ Entrada Caudal
	Unidad de Almacenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> _ Reservorio _ Invertir Elevación _ BMP'S 	<ul style="list-style-type: none"> _ Invertir Elevación _ Curva de Almacenamiento _ Máxima Profundidad _ Profundidad Inicial 	<ul style="list-style-type: none"> _ Tratamiento _ Entrada Caudal _ Factor de Evaporación
	Desagüe 	<ul style="list-style-type: none"> _ Libre _ Normal _ Fijo _ Mare _ Series de Tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> _ Invertir Elevación _ Tipo 	<ul style="list-style-type: none"> _ Entrada Caudal _ Tratamiento _ Arrastre de la marea
E N L	Conducto 	<ul style="list-style-type: none"> _ Canales Naturales _ Conductos Cerrados _ Conductos Abiertos 	<ul style="list-style-type: none"> _ Nodo de Entrada _ Nodo de Salida _ Forma y geometría de la sección _ Longitud _ Rugosidad _ Entrada de desplazamiento _ Salida de desplazamiento 	<ul style="list-style-type: none"> _ Flujo Inicial _ Máximo Flujo _ Coeficiente de Pérdida de entrada _ Coeficiente de Pérdida de Salida _ Coeficiente de Pérdida media
	Bomba 	<ul style="list-style-type: none"> _ Desconectado _ En línea incremento _ En línea velocidad variable 	<ul style="list-style-type: none"> _ Nodo de entrada _ Nodo de salida _ Curva de la bomba 	<ul style="list-style-type: none"> _ Estatus Inicial _ Profundidad de Inicio _ Profundidad de apagado

A C C E S	Orificio	<ul style="list-style-type: none"> _ Orificio Circular _ Orificio Rectangular 	<ul style="list-style-type: none"> _ Nodo de entrada _ Nodo de salida _ Tipo _ Forma y geometría _ Entrada de desplazamiento _ Coeficiente de Descarga 	<ul style="list-style-type: none"> _ Puerta de Aleta _ Tiempo de abrir y cerrar
	Presa	<ul style="list-style-type: none"> _ Transverso _ Flujo lateral _ V – Corte _ Trapezoidal 	<ul style="list-style-type: none"> _ Nodo de entrada _ Nodo de salida _ Tipo _ Geometría _ Entrada de desplazamiento _ Coeficiente de Descarga 	<ul style="list-style-type: none"> _ Puerta de Aleta _ Contracción final _ Coeficiente Final
	Salida	<ul style="list-style-type: none"> _ Se utiliza para modelar las relaciones especiales de descarga cabeza 	<ul style="list-style-type: none"> _ Nodo de entrada _ Nodo de salida _ Entrada de desplazamiento _ Curva de gastos 	<ul style="list-style-type: none"> _ Puerta de Aleta

Para efectos del cómputo de la capacidad hidráulica actual de la calle (Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimaguas), las calles de pendiente suave se inundan durante una tormenta violenta. Estas vías deben permitirse inundar cada T años (T: tiempo de retorno de la función complementaria); en consecuencia, para conocer el caudal hidrológico previsto en el extremo aguas abajo de una calle o tramo de cuadra es necesario determinar el caudal capaz de transportar el tramo de calle en condiciones normales. Por lo general, en las calzadas no pavimentadas, es sencillo conceptualizar la geometría del drenaje utilizando las secciones típicas mostradas en las figuras 47 y 48 u otra asumida por el diseñador. En cualquier caso, la altura de la acera es una variable que afecta a la facilidad con la que los coches pueden abrir sus puertas cerca de las aceras, a la facilidad con la que los ancianos y los niños pueden salvar la pendiente al cruzar la calle, etc. Una vez establecida la altura de la acera y el tipo de pavimento, se dispone de suficiente información para hacer el cálculo de la capacidad hidráulica de la calle.

Figura 28: Sección Recomendable para calle con ancho menor a 8 m.

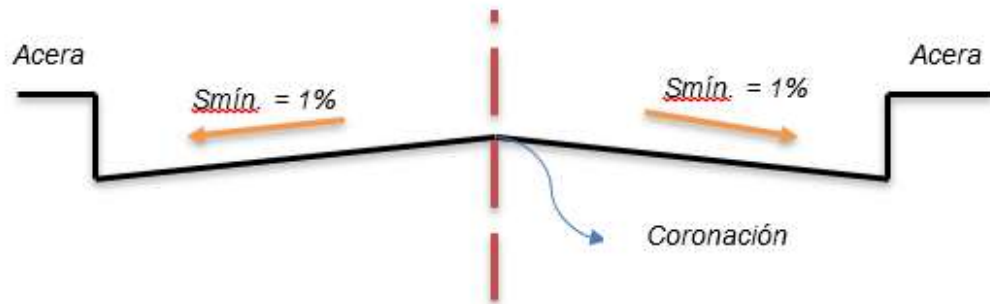


Figura 29: Sección Recomendable para calle con ancho menor a 8 m.

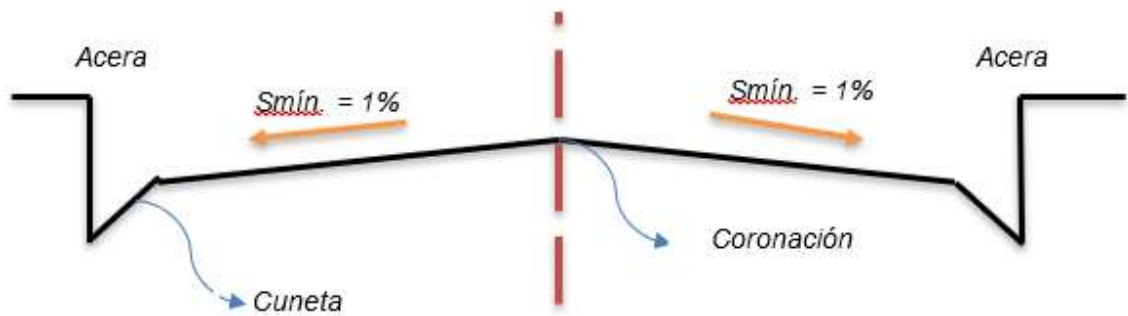
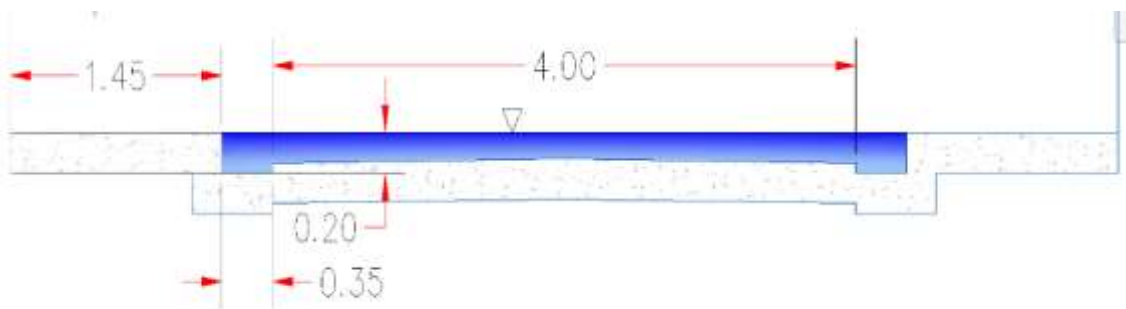


Figura 30: Sección Recomendable para calle mayor a 8 m.

En la Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Tahuantinsuyo, se tiene:



✚ Capacidad Hidráulica de la calle en estudio.

Fórmula de Manning para Flujo en canales abiertos.

$$Q = \frac{A}{n} (R)^{2/3} (S_0)^{1/2}$$

Donde

Q	=	Caudal (L/s)	
n	=	Coeficiente de Rugosidad de Manning	= 0.012
S ₀	=	Pendiente Energética de la Calle	= 0.002
R	=	Radio Hidráulico	= 0.142 m

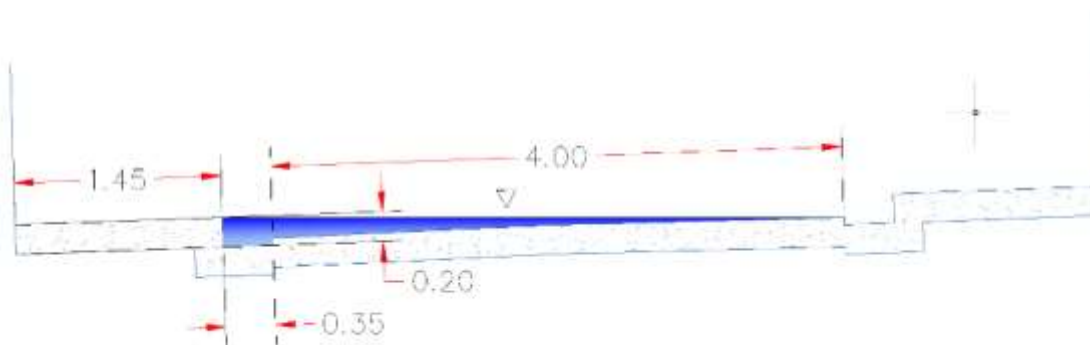
$$Q = \frac{0.74 \text{ m}^2}{0.012} (0.142 \text{ m})^{2/3} (0.002)^{1/2}; \quad Q = 0.750 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se debe precisar que, según las observaciones en campo, debido a las características de la calle (pendiente transversal, pendiente longitudinal), ocasiona que solo la mitad de la calle opere efectivamente, decir que el caudal efectivo sería:

$$Q = 0.344 \text{ m}^3/\text{s}$$

Figura 31: Capacidad hidráulica de la calle.

Obtenido la capacidad de la calle (caudal), comprobaremos si es superior o inferior, al caudal calculado en la presente investigación.



Por último, en los aspectos éticos, se tuvo como la primera consideración para el estudio, se garantiza que no se adulteró ni cambió ningún valor extraído de los datos

recolectados para la tesis, la información recopilada tal cual en las fichas de recolección de datos mostrado en los anexos, se asegura la transparencia y veracidad de los resultados obtenidos, puesto que, se mostró los resultados sin alterar ningún dato.

Finalmente, la confiabilidad, debido de los datos obtenidos fueron únicamente utilizados para fines del desarrollo de la investigación.

Equipos, materiales, insumos, etc.

Equipos

Estación total

GPS

Mira

Computadora, etc.

Materiales

Hojas Bond

Útiles de escritorio

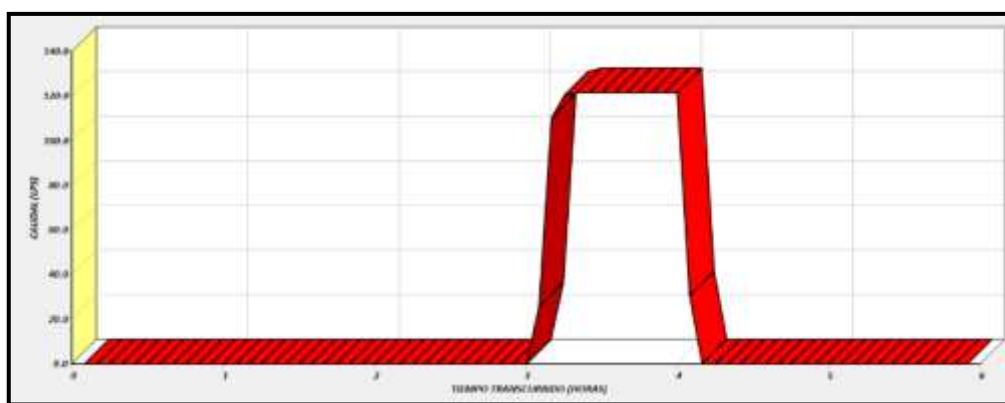
Bandas pluviométricas

CAPITULO III. RESULTADOS

La figura N^o 32 ilustra los hidrogramas de salida (flujo total en la calle) adquiridos para cada una de las calles de la región de la investigación. La escorrentía máxima se produce en el momento de máxima precipitación, y la descarga máxima aumenta significativamente a raíz de que se incrementa el periodo de recurrencia. Una vez que las precipitaciones cesan, los hidrogramas indican un descenso más rápido. Esta tendencia puede atribuirse al aumento de la cantidad de estanqueidad que se produce a lo largo de la urbanización.

Figura 32: Caudal para 10 años periodo de retorno, de la calle ubicada entre el Av.

Nuevo Cajamarca y Jr Yurimaguas, Cajamarca 2021



Fuente: Elaboración propia, uso del programa SWMM.

Tabla 23: Caudal y Velocidad Máxima Actual (Sin Investigación)

Tormenta de Diseño	Caudal Máximo (m ³ /s)	Velocidad máxima (m/s)	Calle ubicada en el Jr. Del Comercio con...
10-yr	0.212	1.41	Jr. Yurimaguas
	0.357	0.98	Jr. San Luis
	0.024	0.32	Av Nuevo Cajamarca
	0.109	2.28	Línea 340
	0.027	0.36	Línea 341 Línea 342

Tabla 24: Caudal y Velocidad Máxima con la Solución.

Tormenta de Diseño	Caudal Máximo (m ³ /s)	Velocidad máxima (m/s)	Calle ubicada en el Jr. Del Comercio con...
10-yr	0.010	1.22	Jr. Yurimaguas
	0.035	0.71	Jr. San Luis
	0.010	0.24	Av. Nuevo Cajamarca
	0.010	1.11	Línea 340
	0.010	0.26	Línea 341
	0.010	0.26	Línea 342

Para el cálculo de la eficiencia del sistema de drenaje se utilizan dos factores: el caudal y la velocidad de reacción.

Los caudales a eliminar entre la Av. Nuevo Cajamarca y Yurimaguas Jr., Cajamarca 2021, se muestran en la Tabla N° 24, junto con la capacidad hidráulica existente de 0,357 m³/s, que representa el segmento completo de la vía.

La eficiencia operativa (Eo) se determina por la relación entre los caudales o volúmenes dispersos y los volúmenes de una determinada fuente de agua. La fórmula es la que sigue:

$$Eo = \frac{Qn}{Qe}$$

Qn = Caudal que deriva o distribuye de la fuente.

Qe = Caudal o volumen que deriva o distribuye el sistema de drenaje

Tabla 25: Eficiencia del Sistema de Drenaje en las Diferentes Calles de Estudio.

CUNETAS	YURIMAGUAS		SAN LUIS		MISIÓN BAUTISTA		María Gorreti	
	LINEA 7	LINEA 212	LINEA 216	LINEA 215	LINEA 213	LINEA 214	LINEA 185	LINEA 186
Q (l/s)	141.75	244.58	52.58	53.95	181.8	35.99	26.71	75.46
Q (m ³ /s)	0.142	0.245	0.053	0.054	0.182	0.036	0.027	0.075
Velocidad (m/s)	2.68	3.27	2.3	2.32	3.91	2.25	2.06	2.79
Eficiencia (%)	61	100	22	22	72	14	11	29

Fuente: Elaboración propia, uso del programa SWMM.

A continuación, se realizó una investigación hidrológica para establecer la capacidad hidráulica de las diferentes calles de estudio entre la Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021.

Se determinó que 04 calles carecen de la capacidad hidráulica suficiente para poder mantenerse por 10 años, como lo especifica la normativa nacional de construcción; por lo tanto, será necesario incrementar la capacidad hidráulica mediante el aumento de la sección de las cunetas o la construcción de un sistema adicional.

Adicionalmente, las estimaciones de rendimiento operativa obtenidos indican que los tramos están operando a menos del 100% de su capacidad, es decir, para todas las viviendas, los tramos no poseen la suficiencia de intervenir a plena capacidad y tienen una deficiencia de hasta el 60%, lo que provoca inundaciones o colapso del sistema.

De acuerdo con los objetivos de la investigación.

Objetivos específicos	Resultado
<p>Determinar el caudal de escorrentía que debemos evacuar aplicando el sistema de drenaje urbano sostenible, en el programa swmm, entre las calles Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021.</p>	<p>Se obtuvo los caudales máximos obtenidos en el programa swmm (como se muestra en la tabla N° 024), que deben ser evacuados de la superficie entre la Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimaguas</p>
<p>Determinar la condición actual del sistema de drenaje entre la Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021.</p>	<p>Luego de la recolección de la data necesaria se determinó que se encuentra en estado de abandono, ya que a las cunetas ni se les da su respectivo mantenimiento por lo cual están llenas de basura y algunas de ellas ya están en deterioro del concreto.</p>

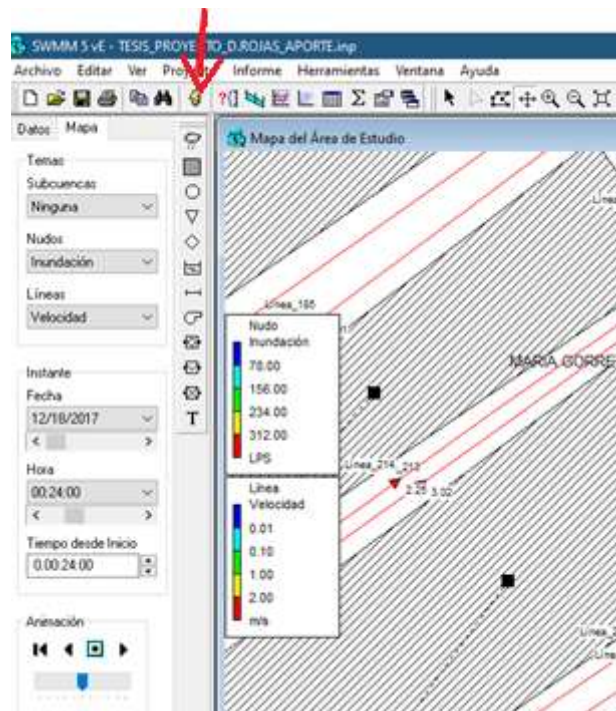
Fuente: Elaboración propia

Teniendo dichos resultados, podemos afirmar que la capacidad hidráulica la Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimaguas de la ciudad de Cajamarca, es insuficiente como se muestra en la Tabla N.º 25, para evacuar con los caudales máximos generados en un aproximado de 10 años.

Procedimiento de la representación de las tormentas con diseño y sin diseño.

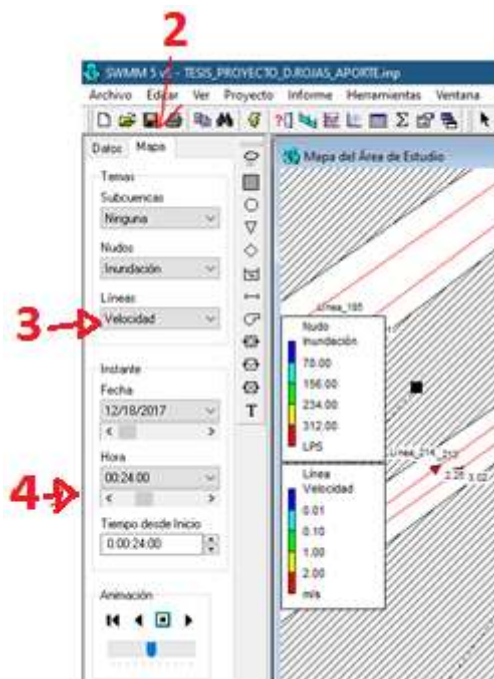
1. Primero al trueno amarillos en ambos archivos y debe correr sin problema.

Figura 33: Se ingresa en el rayo.

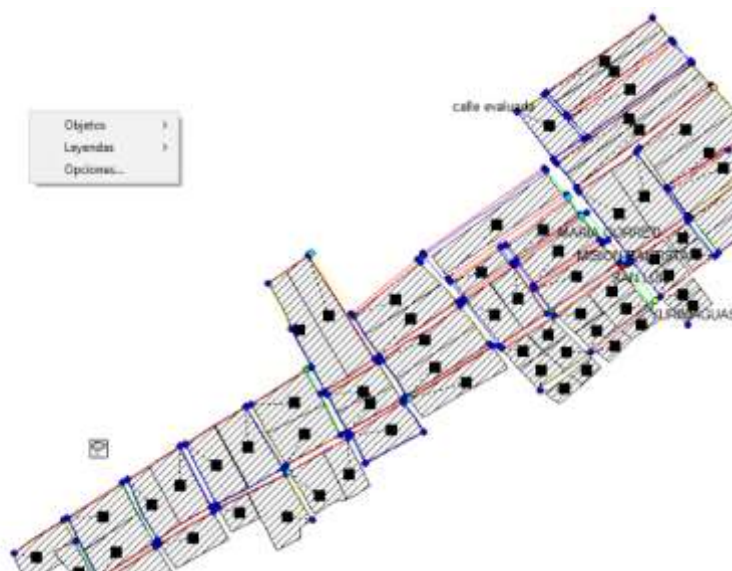


2. Vas al Mapa
3. Eliges en líneas que se desea visualizar “Velocidad” O Caudal
4. Se va avanzar el tiempo en el programa, para determinar la mayor lluvia esta entre el minuto 22 – 26, donde se muestra que en este tiempo se dan las inundaciones.

Figura 34: Se Puede Visualizar el Mapa, Velocidad y el tiempo.

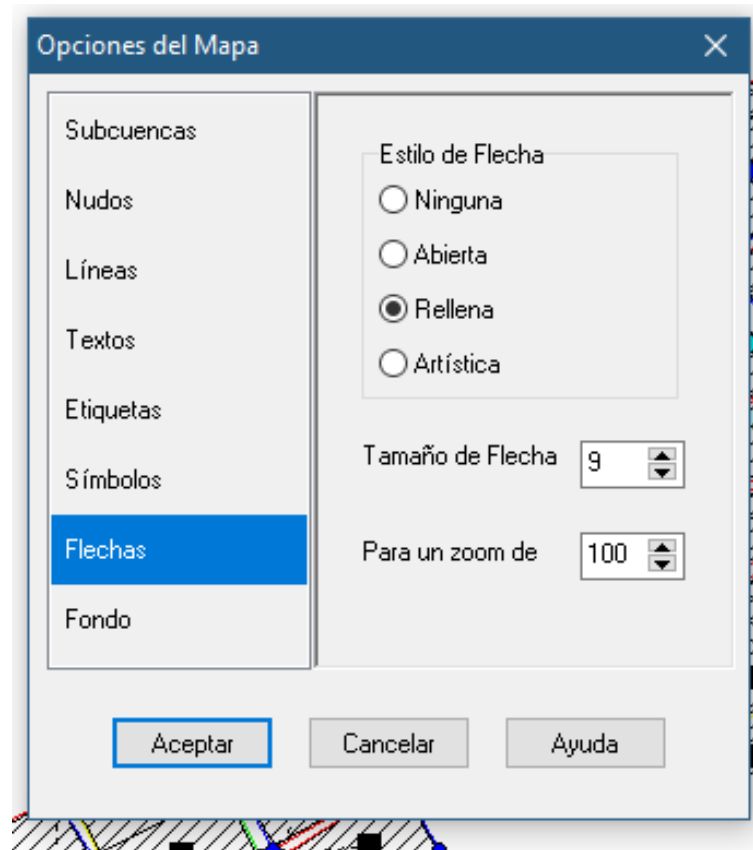


5. Dar anti clic en cualquier parte de la pantalla y salen 3 opciones



6. En el cuadro de dialogo se elige OPCIONES

Figura 35: En esta Opción del Mapa se puede elegir lo que se necesita.



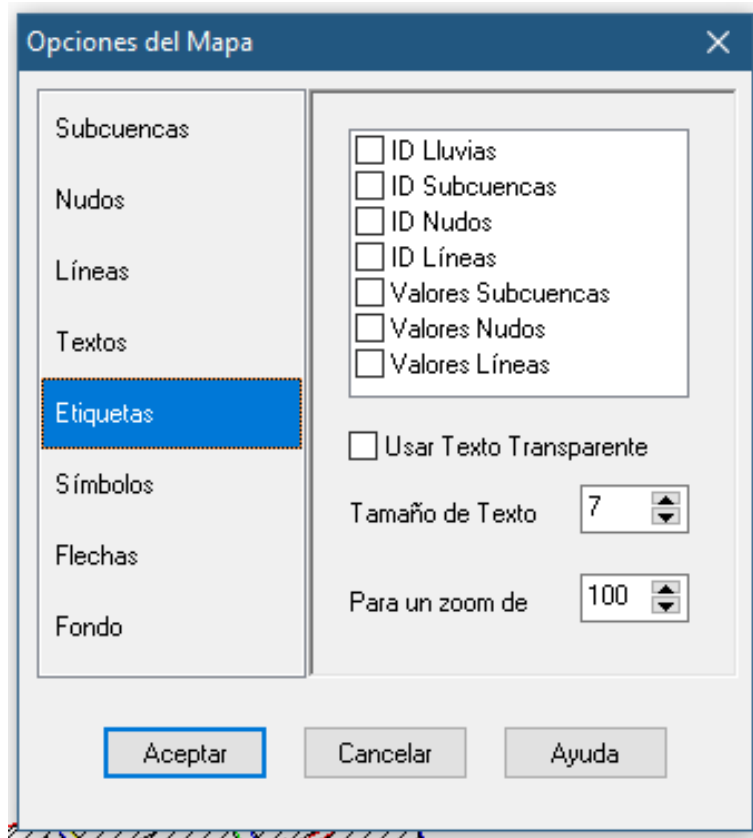
Solo se va a trabajar con flechas y etiquetas

En flechas se elige rellena y el tamaño.

En Etiquetas se tiene los ID y los valores

ID son los nombres de las líneas que se ha dibujado, ejemplo si seleccionas "ID Líneas" se muestran los nombres de la línea y si se desea que se muestre un valor de las líneas ejemplo "Velocidad" se activas el cuadro en "Valores líneas" con eso se muestra el valor de la velocidad y el nombre de la línea.

Figura 36: En esta Opción se elige la opción de etiquetas.



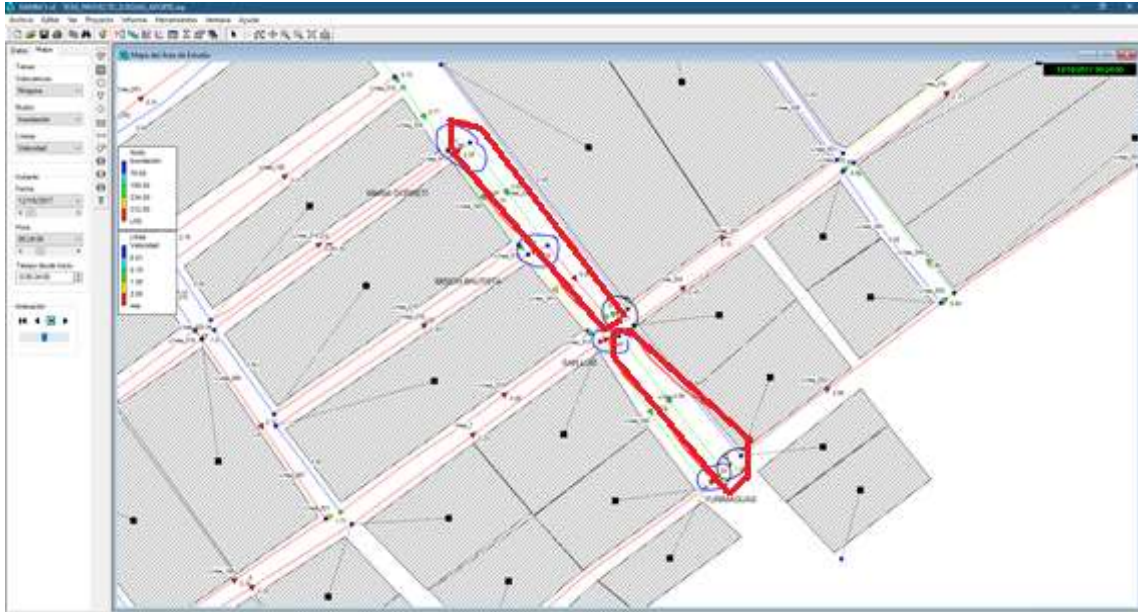
También se puede elegir el tamaño de texto, se elige de acuerdo como se ve.

7. Para acercarse, alejarse, moverse usa estas herramientas



8. De la simulación, esta imagen es con aporte

Figura 37: Se observa la simulación de las tormentas.

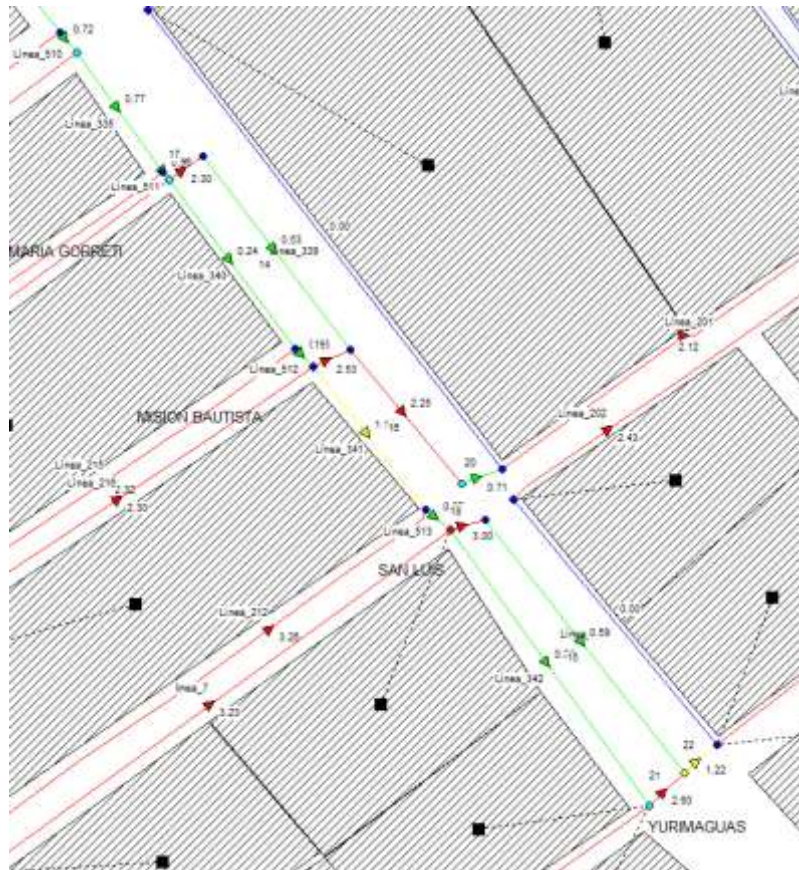


Encerrado en rojo están los canales al centro, si se da doble clic en las líneas se abren sus características.

Encerrado en azul son las conexiones de las cunetas al canal central mediante tuberías de 0.25m

Encerrado con negro son los conductos de entrega nuevamente a las cunetas, ósea son los puntos de salida

Estos resultados son al minuto 24 de velocidades, sin aporte del diseño de la cámara para
acumulación de aguas:



En este cuadro se cambia lo que quieres que te muestre caudal, velocidad, etc.

Temas _____

Subcuencas

Ninguna ▾

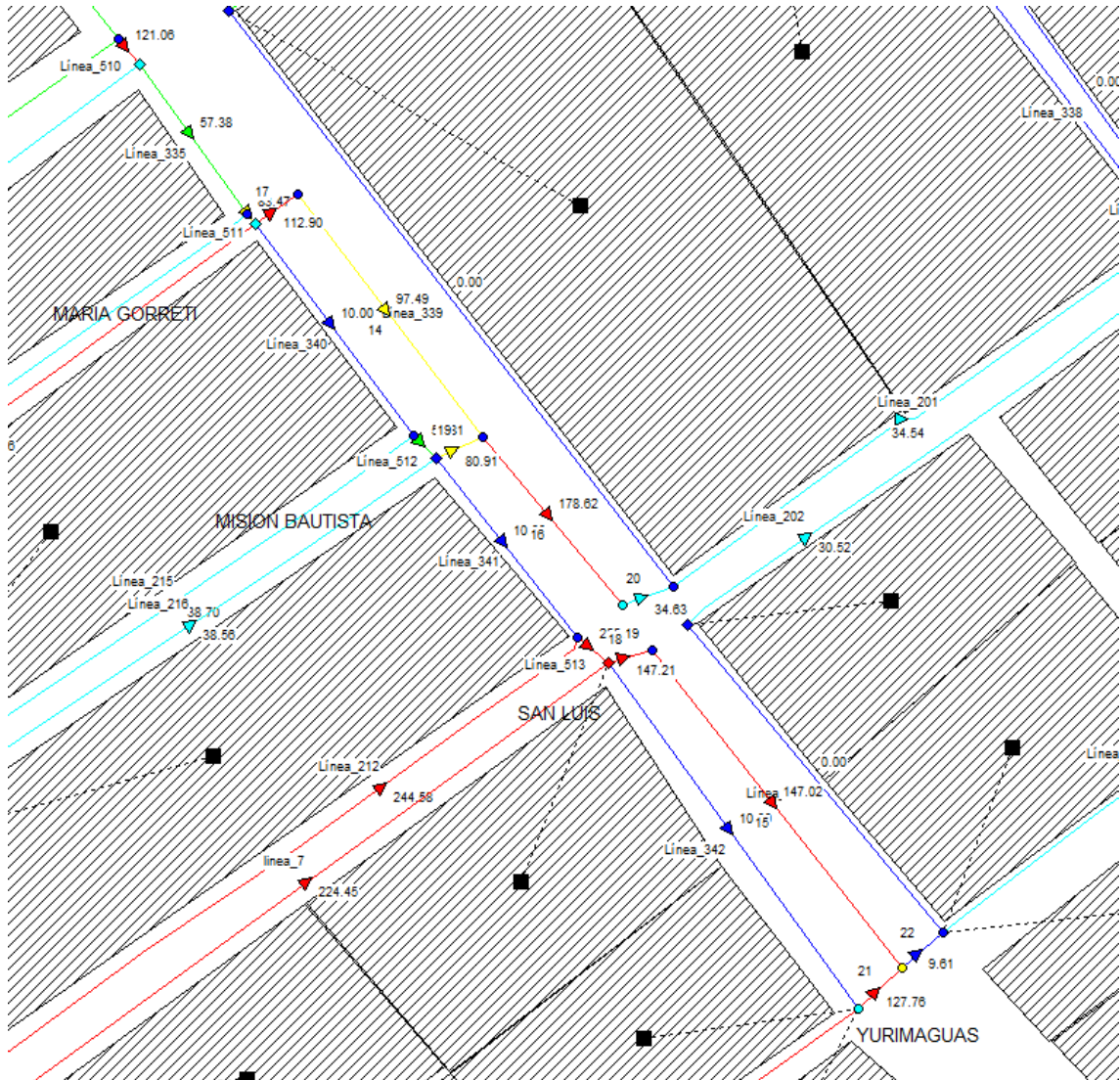
Nudos

Inundación ▾

Líneas

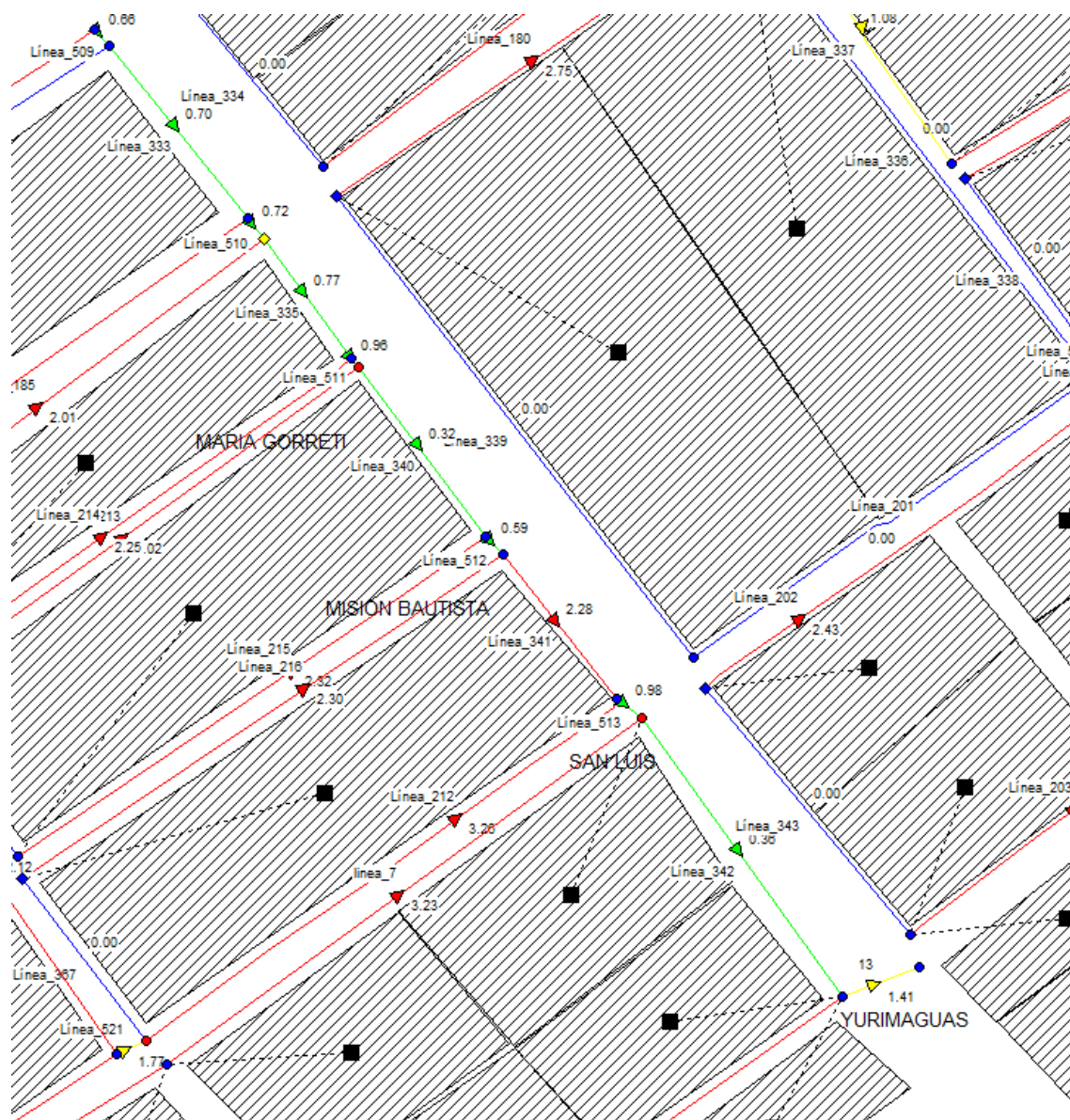
Caudal ▾

Estos resultados son al minuto 24 de caudales. Con diseño de cámara para acumulación
de agua:

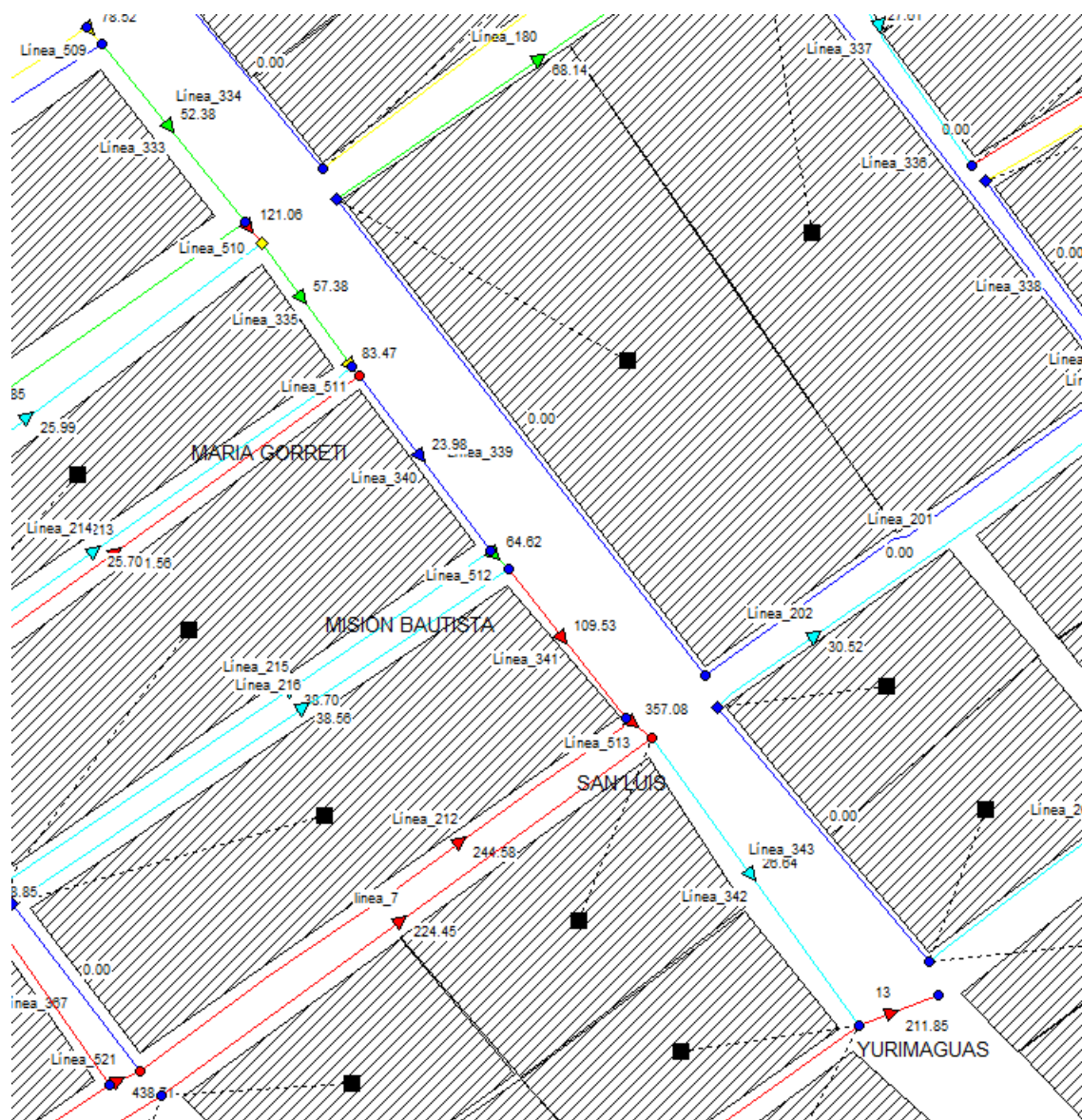


Ahora estas son imágenes del otro archivo sin aporte (sin el canal del centro)

Estos resultados son al minuto 24 de velocidades:



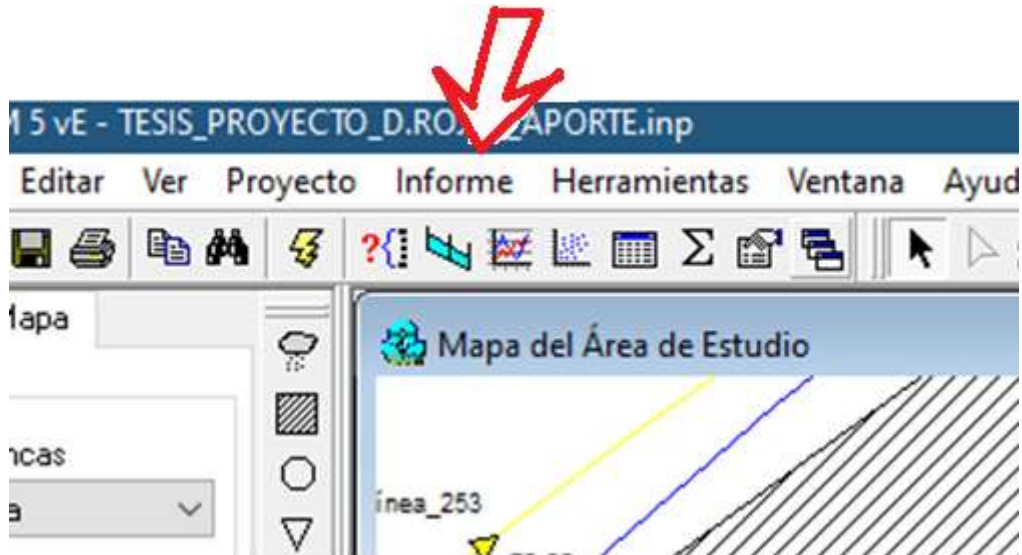
Estos resultados son al minuto 24 de caudales:



Si observamos en la figura la cuenta de salida de Jr. Yurimaguas tienes un caudal de 211.85 litros por segundo, sin el diseño de la cámara y en la otra imagen sale un caudal de entrega de 9.61 esa es la diferencia y así puedes analizar cada conexión

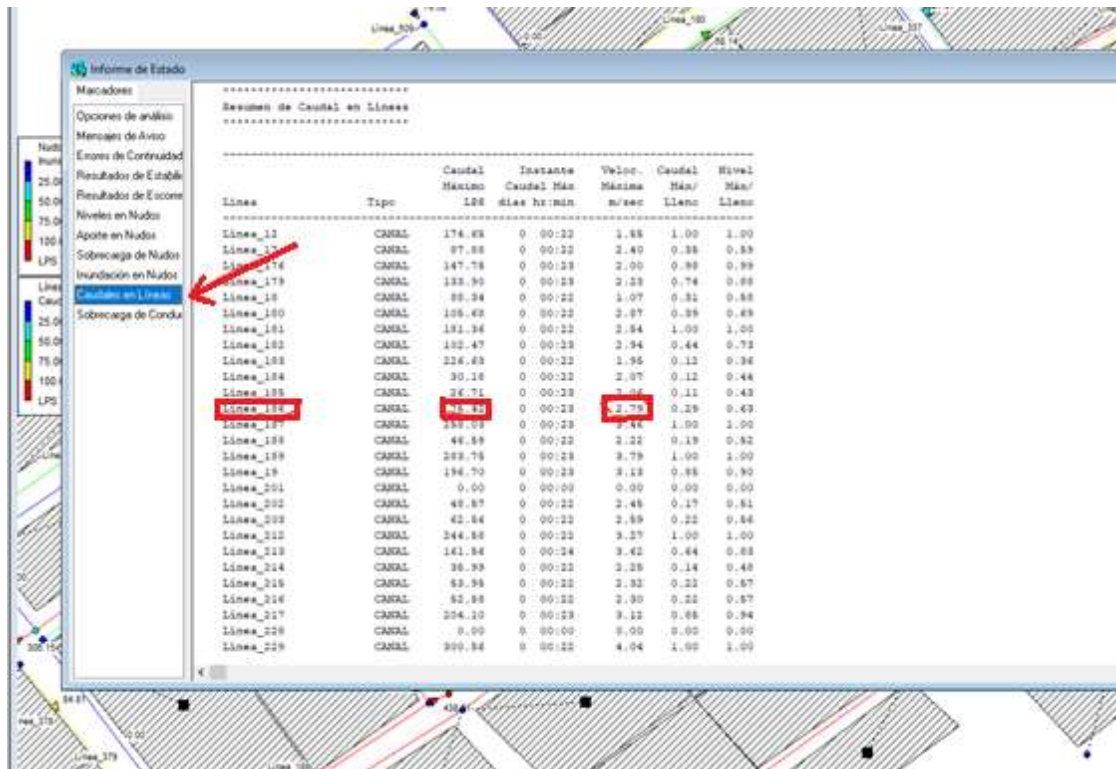
Las conexiones de las cunetas a la cámara y de la cámara de entrega a las cunetas son mediante tuberías de 0.25m o 10”.

Dándole clic en INFORME, da todos los resultados por nodo, tubería, áreas lo encuentras aquí:



INFORME – ESTADO

TE VA A SALIR UN CUADRO ASI:



Resultados de Caudal en Líneas		Caudal Máximo	Instante	Veloc. Máxima	Caudal Máx/ Lleno	Nivel Máx/ Lleno
Línea	Tipo	l/s	h:min	m/sec		
Línea_11	CANAL	174.48	0 00:22	1.88	1.00	1.00
Línea_12	CANAL	87.88	0 00:22	2.40	0.88	0.88
Línea_174	CANAL	147.78	0 00:23	2.00	0.88	0.88
Línea_179	CANAL	133.90	0 00:23	2.23	0.74	0.88
Línea_18	CANAL	88.34	0 00:22	1.07	0.81	0.88
Línea_180	CANAL	106.42	0 00:22	2.87	0.29	0.49
Línea_181	CANAL	181.36	0 00:22	2.84	1.00	1.00
Línea_182	CANAL	102.47	0 00:23	2.94	0.44	0.73
Línea_183	CANAL	224.43	0 00:23	1.96	0.12	0.36
Línea_184	CANAL	30.16	0 00:23	2.87	0.12	0.44
Línea_185	CANAL	26.71	0 00:23	1.87	0.11	0.43
Línea_186	CANAL	0 00:23	0 00:23	0.29	0.43	0.43
Línea_187	CANAL	159.01	0 00:23	3.44	1.00	1.00
Línea_188	CANAL	46.69	0 00:22	2.22	0.19	0.82
Línea_189	CANAL	209.76	0 00:23	3.79	1.00	1.00
Línea_19	CANAL	194.70	0 00:23	3.13	0.88	0.90
Línea_201	CANAL	0.00	0 00:00	0.00	0.00	0.00
Línea_202	CANAL	48.87	0 00:22	2.46	0.17	0.81
Línea_203	CANAL	42.64	0 00:22	2.69	0.22	0.66
Línea_212	CANAL	244.88	0 00:22	3.27	1.00	1.00
Línea_213	CANAL	161.84	0 00:24	3.42	0.64	0.88
Línea_214	CANAL	38.99	0 00:22	2.26	0.14	0.48
Línea_215	CANAL	63.96	0 00:22	2.32	0.22	0.67
Línea_216	CANAL	62.88	0 00:22	2.30	0.22	0.67
Línea_217	CANAL	204.10	0 00:23	3.12	0.66	0.94
Línea_226	CANAL	0.00	0 00:00	0.00	0.00	0.00
Línea_228	CANAL	390.84	0 00:22	4.04	1.00	1.00

VAS A CAUDALES DE LINEAS – BUSCAS LA LINEA QUE DESEAS Y TE MUESTRA SU CAUDAL MAXIMO Y SU VELOCIDAD MAXIMA

CAPITULO IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Discusión

El estudio se limitará a la Av. Nuevo Cajamarca y Jr. Yurimaguas, perteneciente a la ciudad de Cajamarca, ya que en este punto se genera el colapso de las cunetas que evacuan las aguas de lluvia.

Se evalúa el diseño del sistema hidráulico en el programa swmm del diseño actual para analizar si este es eficiente o no lo que nos da como resultado la ineficiencia del drenaje, las capacidades para operar y darle mantenimiento al sistema de drenaje, pero no se tocará otros temas, por ejemplo, la influencia que tiene las actividades de las personas en los sistemas de drenaje ya que los utilizan de manera inadecuada.

A pesar de las restricciones descritas, el proyecto de estudio es significativo ya que dará información sobre la problemática que afecta a este sector de la ciudad de Cajamarca.

Los inconvenientes de las aguas pluviales en las zonas ya urbanizadas demandan medidas de mitigación ante las evidentes situaciones de inundación que, si bien pueden ser abordadas mediante la remoción y drenaje de los excesos que causan inundaciones, también pueden ser a través de la retención y almacenaje de las aguas pluviales que provocan estos excesos aguas arriba utilizando el sistema de drenaje sostenible. Aunque las actividades de drenaje de aguas pluviales sugeridas se integran más fácilmente en los proyectos nuevos, también pueden aplicarse eficazmente en las zonas urbanas para abordar los problemas y no sólo los síntomas.

Las obras del sistema de drenaje urbano sostenible tienen que elegirse y dimensionar de forma que el método logre lo trazado por las directrices de drenaje urbano y redes individuales a las que se incorporan, facilitando así el cumplimiento de las normas de servicio correspondientes.

Las soluciones de drenaje pluvial urbano sostenible, en particular, deben incluirse en los diseños propuestos para cada una de ellas. Ofrecer una visión general de los proyectos e iniciativas de drenaje urbano que se representa la zona de estudio y la dirección del flujo de drenaje pluvial por la que ubicaremos la red de colectores, sumideros y obras de almacenamiento del lugar de estudio, que se dispondrán desde aguas arriba hasta el medio receptor. Además, cada tipo de actuación, se incluirán las obras que se pueden realizar y los objetivos que se persiguen para las mismas.

Al realizar el diseño de retención de aguas en el sardinel central del lugar de la investigación se comprobará que en los sectores donde se daba el problema están solucionados ya que la cantidad, velocidad y calidad del agua será mejor gestionada para el diseño de las cunetas ya existentes.

Conclusión

En base a lo mencionado en la presentación en los capítulos anteriores, esta investigación se da por aceptable la aplicación de diseño de la cámara de retención y acumulación de agua de lluvia, ya que las características, integración del modelado de diseño e información, permitieron analizar el mejorar del sistema de drenaje urbano sostenible entre la Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021

Por otro lado, se logró determinar el caudal de escorrentía que debemos evacuar entre las calles Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021 y se mejoró la entrega de la escorrentía de aguas abajo, ya que con el diseño se pudo gestionar mejor el agua.

De igual manera se determinar el estado actual del sistema de drenaje entre la Av. Nuevo Cajamarca y el Jr. Yurimaguas, Cajamarca 2021, se diseñó y se aplicó en el software todo lo relacionado al sistema de drenaje urbano sostenible y se obtuvo muy buenos resultados.

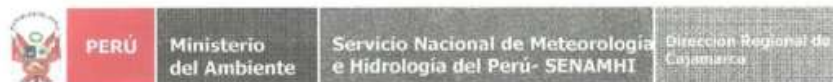
REFERENCIAS.

1. Manuel de Drenaje Urbano, 2013. Ministerio de Obras Públicas. Chile
2. *Acueductos, Cloacas y Drenajes – Alvaro Palacios Ruiz - 2008*
3. Elementos para el proyecto de drenajes. 1979. Roma. IT, Vía delle terme di-caracalla. 40 p.
4. Marvin Villalobos Araya. 2005. Diseño de drenaje superficial. 1 ed. Cartago. CR. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 96 p.
5. Máximo Villón Béjar. 2006. Drenaje. 1 ed. Cartago. CR. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 544 p.
6. Drenaje Pluvial. Estudios y técnicas especializadas en ingeniería, S.A (en línea). Tamaulipas. Disponible en:
<http://encontrarpdf.net/preview/aHR0cDovL3ZpcnR1YWwuY29jZWYub3JnL1Byb3lly3Rvc19jZXJ0aWZpY2Fkb3MvUHJveWVjdG80NzUvRG9jdW1lbnRvX2ZpbmFsL1Byb3lly3RvX0VqZW51dG12by9JbmZvem1lL0NBUDA2X0RyZW5hamVfUGx1dmlhbC5wZGY=>
7. Enrique Montero. 2004. redes de alcantarillado sanitario, ANESAPA (Asociación Nacional de empresas de servicio de agua potable y alcantarillado).La Paz. B. Consultado el 09 de enero del 2012.
8. Diagnóstico de saneamiento integral de la región Cajamarca. 2008. (en línea). Cajamarca. consultado el 7 de enero del 2012.
9. Operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado sanitario en el medio rural. 2005. Lima. Pe.
10. Sistema de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales. 2000. Dirección de agua potable y saneamiento básico. Bogotá. C.
11. Joan Miró. 1994. La investigación descriptiva. Consultado el 09 de enero del 2012. Disponible en: <http://noemagico.blogia.com/2006/091301-la-investigacion-descriptiva.php>
12. [Luz Marina Gómez calle. 1985. Consultado el 14 de febrero del 2012. Disponible en: http://fluidos.eia.edu.co/areafuidos/tesis/dc.html](http://fluidos.eia.edu.co/areafuidos/tesis/dc.html)
13. Luis Bañon Blázquez. 2000. Consultado el 14 de febrero del 2012. Disponible en: http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/01030404.pdf
14. Luis Jaramillo y Diego Fernando Ruíz Larrea. 2011. Tesis B. sc. Facultad de

ingeniería civil y ambiental Quito. EC. Escuela Politécnica Nacional. 176 p.

ANEXOS

▪ Anexo 01: Precipitaciones máximas en 24 horas (mm)



Estación: MAP. AUGUSTO WEBERBAUER

Ubicación Política:

Región: CAJAMARCA
Provincia: CAJAMARCA
Distrito: CAJAMARCA

Ubicación Geográfica:

Latitud: 07° 10' 03" Sur
Longitud: 78° 29' 35" Oeste
Altitud: 2 536 m.s.n.m

PARAMETRO: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEP	OCT	NOV	DIC
1999	15.9	38.8	13.5	10.4	13.9	6.4	11.8	0.5	21.8	14.3	18.6	13.1
2000	17.3	36.1	18.6	19.7	14.4	5.3	1.8	5.0	10.9	3.3	17.9	20.4
2001	27.6	17.7	28.2	14.3	14.7	1.0	6.9	0.0	5.7	14.7	20.3	15.9
2002	8.2	10.8	15.7	18.2	12.9	5.4	4.7	3.4	7.7	22.3	16.8	10.6
2003	18.7	18.4	20.1	8.8	6.7	7.0	1.6	6.1	8.9	19.2	17.1	20.8
2004	11.9	21.5	10.5	12.4	6.5	0.9	6.0	10.2	4.0	9.5	28.1	22.7
2005	20.2	10.0	19.7	10.8	3.6	3.5	0.3	3.5	14.3	9.3	11.6	15.3
2006	15.2	13.5	18.8	17.0	2.2	6.2	1.6	5.4	10.2	4.0	20.6	12.3
2007	15.6	6.8	25.4	21.0	5.2	1.4	3.0	4.0	10.2	19.0	15.7	16.7
2008	20.2	17.1	23.6	27.0	4.3	6.0	1.3	4.8	11.6	10.8	19.7	9.9
2009	21.9	16.4	20.5	14.1	18.5	9.1	5.3	0.9	5.2	18.1	12.6	12.6
2010	14.6	36.4	34.0	21.6	12.6	2.8	2.2	1.3	10.5	16.8	11.1	21.9
2011	14.9	16.4	25.5	22.4	9.7	0.4	5.1	T	12.7	9.3	5.2	27.7
2012	18.0	27.9	26.7	11.3	10.8	0.3	0.0	1.9	12.8	24.2	27.3	17.6
2013	11.7	13.1	35.3	15.9	10.2	4.5	2.5	5.7	1.9	19.4	6.1	9.6

Nota: T= menor a 0.1 mm.

Cajamarca 18 de Marzo 2014



Ciencia y Tecnología Hidrometeorológica al Servicio del País

Lima: Jirón Cahuide N° 785-Lima 11, Casilla Postal 1308 Telf.: (51-1) 614-1414 Fax: 471-7287
Pasaje Jaén N° 121 Urb. Ramón Castilla, Telf. (076)-365701 dr03-cajamarca@senamhi.gob.pe
Celular: 076-976789869 RPM: # 536908

Pág. Web www.senamhi.gob.pe



▪ **Anexo 02: Bandas pluviográficas de las precipitaciones máximas anuales.**



Banda Pluviométrica Año 2003



Banda Pluviométrica Año 2004



Banda Pluviométrica Año 2005

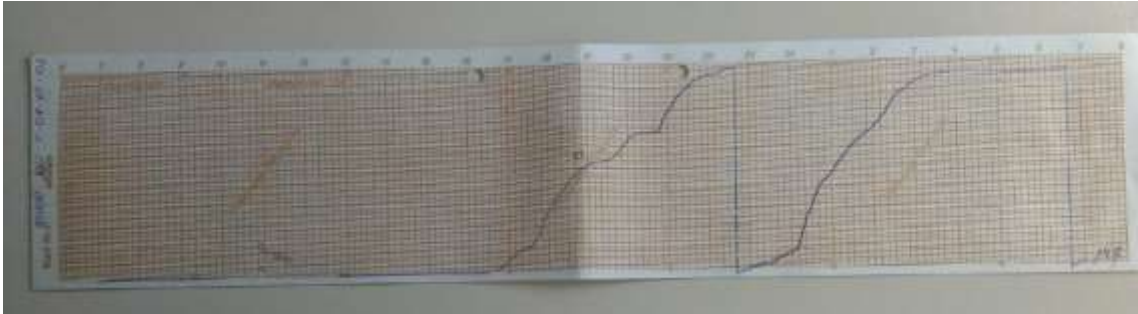


Foto N° 01: *Levantamiento topográfico del área en estudio.*



Foto N° 02: *Levantamiento topográfico del área en estudio.*



Foto N° 03: *Levantamiento Topográfico de la Zona de Estudio.*



Foto N° 04: *Levantamiento Topográfico de la Zona de Estudio.*



Foto N° 05: *Levantamiento Topográfico de la Zona de Estudio.*



Foto N° 06: *Vista Panorámica del Jr Yurimaguas.*



Foto N° 07: *Vista Panorámica de la Av. Nuevo Cajamarca.*



Foto N° 08: *Vista Panorámica de la Av. Nuevo Cajamarca.*



Foto N° 09: *Medida de la cuneta existente.*



Foto N° 10: *Medida de la cuneta existente.*



Foto N° 11: *Zona donde se da el colapso del sistema de drenaje*



Foto N° 12: *No tiene donde evacuar las aguas de lluvia.*



Foto N° 12: *El sistema de se abastece para la evacuación de las aguas.*



Foto N° 13: *Se muestra la pista totalmente cubierta por el agua.*



Foto N° 14: *Se muestra que la cuneta ya no abastece el caudal*



Foto N° 15: *Se muestra como los usuarios colocan sacos de arena para evitar que ingres el agua a sus domicilios*



Foto N° 16: *Se muestra como los usuarios colocan sacos de arena para evitar que ingres el agua a sus domicilios.*



Foto N° 17: *Los vecinos construyen sardineles para evitar el ingreso del agua de lluvia a sus domicilios.*



Foto N° 18: *La pista totalmente inundada por las aguas de lluvia.*

