



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN

**“REVISIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO DE SUSTITUCIÓN DE RED  
SECUNDARIA DE DRENAJE EN LA COLONIA FERROCARRILERA,  
EN EL MODELO SWMM (STORM WATER MANAGEMENT MODEL)”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

**SEALTIEL VIVAR FLORES**

ASESOR:

**ING. LUIS P. VIGUERAS MUÑOZ**



**FES Aragón**

MÉXICO D.F. 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimiento:**

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado la fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre:

Por haber sido una bendición de dios de tenerla a mi lado ya que ha sido un gran apoyo, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi padre:

Por sus sabios consejos durante la vida y en la carrera, en mis logros, en todo, que aun estando lejos lo llevo en mi corazón y mente.

A mis profesores:

A cada uno de mis profesores que marcaron cada una de las etapas de mi camino universitario, le doy las gracias por impartirme sus valiosos conocimientos.

A mi asesor:

Al ingeniero Luis P. Viguera Muñoz, por permitirme trabajar en su grupo y por su distinguida colaboración en el inicio, desarrollo y conclusión de este trabajo.

Introducción

Problemática

Objetivo

I.-ANTECEDENTES

- 1.1.-Características de la delegación pág. 7
- 1.2.- Ubicación, límite y superficie pág. 7
- 1.3.- Cobertura de servicios de drenaje pág. 10
- 1.4.- Problemática en la delegación pág. 10
- 1.5.- Storm Water Management Model pág. 11

II.-FUNDAMENTOS DE ALCANTARILLADO

- 2.1.- Clasificación de un sistema de alcantarillado pág. 14
- 2.2.- Sistema de alcantarillado pág. 14
  - 2.2.1.- Partes de sistema de alcantarillado pág. 15
- 2.3.- Variables hidráulicas permisibles pág. 16
- 2.4.- Aspectos de hidrología pág. 18
  - 2.4.1.- Cuenca pág. 18
  - 2.4.2.- Sistema hidrológico pág. 19
  - 2.4.3.- Precipitación pág. 19
  - 2.4.4.- Escurrimientos pág. 23
    - 2.4.4.1.- Coeficiente de escurrimiento pág. 23
    - 2.4.5.- Infiltración y otras pérdidas pág. 24
      - 2.4.5.1.- Determinación de las pérdidas pág. 25
      - 2.4.5.2.- Criterio de la capacidad de infiltración media pág. 25
    - 2.4.6.- Intensidad de lluvia y duración pág. 26
      - 2.4.6.1.- Distribución espacial y temporal de la lluvia pág. 26
    - 2.4.7.- Análisis de registro de la precipitación pág. 26
      - 2.4.7.1.- Precipitación media pág. 27

2.4.7.2.- Curva masa media	pág. 29
2.4.8.- Periodo de retorno	pág. 29
2.5.- Proyecto	pág. 30
2.5.1.- Dotación	pág. 30
2.5.2.- Aportación de aguas residuales	pág. 31
III.-ECUACIONES FUNDAMENTALES	
3.1.- Continuidad	pág. 32
3.2.- Cantidad de movimiento	pág. 32
3.3.- Energía	pág. 33
3.4.- Fórmula de Manning	pág. 34
IV.-CARACTERISTICAS DEL STORM WATER MANAGEMENT MODEL	
4.1.- SWMM	pág. 36
4.2.- Características del modelo hidrológico	pág. 36
4.3.- Aplicaciones del programa SWMM	pág. 37
4.4.- Modelo conceptual utilizado por SWMM	pág. 38
4.4.1.- Pluviómetros	pág. 38
4.4.2.- Cuencas	pág. 39
4.4.3.- Nudos de conexión	pág. 39
4.4.4.- Nudo de vertido	pág. 40
4.4.5.- Divisores de flujo	pág. 40
4.4.6.- Sistemas de almacenamiento	pág. 41
4.4.7.- Conductos	pág. 41
4.4.8.- Reguladores de caudal	pág. 42
4.4.8.1.- Orificios	pág. 42
4.4.8.2.- Vertedores	pág. 43
4.4.8.3.- Descargas	pág. 44
4.5.- Objetos virtuales	pág. 44

---

---

4.5.1.- Temperatura	pág. 44
4.5.2.- Evaporación	pág. 44
4.5.3.- Acuíferos	pág. 45
4.6.- Aportes externos de caudal	pág. 45
4.7.- Series temporales de datos	pág. 46
4.8.- Métodos computacionales	pág. 46
4.8.1.- Escorrentía superficial	pág. 46
4.8.2.- Infiltración	pág. 47
4.8.3.- Modelo hidráulico de transporte	pág. 47
4.8.4.- Acumulación de agua en superficie	pág. 49
4.9.- Curvas IDF	pág. 49
4.9.1.- Métodos de los bloques alternados	pág. 50
4.10.- SMADA	pág. 52
V.- APLICACIÓN DEL MODELO SWMM A LA RED DE PROYECTO	
5.1.- Elementos de dibujo y propiedades del programa	pág. 57
5.2.- Datos de proyecto	pág. 61
5.3.- Precipitación base	pág. 63
5.4.- Obtención de distribución de lluvia	pág. 64
VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS	
6.1.- Informe de resultados	pág. 70
6.1.1.- Lluvia constante	pág. 71
6.1.2.- Lluvia distribuida	pág. 74
VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1.- Conclusiones	pág. 85
7.2.- Recomendaciones	pág. 86
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

---

---

### **Introducción:**

La demanda de servicios públicos en la Ciudad de México cada día es mayor, esto es por el crecimiento incontrolable, aunado a que actualmente el desarrollo de la ciudad está ligado a la urbanización. Dicha urbanización afecta a amplias zonas de terrenos en zonas pavimentadas, lo cual tiene consecuencias en el comportamiento de los escurrimientos pluviales.

Esto llega a generar molestias a la población, como; encharcamientos e incluso inundaciones.

Por ese motivo la ciudad debe tener un sistema de drenaje capaz de desalojar cualquier cantidad de precipitación que llegue a caer en cualquier zona de la misma.

Actualmente se continúa realizando proyectos de forma tradicional sin considerar simulaciones y contemplar en cómo se comportará el caudal en la tubería durante la caída de cierta cantidad de lluvia. Por ese motivo es necesario hacer uso de las herramientas que nos brinda la tecnología como son el software o programa de computadora.

Storm Water Management Model (SWMM), es un programa de modelo dinámico de simulación de precipitación, para realizar un único acontecimiento o una simulación continua. Además permite simular la cantidad y la calidad del agua.

Al hacer uso de estos programas resulta más fácil realizar proyectos y en menor tiempo, pero además de eso resulta más económico, y lo más importante para beneficio de la sociedad, que tenga un buen funcionamiento.

Por lo antes expuesto, se puede mencionar que los primeros cuatro capítulos comprendidos en este trabajo se exponen conceptos fundamentales de alcantarillado y los otros capítulos restantes es el desarrollo del proyecto en el programa SWMM, Lo cual a continuación se detalla cada uno de los capítulos:

Primer capítulo, se describen las características de la delegación de manera muy general como son: su ubicación, usos de suelo, colindancias, los servicios de drenaje, etc. Además se detalla la problemática que surgió en base a la colonia ferrocarrilera y las personas que serán beneficiadas, y por último los programas que existen actualmente en los que se puede auxiliar para el desarrollo de un proyecto.

---

---

El segundo capítulo, se refiere los conceptos básicos de alcantarillado en el cual se describen sus componentes en un proyecto, las variables hidráulicas permisibles. Los aspectos hidrológicos, son otros apartados importantes que trata como la cuenca, la obtención de la precipitación con formula del DF, y otros métodos para su obtención. Al final se explica la dotación de aguas residuales al sistema y sus consideraciones.

El tercer capítulo, se mencionan las ecuaciones básicas de la hidráulica que se deben contemplar en un proyecto como son la de continuidad, la de cantidad de movimiento, la de energía y la de Manning.

El cuarto capítulo se detalla las características del programa, como por ejemplo su aplicación, conceptos utilizados durante su ejecución en un proyecto, ecuaciones utilizadas para los cálculos, cuales son con objetos visibles y no visibles con los que trabaja, que otros objetos pueden ser ingresados en el programa para que se tome en cuenta durante su simulación, los métodos de infiltración, de transporte, el ingreso de la lluvia y los métodos para la obtención de la lluvia distribuida.

El quinto capítulo, trata de la aplicación del programa al proyecto, y se desarrolla como empezar a trabajar, los elementos de dibujo que se utiliza para diseñar, los datos de proyecto que se requieren, el cálculo de las intensidades, el procedimiento de ingreso de datos de lluvia al SWMM, obtención de lluvia distribuida por medio de otro programa llamado SMADA, al final el esquema del informe obtenido.

El sexto capítulo, se menciona como obtener el informe de cálculo y se explica cada uno de los apartados del informe mencionando que sucede en cada uno de ellos, además qué se tiene cuando se analiza con una lluvia constante y una lluvia distribuida, una comparación con datos del método tradicional con resultados del programa.

El séptimo capítulo, aquí se dan las conclusiones que se ha llegado debido a este trabajo y también recomendaciones al usar este programa.

---

---

**Problemática:**

El sistema globalizado que se ha impuesto en las economías internacionales, ha puesto en clara desventaja países como el nuestro con relación a su sector productivo, ya que al permitir la entrada de empresas transnacionales, principalmente de Estados Unidos, estas traen consigo todo un equipo de trabajo que cuenta con un alto nivel técnico, desarrollando proyectos en tiempos muy cortos al utilizar software en la solución de problemas. Mientras que las empresas nacionales requieren de ingenieros mexicanos con mayor capacitación en el manejo de “paqueterías”.

**Objetivo:**

Sirva el presente trabajo para comparar el manejo del programa Storm Water Management Model en la solución de Sistemas de Alcantarillado Pluvial, resolviendo un proyecto en común de dos formas distintas: de forma tradicional y con el empleo del programa comentado anteriormente.

---

---

## I.- ANTECEDENTES

Para la realización del presente trabajo resulta conveniente comentar algunos aspectos de la delegación Gustavo A. Madero a la cual pertenece la colonia en donde se ha realizado este proyecto, sobre todo para conocer las características físicas y climatológicas de la localidad.

### 1.1.- Características de la delegación

El Distrito Federal es una de las entidades más pobladas de todo el país. El crecimiento demográfico y urbano, así como su localización geográfica, y sus características fisiográficas y climatológicas, han hecho que la ciudad sea muy complicada con respecto a la prestación de servicios hidráulicos.

El desarrollo urbano se ha incrementado activamente en los últimos años al igual la demanda de suministro de agua potable y el desalojo de aguas residuales y pluviales.

El Distrito Federal se divide en 16 delegaciones entre las cuales se encuentra la delegación Gustavo A. Madero, tomando su nombre en homenaje a uno de los iniciadores de la lucha política contra la dictadura de Porfirio Díaz; Gustavo Adolfo Madero, hermano de Francisco I. Madero. Ver figura 1.

### 1.2.-Ubicación, límite y superficie.

La delegación se encuentra situada en la región norte de la Ciudad de México, representa el 5.7 % de la superficie del Distrito Federal, su ubicación geográfica es la siguiente: Ver tablas 1 a 3.

<b>Tabla 1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA</b>	
<b>Longitud norte</b>	<b>Latitud oeste</b>
19° 35' 34.12''	99° 07' 26.79''
19° 31' 52.29''	99° 10' 37.13''
19° 26'40.84''	99° 03' 43.92''
19° 27'2.37''	99° 03' 01.8''

<b>Orientación</b>	<b>Delegación o municipio limitante</b>	<b>Perímetro</b>
Norte	Municipio de Coacalco y Ecatepec del Estado de México.	Mojoneras: Cerro del Picacho, Quiote, Peña Gorda, Sombrero, Almaraz y Moctezuma.
Este	Municipio de Nezahualcoyotl y Tlalnepantla del Estado de México.	Mojoneras: Púlpito, Contador, Cerro Alto, Peñas Coloradas, Palmas, Escorpión, Puerto de la Hoya de Nieve a San Andrés, Las Lajas, Chiquihuite, hasta el cruce con la Av. Guadalupe.
Sur	Delegaciones Azcapotzalco, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza.	Rio Tlalnepantla, Acueducto y Av. Guadalupe.
Oeste	Municipio de Tlalnepantla y Tultitlan del Estado de México.	Av. Rio de la Loza, Calz. Cuauhtepc, Av. Juárez, Felipe Carrillo Puerto, Huicholes.

<b>Uso de suelo</b>	<b>Are (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje con respecto a la delegación (%)</b>	<b>Porcentaje con respecto al Distrito Federal (%)</b>
Urbana	74.36	85.38	11.14
Suelo de conservación	12.73	14.62	1.53
<b>Total</b>	<b>87.09</b>	<b>100.00</b>	<b>12.67</b>

La topografía de la delegación presenta zonas con relieve variado, la de mayor importancia se encuentra en la zona Nor-Oriente de la Ciudad de México, la cual ocupa el 10% del área total de la Delegación en donde se encuentran elevaciones importantes que oscilan entre los 2450 a 2850 msnm. El resto del territorio de la delegación lo ocupan lomeríos que lo conforma el 2% y el 88% restante está ocupado por planicie que se ha conformado con rellenos de origen lacustre.

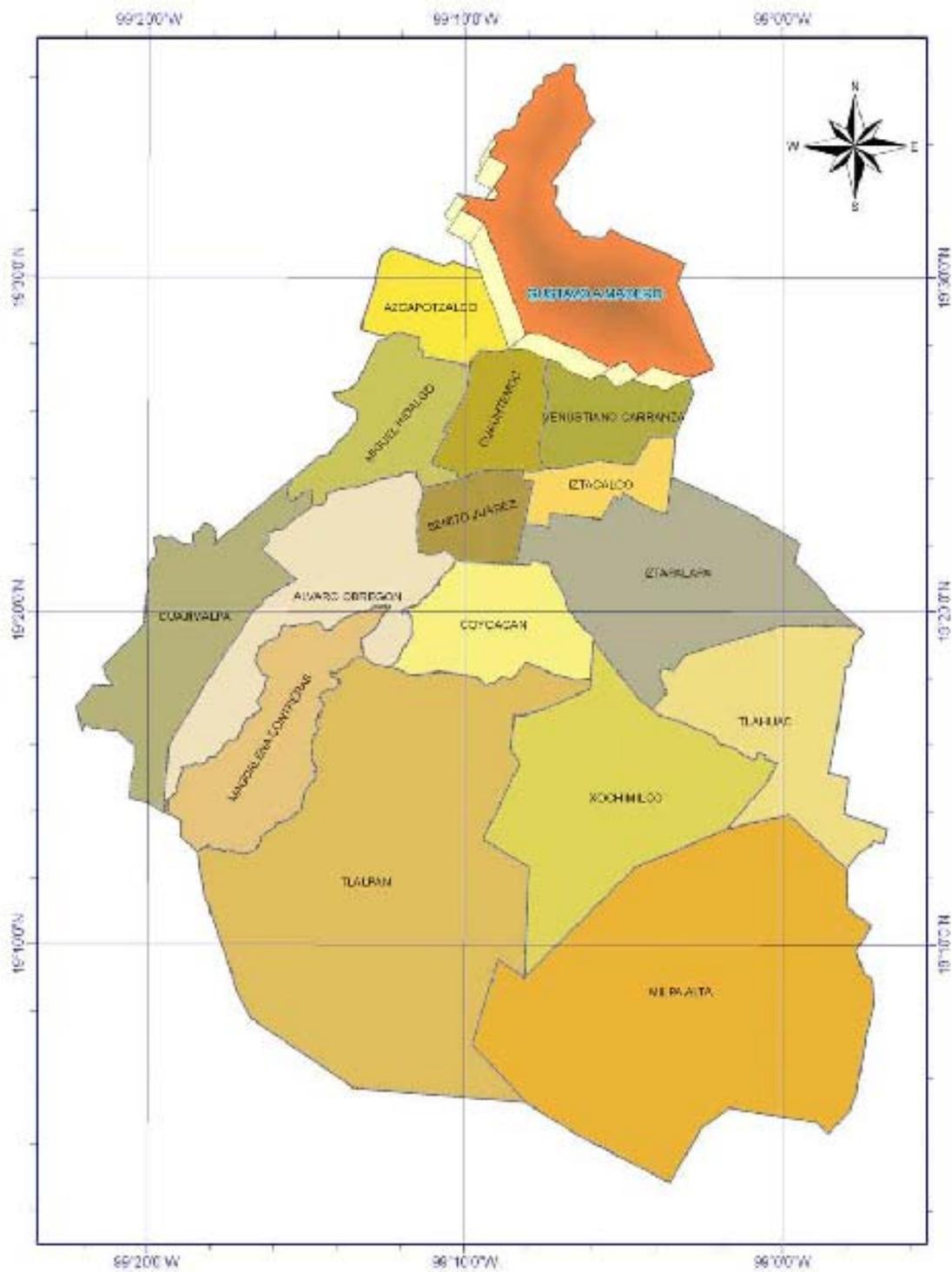


Figura 1

SACMEX; Ubicación Geográfica c. a. 1995; Cartas Topográficas SIGSA.

Imagen tomada: Plan Hidráulico Delegacional 2006-2012 GAM.

Fecha de actualización: 15 de Marzo de 2013.

### 1.3.- Cobertura de servicios de drenaje

El sistema de drenaje de la delegación está conformado por cauces naturales, un canal a cielo abierto, colectores de la red primaria de drenaje y plantas de bombeo.

En cuanto a drenaje, tiene un nivel de cobertura de 98.56% y se considera de tipo combinado. El sistema de drenaje está constituido por colectores principales, los cuales presentan un sentido de escurrimiento de Poniente a Oriente y desalojan sus aguas negras por medio de cauces entubados y a cielo abierto, y muchas de las aguas se vierten en el Sistema del Gran Canal y Consulado.

Para poder regular el excedente de aguas generadas en las partes altas de la Delegación se tienen lagunas de regulación como la de Cuauhtepac, y además de esto se cuenta también con el Sistema de Drenaje Profundo, constituido por los interceptores Central y Oriente.

La red primaria la integran colectores con diámetros de 61 cm a 315 cm, la cual tiene una longitud de 293.224 km, en cambio la red secundaria que son diámetros menores de 61 cm de diámetro tienen una longitud total de 1,488.511 km en toda la delegación.

### 1.4.- Problemática en la delegación

En la delegación Gustavo A. Madero se tiene una problemática de encharcamientos, debido que en el 2008 se detectaron 281 encharcamientos en 86 colonias de la delegación y prácticamente la mayoría es por insuficiencia de la atarjea, el colector o también por la obstrucción de las tuberías.

En la delegación se realizó un proyecto a cargo del SACMEX, la sustitución de una tubería de drenaje de una red secundaria, en la colonia Ferrocarrilera en las calles Mateo Ramírez, Matías Castellanos y Marcelino Castañeda son las que se beneficiaran de este proyecto mas aparte tres cerradas, y es aquí donde existía una problemática de encharcamiento, y además tendrá su salida por la calle Manuel Buenrostro para que al final se conecte al colector de 0.91 m. de Ø en el Eje 3 Ote. Ing. Eduardo Molina, la causa principal es debido a que la tubería existente no se daba abasto para el desalojo de agua residual como pluvial y por eso se tomó la decisión de sustituir por completo toda la red. Cuyas coordenadas son: ver tabla 4. Y zona de proyecto: Ver figura 2.

<b>Tabla 4: Coordenadas de proyecto</b>	
<b>Latitud norte</b>	<b>Longitud oeste</b>
19° 28' 55.52"	99° 05' 32.87"

El lugar de proyecto es una unidad habitacional, que beneficiará alrededor de más de 300 personas que habitan ahí, en el que se harán 170 conexiones de descargas domiciliarias. Más aparte otras colonias aledañas que descargan sus aguas residuales y pluviales en esa red de proyecto.

La red total por sustituir es de 848.5 m en donde se manejarán tres diferentes diámetros de tubería para desalojar el agua.

El primer tramo es de 0.30 m. de Ø, que comprende una longitud de 322 m.

El segundo diámetro es de 0.38 m. de Ø, comprende una longitud de 203 m.

Y el último tramo es de 0.61 m. de Ø y tiene una longitud de 323.5 m

Otro punto importante es que el proyecto se realizó de manera urgente por eso no se cuenta con información muy completa de la zona de proyecto.

### **1.5.- Storm Wáter Management Model**

Y como se tenía previsto que conforme se va extendiendo la mancha urbana en la Ciudad de México, más urgente será realizar los proyectos para cubrir sus necesidades, por eso es necesario hacer uso de las nuevas herramientas que nos ha proporcionado la tecnología, lo que nosotros llamamos programas de computadoras o software.

Actualmente existen una gran variedad de programas en todos los ramos de la ingeniería civil, los cuales son de gran apoyo para realizar proyectos mejores y más rápidos, y en el área de la hidráulica no es la excepción. En esta área entre los software que se pueden mencionar son el EPANET, el Storm Wáter Management Model (SWMM) y otra extensión de Autodesk Storm and Sanitary Analysis. Aunque estos programas tienen funciones similares, ya que se utilizan para realizar simulaciones de los caudales y en otros son distintos porque uno es para agua potable y los otros dos son para agua pluvial, pero ya en el área ingenieril son herramientas que ayudan a resolver problemas de manera más rápida.

Para el caso en particular se enfocara en el empleo del SWMM, es de versión libre, este software se utiliza para la simulación de precipitaciones para un único acontecimiento o para simulación de periodo extendido, y esta herramienta es muy útil para alcantarillados urbanos, el cual mostrara la forma como se comportará el caudal dentro de la tubería y comparar los resultados de soluciones directas que se proponen en los proyectos con los resultados que arrojará el programa. Y a continuación se muestra el lugar donde fue hecho el proyecto y además existe una estación pluviografica cerca el "COYOL". Ver figura 3.

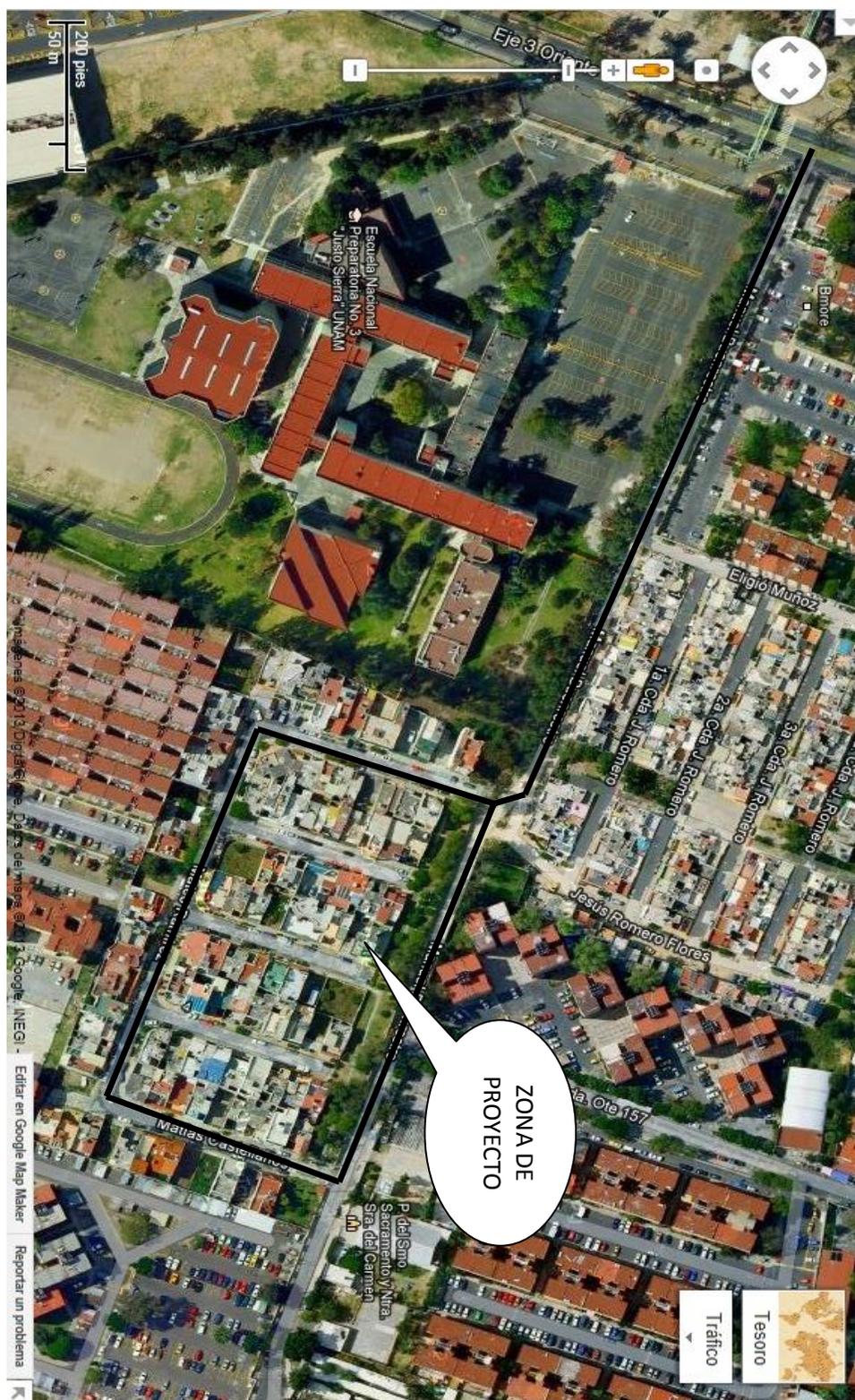


Figura 2

Google Map; Colonia Ferrocarrilera Insurgentes; c. a. 2013 Datos de mapa 2013 Google INEGI.

Imagen tomada del sitio: [www.maps.google.com.mx](http://www.maps.google.com.mx)

Fecha de actualización: 20 de Marzo de 2013.



Figura 3

Google Map: Zona de proyecto y estación Pluviografica; c. a. 2013; Datos de mapa 2013 Google INEGI. Imagen tomada del sitio: [www.maps.google.com.mx](http://www.maps.google.com.mx)

Fecha de actualización: 20 de Marzo de 2013

## II.-FUNDAMENTOS DE ALCANTARILLADO

### 2.1.- Clasificación de un sistema de alcantarillado

El sistema de alcantarillado es un conjunto de conductos y estructuras que tienen como principal función la conducción de aguas residuales y pluviales hasta sitios en donde no provoquen daños e inconvenientes a los habitantes de poblaciones de donde provienen o a las cercanas.

Los sistemas de alcantarillado son de tres tipos, y se clasifican así debido al tipo de agua que transportan:

- 1).-Alcantarillado sanitario: Diseñado para recolectar exclusivamente las aguas residuales domésticas e industriales.
- 2).-Alcantarillado pluvial: Sistema de evacuación de la escorrentía superficial producida por la precipitación únicamente.
- 3).-Alcantarillado combinado: Conduce simultáneamente las aguas residuales, domésticas e industriales y las aguas de lluvia.

En México este último es uno de los más utilizados debido a que los sistemas combinados tienen como ventajas el captar tanto aguas residuales, como pluviales, con lo cual el diseño, construcción y operación en apariencia es más económico. En este aspecto, los sistemas separados implican mayores inversiones y pueden resultar menos atractivos, especialmente cuando una población contará por primera vez con un sistema de alcantarillado.

### 2.2.- Sistema de alcantarillado

Los componentes principales de un sistema de alcantarillado se agrupan según la función para la cual son empleados. Así, un sistema de alcantarillado sanitario, pluvial o combinado, se integran de las siguientes partes:

- a) Estructuras de captación: Recolectan las aguas a transportar. En el caso de los sistemas de alcantarillado sanitario, se refieren a las conexiones domiciliarias formadas por tuberías conocidas como albañales. En los sistemas de alcantarillado pluvial se utilizan sumideros o bocas de tormenta como estructuras de captación, aunque pueden existir conexiones domiciliarias donde se vierta el agua de lluvia que cae en techos y patios.
- b) Estructuras de conducción: Transportan las aguas recolectadas por las estructuras de captación hacia el sitio de tratamiento y vertido. Representa la parte

medular de un sistema de alcantarillado y se forman conductos cerrados y abiertos conocidos como tuberías y canales, respectivamente.

c) Estructuras de conexión y mantenimiento: Facilitan la conexión y mantenimiento de los conductos que forman la red de alcantarillado, además de permitir la conexión de varias tuberías, incluso de diferente diámetro o material, también disponen del espacio suficiente para que una persona baje hasta el nivel de las tuberías y maniobre para llevar a cabo la limpieza e inspección de los conductos.

d) Estructuras de vertido: Son estructuras terminales que protegen y mantienen libre de obstáculos de descarga final del sistema de alcantarillado, evitan posibles daños al último tramo de tubería que pueden ser causados por la corriente a donde descarga el sistema o por el propio flujo de salida de la tubería.

e) Instalaciones complementarias: Se considera dentro de este grupo a todas aquellas instalaciones que no necesariamente forman parte de todos los sistemas de alcantarillado, pero que en ciertos casos resultan importantes para su correcto funcionamiento. Entre ellas se tiene a las plantas de bombeo, plantas de tratamiento, estructuras de cruce, vasos de regulación y detención, disipadores de energía, etc.

f) Disposición final: La disposición final de las aguas captadas por un sistema de alcantarillado no es una estructura que forme parte del mismo; sin embargo, representa una parte fundamental del proyecto de alcantarillado. Su importancia radica en que si no se define con anterioridad a la construcción del proyecto el destino de las aguas residuales o pluviales, entonces se pueden provocar graves daños al medio ambiente e incluso a la población servida o aquella que se encuentra cerca de la zona de vertido.

### **2.2.1.- Partes de sistema de alcantarillado.**

La expectativa de vida útil de los elementos que conforman una red de alcantarillado sanitario debe ser al menos 25 años.

Los elementos más importantes que integran un sistema de alcantarillado son los conductos que integran la red, estos reciben diversos nombres a lo largo del sistema. Todos estos elementos conducen aguas pero con diferentes capacidades, es decir que la principal diferencia reside en los diferentes diámetros que manejan. Además de los conductos en sí, el sistema cuenta con otras estructuras.

*Albañal:* Es el conducto que recolecta las aportaciones de aguas residuales de una casa o edificio y las descarga en una red municipal. El diámetro del albañal en la mayoría de los casos es de 15 cm, siendo este el mínimo recomendable.

*Atarjea:* Son las tuberías de diámetro mínimo, que recoge las aguas residuales de las descargas domiciliarias o albañal exterior y así poder conducir las y descargarlas en un colector por medio de un pozo.

*Bocas de tormenta:* Son estructuras que recolectan el agua que escurre sobre la superficie del terreno y la conducen al sistema de atarjeas.

*Colector:* Tubería que recoge las aguas residuales de las atarjeas o conducto principal el cual recibe todas las aportaciones de las descargas domiciliarias para conducir el agua hasta la parte final de la zona urbana.

*Coladeras pluviales:* Son estructuras que captan los escurrimientos superficiales debido a lluvia y conducirlos a la red de alcantarillado.

*Interceptor:* Es la tubería que recibe exclusivamente las aguas negras de los colectores y termina en un emisor o en la planta de tratamiento.

*Emisor:* Es el conducto que recibe las aguas de un colector o de un interceptor, no recibe ninguna aportación adicional en su trayecto y su función es conducir las aguas negras a la caja de entrada de la planta de tratamiento.

*Pozo de visita:* Estructura que se emplea como medio de acceso para la inspección y limpieza de las atarjeas y colectores. Además se utiliza para hacer cambios en la dirección del flujo, en el diámetro de las tuberías y en su pendiente, así como para la conexión de atarjeas y colectores.

### **2.3.- Variables hidráulicas permisibles**

#### **- Velocidades**

a) *Velocidad mínima:* La velocidad mínima considerada es aquella con la cual no se presentan depósitos de sólidos suspendidos en las atarjeas que provoquen azolves y taponamientos. La velocidad mínima permisible es de 0.3 m/s, considerando el gasto mínimo.

Adicionalmente, debe asegurarse que dicho tirante tenga un valor mínimo de 1.0 cm en casos de pendientes fuertes y de 1.5 en casos normales.

b) *Velocidad máxima:* La velocidad máxima es el límite superior de diseño, con el cual se trata de evitar la erosión de las paredes de las tuberías y estructuras de drenaje sanitario. La velocidad máxima permisible para los diferentes tipos de material se muestra en la siguiente tabla. Para su revisión se utiliza el gasto máximo extraordinario. Ver tabla 5.

<b>Tabla 5: Velocidades máxima y mínima permisible</b>		
<b>Material</b>	<b>Velocidades</b>	
	<b>Máxima</b>	<b>Mínima</b>
Acero (sin revestimiento, revestido y galvanizado)	3	0.3
Concreto reforzado	5	
Concreto simple		
Fibrocemento		
Polietileno de alta densidad (PEAD)		
Poli (cloruro de vinilo) (PVC)		
Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	3	

### -Pendientes

La finalidad de limitar los valores de pendientes es evitar, hasta donde sea posible, el azolve y la erosión de las tuberías.

Para las pendientes pronunciadas, donde no se pueda seguir la pendiente del terreno, será necesario hacer escalonamiento en el perfil de la línea de drenaje, utilizando para este caso tuberías que no sean afectadas por el sulfuro de hidrogeno que se producen en las caídas libres.

Las pendientes deben seguir hasta donde sea posible el perfil del terreno, con el objeto de tener excavaciones mínimas, y tomando en cuenta las restricciones de velocidad y tirantes mínimos. Y en caso de pendientes muy fuertes, es conveniente considerar el diseño de tuberías que permitan velocidades altas.

### -Diámetros.

a) *Diámetro mínimo*: La experiencia en la conservación y operación de los sistemas de alcantarillado a través de los años, ha demostrado que para evitar obstrucciones, el diámetro mínimo en las tuberías debe ser de 20 cm.

b) *Diámetro máximo*: Está en función de varios factores, entre los que destacan: el gasto máximo extraordinario de diseño, las características topográficas y de mecánica de suelos de cada localidad en particular, el tipo de material de la tubería y los diámetros comerciales disponibles en el mercado.

En cualquier caso, la selección del diámetro depende de las velocidades permisibles, aprovechando al máximo la capacidad hidráulica del tubo trabajando a superficie libre.

## 2.4.- Aspectos de hidrología

Se llama hidrología a la rama de la hidráulica encargada del estudio de los procesos de circulación, ocurrencia y distribución del agua sobre la superficie terrestre, así como su interacción con el medio ambiente.

### 2.4.1.- Cuenca

Una cuenca es una unidad básica en un estudio hidrológico y se define como aquella área de terreno donde el agua de lluvia que cae sobre su superficie y que no se infiltra, es conducida hasta un punto de salida (cuenca abierta) o de almacenamiento (cuenca cerrada). Ver figura 4.

Dentro de la cuenca se considera la existencia de una corriente principal y de tributarios, que son afluentes de la primera. Por otra parte, el parteaguas es el límite de la cuenca, de modo que los puntos de mayor elevación topográfica señalan la zona hacia donde escurren las gotas.

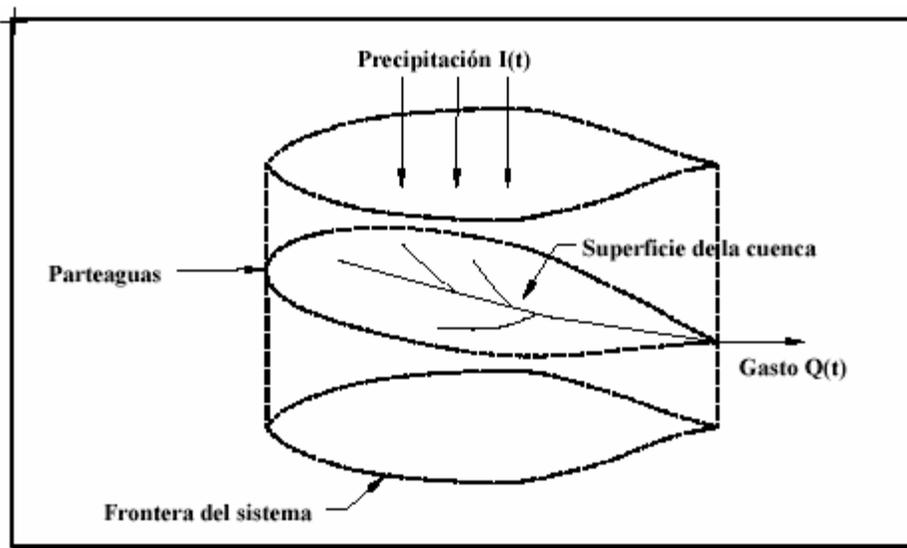


Figura 4

CNA; Representación esquemática de una cuenca; c. a. 2008.

Sin título; Imagen tomada del documento: Alcantarillado pluvial de la CNA.

Fecha de actualización: 30 de Marzo de 2013.

### **2.4.2.- Sistema hidrológico**

Se le llama sistema hidrológico al conjunto formado por las cuencas, las características locales del terreno (topografía, tipo de suelo, vegetación, etc.), las corrientes (subterráneas y superficiales) y todos aquellos factores que tienen influencia sobre la cantidad de agua existente en la cuenca (la precipitación, el clima, etc.). De lo anterior podemos mencionar que no existen dos cuencas iguales, aunque para efectos de cuantificación del escurrimiento, dos cuencas cercanas pudieran ser consideradas similares hidrológicamente.

Se le denomina drenaje a la forma de desalojo del agua en una cuenca. Es toda estructura, natural o artificial, que facilitan el escurrimiento y evita el almacenamiento del agua en una zona particular. Además existen dos tipos de drenaje:

- a) Natural: Está formado por las corrientes superficiales y subterráneas.
- b) Artificial: Es el que está integrado por todas aquellas conducciones construidas por el hombre.

Por otra parte el ciclo hidrológico se conforma de diferentes procesos por los que pasa el agua durante su transporte continuo entre los océanos, la atmósfera y la tierra.

Estas fases del ciclo del agua que son de interés en esta ocasión son la precipitación y el escurrimiento superficial, ya que sus efectos pueden llegar a provocar graves daños a las poblaciones o sitios en donde no están preparados para tales eventos.

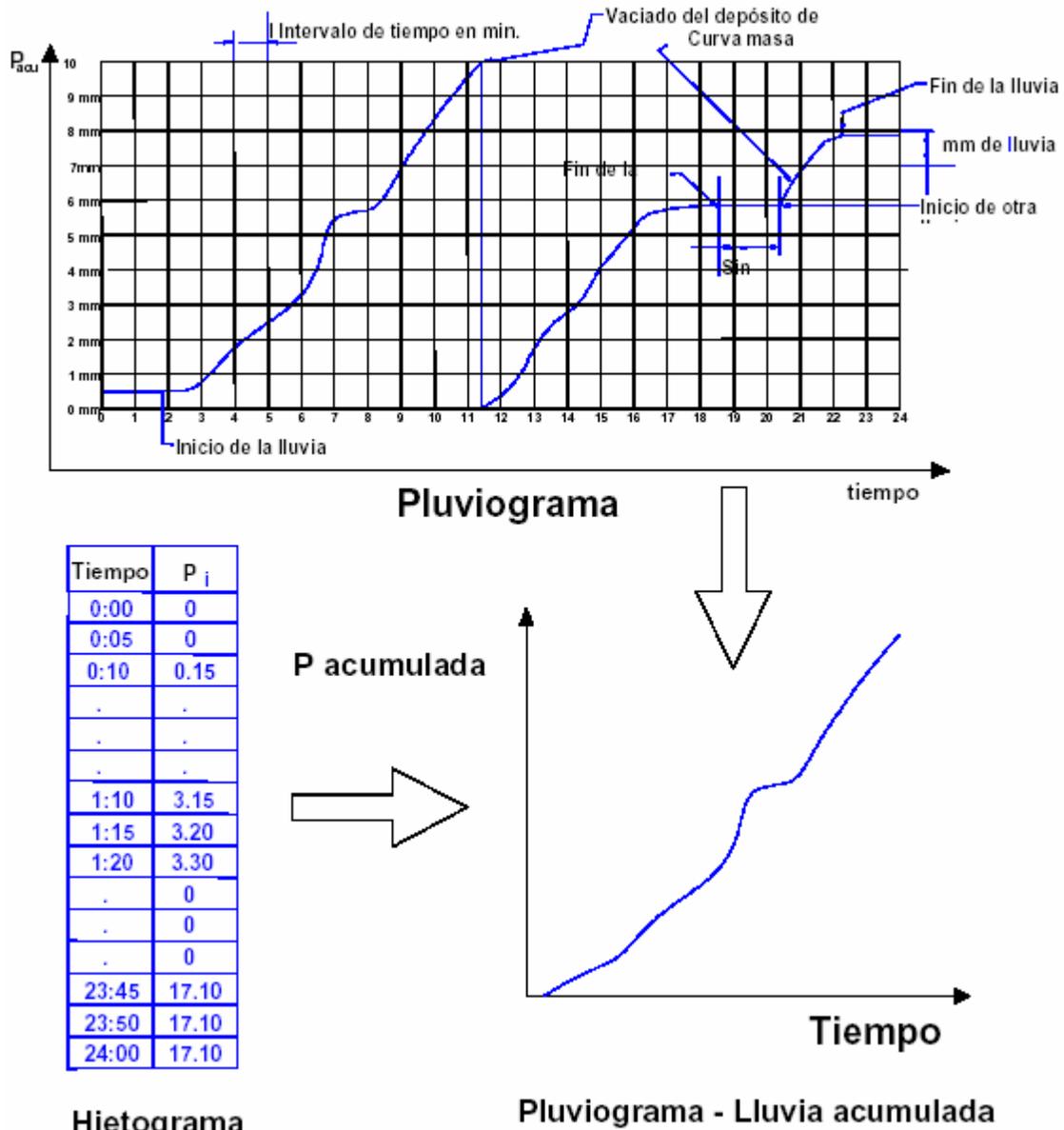
### **2.4.3.- Precipitación**

La precipitación son aquellos procesos mediante los cuales el agua cae de la atmósfera a la superficie de la tierra, en forma de lluvia, nieve o granizo. En México, la primera es la que genera aquellos escurrimientos superficiales que interesa controlar.

La magnitud de los escurrimientos superficiales está ligada proporcionalmente a la magnitud de la precipitación pluvial. Por eso los estudios de drenaje parten de este estudio de la precipitación para estimar los gastos de diseño que permiten dimensionar las obras de drenaje.

La medición de la precipitación se ha llevado a cabo, principalmente, con aparatos climatológicos conocidos como pluviómetros y pluviógrafos. Ambos se basan en la medición de una lámina de lluvia (mm), la cual se interpreta como la altura del

nivel del agua que se acumularía sobre el terreno sin infiltrarse o evaporarse sobre un área unitaria. La diferencia de los dispositivos de medición consiste que el primero mide la precipitación acumulada entre un cierto intervalo de tiempo de lectura (usualmente de 24 h), y el segundo registra en una gráfica (pluviograma) la altura de lluvia acumulada de acuerdo al tiempo, este último resulta más útil para el ingeniero encargado de diseñar las obras de drenaje. Ver figura 5.



**Hietograma**

Figura 5

CNA; Registro de pluviografo; c. a. 2008;

Sin título; Imagen tomada del documento: Alcantarillado pluvial

Fecha de actualización: 4 de Abril de 2013.

La ventaja de usar registros de los pluviografos con respecto a los de los pluviómetros radica en que se puede calcular intensidades máximas de lluvia para duraciones determinadas, que posteriormente pueden ser transformadas a gastos de diseño para estructuras de drenaje.

Para el Distrito Federal se emplean las Normas Técnicas Complementarias para el diseño y ejecución de obras e Instalaciones Hidráulicas en su apartado 1.2.3.- Sistemas de alcantarillado pluvial inciso C, menciona lo siguiente:

“Para obtener la intensidad de precipitación en el Distrito Federal, deberá obtenerse primero de la estación climatológica con pluviógrafo, más próxima a la zona donde se ubique la obra, con base en el periodo de retorno y la duración establecidos. En caso de no existir dicha estación, la intensidad de lluvia se podrá calcular a partir de la siguiente expresión:”

$$I = \frac{60h_p}{tc}$$

Donde:

$I$ =Intensidad de precipitación, en mm/hr.

$h_p$ = Altura de precipitación media para periodo de retorno  $T_r$  y una duración  $d$ , en min. Ver figura 6.

$tc$ = Tiempo de concentración, en min.

Para estimar el tiempo de concentración a través de la superficie, se utiliza la fórmula propuesta por Kirpich, y al igual para el Distrito Federal según las Normas Técnicas Complementarias para el diseño y ejecución de obras e Instalaciones Hidráulicas en su apartado 1.2.3.- Sistemas de alcantarillado pluvial, inciso D se da la siguiente expresión:

$$t_c = 0.0207 \frac{L^{1.155}}{H^{0.385}}$$

$t_c$  = Tiempo de concentración, en min.

$L$ = Longitud desde el punto más alejado del punto de captación, en metros.

$H$ =Desnivel entre el punto más alejado y el punto de captación, en metros.

Algunos autores proponen otras fórmulas para calcular el tiempo de concentración a través de la superficie. Sin embargo la ecuación anterior es la que se recomienda para el Distrito Federal.

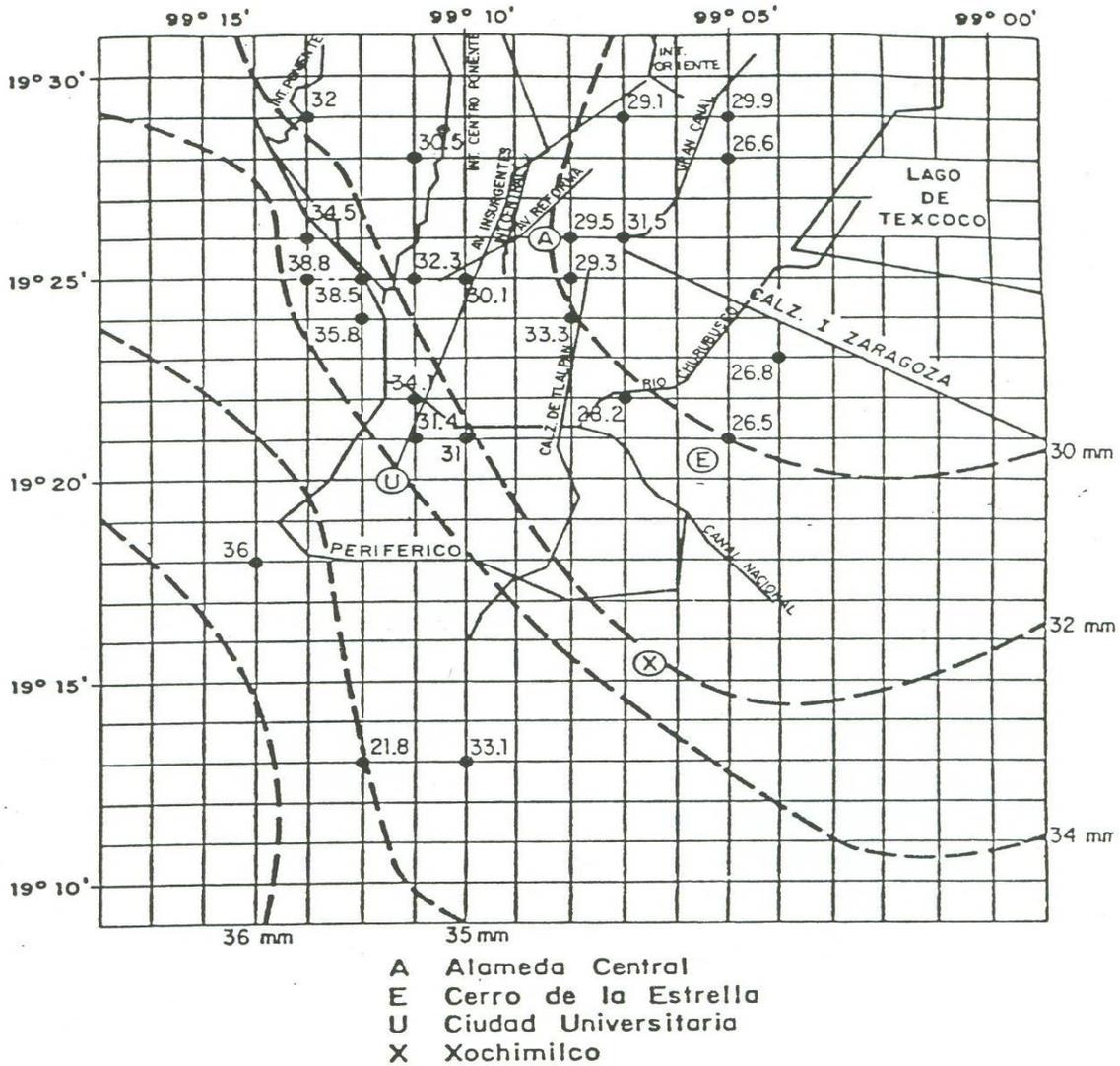


Fig 2.2 Isoyetas para D = 30 mm y Tr = 5 años

Figura 6

DGCOH; Isoyeta D= 30 mm y Tr= 5 años; c. a. 1982

Imagen tomada del libro: Manual de Hidráulica Urbana del DF Tomo I.

Fecha e actualización: 10 de Abril de 2013.

#### 2.4.4.- Escurrimientos

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que fluye sobre la superficie del terreno natural, y conforme pasa el tiempo, se integra a las corrientes para ser conducida hacia los ríos, lagos y en la mayoría de las ocasiones hasta el mar.

El propósito de los sistemas de alcantarillado pluvial es controlar y conducir los escurrimientos superficiales generados por el agua de lluvia sobre una zona particular o de servicio hacia un sitio donde no provoquen afectaciones. A fin de que tales sistemas sean diseñados de manera eficiente y económica, es preciso cuantificar el escurrimiento. Para ello se utilizan diversos métodos, con los cuales es posible proponer un hidrograma de diseño, aunque en ocasiones solo nos interesa conocer el gasto máximo para el diseño de una estructura.

Un hidrograma es la variación del gasto en función del tiempo, en donde al medir el volumen de agua que pasa a través de una sección transversal de un cauce por una unidad de tiempo, en donde podremos apreciar valores máximos (“picos”), que son ocasionados por una tormenta en particular.

##### 2.4.4.1.- Coeficiente de escurrimiento

En este se supone que las pérdidas son proporcionales a la intensidad de la precipitación, de tal manera que el volumen escurrido es igual al producto del volumen llovido por un coeficiente de escurrimiento. Por lo tanto el coeficiente de escurrimiento se determina con:

$$C_e = \frac{V_{ed}}{V_{II}}$$

Donde:

$V_{ed}$  = Volumen de escurrimiento directo ( $m^3$ ).

$V_{II}$  = Volumen llovido ( $m^3$ ), igual al producto del área de la cuenca por la altura de la lluvia.

$C_e$  = Coeficiente de escurrimiento.

Pero haciendo referencia a las Normas Técnicas Complementarias nos da una tabla en su apartado 1.2.3. Sistema de alcantarillado Pluvial y es la siguiente:

**Coefficiente de escurrimiento.**

Tabla 6: Tabla de área drenada	C	
	Min	Max
<b>ZONAS COMERCIALES</b>		
Zona comercial	0.75	0.95
Vecindarios	0.50	0.70
<b>ZONAS RESIDENCIALES</b>		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares espaciados	0.40	0.50
Multifamiliares compactos	0.60	0.75
Semiurbanas	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
<b>ZONAS INDUSTRIALES</b>		
Espaciado	0.50	0.80
Compacto	0.60	0.90
Cementerios y parques	0.10	0.25
Campos de juego	0.20	0.35
Patios de ferrocarril	0.20	0.40
Zonas suburbanas	0.10	0.30
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.80	0.95
Adoquinados	0.70	0.85
Estacionamientos	0.75	0.85
Techados	0.75	0.95
<b>PRADERAS</b>		
Suelos arenosos planos (Pendientes 0.02)	0.05	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02 - 0.07)	0.10	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 o más)	0.15	0.20
Suelos arcillosos planos (0.02 o menos)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02 - 0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 o más)	0.25	0.35

**2.4.5.-Infiltración y otras pérdidas**

De la lluvia que cae en una cuenca al producirse una tormenta, parte escurre superficialmente para alimentar los cauces por los que transita hasta llegar a la salida de la cuenca; otra parte es interceptada por la vegetación, retenida en depresiones del terreno, o bien se infiltra en el suelo, satisfaciendo primero la capacidad de almacenamiento del terreno, para posteriormente alimentar a los

acuíferos. A la parte formada por la intercepción, retención e infiltración, se le denomina “pérdida”.

Cuando las pérdidas son solo una parte del proceso lluvia-escorrimento, su importancia es de tal magnitud que se considero tratarlas por separado.

Para determinar las pérdidas existen distintas maneras de expresarlas, cuando se dispone de información simultánea de lluvias y escurrimientos ocurridos durante algunas tormentas.

#### **2.4.5.1.-Determinación de las pérdidas**

Cuando durante una tormenta se han medido simultáneamente la lluvia y el escurrimiento, la determinación de las pérdidas se hace a partir de su definición, es decir, restando al volumen llovido el volumen de escurrimiento directo:

$$V_p = V_{II} - V_{ed}$$

Donde:

$V_p$  = volumen de pérdidas ( $m^3$ ).

$V_{II}$  = volumen llovido ( $m^3$ ).

$V_{ed}$  = volumen de escurrimiento directo ( $m^3$ ).

El volumen de lluvia caída se calcula multiplicando la precipitación media en la cuenca por su área, y se acostumbra representarlo en forma de hietograma.

Los criterios más comúnmente usados para calcular la distribución de las pérdidas en el tiempo son:

- a) Criterio de la capacidad de infiltración media.
- b) Criterio de coeficiente de escurrimiento.

#### **2.4.5.2.-Criterio de la capacidad de infiltración media**

Este criterio parte de la suposición de que el suelo tiene una capacidad de infiltración constante durante toda la tormenta, de tal manera que, siempre que llueve con una intensidad menor que dicha capacidad, se infiltra todo lo que llueve, y cuando llueve con una intensidad mayor que la capacidad de infiltración, la diferencia escurre.

Para calcular la capacidad de infiltración correspondiente a una tormenta dada, se utiliza el procedimiento siguiente:

- 1) Del hidrograma de la avenida se separa el gasto base y se calcula el volumen de escurrimiento directo.
- 2) Se calcula la altura de la lluvia en exceso, dividiendo el volumen de escurrimiento directo entre el área de la cuenca.
- 3) Se supone un valor de  $\Phi$  (índice de infiltración) constante en el hietograma de la tormenta y se determina la altura de la lámina de lluvia en exceso con dicho hietograma. Si esta altura es igual a la calculada en el inciso 2), el valor de  $\Phi$  es el correcto; si no, se propone otro y se repite el cálculo hasta obtener el valor exacto.

#### **2.4.6.- Intensidad de lluvia y duración**

La intensidad de lluvia y la duración son dos conceptos asociados entre sí. La primera se define como la altura de lluvia acumulada por unidad de tiempo (usualmente se especifica en mm/h) y la segunda es simplemente un intervalo de tiempo (en min.).

Dado que la lluvia varía con el tiempo, la intensidad de lluvia depende del intervalo de tiempo considerado o duración (minutos). Para calcular la intensidad de lluvia es preciso conocer el pluviograma de una tormenta. A partir de ese, se define una duración, por ejemplo 10 minutos, para ubicar en él algún segmento de curva con dicha duración. La magnitud del desnivel del segmento de curva (mm) dividida entre la duración predefinida convertida en horas dará como resultado la intensidad de lluvia (mm/h) para la duración en particular.

##### **2.4.6.1.- Distribución espacial y temporal de la lluvia**

La variación espacial de la lluvia se puede conocer a partir de la comparación de los registros de lluvia de pluviómetros y pluviografos. Por otra parte, la variación temporal de la lluvia es fielmente representada en los pluviografos.

Los estudios de drenaje se basan en análisis de los registros de precipitación de una o varias estaciones climatológicas, dependiendo del tamaño de la cuenca en estudio. Debido a que las lecturas disponibles son diferentes en cada estación, deben seguirse ciertos procedimientos para utilizar la información disponible en el diseño.

#### **2.4.7.- Análisis de registro de la precipitación**

El tamaño de la cuenca en estudio indicara las estaciones necesarias para obtener los registros de precipitación. A continuación se presentan varios métodos para determinar las características principales de una tormenta sobre una zona de interés.

### 2.4.7.1.-Precipitación media

La precipitación media es el cociente de dividir el volumen total de agua generado por una tormenta entre el área de la cuenca. Es equivalente a suponer una distribución uniforme de la lluvia sobre toda la cuenca dando como resultado el registro de la misma altura de lluvia en cualquier punto de la cuenca.

Para calcular la precipitación media de una tormenta dada se dispone de tres métodos de uso generalizado en la práctica:

a) Método aritmético: Se obtiene dividiendo la suma de las alturas de lluvia registradas en todas las estaciones cercanas y dentro de la cuenca entre el número de estaciones.

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Donde:

$P$ = Altura de precipitación media (mm).

$P_i$ = Altura de precipitación registrada en la estación  $i$ .

$n$ = Número de estaciones en análisis.

b) Polígonos de Thiessen: Este método consiste primero en obtener el área tributaria de cada estación empleando polígonos y luego se calcula la lluvia media como un promedio pesado de la manera siguiente:

- Unir mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca las estaciones más próximas entre sí, con ello se forman triángulos en cuyos vértices se ubican las estaciones pluviométricas o pluviográficas.
- Trazar perpendiculares mediatrices a los lados de los triángulos. Por geometría, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un punto único.
- Cada estación quedara rodeada por las líneas rectas trazadas en el paso anterior y en algunos casos por el parteaguas de la cuenca, que forman los llamados polígonos de Thiessen. El área encerrado por ellos se conoce como el área de influencia de las estaciones correspondientes.
- La precipitación media se calcula como el promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como factor de peso el área de influencia:

$$P = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i$$

Donde:

$P$  = Altura de precipitación media (mm).

$A_i$  = Área de influencia de la estación  $i$  (km<sup>2</sup>).

$P_i$  = Altura de precipitación registrada en la estación  $i$  (mm).

$A_T$  = Área total de la cuenca (km<sup>2</sup>), igual a  $\sum_{i=1}^n A_i$ .

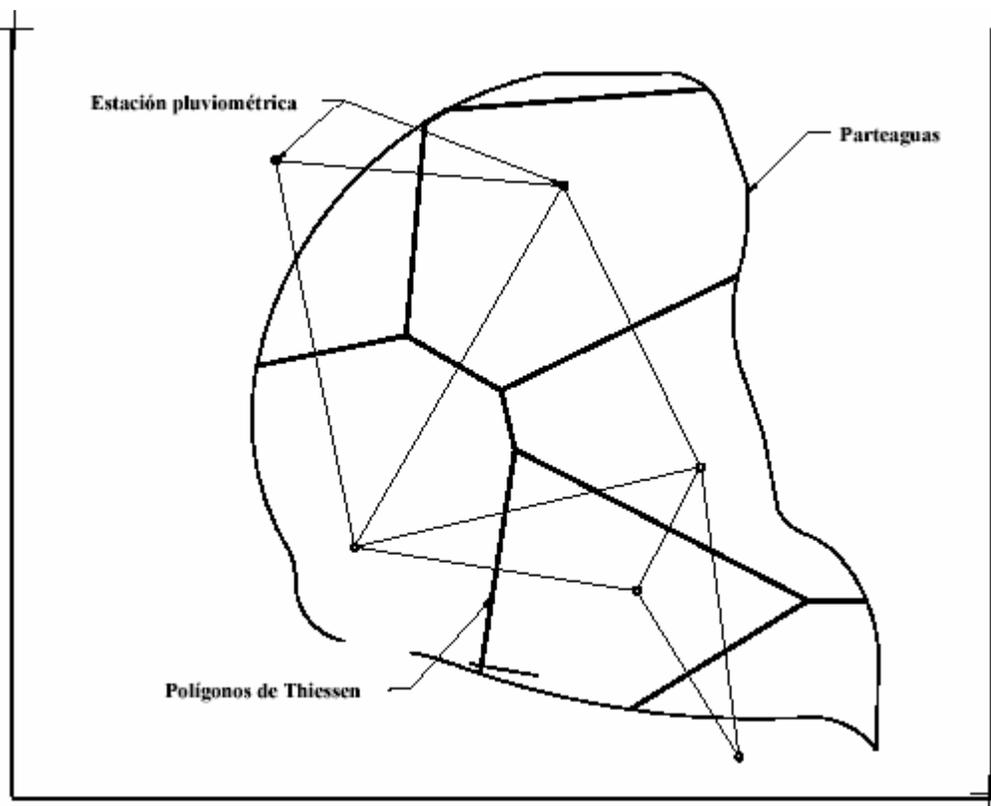


Figura 7

CNA; Aplicación de polígonos de Thiessen; c. a. 2008

Sin título; Imagen tomada del documento: Alcantarillado pluvial

Fecha de actualización: 18 de Abril de 2013.

c) Método de las isoyetas: Consiste en trazar sobre un plano de la cuenca donde se ubiquen las estaciones y los valores de lluvia registrados en cada estación, las líneas que unen puntos de igual altura de precipitación se les llama isoyetas, y se dibujan de forma semejante a como se hacen las curvas de nivel en topografía.

d) Para calcular la precipitación media se consideran como factor de peso al área entre dos isoyetas, el valor medio entre ambas isoyetas y el parteaguas de la cuenca.

Para emplear cualquiera de los métodos mencionados se requiere del plano de la cuenca en estudio, y en él que se indique la localización de los pluviómetros o pluviografos existentes, tanto dentro como fuera de la cuenca.

#### 2.4.7.2.- Curva masa media

Cuando se requiere conocer la variación en el tiempo de la precipitación media sobre la cuenca, es necesario determinar una curva masa media de precipitación.

Dicha curva se construye aplicando en forma similar, ya sea el método aritmético o el de los polígonos de Thiessen, a las alturas de precipitación acumuladas en cada estación para diferentes tiempos. El resultado obtenido es una curva masa media que se debe ajustar para ello se calcula la precipitación media de toda la tormenta con el método de las isoyetas y el de Thiessen, se obtiene un factor de ajuste igual al cociente de los anteriores valores:

$$F = \frac{P_I}{P_T}$$

Donde:

F= Factor de ajuste (adimensional).

$P_I$ = Altura de precipitación media de la tormenta calculada con el Método de las Isoyetas (mm).

$P_T$ = Altura de precipitación media de la tormenta calculada con el Método Aritmético o el de polígonos de Thiessen.

#### 2.4.8.-Periodo de retorno

En hidrología es común tratar con los conceptos de periodo de retorno y probabilidad de riesgo. El periodo de retorno o intervalo de recurrencias (en años), se define como el número de años en que en promedio, se presenta un evento y se calcula como:

$$Tr = \frac{1}{P(x)}$$

Donde:

$P(x)$ = Representa la probabilidad de ocurrencia de un evento mayor o igual a x.

Por otra parte, cuando se analizan registros históricos de un fenómeno, se les asigna un periodo de retorno de acuerdo a la frecuencia de cada evento. Para calcularlo, es común suponer que la frecuencia o intervalo de recurrencia de cada evento del grupo es similar a la observada; por ello se han propuesto varias formulas que permiten asignar un periodo de retorno a cada dato de la muestra en función de su frecuencia. Una de las más usuales es la fórmula de Weibull, la cual se escribe como:

$$Tr = \frac{n + 1}{m}$$

Donde:

m= Es el número de orden en una lista (de mayor a menor en el caso de máximos anuales)

n= Es el número de datos de la muestra.

## 2.5.- Proyecto.

En relación al proyecto se puede comentar que es un sistema combinado, el cual servirá para desalojar agua residual y pluvial. En el plano se puede ver cómo están distribuidas las calles y donde pasará la red, también se observa las pendientes que tiene el proyecto. Ver anexo

### 2.5.1.- Dotación

La dotación es un parámetro que sirve para determinar los gastos, que deberán considerarse en el diseño de los elementos del sistema. Se determina para cada año dentro del periodo de diseño, de la manera siguiente: la demanda (en m<sup>3</sup>/día) se divide entre el número total de habitantes de la zona de estudio en el año considerado y se multiplica por 1000 para obtener l/hab/día. Ver tabla 7.

<b>Tabla 7: Dotación por población</b>	
Población de proyecto (Habitantes)	Dotación (l/hab/día)
De 2,500 a 15,000	100
De 15,000 a 30,000	125
De 30,000 a 70,000	150
De 70,000 a 150,000	200
Mayor a 150,000	250

### 2.5.2.- Aportación de aguas residuales.

En un proyecto de alcantarillado sanitario muchos de los autores e investigadores concuerdan que el volumen de agua residual entregado a la red de alcantarillado es un porcentaje de la dotación de agua potable a la población, ya que cierto porcentaje no es enviado a la red de alcantarillado, como son lo que se utiliza en los jardines, el consumo humano, lavado de coches, etc.

La CNA a través del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) realiza mediciones en diferentes localidades del país, con objeto de definir el porcentaje de aportación, el cual será dado a conocer en su oportunidad, en tanto esto concluya se deberá seguir considerando el 75% de la dotación.

Es necesario tener en cuenta que en algunas localidades existen descargas concentradas considerables y con características especiales, como es el caso de las industrias con fuentes de abastecimiento propio, por lo que se deberán evaluar estos volúmenes para adicionarlos o no al cálculo anterior.

Es recomendable determinar los volúmenes de aportación con base en un muestreo de campo, seleccionando grupos de usuarios y realizando mediciones de descarga y consumo.

El consumo doméstico se calcula multiplicando los datos de consumo per cápita de la tabla siguiente por el número de habitantes de cada clase socioeconómica. Ver tabla 8.

Clima	Consumo por clase socioeconómica (l/hab/día)		
	residencial	media	Popular
Cálido	400	230	185
Semicalido	300	205	130
templado	250	195	100

---

---

### III.-ECUACIONES FUNDAMENTALES

Las ecuaciones de la Hidráulica se derivan de los principios fundamentales de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía aplicados a un volumen de control, dando origen a las ecuaciones llamadas de continuidad, cantidad de movimiento y energía respectivamente.

#### 3.1.- Continuidad.

El gasto puede ser evaluado en una sección transversal de un flujo si se conocen la velocidad media del flujo y el área hidráulica, pues su producto es precisamente igual al gasto.

$$Q = AV$$

Donde:

Q= Es el gasto ( $m^3/s$ )

A= Área hidráulica ( $m^2$ )

V= Velocidad media del flujo ( $m/s$ )

#### 3.2.- Cantidad de movimiento

La ecuación de cantidad de movimiento se deriva de la segunda ley de Newton del movimiento, la cual establece que “El producto de la masa de un cuerpo por la aceleración es igual a la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre él, incluyendo su propio peso”. Escrito en términos matemáticos se tiene que:

$$F = ma$$

Donde:

F= Es la fuerza resultante o suma de fuerzas.

m= Es la masa del cuerpo.

a= Es la aceleración.

La siguiente expresión es la ecuación de cantidad de movimiento para flujo no permanente con superficie libre y se emplea en conjunto con la ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial Y}{\partial x} = g(S - S_f)$$

Donde:

$V$  = Velocidad (m/s)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$S$  = Pendiente del cauce (milésimas)

### 3.3.- Energía

La energía total contenida en un fluido en movimiento es la suma de las energías correspondientes a la posición o elevación del flujo con respecto a un nivel de referencia (energía potencial), la presión estática (energía de presión) y la presión dinámica (energía cinética); lo cual expresado en términos matemáticos para un flujo con superficie libre se puede escribir como:

$$H = z + y + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Y para flujos a presión de la manera siguiente:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$H$  = Energía total o carga hidráulica (m)

$z$  = Nivel de fondo del cauce en conducciones con superficie libre o del eje de la tubería en conducciones a presión con respecto a un nivel de referencia (m).

$y$  = Tirante del flujo o carga en conducciones con superficie libre (m)

$p$  = Presión manométrica ( $N/m^2$ )

$\gamma$  = Peso volumétrico ( $N/m^3$ )

$\frac{p}{\gamma}$  = Carga de presión en conducciones a presión (m)

$V$  = Velocidad media del flujo (m/s)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$\alpha$ = Coeficiente de Coriolis o de la energía (adimensional)

$V^2/2g$ = Carga de velocidad (m)

### 3.4.- Fórmula de Manning

Para el cálculo hidráulico del alcantarillado se debe utilizar la fórmula de Manning, ya que es la que mejor simula el comportamiento del flujo a superficie libre.

$$V = \frac{1}{n} r h^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

V= Velocidad (m/s)

Rh= Radio hidráulico (m)

S= Pendiente del gradiente hidráulico (adimensional)

n= Coeficiente de “fricción” (adimensional)

El radio hidráulico se calcula con la expresión:

$$r h = \frac{A}{P_m}$$

Donde:

A= Área transversal del flujo, en m<sup>2</sup>.

P<sub>m</sub> = Perímetro mojado, en m.

El coeficiente “n” representa las características internas de la superficie de la tubería, su valor depende del tipo de material, calidad del acabado y el estado de la tubería, en lo cual en la siguiente tabla se dan valores del coeficiente “n” para ser usados en la fórmula de Manning: Ver tabla 9.

<b>Tabla 9: Coeficiente de fricción n (Manning)</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>n</b>
-PVC y polietileno de alta densidad	0.009
-Asbesto- cemento nuevo	0.010
-Asbesto-cemento usado	0.011-0.015

-Fierro fundido nuevo	0.013
-Fierro fundido usado	0.017
-Concreto liso	0.012
-Concreto áspero	0.016
-Concreto presforzado	0.012
-Concreto con buen acabado	0.014
-Mampostería con mortero cemento	0.020
-Acero soldado con revestimiento interior a base de epoxy	0.011
-Acero sin revestimiento	0.014
-Acero galvanizado nuevo o usado	0.014

También se pueden utilizar las siguientes ecuaciones para el cálculo de los elementos geométricos, en tuberías que trabajan parcialmente llenas:

$$\theta = 2 \cos^{-1} \frac{d}{r}$$

$$d = r (1 - \cos \theta / 2)$$

$$P_m = \frac{\pi D \theta}{360}$$

$$rh = \frac{r}{2} \left( 1 - \frac{360 \sin \theta}{2\pi \theta} \right)$$

$$A = r^2 \left( \frac{\pi \theta}{360} - \frac{\sin \theta}{2} \right)$$

Donde:

d= Tirante Hidráulico, m.

D= Diámetro interior del tubo, m.

A= Área de la sección transversal del flujo, m<sup>2</sup>.

P<sub>m</sub>=Perímetro mojado, m.

rh= Radio hidráulico, m.

θ= Ángulo en grados.

## **IV.-CARACTERÍSTICAS DEL STORM WATER MANAGEMENT MODEL**

### **4.1.- SWMM**

El Storm Water Management Model (Modelo de Gestión de Aguas Pluviales) de la EPA (Environmental Protection Agency), es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se utiliza para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El módulo de escorrentía o hidrológico del programa funciona con una serie de cuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía. El módulo de transporte hidráulico de SWMM analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tubería, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores. Además este programa es capaz de seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada cuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la calidad del agua en cada tubería y canal durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo.

### **4.2.- Características del modelo hidrológico**

Este programa considera distintos procesos hidrológicos que se producen en la salida de las aguas urbanas. Entre las cuales podemos mencionar:

- Precipitaciones variables en el tiempo.
- Evaporación de las aguas superficiales estancadas.
- Acumulación y deshielo de nieve.
- Intercepción de precipitaciones por almacenamiento en depresiones.
- Entrada del agua de la infiltración en acuíferos.
- Etc.

SWMM contiene un conjunto de herramientas de modelación de características hidráulicas utilizado para analizar el flujo debido a la escorrentía superficial y los aportes externos de caudal a través de una red de tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento. Y estas son algunas de las herramientas que contiene:

- Manejar redes de tamaño ilimitado.
- Utilizar una amplia variedad de geometrías para las conducciones, tanto abiertas como cerradas, así como canales naturales.
- Modelar elementos especiales como unidades de almacenamiento y tratamiento, divisores de flujo, bombas, vertedores y orificios.
- Realizar el análisis hidráulico por distintos métodos como el flujo uniforme, la onda cinemática o la modelación completa por onda dinámica.

- Modelar distintos regímenes de flujo, como pueden ser remanso, entrada en carga y acumulación en superficie.
- Aplicar controles dinámicos definidos por el usuario para simular el funcionamiento de las bombas, la abertura de los orificios o la posición de la cresta de un vertedero.

Este programa también puede estimar la producción y evolución de cargas contaminantes asociadas a las escorrentías. Y por eso se pueden modelar también los siguientes procesos para cualquier sustancia asociada con la calidad del agua, que el propio usuario quiera conocer:

- Acumulación de contaminantes durante tiempo seco para diferentes usos del suelo.
- Arrastre de los contaminantes en determinados usos del suelo durante episodios de tormenta.
- Contribución directa debida a la propia lluvia.
- Entrada de flujos sanitarios en tiempo seco y otros aportes externos especificados por el usuario en cualquier punto del sistema de drenaje.
- Seguimiento de las sustancias asociadas a la calidad del agua a lo largo de todo el sistema.
- Reducción en la concentración del contaminante por medio de tratamientos en depósitos o debido a procesos naturales en tuberías y canales.

### **4.3.- Aplicaciones del programa SWMM**

SWMM se desarrollo desde 1971, el cual ha experimentado desde su aparición diversas mejoras. Y se ha utilizado en miles de redes de evacuación de aguas tanto residuales como pluviales. Entre las funciones que ha desempeñado se pueden mencionar:

- Diseño y dimensionamiento de componentes de la red de drenaje para prevenir inundaciones.
- Dimensionamiento de estructuras de retención y accesorios correspondientes para el control de inundaciones y protección de la calidad del agua.
- Delimitación de zonas de inundación en barrancos y cauces naturales.
- Diseño de estrategias de control de la red para minimizar el número de descargas de sistemas unitarios.
- Evaluación del impacto de aportes e infiltraciones en las descargas de sistemas de evacuación de aguas residuales.
- Generar cargas de fuentes contaminantes no puntuales para estudios de acumulación de residuos.

#### **4.4.- Modelo conceptual utilizado por SWMM**

SWMM representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una serie de flujos de agua y materia entre los principales módulos que componen un análisis medioambiental. Estos módulos y sus correspondientes objetos de SWMM son los siguientes:

- El Módulo Atmosférico: Es desde la cual se analiza la lluvia caída y los contaminantes depositados sobre la superficie del suelo, que se analiza en el Módulo de Superficie del Suelo. SWMM utiliza el objeto Pluviómetro, para representar las entradas de lluvia en el sistema.
- El Módulo de Superficie del Suelo: Que representa a través de uno o más objetos cuenca. Estos reciben la precipitación del Módulo Atmosférico en forma de lluvia o nieve, y generan flujos de salida en forma de infiltración para el Modulo de Aguas Subterráneas y también como escorrentía superficial y cargas de contaminantes para el Módulo de Transporte.
- El Módulo de Aguas Subterráneas recibe infiltración del Módulo de Superficie del Suelo y transfiere una parte de la misma como flujo de entrada para el Módulo de Transporte. Este módulo se modela utilizando los objetos Acuíferos.
- El Módulo de Transporte contiene una red con elementos de transportes (canales, tuberías, bombas y elementos de regulación) y unidades de almacenamiento y tratamiento que transportan el agua hacia los Nudos de Vertido o las estaciones de tratamiento.

##### **4.4.1.-Pluviómetros**

Los pluviómetros suministran los datos de entrada de las precipitaciones que ocurren sobre una o varias de las cuencas definidas en el área de estudio. Los datos de lluvia pueden ser definidos por el usuario mediante series temporales de datos o provenir de un archivo externo al programa.

Las propiedades principales de entrada de un pluviómetro son:

- Tipo de datos de lluvia (por ejemplo, intensidad de lluvia, volumen o volumen acumulado).
- Intervalo de tiempo de los datos (por ejemplo, cada hora, cada 15 minutos, etc.).
- Origen de los datos de lluvia (especificando si es una serie temporal o un archivo externo).
- Nombre del origen de datos de lluvia.

#### 4.4.2.- Cuencas.

Las cuencas son unidades hidrológicas de terreno cuya topografía y elementos del sistema de drenaje conducen la escorrentía directamente hacia un punto de descarga. Los puntos de salida (outlet) de cada una de las cuencas pueden ser bien nudos del sistema de drenaje o bien otras cuencas.

Las cuencas pueden dividirse en subáreas permeables y subáreas impermeables. La escorrentía superficial puede infiltrarse en la parte superior del terreno de las subáreas permeables, pero no a través de las subáreas impermeables. El flujo de escorrentía desde una subárea de la cuenca puede fluir hacia otra subárea o por el contrario dos subáreas pueden drenar directamente hacia la salida de la cuenca.

La infiltración de lluvia de las zonas permeables de una determinada cuenca sobre la parte superior del suelo no saturado puede describirse utilizando tres modelos diferentes:

- El modelo de infiltración de Horton.
- El modelo de infiltración de Green-Ampt.
- El modelo de infiltración basado en el Número de Curva del SCS.

El resto de los parámetros principales de entrada de una cuenca son:

- El pluviómetro asignado.
- El nudo o la cuenca donde descarga la cuenca representada.
- Los usos del suelo asignado.
- Las áreas y superficies tributarias.
- El porcentaje de impermeabilidad.
- La pendiente de la cuenca.
- La anchura característica del flujo en superficie.
- Valor del coeficiente de Manning  $n$  para el flujo superficial tanto para áreas permeables como para áreas impermeables.
- El almacenamiento en depresión tanto para áreas permeables como áreas impermeables.
- El porcentaje de suelo impermeable carente de almacenamiento en depresión.

#### 4.4.3.- Nudos de conexión

Las conexiones son nudos del sistema de drenaje donde se conectan diferentes líneas entre sí. Físicamente pueden representar la confluencia de canales superficiales naturales, pozos de registro (o pozos de visita) del sistema de drenaje, o elementos de conexión de tuberías. Los aportes externos de caudal

---

entran en el sistema a través de conexiones. El exceso de agua en un nudo se traduce en un flujo parcialmente presurizado mientras las conducciones conectadas se encuentran en carga. Este exceso de agua puede perderse completamente del sistema o por el contrario estancarse en la parte superior para posteriormente volver a entrar de nuevo en la conexión.

Los parámetros principales de entrada de una conexión son:

- Cota de fondo o fondo del pozo que puede encontrarse en la conexión.
- Profundidad del pozo.
- Área superficial del área estancada cuando se produce un fenómeno de inundación. Este es un parámetro opcional de entrada.
- Datos de aportes externos de caudal. También es otro parámetro opcional.

#### **4.4.4.- Nudo de vertido.**

Los Nudos de Vertido son nudos terminales del sistema de drenaje utilizados para definir las condiciones de contorno finales aguas abajo del sistema en el caso de utilizar el modelo de flujo de la Onda Dinámica. Una restricción del modelo es que solo es posible conectar una línea con un Nudo de Vertido.

Las condiciones de contorno en los Nudos de Vertido pueden describirse mediante una de las siguientes relaciones:

- El calado crítico o el calado uniforme en la conexión con el contorno.
- Un nivel fijo de agua.
- El nivel de mareas representado como los diferentes niveles de la misma a lo largo del día.
- Una serie temporal que represente el nivel de agua en el punto de descarga a lo largo del tiempo.

Los parámetros de entrada principales de un Nudo de Vertido son:

- La cota de fondo.
- La descripción del tipo y estado de la condición de contorno.
- La presencia de una válvula de compuerta para prevenir el flujo inverso desde el Nudo de Vertido.

#### **4.4.5.- Divisores de flujo**

Los divisores de flujo son nudos del sistema de transporte utilizados para dividir el flujo en dos conductos de salida de modo definido por el usuario. Estos divisores de caudal tan solo pueden tener dos conductos en la descarga de lo mismo. Se encuentran activos tan solo cuando se analiza el fenómeno mediante el modelo de

la Onda Cinemática y se trata como simples nudos cuando se emplea el modelo de la Onda Dinámica.

Los principales parámetros de entrada para un divisor de caudal son:

- Los mismos datos necesarios para representar una conexión, tal como se mostro anteriormente.
- El nombre de la línea que recibe los caudales derivados.
- El método empleado para calcular la cantidad de caudal derivado.

#### **4.4.6.-Sistemas de almacenamiento**

Los sistemas de almacenamiento con nudos del sistema de drenaje con la capacidad para almacenar determinados volúmenes de agua. Físicamente pueden representar desde sistemas de almacenamiento pequeños como reducidas cuencas hasta sistemas grandes como lagos.

Los principales parámetros de entrada de un sistema de almacenamiento son:

- La cota de fondo
- La altura máxima del mismo.
- La tabla de datos que relaciona la altura del sistema de almacenamiento con la superficie del mismo.
- La proporción de evaporación que se produce en el sistema de almacenamiento.
- Superficie de almacenamiento del agua estancada cuando se produce inundación. Es un parámetro opcional que depende de si se encuentra activada o no la opción.
- Los datos de aportes externos de caudal. Dato opcional.

#### **4.4.7.- Conductos**

Los conductos son tuberías o canales por los que se desplaza el agua desde un nudo a otro del sistema de transporte. Es posible seleccionar la sección transversal las distintas variedades de geometrías abiertas y cerradas definidas por el programa. Asimismo el programa permite también definir áreas de sección transversal irregular permitiendo representar con ello cauces naturales.

SWMM emplea la ecuación de Manning para establecer la relación entre el caudal que circula por el conducto ( $Q$ ), la sección del mismo ( $A$ ), su radio hidráulico ( $R_h$ ) y la pendiente ( $S$ ) tanto para canales abiertos como para conductos cerrados parcialmente llenos.

Así mismo dicha ecuación en unidades del Sistema Internacional se expresa como:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} \bar{S}$$

Los principales parámetros de entrada para las conducciones son:

- Nombre de los nudos de entrada y salida.
- Alturas del conducto respecto de la cota de fondo de los nudos inicial y final.
- Longitud del conducto.
- Coeficiente de Manning.
- Geometría de la sección transversal del conducto.
- Coeficiente de pérdidas tanto para la entrada como para la salida del conducto.
- Presencia de una válvula de compuerta para prevenir el flujo inverso.

#### **4.4.8.-Reguladores de caudal.**

Los reguladores de Caudal son estructuras y dispositivos utilizados para controlar y derivar los caudales dentro del sistema de transporte. Físicamente se emplean para:

- Control de las emisiones desde las unidades de almacenamiento.
- Prevención de fenómenos de entrada en carga inaceptables de conductos.
- Derivación de caudales para su tratamiento en los sistemas de intercepción.

Los elementos reguladores de caudal que puede modelar SWMM son los siguientes:

- Orificios
- Vertedores
- Descargas

##### **4.4.8.1.- Orificios**

Los orificios se emplean para modelar descargas y estructuras de derivación en los sistemas de drenaje. Estos elementos normalmente son aperturas en las paredes de los pozos de registro, sistemas de almacenamiento o compuertas de control. Estos elementos en SWMM se representan como una línea que conecta dos nudos entre sí.

Los orificios se pueden utilizar como sistemas de descarga de las unidades de almacenamiento en cualquiera de los modelos hidráulicos.

El flujo a través de un orificio completamente sumergido se puede calcular como:

$$Q = C.A \sqrt{2gh}$$

Donde:

Q= Es el caudal.

C= Coeficiente de descarga.

A= La sección del orificio.

g= La aceleración de la gravedad.

h= La diferencia de alturas a través del orificio.

Los parámetros principales de entrada de un orificio son:

- Nombre de los nudos de entrada y salida del orificio
- Configuración, definiendo si el orificio se encuentra en la parte superior o en un lateral.
- Forma del orificio, indicando si es circular o rectangular.
- Altura del orificio sobre la cota de fondo del nudo.
- Coeficiente de descarga del orificio.

#### **4.4.8.2.- Vertederos**

Los vertederos, al igual que los orificios, se emplean para modelar descargas y estructuras de separación del flujo en sistema de drenaje. Los vertederos se localizan normalmente en los pozos de registro, a lo largo de uno de los lados de uno de los conductos o canales, o bien en los sistemas de almacenamiento.

Los principales parámetros de entrada de un vertedero son:

- Nombre de los nudos de entrada y salida del vertedero.
- Forma y geometría del vertedero.
- Altura de la cresta del vertedero sobre la cota del fondo del nudo de entrada.
- Coeficiente de descarga.

#### **4.4.8.3.- Descargas**

Las descargas son dispositivos de control del caudal que se emplean de forma habitual para controlar los caudales de descarga de las unidades de almacenamiento. Se emplean para modelar sistemas con relaciones especiales entre la altura y el caudal de descarga que no pueden ser caracterizadas mediante bombas, orificios y vertederos.

Los principales parámetros de una descarga son:

- Nombre de los nudos de entrada y salida de la descarga.
- Altura sobre la cota de fondo del nudo de entrada.
- Función o tabla que relaciona la altura entre el caudal descargado por el vertedero.

#### **4.5.- Objetos virtuales**

Además de los objetos físicos que pueden ser visualizados en el mapa, EPA SWMM utiliza las siguientes categorías de objetos virtuales para describir cada proceso, así como sus características adicionales dentro de un área de estudio, estos objetos virtuales son aquellos que no tienen representación gráfica en el mapa.

##### **4.5.1.- Temperatura.**

Los datos de temperaturas del aire se emplean para simular los procesos de caída y deshielo de la nieve durante los cálculos de escorrentía. En el caso de no simular este tipo de proceso no es necesario introducir los datos de temperatura. Estos datos de temperatura se suministran al programa mediante una de las siguientes formas:

- Una serie de valores a lo largo del tiempo definido por el usuario, de forma que los valores para intervalos de tiempo intermedio se interpolan.
- Un fichero externo con los datos de climatología que contiene los valores máximo y mínimo diarios.

##### **4.5.2.- Evaporación**

La evaporación se puede dar para aguas estancadas en las superficies de las cuencas, para el agua subterránea contenida en los acuíferos, y para el agua acumulada en las unidades de almacenamiento. La cantidad de agua evaporada se puede definir de las siguientes formas:

- Un único valor constante.
- Un sistema de valores medios mensuales.

- Una serie temporal de valores diarios definidos por el usuario.
- Valores diarios leídos desde un archivo de datos climatológicos externo.

#### **4.5.3.- Acuíferos**

Los acuíferos son áreas subsuperficiales de aguas subterráneas utilizadas para modelar el movimiento vertical del agua infiltrada desde las cuencas que se encuentran en la parte superior. Los acuíferos son necesarios únicamente en modelos en los que se contempla la posibilidad de intercambio de volúmenes de agua entre las aguas subterráneas y el sistema de drenaje o bien en sistemas en los que se establecen los caudales básicos y las curvas de retroceso de cauces y sistemas no urbanos.

Los acuíferos se representan utilizando dos zonas, una insaturada y otra saturada. Su comportamiento se caracteriza utilizando parámetros tales como porosidad del suelo, la conductividad eléctrica, la profundidad de evapotranspiración, la cota de la parte superior del acuífero y las pérdidas en función de la profundidad del pozo.

#### **4.6.- Aportes externos de caudal**

Además de las entradas de caudal proveniente de la escorrentía y de las aguas subterráneas de las cuencas, los nudos del sistema de drenaje pueden recibir otros tres tipos de aportes externos de caudal:

a).- Aportes directos de caudal: Se trata de series temporales de valores de caudales que entran directamente en el nudo definidos por el usuario. Pueden utilizarse para representar el modelo hidráulico de caudales y calidad de agua en ausencia de cálculos de escorrentía.

b).- Caudales de tiempo seco: Existen continuas entradas de caudal que reflejan las contribuciones que los caudales de aguas negras realizan al sistema de drenaje. Puede considerarse estos caudales como unos caudales de referencia de los conductos o canales. Estos caudales se representan mediante un caudal de entrada medio que puede ajustarse de forma periódica, bien mensualmente, diariamente y de hora en hora mediante la aplicación de unos patrones que multiplican el valor introducido como referencia.

c).- Entrada e Infiltraciones relacionadas con las lluvias: Se trata de caudales que provienen de las aguas de lluvia que se introducen en los sistemas de saneamiento debido a aportes directos en las conexiones con los pozos de registro, en los colectores de bombeo, en el fondo de los sistemas de drenaje, etc.; así como las infiltraciones de aguas subsuperficiales a través de roturas en las conducciones, fugas en las conexiones, malas conexiones de los pozos de registros. Estos caudales pueden calcularse para los datos de una determinada

lluvia basándose en una serie de hidrogramas unitarios que establecen la respuesta a corto plazo, medio plazo y largo plazo en cada uno de los periodos de la lluvia definida.

Los tres tipos de aportes ya mencionados son propiedades asociadas a cada tipo de nudo del sistema de saneamiento (conexiones, nudos de vertido, divisores de caudal y unidades de almacenamiento) y pueden especificarse al editarse las propiedades del nudo.

#### **4.7.- Series temporales de datos**

Las series temporales de datos son objetos definidos en SWMM para describir determinadas propiedades de algunos de los objetos del proyecto que varían con el tiempo. Estas series temporales pueden utilizarse para introducir:

- Los datos de temperatura
- Los datos de evaporación
- Los datos de lluvia
- Los niveles en los nudos de descarga
- Hidrogramas externos de entrada de caudal al sistema de saneamiento a través de los nudos.

Cada una de las series temporales de datos debe tener su propio nombre identificativo que ha de ser único dentro de un mismo proyecto de SWMM. A cada una de estas series se le puede asignar tanto datos como se desee. El tiempo se puede especificar bien en horas desde el inicio de la simulación o bien como una referencia absoluta a una fecha y hora concretas.

#### **4.8.- Métodos computacionales**

SWMM es un modelo de simulación basado en fenómenos físicos, que utiliza una solución discreta en el tiempo del fenómeno. En su formulación emplea los principios de conservación de la masa, de la energía y de la cantidad de movimiento siempre que es posible. A continuación se describen brevemente los diferentes métodos empleados por el programa para modelar tanto la cantidad como la calidad de la escorrentía:

##### **4.8.1.- Escorrentía superficial.**

Cada una de las cuencas se trata como un depósito no lineal. Los aportes de caudal provienen de los diferentes tipos de precipitación (lluvia, nieve) y de cualquier otra cuenca situada aguas arriba. Existen diferentes caudales de salida tales como la infiltración, la evaporación y la escorrentía superficial. La capacidad de este “depósito” es el valor máximo de un parámetro denominado

almacenamiento en depresión, que corresponde con el máximo almacenamiento en superficie debido a la inundación del terreno, el mojado superficial del suelo y los caudales interceptados en la escorrentía superficial por las irregularidades del terreno. La escorrentía superficial por unidad de área, se produce únicamente cuando la profundidad del agua en este depósito excede el valor del máximo almacenamiento en depresión, en cuyo caso el caudal de salida se obtiene por la aplicación de la ecuación de Manning.

#### **4.8.2.- Infiltración**

La infiltración es el fenómeno por el cual el agua de lluvia penetra la superficie del terreno de los suelos no saturados de las áreas permeables de la cuenca. SWMM permite seleccionar tres modelos diferentes de infiltración:

- La ecuación de Horton: Este método se basa en observaciones empíricas y propone que la infiltración decrece exponencialmente desde un valor inicial máximo y hasta un cierto valor mínimo a lo largo del evento de la lluvia. Los parámetros de entrada necesarios para este modelo son los valores de infiltración máxima y mínima, el coeficiente de decaimiento que describe lo rápido que se produce la disminución de la infiltración a lo largo del tiempo, y el tiempo necesario para saturar completamente un suelo que inicialmente estaba completamente seco.
- El método de Green-Ampt: Para modelar el fenómeno de la infiltración este método asume la existencia de un frente húmedo brusco en el suelo que separa el suelo con un determinado contenido inicial de humedad del suelo completamente saturado de la parte superior. Los parámetros necesarios son el valor del déficit inicial de humedad del suelo, la conductividad hidráulica del suelo y la altura de succión en el frente húmedo.
- El método del Número de Curva: Este método es una aproximación adoptada a partir del número denominado de Curva de NRCS para estimar la escorrentía. Se asume así que la capacidad total de infiltración del suelo puede encontrarse en una tabla de Números de Curvas tabulados. Durante un evento de lluvia esta capacidad se representa como una función de la lluvia acumulada y de la capacidad de infiltración restante. Los parámetros de entrada para este método son el número de curva, la conductividad hidráulica del suelo y el tiempo que tarda el suelo en saturarse completamente cuando inicialmente era un suelo completamente seco.

#### **4.8.3.- Modelo hidráulico de transporte**

El transporte de agua por el interior de cualquiera de los conductos representados en SWMM está gobernado por las ecuaciones de conservación de la masa y de la

cantidad de movimiento tanto para el flujo gradualmente variado como para el flujo transitorio. El usuario puede seleccionar el nivel de sofisticación con que desea resolver estas ecuaciones:

- El Modelo de Flujo Uniforme: El modelo de flujo uniforme representa la forma más simple de representar el comportamiento del agua en el interior de los conductos. Para ello se asume que en cada uno de los incrementos de tiempo de cálculo considerados el flujo es uniforme. De esta forma el modelo simplemente traslada las hidrogramas de entrada en el nudo aguas arriba del conducto hacia el nudo final del mismo con un cierto retardo y cambio en el aspecto del mismo.  
Este tipo de modelo hidráulico no puede tener en cuenta el almacenamiento de agua que se produce en los conductos, los fenómenos de resalto hidráulico, las pérdidas a la entrada y salida de los pozos de registro, el flujo inverso o los fenómenos de flujo presurizado. Solo puede utilizarse en sistemas ramificados, donde cada uno de los nudos tiene únicamente una línea hacia la que vierte sus aguas. Este modelo de análisis es insensible al incremento de tiempo seleccionado y únicamente es apropiado para realizar análisis preliminares utilizando simulaciones continuas de escalas de tiempos grandes.
- Modelo de la Onda Cinemática: Este modelo hidráulico de transporte resuelve la ecuación de continuidad junto con una forma simplificada de la ecuación de la cantidad de movimiento en cada una de las conducciones.  
El caudal máximo que puede fluir por el interior de un conducto es el caudal lleno determinado por la ecuación de Manning. Cualquier exceso de caudal sobre este valor en el nudo de entrada del conducto se pierde del sistema o puede permanecer estancado en la parte superior del nudo de entrada y entrar posteriormente en el sistema cuando la capacidad del conducto lo permita.  
El modelo de la onda cinemática permite que tanto el caudal como el área varíen tanto espacial como temporalmente en el interior del conducto.
- Modelo de la Onda Dinámica: El modelo de transporte de la onda dinámica resuelve las ecuaciones completas unidimensionales de Saint Venant y por tanto teóricamente genera los resultados más precisos. Estas ecuaciones suponen la aplicación de la ecuación de continuidad y de cantidad de movimientos en las conducciones y la cantidad de los volúmenes en los nudos.  
Con este tipo de modelo de transporte es posible representar el flujo presurizado cuando una conducción cerrada se encuentra completamente llena, de forma que el caudal que circula por la misma puede exceder del

valor de caudal a tubo completamente lleno obtenido mediante la ecuación de Manning.

Este modelo puede contemplar efectos como el almacenamiento en los conductos, los resaltos hidráulicos, las pérdidas en las entradas y salida de los pozos de registro, el flujo inverso y el flujo presurizado. Se trata del método de resolución adecuado para sistemas en los que los efectos de resalto hidráulico, originados por las restricciones del flujo aguas abajo y la presencia de regulación tales como orificios y vertederos, que sean importantes.

#### **4.8.4.- Acumulación de agua en superficie.**

Normalmente, en los modelos de transporte, cuando el caudal en uno de los pozos de registro del sistema excede la capacidad máxima del sistema de transporte situado aguas abajo, se produce un exceso de caudal en el sistema que llega a perderse. Una opción que presenta el programa consiste en almacenar este exceso de volumen en la parte superior del nudo, en forma de un almacenamiento o estancamiento del agua, de forma que entra de nuevo en el sistema de saneamiento cuando la capacidad del sistema lo permita. En los modelos de Flujo Uniforme y de la Onda Cinemática, el agua estancada simplemente se almacena como un exceso de volumen. En el caso del modelo de la Onda Dinámica, que está condicionado por los niveles de agua en los nudos, este exceso de volumen se asume como una inundación en la parte superior del nudo con un área superficial de la misma constante.

En el caso de los conductos cerrados las inundaciones superficiales pueden ocurrir en las calles y callejones más bajos del sistema, o en otros flujos superficiales disponibles cerca del sistema de saneamiento.

#### **4.9.-Curvas IDF**

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia y periodo de retorno. Ver figura 8.

Estas curvas representan un nivel de información global referente al comportamiento pluviométrico de una zona. Su construcción se realiza analizando los registros de todas las tormentas y sus periodos más intensos de precipitación. Estas intensidades se ordenan para cada uno de los periodos de tiempo considerados (5, 10,15 min., etc.), en función de su valor, realizando un tratamiento estadístico de los datos asignados periodos de retorno.

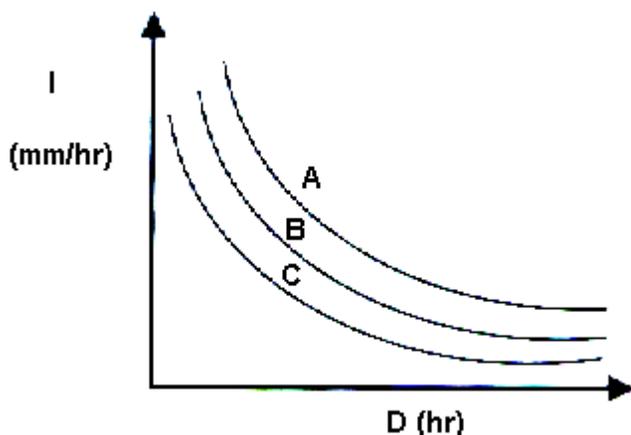


Figura 8

EIAS; Curvas Intensidad Duración Frecuencia; c. a. 2003

Sin título; Imagen tomada del sitio web: eias.utralca.cl

Fecha de actualización: 8 de Mayo de 2013.

La construcción de las curvas IDF según diversos autores, plantean distintas formas o métodos para su construcción. Para Aparicio existen dos métodos para su construcción; el primero, llamado de intensidad- periodo de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología. El otro método relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el periodo de retorno en una familia de curvas, y cuya ecuación es:

$$I = \frac{k * T^m}{(d + c)^n}$$

Donde; **k**, **m**, **n** y **c** son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple, y en tanto que **I** y **d** corresponden a la intensidad de precipitación y la duración respectiva.

Por otra parte, Chow, plantean dos formas de trabajar con las curvas. La primera, utiliza un análisis de frecuencia de la lluvia, considerando para ello una función de distribución de probabilidad de valor extremo como la función de Gumbel.

El segundo método, expresa las curvas de IDF como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una grafica.

#### 4.9.1.-Método de los bloques alternados

Se trata de uno de los métodos más sencillos y prácticos de obtener una lluvia de proyecto a partir de la curva IDF. El hietograma producido por medio de este

procedimiento, especifica la precipitación en un número  $n$  de intervalos de tiempo  $\Delta t$ , para una lluvia de duración total  $T_d = n \Delta t$ . Una vez seleccionado el periodo de retorno deseado, se toman los datos de intensidad de precipitación de la curva IDF para duraciones  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ ,..., así como la precipitación total obtenida multiplicando las intensidades por las duraciones de lluvia. Se trata de estimar los intervalos más desfavorables de precipitación. Para el tiempo  $\Delta t$ , por ejemplo de 5 minutos, la cantidad de lluvia máxima es el dato directo de la curva IDF. Por tanto tenemos un bloque de lluvia con duración 5 minutos y con intensidad de precipitación la que indica la IDF. Ver figura 9.

$$P_{\text{bloque 1}} = I_{5 \text{ minutos}} \times 5$$

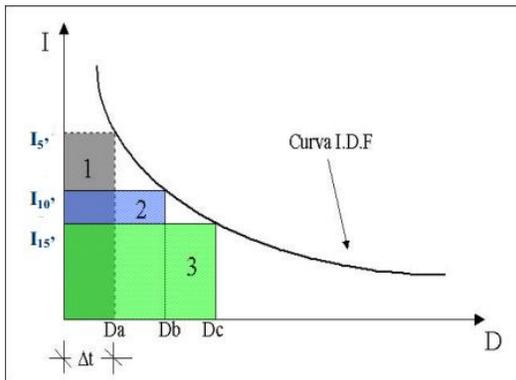


Figura 9

Flumen; Método de los bloques alternados; c. a. 2007.

Sin título; Imagen tomada del documento: Curso de análisis y rehabilitación de redes de alcantarillado mediante el código SWMM.

Fecha de actualización: 12 de Mayo de 2013.

Para un tiempo  $2\Delta t$ , 10 minutos, la cantidad de lluvia máxima en esos 10 minutos corresponde al dato de la curva IDF, un bloque de lluvia de duración 10 minutos. Pero dentro de esos 10 minutos, admitimos que los 5 minutos más desfavorables corresponden a una precipitación igual al bloque de lluvia calculada en el primer paso. Para los segundos 5 minutos, el bloque de lluvia que incluiremos en nuestro histograma de diseño será uno que produzca una precipitación igual a:

$$P_{\text{bloque 2}} = I_{10 \text{ minutos}} \times 10 - I_{5 \text{ minutos}} \times 5$$

O lo que es lo mismo

$$P_{\text{bloque 2}} = I_{10 \text{ minutos}} \times 10 - P_{\text{bloque 1}}$$

Para un tiempo  $3\Delta t$ , 15 minutos, la precipitación del tercer bloque de 5 minutos de lluvia será:

$$P_{\text{bloque 3}} = I_{15 \text{ minutos}} \times 15 - I_{10 \text{ minutos}} \times 10$$

O lo que es lo mismo

$$P_{\text{bloque 3}} = I_{15 \text{ minutos}} \times 15 - P_{\text{bloque 1}} - P_{\text{bloque 2}}$$

Estos bloques de lluvia se van distribuyendo de forma alternada, alrededor del bloque de lluvia de mayor intensidad, uno a cada lado, o bien se redistribuyen en el tiempo, dando al hietograma una forma acorde con el aspecto de las tormentas de la zona, siempre y cuando se disponga de información al respecto. Ver figura 10.

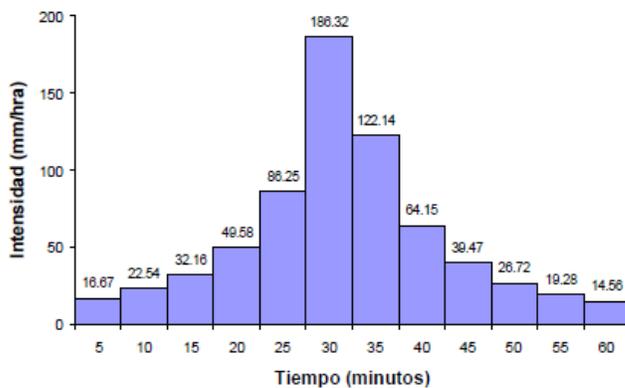


Figura 10

Flumen; Resultado del método de los bloques alternados; c. a. 2007

Sin título; Imagen tomada del documento: Curso de análisis y rehabilitación de redes de alcantarillado mediante el código SWMM.

Fecha de actualización: 16 de Mayo de 2013.

#### 4.10.- SMADA

Es un paquete de software de hidrología completa que tiene una serie de archivos ejecutables independientes. Estos programas trabajan juntos para permitir la generación de hidrograma, diseño de alcantarillado pluvial, análisis de regresión, modelos de carga de contaminantes, calculo matricial y otros. Estos programas son útiles tanto en el área profesional como en clase.

Pero el interés en este programa es conocer que métodos de distribución de lluvia tiene y como las realiza. Para esto se enfoca en la lluvia que nos arroja el programa SMADA. Para generar la lluvia se tiene que acceder a la carpeta SMADA 6.0.

Para obtener la lluvia este programa cuenta con dos métodos, el primero es introducir uno mismo los datos y el segundo utilizando curvas adimensionales. El programa viene con una serie de curvas, que puede ser útil y sencillo utilizar el software.

El método utilizado por el programa está basado en los perfiles de lluvia del SCS. Esta es una técnica estándar propuesta por el Servicio de Conservación de Suelo (SCS, actualmente NRCS) de los Estados Unidos. Este método considera distribuciones temporales sintéticas adimensionales de precipitación de 24 horas y correspondiente a diferentes tipos (I, IA, II y III).

El procedimiento a seguir para determinar, mediante este método, las intensidades máximas asociadas a diferentes duraciones de lluvia y un cierto periodo de retorno, puede resumirse en la Figura 11.

Además utiliza las curvas SCS para obtener la lluvia que son:

-SCS Type I

-SCS Type IA

-SCS Type II

-SCS Type III

-SCS Type II Florida Modified

**-DISTRIBUCION DEL S.C.S.**

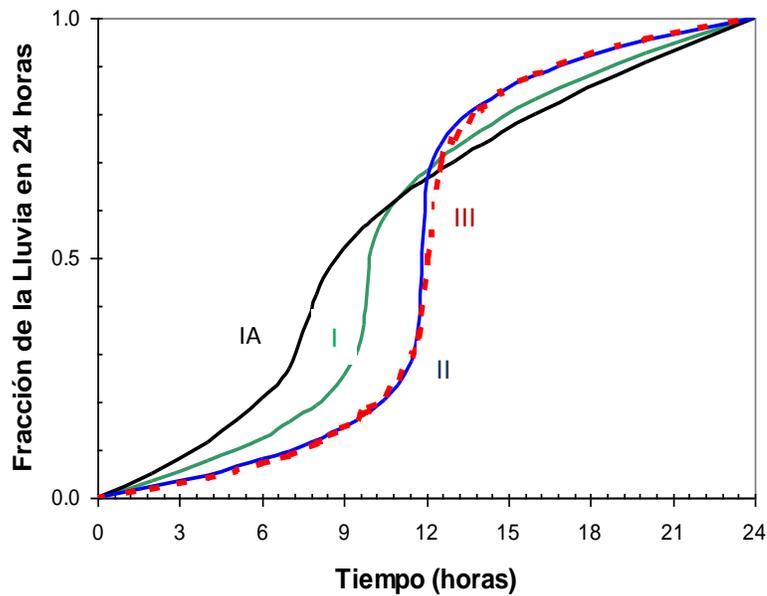


Figura 11

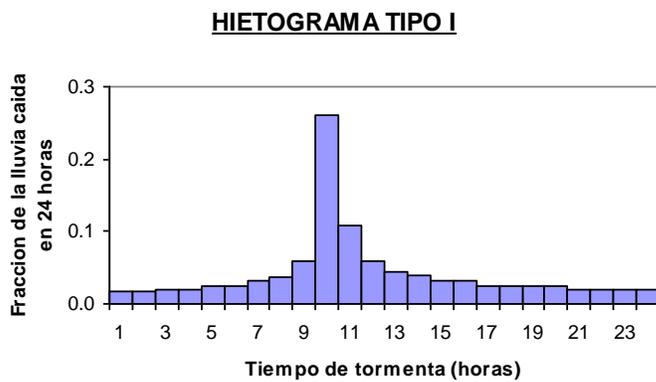
Flumen; Patrones de lluvia del SCS; c. a. 2007

Sin título; Imagen tomada del documento: Curso de análisis y rehabilitación de redes de alcantarillado mediante el código SWMM.

Fecha de actualización: 23 de Mayo de 2013.

## Hietogramas:

Tipo I: Es representativo del clima del pacífico con inviernos húmedos y veranos secos.



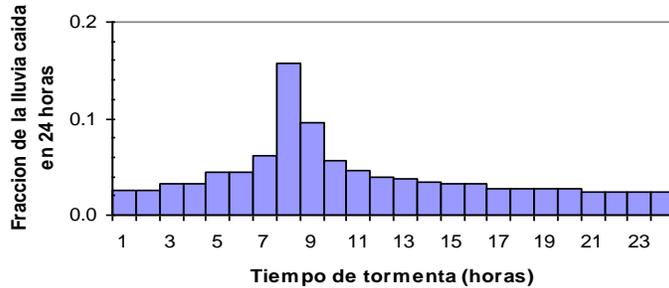
SCS; Hietograma

Hietograma Tipo I; Imagen tomada del sitio web: [ing.unne.edu.ar](http://ing.unne.edu.ar)

Fecha de actualización: 25 de Mayo de 2013.

Tipo IA: Este tipo de distribución es representativo de la precipitación de baja intensidad normalmente asociada con tormentas frontales.

#### **HIETOGRAMA TIPO IA**



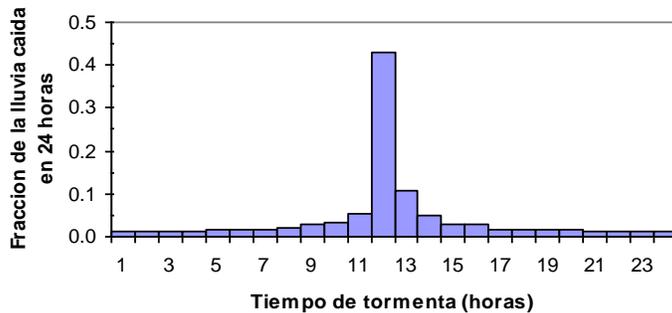
SCS; Hietograma

Hietograma Tipo IA; Imagen tomada del sitio web: [ing.unne.edu.ar](http://ing.unne.edu.ar)

Fecha de actualización: 25 de Mayo de 2013.

Tipo II: Es la más intensa de las cuatro distribuciones del SCS y es representativo de las tormentas dominantes que ocurren al este de las montañas.

#### **HIETOGRAMA TIPO II**

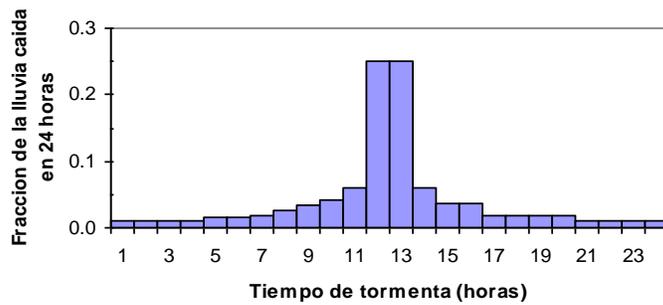


SCS; Hietograma

Hietograma Tipo II; Imagen tomada del sitio web: [ing.unne.edu.ar](http://ing.unne.edu.ar)

Fecha de actualización: 25 de Mayo de 2013.

Tipo III: Esta distribución es representativa de las áreas costeras Atlánticas y del Golfo donde las tormentas tropicales son responsables para grandes cantidades de precipitaciones de 24 horas.

**HIETOGRAMA TIPO III**

SCS; Hietograma

Hietograma Tipo III; Imagen tomada del sitio web: [ing.unne.edu.ar](http://ing.unne.edu.ar)

Fecha de actualización: 25 de Mayo de 2013.

Las distribuciones temporales SCS 24-h Tipo I, IA, II y III, fueron diseñadas inicialmente para su uso en el análisis de cuencas tamaño medio. Sin embargos su aplicabilidad se ha extendido a desagües urbanos pequeños. Estas distribuciones temporales 24-h intentan abarcar las intensidades de lluvia asociadas con tormentas de corta duración, que van desde 30 minutos a 12 horas. Por eso, tormentas de alta intensidad adaptables a cuencas similares en tamaño a aquellos usados por el Servicio de Conservación de Suelos, esto es aquellas áreas menores a 250 km<sup>2</sup>.

## V.- APLICACIÓN DEL MODELO SWMM A LA RED DE PROYECTO

### 5.1.- Elementos de dibujo y propiedades del programa.

Para una mayor comodidad de trabajo, se puede cargar una imagen de fondo y en base a esa imagen realizar los trazos del proyecto; esto se hace en el menú **Ver-Fondo-Cargar**. La imagen de fondo tiene que ser un *metarchivo* de Windows (EMF) o un mapa de *bits* (BMP o JPG). Ver figura 12.

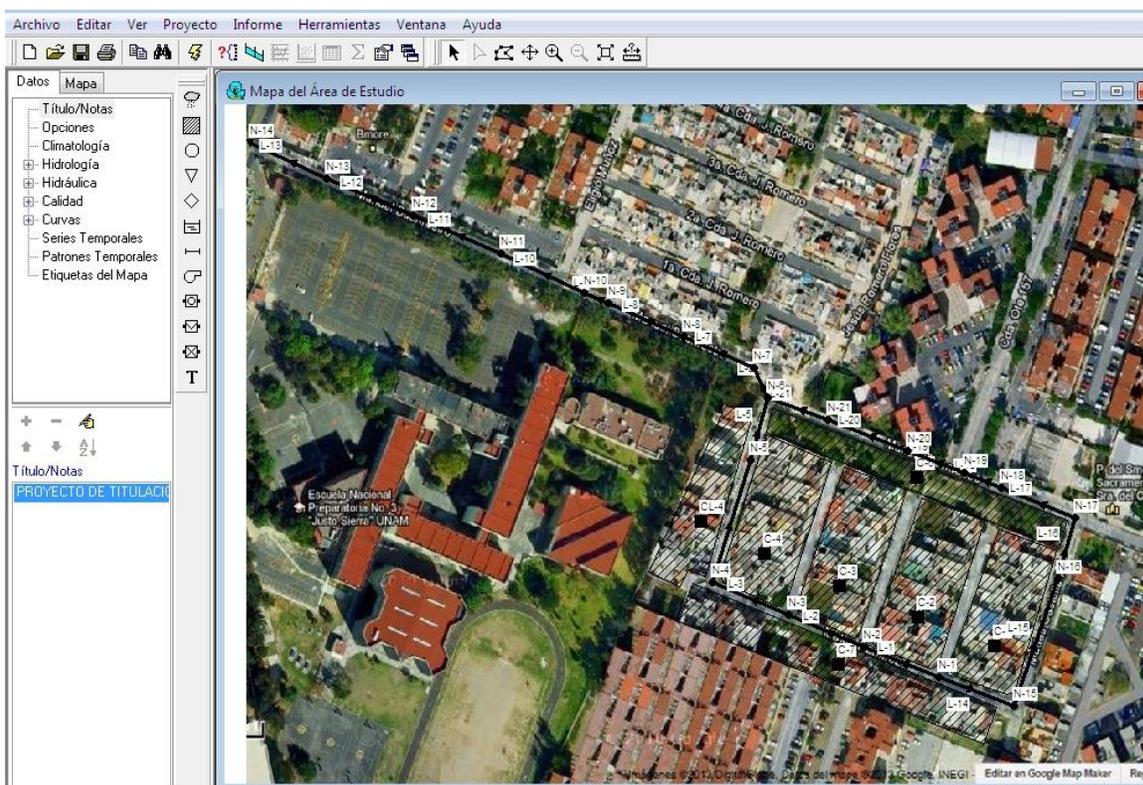


Figura 12

SWMM; Área de trabajo; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 25 de Mayo de 2013

Una vez obtenida la imagen se puede comenzar a introducir los prefijos para los objetos del proyecto, en la pestaña Identificativos (ID) ahí solo se introducen prefijos, en Subcuencas se introducen valores de la misma y en Nudos/Líneas también son valores de los conductos y los pozos de visita.

En el apartado de Subcuencas, los valores que se introducen son los mismos para todos los objetos Subcuencas que tiene el proyecto, pero como se sabe que

en un proyecto no siempre van a ser los mismo valores, por eso en este apartado se dejan los valores por default. Ver figura 13.

También igual con el apartado de Nudos/líneas los valores de ese apartado se introducirán individualmente en cada objeto.

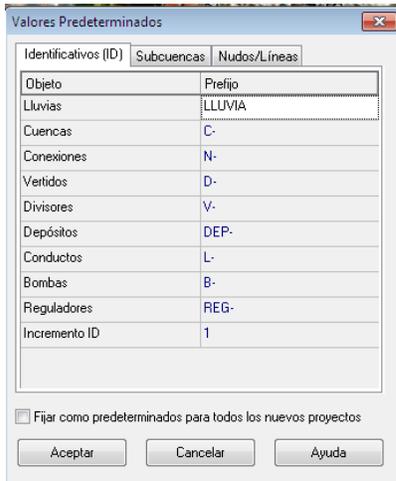


Figura 13

SWMM; Valores por defecto; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 25 de Mayo de 2013

Aquí en este editor de propiedades es en donde se pueden introducir los valores de cada objeto individualmente y se visualiza dándole doble clic sobre el objeto, ya sea un nudo, una línea, una cuenca, etc. Ya sean los valores de cotas, diámetros, distancia, etc., este tipo de valores se introducen aquí. Ver figura 14.



Propiedad	Valor
Nombre	C-4
Coordenada X	5340.153
Coordenada Y	3391.341
Descripción	
Marca	
Pluviómetro	*
Descarga	*
Área	1
Ancho	40
Pendiente (%)	0.5
Área impermeable (%)	25
Coef. n (Impermeable)	0.02
Coef. n (Permeable)	0.1
Alm. Dep. (Impermeable)	0.05
Alm. Dep. (Permeable)	0.05
(%) Área Imperm. sin Alm.Dep.	25
Flujo entre subáreas	OUTLET
(%) escorrentía transportada	100

Nombre asignado por el usuario a la cuenca

Figura 14

SWMM; Editor de propiedades; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 25 de Mayo de 2013

Con los siguientes iconos se pueden empezar a dibujar todos los objetos que se necesitan en el proyecto. Ver figura 15.



Figura 15

SWMM; Elementos de dibujo; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 25 de Mayo de 2013

Ahora para poder introducir más opciones necesarios del programa, para eso se tiene que acceder al menú **Herramientas-Opciones de Mapa**, ahí se introducen los valores de tamaño y propiedades deseados para cada objeto, estos valores son de que tan grande o pequeño o de qué forma se quieren visualizar los objetos en la ventana del programa, como se muestra en la figura 16.

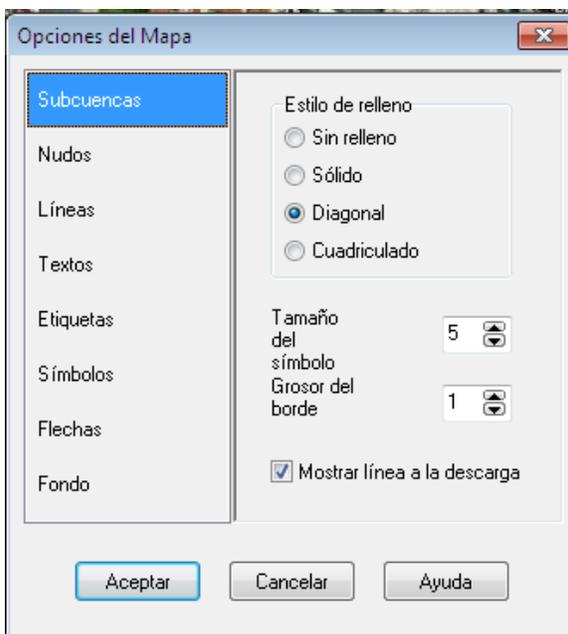


Figura 16

SWMM; Opciones de mapa; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 25 de Mayo de 2013

## 5.2.- Datos de proyecto

Pozos o Nudos:

Tabla 10. Datos de proyecto.					
N. de Pozos	Cota de plantilla (msnm)	Altura de pozos (m)	Distancia entre pozos (m)	Pendiente (S)	Diámetro ( $\theta$ ) (m)
Pozo 1	2227.087	1.450			
			42.0	2	0.30
Pozo 2	2227.003	1.796			
			42.0	2	0.30
Pozo 3	2226.919	1.936			
			42.0	2	0.30
Pozo 4	2226.835	1.835			
			60.0	2	0.38
Pozo 5	2226.715	1.935			
			34.0	2	0.38
Pozo 6	2226.595	2.070			
			13.0	1	0.61
Pozo 7	2226.576	2.00			
			26.0	2	0.61
Pozo 8	2226.524	2.259			
			60.0	2	0.61

Pozo 9	2226.404	2.565			
			10.50	2	0.61
Pozo 10	2226.383	2.617			
			53.50	1	0.61
Pozo 11	2226.330	2.866			
			53.50	1	0.61
Pozo 12	2226.277	3.248			
			53.50	1	0.61
Pozo 13	2226.224	3.321			
			53.50	1	0.61
Pozo 14	2226.089	4.267			
Pozo 1	2227.087	1.450			
			42.0	2	0.30
Pozo 15	2227.003	1.649			
			60.0	2	0.30
Pozo 16	2226.798	1.851			
			35.0	1	0.30
Pozo 17	2226.763	2.315			
			42.0	1	0.30
Pozo 18	2226.721	2.428			
			17.0	1	0.30
Pozo 19	2226.704	2.387			
			25.0	1	0.38
Pozo 20	2226.679	2.391			
			42.0	1	0.38
Pozo 21	2226.637	2.386			
			42.0	1	0.38
Pozo 6	2226.595	2.070			

Áreas de las diferentes cuencas del proyecto.

<b>Cuencas</b>	<b>Área en m<sup>2</sup></b>	<b>Área en Ha</b>	<b>Pendientes</b>
Cuenca 1	3669.61	0.36696	3
Cuenca 2	3206.91	0.32069	6
Cuenca 3	3219.91	0.32199	1
Cuenca 4	3222.56	0.32225	5
Cuenca 5	2278.36	0.22784	0.3
Cuenca 6	2905.57	0.29056	0.1



En base a dato anterior, que el  $hp=30$  mm, ahora se puede aplicar la ecuación de intensidad del Distrito Federal establecido en las Normas y es la siguiente:

$$I = \frac{60hp}{tc}$$

Y el tiempo de concentración es obtenido también de las Normas Técnicas y es la siguiente:

$$tc = 0.0207 \frac{L^{1.155}}{H^{0.385}}$$

La longitud más desfavorable en el proyecto es de 628.5 m. Esta longitud se obtuvo desde el pozo 1 saliendo hacia la calle de Matías Castellanos y luego toda la calle Manuel Buenrostro, hasta su vertido en la Av. Ing. Eduardo Molina, es el trayecto mas largo.

El desnivel de la entrada con la salida es de: 0.998 m.

Ahora ya contando con todos los datos se procede a obtener el  $tc$ .

$$tc = 0.0207 \frac{628.5^{1.155}}{0.998^{0.385}}$$

Y al final se tiene un resultado de 35.35 min.

Ahora el siguiente paso es obtener la intensidad:

$$I = \frac{60 \times 30}{35.35}$$

Y al final se llega a una intensidad de: **50.92 mm/h.**

#### **5.4.-Obtencion de distribución de lluvia.**

Para obtener la distribución de lluvia se puede hacer uso de los diferentes métodos mencionados en el capítulo anterior, pero con la finalidad de conocer como simula el programa diferentes lluvias, se decide optar por dos formas de ingreso de datos de lluvia.

Primero se considera una lluvia constante, para conocer su comportamiento en la red y hacer una comparación. Aunque a veces es difícil creer que se pueda llegar a tener una lluvia constante en la realidad. Y por tal motivo se toma la intensidad que se obtuvo con la ecuación de intensidad del Distrito Federal, en el cual el resultado fue de 50.92 mm/h, como se nota a continuación: Ver figuras 18 y 19.

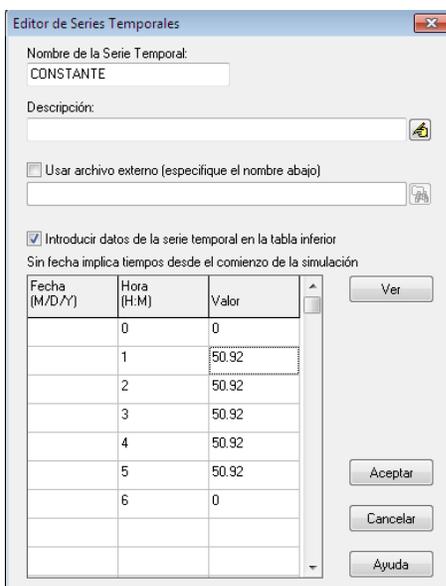


Figura 18

SWMM; Serie temporal; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 28 de Mayo de 2013

Y esta es la gráfica de la lluvia.

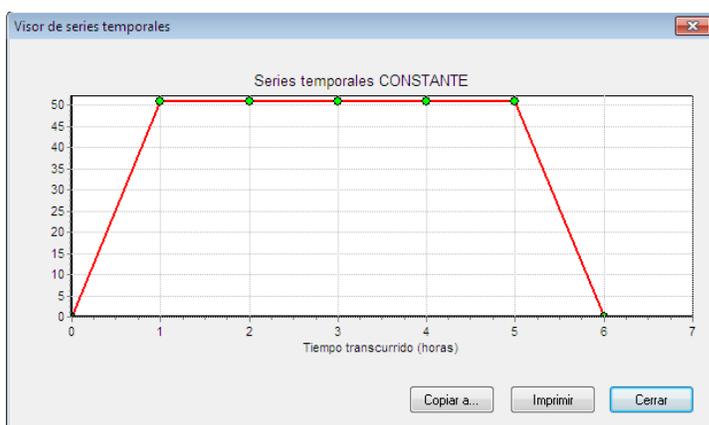


Figura 19

SWMM; Gráfica de serie; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 28 de Mayo de 2013

Ahora para obtener la lluvia distribuida se apoyará del programa SMADA, que es un programa para hidrología, producido por la Universidad Central de Florida.

Como SMADA viene separada en una carpeta con varios archivos ejecutables, entonces se tiene que elegir uno que tiene el nombre de SMADA 6.0 para abrirlo. Después de abierto se accede al menú **Rainfall- Create/ Edit rainfall**, y así obtener el cuadro siguiente en donde se introducen los datos. Ver figura 20.

Primero el dato que es solicitado por el programa es la duración de la lluvia.

La segunda en cuantos pasos se quiere repartir la lluvia en minutos.

La tercera, la precipitación total en pulgadas. Y para esto es muy sencillo de convertirlos en pulgadas, la precipitación se divide entre 25.4 mm que es equivalente una pulgada en mm.

Por ejemplo  $\frac{61.73}{25.4} = 2.43$  in

El valor de 61.73 (ver Tabla 12), es uno de los valores más desfavorables.

El resto se puede dejar sin datos ya que son opcionales.

Por último seleccionar el tipo de distribución de lluvia.

Y los datos que podrán utilizarse son los que se encuentran en el cuadro de lluvia en pulgadas y nuevamente se tiene que convertir en mm, por lo que se multiplica por 25.4 y así se obtienen las precipitaciones ya distribuidas y se ingresan en el SWMM en las series temporales.

The screenshot shows the 'Rainfall' dialog box with the following data:

	Time (hrs)	Time (min)	Rainfall (inches)
1	1.00	100	0.131
2	2.00	200	0.194
3	3.00	300	1.149
4	4.00	400	0.639
5	5.00	500	0.190
6	6.00	600	0.126

Input fields in the dialog:

- Total Rainfall Duration in hours: 6
- Time step for Rainfall in minutes: 60
- Total Rainfall in inches: 2.43
- Start Time of Rainfall (optional):
- Start Date of Rainfall (optional):

Selected Type of Rainfall Distribution:  SCS Type II FL

Figura 20

SMADA; Opciones de datos de lluvia; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SMADA

Fecha de actualización: 29 de Mayo de 2013

$$0.131 \times 25.4 = 3.33$$

$$0.194 \times 25.4 = 4.93$$

$$1.149 \times 25.4 = 29.18$$

$$0.639 \times 25.4 = 16.23$$

$$0.190 \times 25.4 = 4.83$$

$$0.126 \times 25.4 = 3.20$$

Y tomando la distribución arrojada por el programa SMADA con la intensidad de 61.73 mm/h se obtiene la siguiente serie temporal. Ver figuras 21 y 22.

Editor de Series Temporales

Nombre de la Serie Temporal:

Descripción:

Usar archivo externo (especifique el nombre abajo)

Introducir datos de la serie temporal en la tabla inferior

Sin fecha implica tiempos desde el comienzo de la simulación

Fecha (M/D/Y)	Hora (H.M)	Valor
	0	0
	1	3.33
	2	4.93
	3	29.18
	4	16.23
	5	4.82
	6	3.2

Ver

Aceptar

Cancelar

Ayuda

Figura 21

SWMM; Serie temporal; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 29 de Mayo de 2013

Y la gráfica de su comportamiento es:

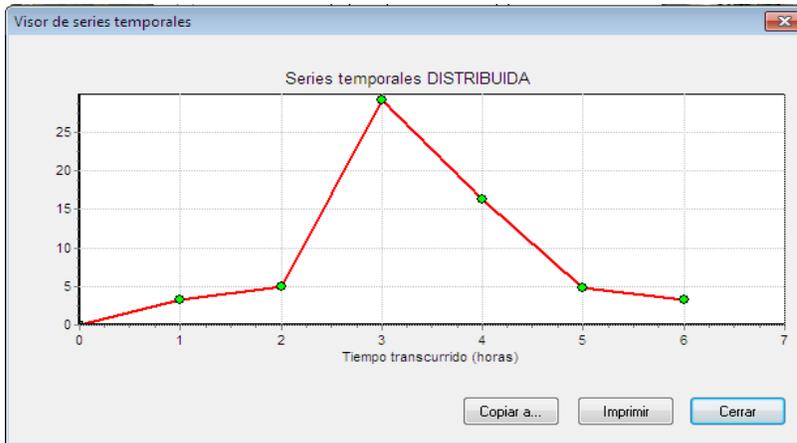


Figura 22

SWMM; Gráfica de serie; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 29 de Mayo de 2013

Esta es la portada de informe que muestra el programa en donde se da una lista de los datos generales del proyecto como son, los autores de traducción, el título, las unidades de cálculo, métodos, fechas, etc. Ver figuras 23 y 24.

```

STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 vE (Build 5.0.018 vE)
Traducido por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos
Universidad Politécnica de Valencia
-----

PROYECTO DE LA COLONIA FERROCARRILERA
RED SECUNDARIA

*****
NOTA: El resumen estadístico mostrado en este informe se
basa en los resultados obtenidos en todos los intervalos
de cálculo, no sólo en los intervalos registrados en el
informe.
*****

*****
Opciones de Análisis
*****

Unidades de Caudal ..... LPS
Modelos utilizados:
Lluvia/Escoorrentia ..... SI
Deshielo de Nieve ..... NO
Flujo Subterráneo ..... NO
Cálculo Hidráulico ..... SI
Permitir Estancamiento . NO
Calidad del Agua ..... NO
Método de Infiltración ..... GREEN_AMPT
Método de Cálculo Hidráulico .... KINWAVE
Fecha de Comienzo ..... APR-03-2013 00:00:00
Fecha de Finalización ..... APR-03-2013 12:00:00
Días Previos sin Lluvia ..... 0.0
Report Time Step ..... 00:15:00
Intervalo para Tiempo de Lluvia . 00:12:00
Intervalo para Tiempo Seco ..... 01:00:00
Intervalo de Cálculo Hidráulico . 60.00 s

```

Figura 23

SWMM; Portada de informe; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 30 de Mayo de 2013

Aparte de eso, tiene otro apartado de opciones de análisis en donde vienen los cálculos arrojas por el programa y esos son los datos de interés en este trabajo.

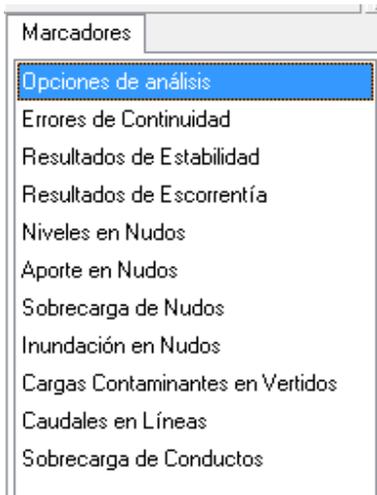


Figura 24

SWMM; Apartados de informe; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 30 de Mayo de 2013

## VI.- ANÁLISIS DE RESULTADO

### 6.1.- Informe de resultados

Para ver el informe se accede al menú **Informe- Estado**. Y enseguida mostrará el panorama del informe arrojado por el programa SWMM.

En este apartado se presentan los datos generales del informe tanto del propio programa, grupo de traducción, el tema, etc., y además muestra también las unidades y otras características que se le asigno por default al programa. Ver figura 24. Y se analizará cada apartado más adelante.

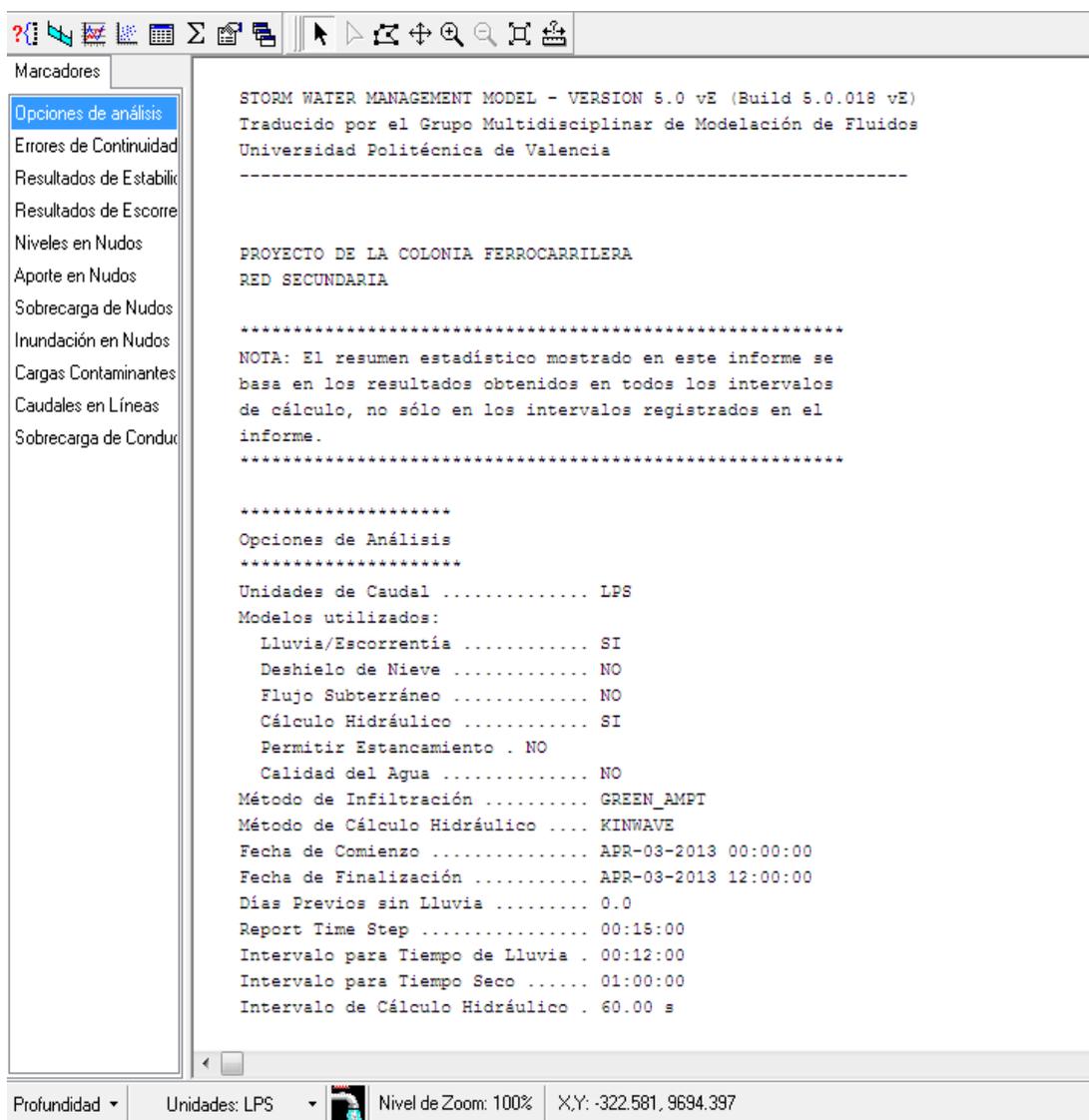


Figura 24

SWMM; Informe; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 1 de Junio de 2013

### 6.1.1.- Lluvia constante

Un punto importante que se tiene que aclarar en este apartado, es acerca de este análisis constante es solo para conocer los resultados y comparar con el otro análisis de lluvia distribuida.

Primero se analiza la serie temporal en donde se considero una lluvia constante, para conocer su comportamiento dentro de la tubería.

En el siguiente perfil se puede notar como los pozos 16 y 17 se inundan debido al caudal excesivo que pasa por ella. Además de eso la tubería comprendida entre los pozos 16 a 18 está trabajando a más del 80 % de su capacidad. Ver figura 25.

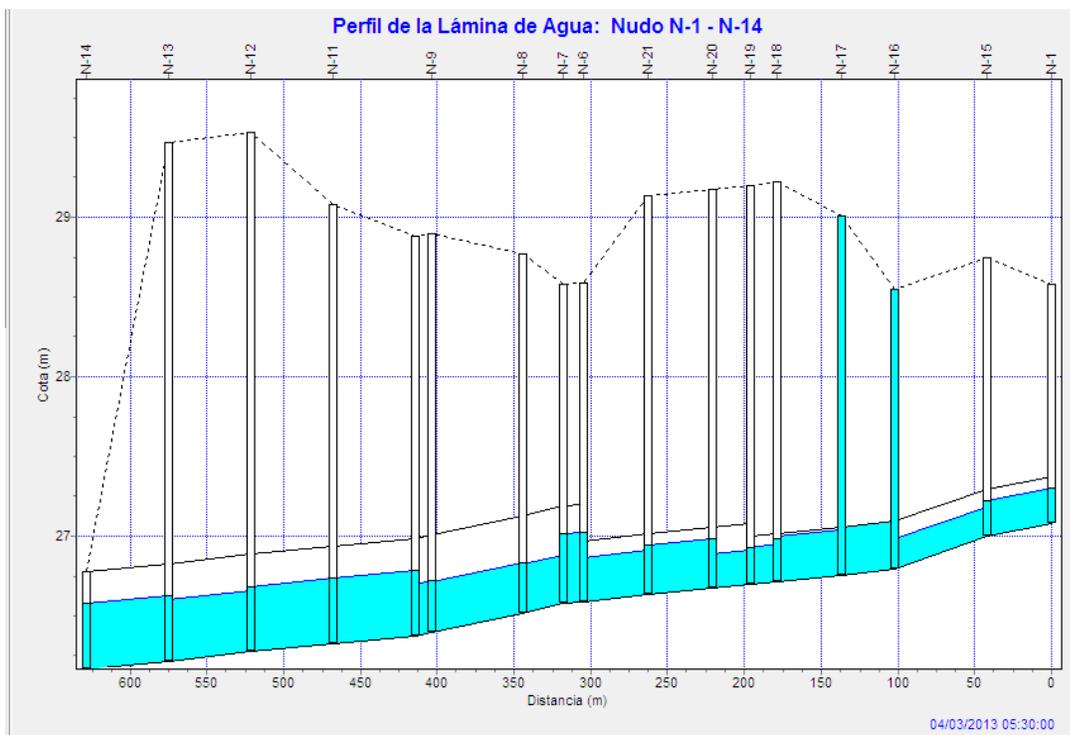


Figura 25

SWMM; Perfil del pozo 1-14; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 1 de Junio de 2013

Como se puede notar en el siguiente apartado del informe en donde se tiene una altura de precipitación de 254.6 mm, esta es una precipitación demasiado grande. De esa precipitación total 21.718 mm se pierde debido a la infiltración del terreno y el restante que es 232.455 mm es lo que escurre y llega a las redes de drenaje. En la parte de abajo se muestra la línea más inestable que es la línea 9, comprendida entre los pozos 9 y 10, esto por la razón que la separación es muy pequeña y también por la pendiente. Ver figura 26.

```

*****
Errores de Continuidad
*****

*****
Escorrentía Superficial          volumen          Altura
                               ha·m             mm
-----
Precipitación Total .....      0.641           254.600
Pérdidas Evaporación .....      0.000           0.000
Pérdidas Infiltración ....      0.055           21.718
Escorrentía Superficial ..      0.585           232.455
Almacen. Final en Sup. ...      0.004           1.586
% Error Continuidad .....      -0.455

*****
Cálculo Hidráulico              volumen          volumen
                               ha·m             10^3 m3
-----
Aporte Tiempo Seco .....        0.000           0.000
Aporte Tiempo Lluvia .....      0.587           5.866
Aporte Ag. Subterránea ...      0.000           0.000
Aportes dep. Lluvia .....        0.000           0.000
Aportes Externos .....          0.000           0.000
Descargas Externas .....        0.359           3.593
Descargas Internas .....        0.231           2.311
Pérdidas Almacenamiento ..      0.000           0.000
Vol. Almacenado Inicial ..      0.000           0.000
Vol. Almacenado Final ....      0.000           0.000
% Error Continuidad .....      -0.652

*****
Máximos Índices de Inestabilidad
*****
Línea L-9 (1)

```

Figura 26

SWMM; Escorrentía; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 2 de Junio de 2013

En la siguiente imagen se puede ver la cantidad máxima de agua que pasa por cada pozo. Ver figura 27.

```

*****
Resumen de Aportes en Nudos
*****

```

Nudo	Tipo	Aporte Lateral Máximo LPS	Aporte Total Máximo LPS	Instante de Aporte Máximo días hr:min	Volumen Aporte Lateral 10^6 ltr	Volumen Aporte Total 10^6 ltr
N-1	JUNCTION	50.31	50.31	0 06:00	0.894	0.894
N-2	JUNCTION	99.51	99.51	0 06:00	1.767	1.767
N-3	JUNCTION	44.14	99.00	0 06:00	0.783	1.808
N-4	JUNCTION	44.14	99.01	0 06:00	0.786	1.830
N-5	JUNCTION	31.25	130.26	0 06:00	0.555	2.384
N-6	JUNCTION	0.00	201.95	0 06:00	0.000	3.595
N-7	JUNCTION	0.00	201.95	0 06:00	0.000	3.595
N-8	JUNCTION	0.00	201.94	0 06:00	0.000	3.595
N-9	JUNCTION	0.00	201.94	0 06:00	0.000	3.594
N-10	JUNCTION	0.00	201.94	0 06:00	0.000	3.594
N-11	JUNCTION	0.00	201.93	0 06:00	0.000	3.594
N-12	JUNCTION	0.00	201.92	0 06:00	0.000	3.593
N-13	JUNCTION	0.00	201.91	0 06:01	0.000	3.593
N-15	JUNCTION	0.00	50.31	0 06:00	0.000	0.894
N-16	JUNCTION	35.91	86.22	0 06:00	0.638	1.532
N-17	JUNCTION	0.00	44.95	0 06:09	0.000	0.795
N-18	JUNCTION	0.00	41.02	0 01:44	0.000	0.768
N-19	JUNCTION	0.00	41.02	0 01:45	0.000	0.768
N-20	JUNCTION	30.69	71.71	0 06:00	0.443	1.211
N-21	JUNCTION	0.00	71.70	0 06:00	0.000	1.211
N-14	OUTFALL	0.00	201.91	0 06:01	0.000	3.593

Figura 27

SWMM; Caudal por pozo; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 2 de Junio de 2013

Este resumen en las líneas muestra el caudal que es conducido y además la velocidad, y se muestra a las líneas que están trabajando más de su capacidad. Ver figura 28.

\*\*\*\*\*  
Resumen de Caudal en Líneas  
\*\*\*\*\*

Línea	Tipo	Caudal Máximo LPS	Instante Caudal Máx días hr:min	Veloc. Máxima m/sec	Caudal Máx/ Lleno	Nivel Máx/ Lleno
L-2	CONDUIT	58.66	0 06:07	0.93	1.07	1.00
L-3	CONDUIT	58.33	0 06:10	0.95	1.06	1.00
L-4	CONDUIT	99.01	0 06:00	1.07	0.94	0.77
L-5	CONDUIT	130.26	0 06:00	1.46	0.89	0.74
L-6	CONDUIT	201.95	0 06:00	0.89	0.87	0.72
L-7	CONDUIT	201.94	0 06:00	1.37	0.50	0.50
L-8	CONDUIT	201.94	0 06:00	1.30	0.54	0.52
L-9	CONDUIT	201.94	0 06:00	1.28	0.55	0.53
L-10	CONDUIT	201.93	0 06:00	0.97	0.79	0.67
L-11	CONDUIT	201.92	0 06:00	0.97	0.79	0.67
L-12	CONDUIT	201.91	0 06:01	1.04	0.72	0.63
L-13	CONDUIT	201.91	0 06:01	0.96	0.80	0.68
L-14	CONDUIT	50.31	0 06:00	0.90	0.92	0.75
L-15	CONDUIT	50.31	0 06:00	1.12	0.69	0.61
L-16	CONDUIT	44.95	0 06:09	0.73	1.06	1.00
L-17	CONDUIT	41.02	0 01:44	0.69	1.06	1.00
L-18	CONDUIT	41.02	0 01:45	0.71	0.95	0.78
L-19	CONDUIT	41.02	0 01:46	0.62	0.61	0.57
L-20	CONDUIT	71.70	0 06:00	0.74	0.98	0.81
L-21	CONDUIT	71.69	0 06:00	0.81	0.88	0.73

\*\*\*\*\*  
Resumen de Sobrecarga de Conductos  
\*\*\*\*\*

Conduit	----- Ambos	Ext	Horas Lleno Ext. Ini.	----- Ext. Fin.	Horas Q > Q unif. Tubo Lleno	Horas Capacidad Limitada
L-2		4.88	4.93	4.88	4.93	4.93
L-3		5.00	5.02	5.00	5.02	5.02
L-16		4.93	4.97	4.93	4.97	4.97
L-17		0.02	4.98	0.03	4.97	4.98

Figura 28

SWMM; Caudal en la línea; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 2 de Junio de 2013

### 6.1.2.- Lluvia distribuida

En esta lluvia distribuida se puede observar que se inundan los pozos 16 y 17, los mismos que en la lluvia constante y está por verse el pozo 18, y además el mismo tramo de tubería está trabajando a más del 80% de su capacidad. Y debido a esto se puede llegar a la conclusión que este tramo comprendido entre los pozos 16 al 18, la tubería que es de 30 cm de diámetro debe ser mayor, para que no presente problemas. Ver figura 29.

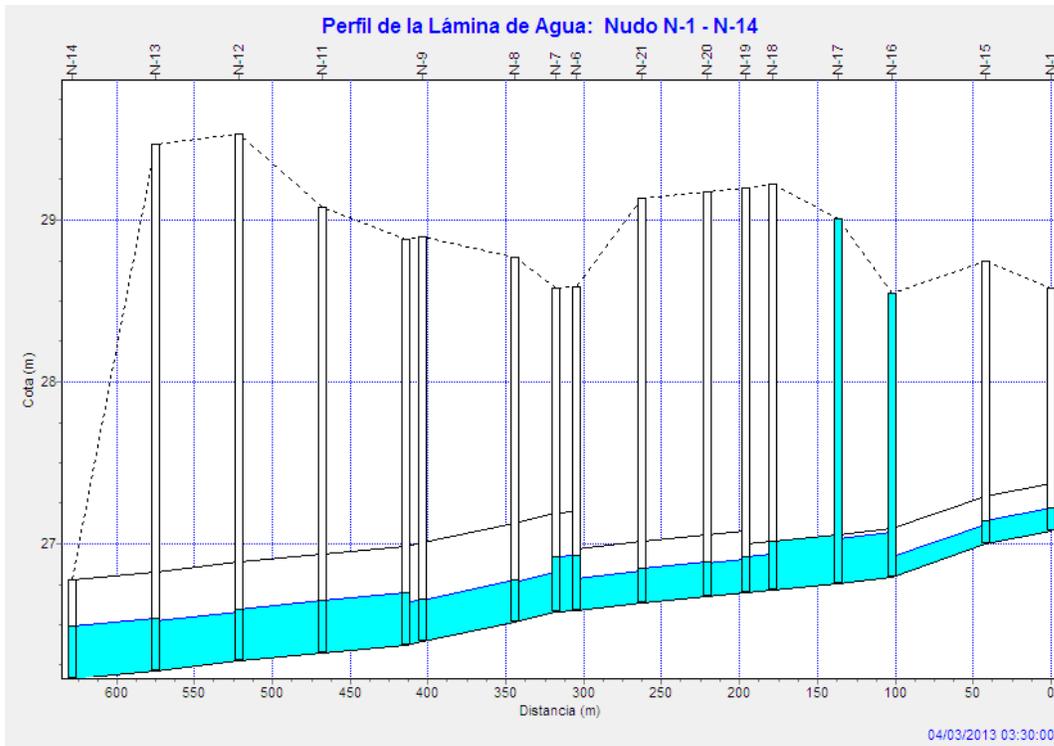


Figura 29

SWMM; Perfil de lluvia distribuida; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 3 de Junio de 2013

Aquí se observan los cálculos que arroja el programa, la precipitación que se dio fue de 61.79 mm, y aquí aparece algo similar. Y de toda esa precipitación la infiltración es de 10.803 mm, y el restante es la escorrentía superficial.

Los errores de simulación muestran que tan buena es la calidad de la simulación. Por eso el error de la realización del balance de masas en el sistema tanto para la escorrentía como para el flujo deben ser despreciables. Y los errores de simulación tanto de escorrentía y de flujo resultan ser -0.346% y 0.143.

Además se muestran las líneas inestables; esto quiere decir que estas líneas están trabajando más de su capacidad. Ver figura 30.

```

*****
Errores de Continuidad
*****

*****
Escorrentía Superficial
*****
volumen          Altura
ha·m             mm
-----
Precipitación Total ..... 0.155  61.690
Pérdidas Evaporación ..... 0.000  0.000
Pérdidas Infiltración .... 0.027  10.803
Escorrentía Superficial .. 0.125  49.510
Almacen. Final en Sup. ... 0.004  1.591
% Error Continuidad ..... -0.346

*****
Cálculo Hidráulico
*****
volumen          Volumen
ha·m             10^3 m3
-----
Aporte Tiempo Seco ..... 0.000  0.000
Aporte Tiempo Lluvia .... 0.125  1.247
Aporte Ag. Subterranea ... 0.000  0.000
Aportes dep. Lluvia ..... 0.000  0.000
Aportes Externos ..... 0.000  0.000
Descargas Externas ..... 0.116  1.164
Descargas Internas ..... 0.008  0.080
Perdidas Almacenamiento .. 0.000  0.000
Vol. Almacenado Inicial .. 0.000  0.000
Vol. Almacenado Final .... 0.000  0.000
% Error Continuidad ..... 0.143

*****
Máximos Índices de Inestabilidad
*****
Línea L-8 (2)
Línea L-17 (2)
Línea L-9 (2)
Línea L-5 (1)
Línea L-18 (1)
    
```

Figura 30

SWMM; Errores y precipitaciones; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 3 de Junio de 2013

Después, el intervalo de tiempo de cálculo el cual se estableció en los datos de entrada. Ver figura 31.

```

*****
Resumen de Intervalo de cálculo Hidráulico
*****
Intervalo de cálculo Mínimo : 60.00 seg
Intervalo de cálculo Medio  : 60.00 seg
Intervalo de cálculo Máximo : 60.00 seg
Porcentaje en Reg. Permanente : 0.00
Nº medio iteraciones por instante : 2.07
    
```

Figura 31

SWMM; Intervalo de cálculo; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 3 de Junio de 2013

Nuevamente la precipitación total caída en cada cuenca.

Como se puede notar, en la cuenca 6, existe una mayor infiltración debido a que es un jardín porque tiene un coeficiente de escurrimiento de 25% y por eso tiene una mayor infiltración y la escorrentía es menor que el de las demás cuencas. Ya que las demás cuencas tienen un coeficiente de escurrimiento de 90%, aunque en el apartado de coeficiente de escurrimiento están en decimales y estas son parecidas a las propuestas. Ver figura 32.

```
*****
Resumen de Escorrentía en Subcuencas
*****
```

Subcuenca	Precip Total mm	Aporte Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Escor. Total mm	Escor. Total 10 <sup>6</sup> ltr	Escor. Punta LPS	Coef. Escor.
C-1	61.690	0.000	0.000	6.169	54.045	0.198	26.772	0.876
C-2	61.690	0.000	0.000	6.169	54.061	0.174	23.417	0.876
C-3	61.690	0.000	0.000	6.169	53.997	0.174	23.481	0.875
C-4	61.690	0.000	0.000	6.169	54.061	0.174	23.490	0.876
C-5	61.690	0.000	0.000	6.169	53.999	0.123	16.626	0.875
C-6	61.690	0.000	0.000	46.267	15.015	0.044	5.897	0.243
C-7	61.690	0.000	0.000	6.169	53.948	0.218	29.502	0.875
C-8	61.690	0.000	0.000	6.169	54.016	0.142	19.109	0.876
sistema	61.690	0.000	0.000	10.803	49.510	1.247	168.293	0.803

Figura 32

SWMM; Subcuencas; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 4 de Junio de 2013

Aquí los nudos están especificando los niveles medio y máximo que puede alcanzar el caudal. Y la altura son las cotas de los pozos y además la hora en la que alcanza su nivel máximo en ese pozo. Ver figura 33.

```

*****
Resumen de Nivel en Nudos
*****

```

Nudo	Tipo	Nivel Medio Metros	Nivel Máximo Metros	Altura Máxima Metros	Instante Nivel Máx. días hr:min
N-1	JUNCTION	0.04	0.15	27.23	0 04:00
N-2	JUNCTION	0.06	0.24	27.24	0 04:00
N-3	JUNCTION	0.22	2.00	28.92	0 03:12
N-4	JUNCTION	0.08	0.30	27.14	0 03:15
N-5	JUNCTION	0.07	0.24	26.96	0 04:00
N-6	JUNCTION	0.10	0.34	26.93	0 03:26
N-7	JUNCTION	0.10	0.34	26.92	0 03:26
N-8	JUNCTION	0.08	0.26	26.78	0 03:27
N-9	JUNCTION	0.08	0.26	26.66	0 03:27
N-10	JUNCTION	0.10	0.32	26.70	0 03:27
N-11	JUNCTION	0.10	0.32	26.65	0 03:28
N-12	JUNCTION	0.10	0.32	26.60	0 03:29
N-13	JUNCTION	0.10	0.32	26.54	0 03:29
N-15	JUNCTION	0.04	0.15	27.15	0 04:00
N-16	JUNCTION	0.15	1.75	28.55	0 03:22
N-17	JUNCTION	0.21	2.25	29.01	0 03:16
N-18	JUNCTION	0.07	0.30	27.02	0 03:26
N-19	JUNCTION	0.06	0.23	26.93	0 03:24
N-20	JUNCTION	0.06	0.22	26.90	0 03:25
N-21	JUNCTION	0.06	0.22	26.86	0 03:25
N-14	OUTFALL	0.10	0.32	26.50	0 03:30

Figura 33

SWMM; Nudos o pozos; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 4 de Junio de 2013

En este apartado se muestran los pozos, pero ya con caudal que son lateral en donde se puede ver en que pozo si existe descarga y en otros no, el aporte total es en donde se puede ver cómo es que el caudal se acumula y principalmente en los pozos que están en la salida para llegara al colector.

Por otra parte la hora en que llega a presentarse el caudal máximo y por último el volumen lateral y total. Ver figura 34.

```
*****
Resumen de Aportes en Nudos
*****
```

Nudo	Tipo	Aporte Lateral Máximo LPS	Aporte Total Máximo LPS	Instante de Aporte Máximo días hr:min	Volumen Aporte Lateral 10 <sup>^</sup> 6 ltr	Volumen Aporte Total 10 <sup>^</sup> 6 ltr
N-1	JUNCTION	26.77	26.77	0 04:00	0.198	0.198
N-2	JUNCTION	52.92	52.92	0 04:00	0.392	0.392
N-3	JUNCTION	23.48	76.39	0 04:00	0.174	0.566
N-4	JUNCTION	23.49	78.96	0 03:13	0.174	0.682
N-5	JUNCTION	16.63	94.98	0 04:00	0.123	0.804
N-6	JUNCTION	0.00	140.53	0 03:26	0.000	1.170
N-7	JUNCTION	0.00	140.45	0 03:26	0.000	1.169
N-8	JUNCTION	0.00	140.36	0 03:27	0.000	1.169
N-9	JUNCTION	0.00	140.33	0 03:27	0.000	1.168
N-10	JUNCTION	0.00	140.42	0 03:27	0.000	1.167
N-11	JUNCTION	0.00	140.27	0 03:28	0.000	1.167
N-12	JUNCTION	0.00	140.05	0 03:29	0.000	1.166
N-13	JUNCTION	0.00	139.97	0 03:29	0.000	1.165
N-15	JUNCTION	0.00	26.77	0 04:00	0.000	0.198
N-16	JUNCTION	19.11	45.88	0 04:00	0.142	0.340
N-17	JUNCTION	0.00	44.53	0 04:00	0.000	0.337
N-18	JUNCTION	0.00	41.33	0 03:24	0.000	0.323
N-19	JUNCTION	0.00	41.22	0 03:24	0.000	0.323
N-20	JUNCTION	5.90	46.65	0 03:25	0.044	0.366
N-21	JUNCTION	0.00	46.59	0 03:25	0.000	0.366
N-14	OUTFALL	0.00	139.89	0 03:30	0.000	1.164

Figura 34

SWMM; Caudal en nudos; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 4 de Junio de 2013

La sobrecarga es cuando el agua rebasa el nivel de la capacidad del conducto. Indica el pozo, la hora y las alturas de que llega a alcanzar el agua dentro del pozo. Ver figura 35.

```
*****
Resumen de Sobrecarga en Nudos
*****
```

La sobrecarga ocurre cuando el agua sube por encima del conducto más elevado.

Nudo	Tipo	Horas en carga	Máx. Altura sobre Tope Metros	Mín. Nivel bajo Base Metros
N-3	JUNCTION	1.00	1.700	0.000
N-16	JUNCTION	0.72	1.450	0.000
N-17	JUNCTION	0.87	1.950	0.000
N-18	JUNCTION	0.68	0.000	2.200

Figura 35

SWMM; Nudos con sobrecarga; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 4 de Junio de 2013

Los pozos que llegan a inundarse, es decir que rebasan el nivel del pozo.

Muestra cuantas horas se mantiene inundada, el caudal en lps, la hora en que se empieza a inundar y el volumen.

Aquí nuevamente se puede corroborar que los pozos 16 y 17, sí son los que prácticamente se inundan mas aparte el otro pozo 3, y el pozo 18 estaba en duda, pero aquí se puede observar que no se inunda, solo se sobrecarga es decir que rebasa la altura de la tubería. Ver figura 36.

```
*****
Resumen de Inundación en Nudos
*****
```

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.

Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 <sup>6</sup> ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
N-3	1.00	21.52	0 04:00	0.059	0.00
N-16	0.72	3.38	0 04:00	0.007	0.00
N-17	0.87	5.73	0 04:00	0.015	0.00

Figura 36

SWMM; Nudos con inundación; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 5 de Junio de 2013

El único pozo de vertido o descarga en la que se presenta la frecuencia de descarga, el caudal en lps y el volumen total descargado en volumen. Ver figura 37.

```
*****
Resumen de Vertidos
*****
```

Nudo de Vertido	Frec. Vertido % Porc.	Caudal Medio LPS	Caudal Máximo LPS	Volumen Total 10 <sup>6</sup> ltr
N-14	87.38	30.80	139.89	1.164
Sistema	87.38	30.80	139.89	1.164

Figura 37

SWMM; Nudo de vertido; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 5 de Junio de 2013

Aquí se muestra el caudal conducido en cada conducto y además la hora del caudal máximo, la velocidad máxima en tubo lleno así como su nivel. Ver figura 38.

```

*****
Resumen de Caudal en Líneas
*****

```

Línea	Tipo	Caudal Máximo LPS	Instante Caudal Máx días hr:min	Veloc. Máxima m/sec	Caudal Máx/ Lleno	Nivel Máx/ Lleno
L-2	CONDUIT	52.91	0 04:00	0.89	0.96	0.79
L-3	CONDUIT	57.95	0 04:09	0.91	1.06	1.00
L-4	CONDUIT	78.36	0 04:00	1.02	0.74	0.64
L-5	CONDUIT	94.98	0 04:00	1.37	0.65	0.59
L-6	CONDUIT	140.45	0 03:26	0.83	0.61	0.56
L-7	CONDUIT	140.36	0 03:27	1.25	0.35	0.41
L-8	CONDUIT	140.33	0 03:27	1.19	0.38	0.43
L-9	CONDUIT	140.42	0 03:27	1.16	0.39	0.43
L-10	CONDUIT	140.27	0 03:28	0.89	0.55	0.53
L-11	CONDUIT	140.05	0 03:29	0.89	0.55	0.53
L-12	CONDUIT	139.97	0 03:29	0.96	0.50	0.50
L-13	CONDUIT	139.89	0 03:30	0.89	0.55	0.53
L-14	CONDUIT	26.77	0 04:00	0.78	0.49	0.49
L-15	CONDUIT	26.77	0 04:00	0.95	0.37	0.42
L-16	CONDUIT	44.53	0 04:00	0.70	1.05	0.94
L-17	CONDUIT	41.33	0 03:24	0.65	1.07	1.00
L-18	CONDUIT	41.22	0 03:24	0.70	0.96	0.78
L-19	CONDUIT	40.84	0 03:25	0.62	0.61	0.57
L-20	CONDUIT	46.59	0 03:25	0.69	0.64	0.58
L-21	CONDUIT	46.42	0 03:26	0.74	0.57	0.54

Figura 38

SWMM; Caudales; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 5 de Junio de 2013

Además esta tabla 38 se puede utilizar para hacer una comparación con los datos que se obtuvieron por medio del Método Tradicional. Y los datos siguientes son los que se utilizaron:

Coeficiente de escurrimiento:  $C = 0.53$

Tiempo de concentración:  $t_c = 0.000325 \times \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \times 60$

Periodo de retorno:  $Tr = 5$  años

Duración:  $d = 20$  minutos

Intensidad:  $i = \frac{189.23 Tr^{0.57}}{d^{0.68}}$

Gasto:  $Q = 2.778CiA$

A= área de cada tramo de la cuenca.

Velocidad:  $t = \frac{d}{v} / 60$

Nomograma de Manning.

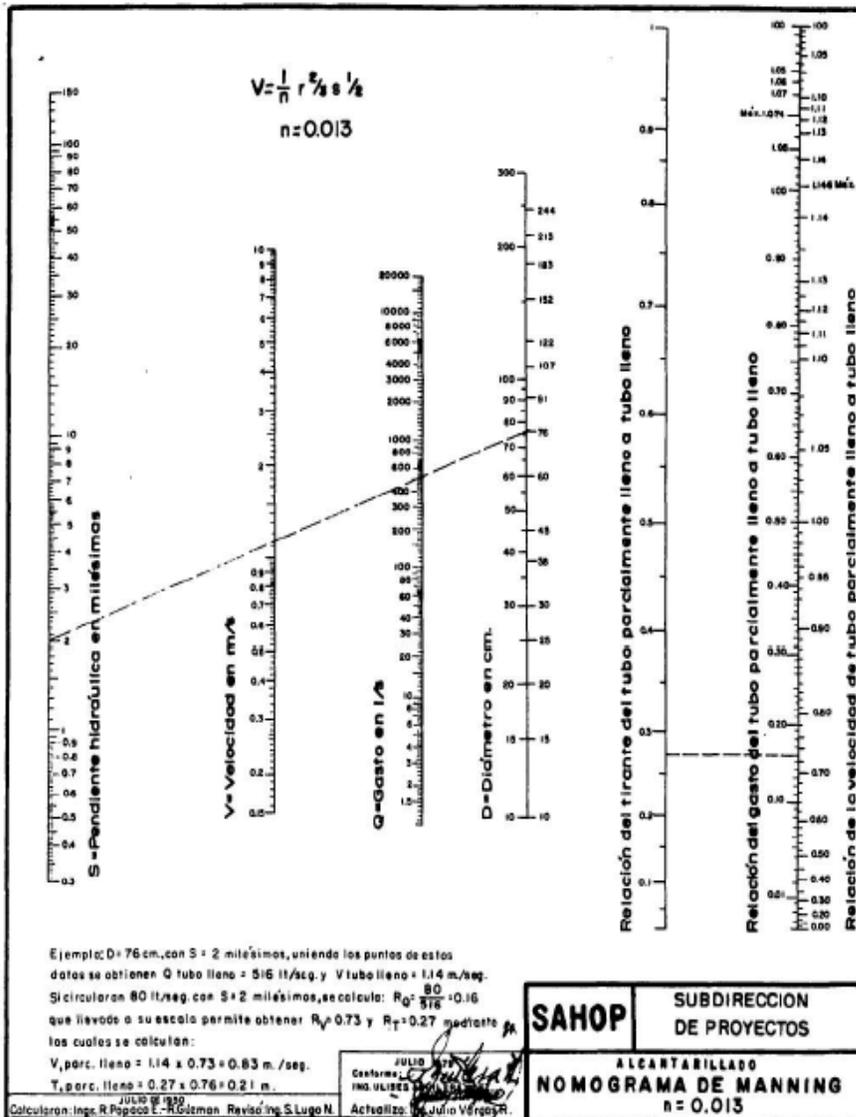


Figura 39

INE; Nomograma de Manning; c. a. 2007

Sin título; Imagen tomada del documento: Normas de proyecto para obras de alcantarillado sanitario en localidades urbanas de la República Mexicana

Fecha de actualización: 6 de Junio de 2013

Con todos estos datos se obtuvo la siguiente tabla. Y como se puede notar que los datos son parecidos ya que los caudales, la velocidad y los diámetros la diferencia es mínima.

**Tabla 12** Calculo de proyecto por el método tradicional.

Crucero	Áreas			Tiempos				$\hat{i}$ mm/h	Q l/s	S miles	$\varnothing$ (cm)	Funcionamiento Hidráulico			
	Propia	Tributaria	Acumulada	Long (m)	Ingreso	transito	Concentración					$Q_{II}$ (l/s)	$V_{II}$ (m/s)	$V_{real}$ (m/s)	Tiempo Transit.
Línea 14		0.2128													
	0.0882		0.301	42	3.79	1.13	20.00	61.76	27.37	2	25	28	0.54	0.62	1.13
Línea 15		0.094													
	0.1661		0.5611	60	5.00	1.49	21.13	59.49	49.14	2	30	42	0.6	0.67	1.49
Línea 16		0.092													
	0.0695		0.723	35	4.3	1.02	22.62	56.80	60.46	1	36	60	0.5	0.57	1.02
Línea 17		0													
	0.044		0.767	42	4.95	1.22	23.64	55.12	62.24	1	36	60	0.5	0.57	1.22
Línea 18		0.099													
	0.007		0.873	17	2.47	0.45	24.86	53.26	68.46	1	45	90	0.56	0.62	0.45
Línea 19		0.085													
	0.0153		0.97	25	3.32	0.67	25.31	52.62	75.15	1	45	90	0.56	0.62	0.67
Línea 20		0.415													
	0.0434		1.428	42	4.95	0.98	25.98	51.69	108.67	1	60	190	0.68	0.71	0.98
Línea 21		0.439													
	0.0434		1.9104	42	4.95	0.94	26.96	50.40	141.76	1	60	190	0.68	0.74	0.94
Línea 6		0.567													
	0		2.477	13	2.00	0.28	27.90	49.24	179.58	1	60	190	0.68	0.77	0.28
Línea 7		0													
	0		2.477	26	2.62	0.41	28.18	48.91	178.37	2	60	260	0.98	1.04	0.41
Línea 8		0													
	0		2.477	60	5.00	0.95	28.59	48.43	176.62	2	60	260	0.98	1.05	0.95
Línea 9		0													
	0		2.477	10.5	1.3	0.16	29.54	47.37	172.75	2	60	260	0.98	1.05	0.16
línea 10		0													
	0		2.477	53.5	5.97	1.17	29.70	47.19	172.10	1	60	200	0.68	0.76	1.17
Línea 11		0													
	0		2.477	53.5	5.97	1.17	30.87	45.97	167.65	1	60	200	0.68	0.76	1.17
Línea 12		0													
	0		2.477	53.5	5.97	1.18	32.04	44.82	163.45	1	60	200	0.68	0.75	1.18
Línea 13		0													
	0		2.477	53.5	5.97	1.18	33.22	43.73	159.48	1	60	200	0.68	0.75	1.18
							T= 34.4								

Se vuelve a mostrar este apartado en donde menciona a los conductos en donde se debe tener precaución debido al exceso de caudal y que el diámetro no cumple.

```

*****
Resumen de Sobrecarga de Conductos
*****

```

Conduit	Horas Lleno		Horas Q > Q unif. Capacidad	
	Ambos Ext	Ext.Ini. Ext.Fin.	Tubo Lleno	Limitada
L-3	0.90	0.98	0.98	0.98
L-16	0.01	0.70	0.70	0.70
L-17	0.67	0.85	0.17	0.85

Figura 40

SWMM; Conductos con sobrecarga; c. a. 2013

Sin título; Imagen tomada del programa SWMM

Fecha de actualización: 7 de Junio de 2013

Por último se muestra una tabla en donde se comparan los resultados por las dos formas de cálculo.

Líneas	Método tradicional		SWMM	
	Gastos (l/s)	Velocidades (m/s)	Gastos (l/s)	Velocidades (m/s)
Línea 6	179.58	0.77	140.45	0.83
Línea 7	178.37	1.04	140.36	1.25
Línea 8	176.62	1.05	140.33	1.19
Línea 9	172.75	1.05	140.42	1.16
Línea 10	172.10	0.76	140.27	0.89
Línea 11	167.65	0.76	140.05	0.89
Línea 12	163.45	0.75	139.97	0.96
Línea 13	159.48	0.75	139.89	0.89
Línea 14	27.37	0.62	26.77	0.78
Línea 15	49.14	0.67	26.77	0.95
Línea 16	60.46	0.57	44.53	0.70
Línea 17	62.24	0.57	41.33	0.65
Línea 18	68.46	0.62	41.22	0.70
Línea 19	75.15	0.62	40.84	0.62
Línea 20	108.67	0.71	46.59	0.69
Línea 21	141.76	0.74	46.42	0.74

La línea 6, ahí se llega a juntar todo el caudal que sale de la zona residencial.

La línea 13, es la que llega a descargar al colector sobre la avenida Ing. Eduardo Molina.

## **VII.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

A la velocidad de crecimiento que está teniendo la Ciudad de México, la complejidad del problema urbano obliga a tener presente en el desarrollo de cualquier proyecto, que se deben realizar de manera correcta y ser servicial para la población.

Los proyectos de redes primarias y secundarias de drenaje deben ser concebidos y desarrollados no solo con métodos tradicionales de la ingeniería, sino haciendo uso de las nuevas herramientas, esto con la finalidad de obtener mejores resultados en la planeación, desarrollo y funcionamiento de proyectos de infraestructura sanitaria.

Querer mantener el mismo ritmo de crecimiento de la infraestructura de servicios públicos a la expansión de la zona urbana de la Ciudad de México, es un reto muy grande que se está enfrentando. Por ello resulta indispensable estar a la vanguardia.

Hacer uso de las nuevas herramientas que proporciona la tecnología, que son los software, tiene que ser un hábito que debe de estar adquiriendo el profesionista constantemente, y hacer uso de ella en su vida profesional. Cada día, nuevas herramientas salen al mercado y el ingeniero civil debe estar actualizado, para tener la habilidad y capacidad de resolver cualquier tipo de problema que se le presente.

Los dimensionamientos hidráulico- geométrico de las redes de drenaje, es un aspecto fundamental del diseño, el cual no solo debe basarse en métodos cotidianos de cálculo, sino en diversos tipos de análisis y así llegar a una conclusión más concreta.

### **Recomendaciones**

Uno de los problemas que enfrenta la Ciudad no es tanto la cobertura de la red de servicio de drenaje sino la calidad con que funciona para la población, causa de ello es por el deterioro, insuficiencia por la creciente demanda de la población y muchas veces por la mala planeación.

Después de este análisis presentado se puede llegar a ver que este programa SWMM, es una herramienta de simulación confiable, ya que mostró ciertos resultados y comparando con otro método normal (cálculo a mano), se mostraron valores parecidos.

Además del análisis en este proyecto, este programa tiene más herramientas que se pueden utilizar en el campo profesional.

Así mismo el programa permite también definir áreas de sección transversal irregular permitiendo representar con ellos cauces naturales. Esta simulación que se realizó es solo una pequeña parte de lo que puede hacer este programa. Tiene muchas otras aplicaciones.

Por eso al hacer uso de estas herramientas al diseñar una red de drenaje es bueno apoyarnos en estos programas para realizar los proyectos.

---

---

## BIBLIOGRAFÍA:

- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica; Manual de Hidráulica Urbana del Distrito Federal Tomo I Teoría General; México; 1982.
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México; Plan Hidráulico Delegacional (2007-2012) Gustavo A. Madero; México; 2006.
- Comisión Nacional del Agua; Manual de Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento; -Alcantarillado Sanitario; -Alcantarillado Pluvial; - Datos Básicos; México; 2007.
- Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos; SWMM Modelo de Gestión de Aguas Pluviales 5.0 VE. Manual de Usuario; Valencia, España; 2005.
- Gobierno del Distrito Federal; Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas; México; 2004.

### **Referencia web (on line)**

- [www.maps.google.com.mx](http://www.maps.google.com.mx)
- [eias.entalca.cl](http://eias.entalca.cl)
- [ing.unne.edu.ar](http://ing.unne.edu.ar)

---

---

# Anexos

---

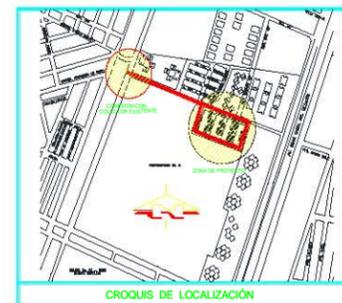
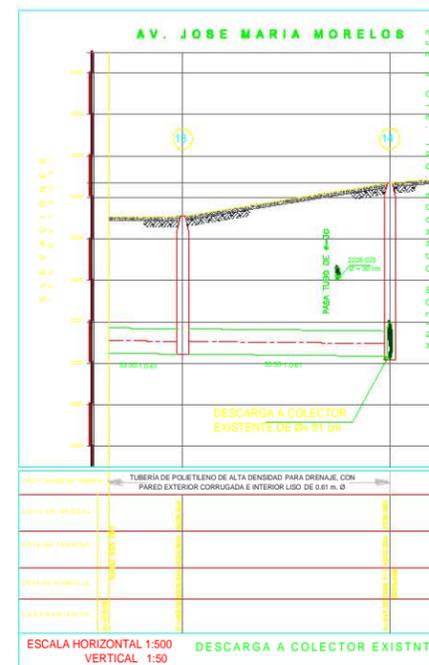
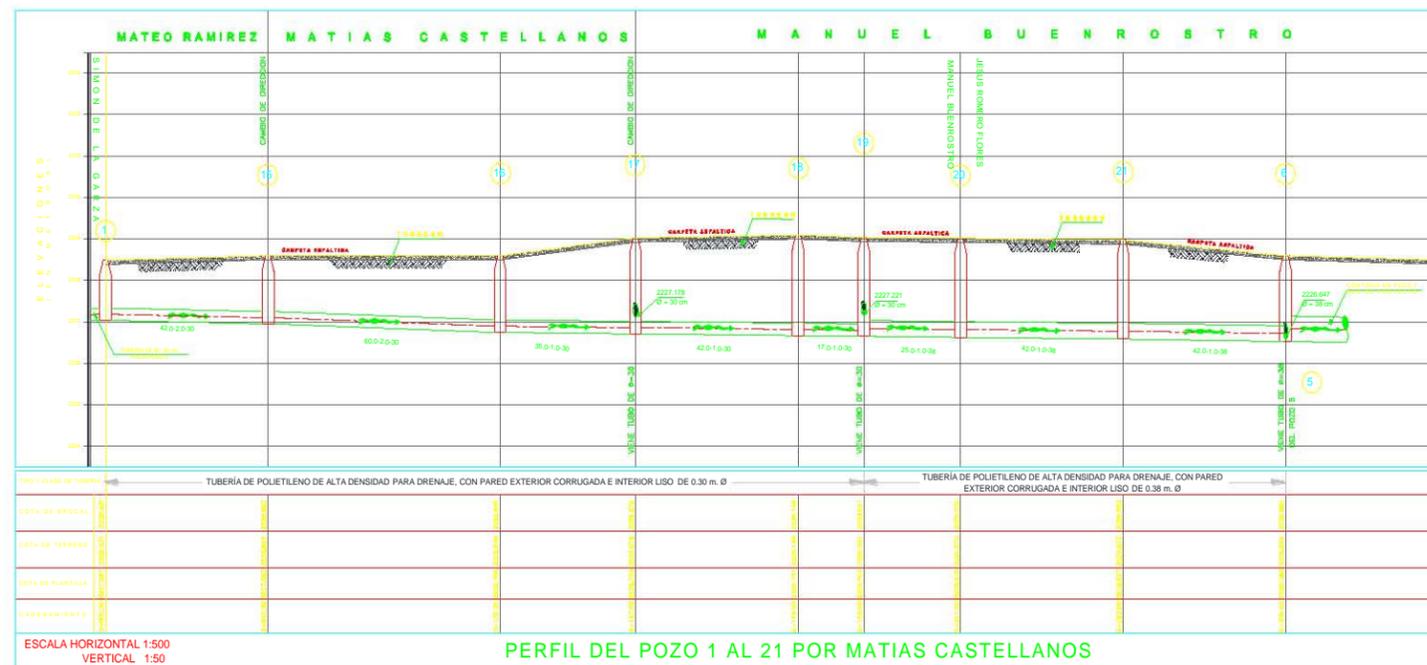
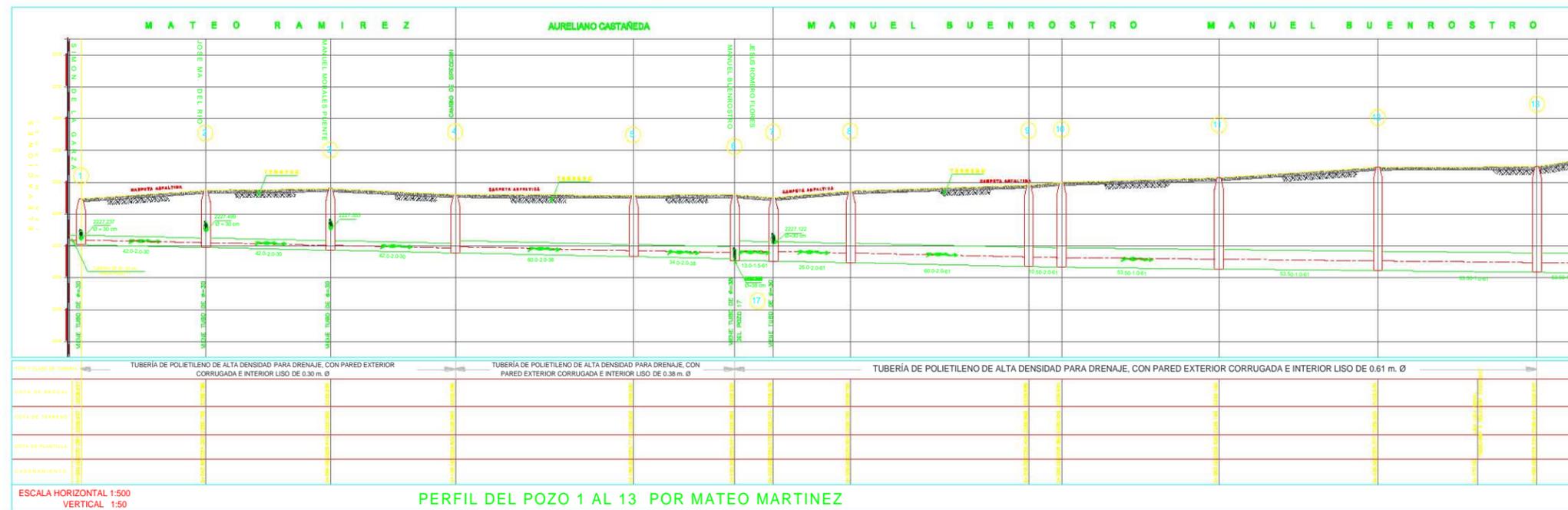
---



# Distribución de cuencas para el programa SWMM







**SIMBOLOGÍA**

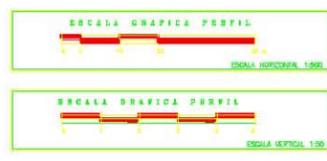
PROYECTO :

- COLECTOR
- ACTUADA
- POZO CERRADO
- POZO DE VENTA-COMPA
- N. DE POZO DEL TUBO
- LONGITUD-PENDIENTE (M/100)
- COTA DE TERRENO
- COTA DE PLANTILLA AL TUBO EN EL POZO
- TUBERÍA POR SUSTITUIR
- CONCRETO

EXISTENTE :

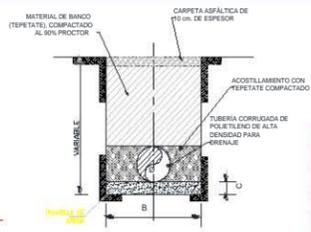
- PASEMIENTO
- GUARNICIÓN
- BANCO DE NIVEL
- REVESTIDO DE TUBERÍA
- POSTE DE LUZ Y ALAMBADO
- POSTE DE TELÉFONO (BARRERA)
- ABASTECIMIENTO
- NUMERO Y SENTIDO DE FOTOGRAFÍA
- SENTIDO DEL FLUJO EN POZOS
- CLAVE DEL POZO DE VENTA
- ELEVACION DEL BOCAL
- ELEVACION DE PLANTILLA ENTRADA
- ELEVACION DE PLANTILLA SALIDA
- LONGITUD-PENDIENTE (M/100)
- SENTIDO DE LAS CALLES
- REGISTRO LUZ Y FUERZA
- ARCO
- BOCA DE TORMENTA
- CAJA DE AGUA
- CAJA AGUA INCENDIOS
- SEÑALIZACIÓN
- CASITA TELEFONICA

- NOTAS GENERALES**
- LA ORIENTACIÓN ES MAGNÉTICA.
  - LOS ACOTADOS EN EL DISEÑO Y SELECCIONES SE HAN HECHO EN METROS Y LA FRONTE DE VENTA BARRERA EN EL SERRAVAL.
  - LA TUBERÍA A INSTALAR DEBERÁ SER DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PARA DRENAJE CON UN PERFILE CORRUGADO, CON PARED CORRUGADA EXTERIOR E INTERIOR LISO. LAS BARRERAS DE VENTA DEBERÁN COMPARTIR LA CARGA DE LA SECCIÓN SIN SER PARADA BAJO LA NORMA ASBHTO 1-2007 Y TAMBIÉN CON PERFORACIÓN BAJO LA CARGA DE TRÁNSITO, CUMPLIENDO POR LA CARGA BAJO LA NORMA ASBHTO 1-2007 (POR INFORMACIÓN, LOS EMPHOS DEBERÁN CUMPLIR CON LA NORMA ASTM F271, LA INSTALACIÓN DEBERÁ SER BAJO SUPERVISIÓN DE LA AFSA C-2007).
  - EL RELLENO DE LA ZANJA DEBE SER DE LOMO DEL TUBO HASTA EL NIVEL DE TERRENO NATURAL, CON MATERIAL DE BANCO (TIESTE) COMPACTADO DE CAMINO NO INFERIOR DEL 90% AL 95% DE LA PRUEBA TÉCNICA PROCTOR ESTIMAR.
  - ANTES DE EMPEZAR LOS TRABAJOS DE EXCAVACIÓN SE DEBERÁN REALIZAR OBRAS PARA ESTABLECER LA POSICIÓN EXACTA DE LA INSTALACIÓN DE LA BARRERA DE VENTA, TAL COMO LÍNEAS DE AGUA POTABLE, TELEFÓNICAS, DE GAS, DE FUMOS, ETC.
  - LA OBRERA DEBERÁ SER INSTALADA LA TUBERÍA EN SU ANCHO, BASTA SEÑALAR SEÑALADO EN LA ZANJA TIPO.
  - EL ACOTILLAMIENTO DE LA TUBERÍA DEBE SER CON MATERIAL SANO (TIESTE), COMPACTADO AL 90% PROCTOR.
  - LA COMPROBACIÓN DE LOS POZOS DE VENTA TIPO COMPA, SE REALIZARÁ DE ACUERDO A LAS PLACAS TIPO COMPA.
  - LOS BOCALONES DEBERÁN DE SER TIPO PENSADO.
  - LOS TAPAS DE LOS POZOS DE VENTA Y BOCALONES DEBERÁN DE SER:
  - TOCOS LOS TRABAJOS SE REALIZARÁN BAJO LA SUPERVISIÓN DEL SACAL.
  - PRIMA LA EJECUCIÓN DE ESTE PROYECTO SE CUMPLIRÁN LAS ESPECIFICACIONES CONTENIDAS EN EL RELEVAMIENTO Y NORMAS TÉCNICAS PARA CONTROLAR EN EL D.P.
  - EN TODOS LOS CASOS DE LÍNEAS DE AGUA POTABLE QUE INTERFERAN CON LA RED DE PROYECTO, SE SOLUCIONARÁN EN FAVOR DE LA TUBERÍA DE PROYECTO.
  - SE COMPROBÁN LAS DESCARGAS DOMICILIARIAS A LO LARGO DE LA RED.



**DIMENSIONES**

Ø	B	C
38	90	10
45	100	15
60	120	15



NO. DE HOJAS	TÍTULO	REV.	FECHA	MODIFICACIONES	MODIFICADO	REVISADO	APROBADO

**Ciudad México** Secretaría del Medio Ambiente  
Sistema de Aguas de la Ciudad de México

PROYECTO EJECUTIVO DE SUSTITUCIÓN DE RED SECUNDARIA DE DRENAJE EN LA COLONIA FERROCARRILERA  
PERFIL

ESCALA HORIZONTAL 1:500  
ESCALA VERTICAL 1:50

FECHA: FEBRERO-2012