



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

REVISIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTRILLADO DE LA ZONA  
DEPORTIVA DENTRO DE CIUDAD UNIVERSITARIA, UTILIZANDO EL  
SOFTWARE EPA SWMM

TESIS PROFESIONAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA  
GUSTAVO ALAN BONILLA JAIME

ASESOR  
M.I. CRISTIAN EMMANUEL GONZÁLEZ REYES



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, JUNIO 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## AGRADECIMIENTOS

### *A MIS PADRES:*

*Gracias por todo el amor, apoyo y comprensión incondicional que me brindaron a cada instante para ayudarme a conseguir éste gran logro en mi vida profesional.*

### *A MIS HERMANAS:*

*Gracias por todo el cariño y la comprensión que me brindaron en esos momentos difíciles.*

### *A MI TÍO:*

*Gracias por la confianza y todo el apoyo que me brindo en todo momento.*

### *A MI TUTOR:*

*Gracias por asesorarme y transmitirme tu conocimiento durante mi formación profesional.*

### *A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS:*

*Gracias por esos momentos de alegría y consejos que me brindaron, principalmente a esa persona que me demuestra su amor incondicional en todo momento.*

### *A MI UNIVERSIDAD:*

*Gracias por la formación ética y profesional que me bridó para ser una persona de provecho para la sociedad.*

## ÍNDICE

---

### INTRODUCCIÓN

Introducción.....	7
Antecedentes de los sistemas de alcantarillado .....	8
Objetivo.....	8
Alcances .....	9
Limitaciones .....	9

---

---

### I. CRITERIOS DE DISEÑO

1.- Criterios de diseño .....	11
1.1.- Tipo de sistema .....	11
1.1.1.- Alcantarillado pluvial.....	11
1.1.2.- Alcantarillado sanitario .....	12
1.1.3.- Alcantarillado combinado .....	13
1.1.4.1.- Tuberías o conductos .....	15
1.1.4.1.1.- Atarjeas .....	15
1.1.4.1.2.- Subcolectores.....	16
1.1.4.1.3.- Colectores .....	16
1.1.4.1.4.- Emisor .....	16
1.1.4.2.- Estructuras y obras accesorias .....	16
1.1.4.2.1.- Pozos de visita comunes .....	17
1.1.4.2.2.- Pozos de visita especiales .....	18
1.1.4.2.3.- Pozos caja.....	20
1.1.4.2.4.- Pozos caja de unión .....	21
1.1.4.2.5.- Pozos caja de deflexión.....	22
1.2.- Determinación de escurrimiento .....	22
1.2.1.- Alcantarillado Sanitario.....	22
1.2.1.1.- Gasto medio.....	23
1.2.1.2.- Gasto mínimo.....	24
1.2.1.3.- Gasto máximo instantáneo .....	25
1.2.1.4.- Gasto máximo extraordinario .....	27
1.2.2.- Alcantarillado Pluvial.....	27
1.2.2.1.- Método racional.....	29
1.2.2.2.- Método Alemán .....	31
1.3.- Velocidades permisibles .....	33
1.3.1.- Velocidad máxima .....	33
1.3.2.- Velocidad mínima .....	34
1.4.- Factores que determinan la velocidad del agua en una conducción a gravedad.....	35
1.4.1.- Pendiente de plantilla .....	36
1.4.1.1.- Pendiente mínima de la tubería.....	36
1.4.1.2.- Pendiente máxima de la tubería .....	36
1.4.2.- Sección transversal del conducto.....	38
1.4.3.- Rugosidad .....	39

“REVISIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE LA ZONA DEPORTIVA DENTRO DE CIUDAD  
UNIVERSITARIA UTILIZANDO EL SOFTWARE EPA SWMM”

---

1.5.- Criterios de Optimización.....	40
1.5.1.- Criterio de optimización modificando la pendiente del conducto .....	40
1.5.2.- Criterio de optimización modificando el diámetro del conducto .....	40
1.6.- Factores externos a considerar en el diseño de un sistema de alcantarillado .....	41
1.6.1.- Ancho de zanja.....	41
1.6.2.- Plantilla o encamado.....	44
1.6.3.- Profundidad de zanja .....	48
1.6.4.- Determinación de espesor de tubo.....	50
1.6.5.- Separación entre pozos de visita .....	52

---

## **II. SOFTWARE EPA SWMM**

2.- Software EPA SWMM.....	54
2.1.- Utilidades del software EPA SWMM .....	55
2.1.4.- Componentes del sistema.....	14
2.2.- Dibujo de objetos.....	55
2.2.1.- Cuenca .....	59
2.2.2.- Nudos o Conexiones .....	59
2.2.2.1.- Conexiones.....	59
2.2.2.2.- Vertido .....	60
2.2.3.- Conducciones.....	60
2.3.- Características de los elementos.....	61
2.3.- Diagrama de flujo para el diseño de un tramo de alcantarillado usando EPA SWMM .....	72
2.3.1.- Pluviometro .....	61
2.3.1.1.- Serie temporal .....	62
2.3.2.- Cuencas.....	63
2.3.3.- Conexiones.....	65
2.3.3.1.- Aportes .....	65
2.3.3.2.- Patrones temporales.....	66
2.3.4.- Vertidos.....	68
2.3.5.- Depósitos .....	69
2.3.6.- Conductos .....	70
2.4.- Resultados que ofrece el software EPA SWMM y su interpretación. ....	74
2.4.1.- Velocidad .....	74
2.4.2.- Inundación .....	75
2.4.3.- Capacidad.....	76
2.4.4.- Nivel .....	77
2.4.5.- Perfil Longitudinal .....	78

---

## **III. APLICACIÓN DEL SOFTWARE EPA SWMM A LA REVISIÓN DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO**

3.- Aplicación del software EPA SWMM a la revisión de un sistema de alcantarillado.....	81
3.1.- Descripción de las características del sitio .....	82
3.1.1.- Documentación.....	83
3.1.1.1.- Información brindada por la Dirección General de Obras y Conservación UNAM.....	84
3.1.1.2.- Información brindada por la unidad hidrométrica.....	85
3.3.5.- Depósitos .....	68

#### ***IV. MANEJO DE DATOS PLUVIALES***

4.- Manejo de datos pluviales .....	87
4.1.- Determinación de intensidad.....	87

---

#### ***V. SIMULACIÓN***

5.- Simulación.....	90
5.1.- Determinación de áreas de Influencia .....	91
5.2.- Asignación de datos a cada nudo.....	93
5.2.1.- Tipo de nudo .....	93
5.2.1.1.- Vertido .....	93
5.2.1.2.- Pozo .....	94
5.2.2.- Cotas de profundidad .....	94
5.3.- Trazado de tramos .....	95
5.3.1.- Asignación de forma del conducto.....	95
5.3.2.- Asignación de diámetros.....	96
5.4.- Asignación de aportaciones .....	97
5.4.1.- Aportaciones Sanitarias .....	97
5.4.2.- Descargas Pluviales .....	100
5.5.- Asignación de datos externos al sistema .....	101
5.5.1.- Series Temporales.....	102
5.5.2.- Patrones Temporales .....	103
5.6.- Visualización de la simulación .....	104

---

#### ***VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS***

6.- Análisis de resultados .....	106
6.1.- Identificación de inundación en nudos .....	107
6.2.- Verificación de velocidades permisibles .....	108

---

#### ***VII. RECOMENDACIONES***

7.- Recomendaciones .....	112
---------------------------	-----

---

#### ***VIII. CONCLUSIONES***

8.- Conclusiones .....	115
------------------------	-----

---

#### ***BIBLIOGRAFÍA***

Bibliografía .....	118
--------------------	-----

# INTRODUCCIÓN

## Introducción

La revisión del sistema de alcantarillado de la zona deportiva dentro de Ciudad Universitaria (CU) utilizando el software EPA SWMM, es un trabajo realizado de manera objetiva con datos reales, a fin de determinar el comportamiento hidráulico y las posibles fallas que pueden presentarse durante un evento determinado y que afecten al sistema de desagüe. Este trabajo se llevó a cabo utilizando el software EPA SWMM, el cual ha sido creado y desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental EPA por sus siglas en inglés (Environmental Protection Agency). EPA SWMM facilita el diseño de los sistemas de alcantarillado de cualquier tipo, así mismo ofrece una visualización del comportamiento del sistema en cualquier instante.

Este trabajo ofrece al lector la posibilidad de observar las características de los elementos que integran al software EPA SWMM, los cuales son utilizados para la simulación. Lo anterior con el propósito de facilitar la comprensión del funcionamiento de dicho software, Además de promover la utilización de éste como una herramienta valiosa para el diseño o revisión de sistemas de alcantarillado.

Adicionalmente se explica el funcionamiento del software por medio de un ejemplo de aplicación, realizándose la detección de los elementos que durante la tormenta de diseño presentan problemas provocando la falla de algunos componentes del sistema.

De la misma forma en que se detallan las fallas de los elementos del sistema, también se ofrecen algunas recomendaciones para la solución de los mismos. Las recomendaciones realizadas en este trabajo fueron analizadas y propuestas como medida de seguridad, con el único propósito de dar solución a los problemas que se presentan dentro del sistema; y no como propuestas formales que pueden ser ejecutadas sin la necesidad de algún análisis previo o evaluación de dichas recomendaciones.



## **Antecedentes de los sistemas de alcantarillado**

La necesidad del ser humano por desalojar el agua ya utilizada, es decir el agua servida, siempre ha estado presente; aunque no en las mismas condiciones. Dicha necesidad depende directamente del surgimiento y ampliación de los sistemas de abastecimiento de agua potable. En épocas anteriores no se contaba con sistemas de abastecimiento y, por lo tanto, el agua utilizada por la población era mínima y bastaba con el uso de fosas sépticas para mitigar el problema del desagüe.

El crecimiento de las poblaciones a lo largo de las diferentes épocas de la historia ha afectado de manera directa el desarrollo de los sistemas de alcantarillado, debido a que casi todas las poblaciones en su inicio buscaban establecerse cerca de una fuente de agua, particularmente ríos, ya que éstos al presentar un flujo continuo también funcionan como desagüe. Ésta forma de utilizar los caudales naturales como lugares de desecho para aguas residuales provocó problemas fuertes de salud, ya que si un río abastecía a varias poblaciones en diferentes altitudes, las poblaciones de menor altitud se abastecían de agua contaminada; y ésta al ser consumida o almacenada representaba un foco de infecciones al igual que una fosa séptica mal manejada. Por ende surge la necesidad de desarrollar una forma eficiente de desalojar las aguas residuales de una población. Con el paso del tiempo y el desarrollo de la ingeniería se logró la aplicación de conocimientos hidráulicos para el abastecimiento de agua potable y el alcantarillado.

## **Objetivo**

Construir un modelo por computadora para simular el funcionamiento del sistema de alcantarillado de la Zona deportiva utilizando el software EPA SWMM. En su caso, dar recomendaciones para el diseño de la solución.

## **Alcances**

Este trabajo se basa en el diagnóstico de la situación de operación y funcionamiento actual del sistema de alcantarillado de la zona deportiva del campus CU. La simulación se hará mediante el uso del software EPA SWMM versión 5. También, en caso de ser necesario, se realizarán las propuestas o medidas pertinentes para la solución de los problemas que se presenten.

## **Limitaciones**

Los datos de la infraestructura instalada que son requeridos para la realización de la simulación, por ejemplo: número de pozos de visita, cotas de profundidad, características de los conductos, así como la ubicación y trayectoria de estos. Todos estos datos están sujetos a la información proporcionada por la Dirección General de Obras y Conservación (DGOyC) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

# **CRITERIOS DE DISEÑO**

## **1.- Criterios de diseño**

En este capítulo, como su nombre lo indica, se enunciarán los criterios a considerar para realizar el diseño de un sistema de alcantarillado. Nombrando a detalle los diferentes elementos que integran la red de alcantarillado.

### **1.1.- Tipo de sistema**

Para realizar un diseño adecuado o una adecuada revisión es necesario conocer el tipo de sistema de alcantarillado en estudio, ya que existen tres tipos de sistemas de alcantarillado, los cuales son: pluvial, sanitario y combinado, este último es el que habitualmente se utiliza en la Ciudad de México. En los siguientes subcapítulos se describen dichos sistemas.

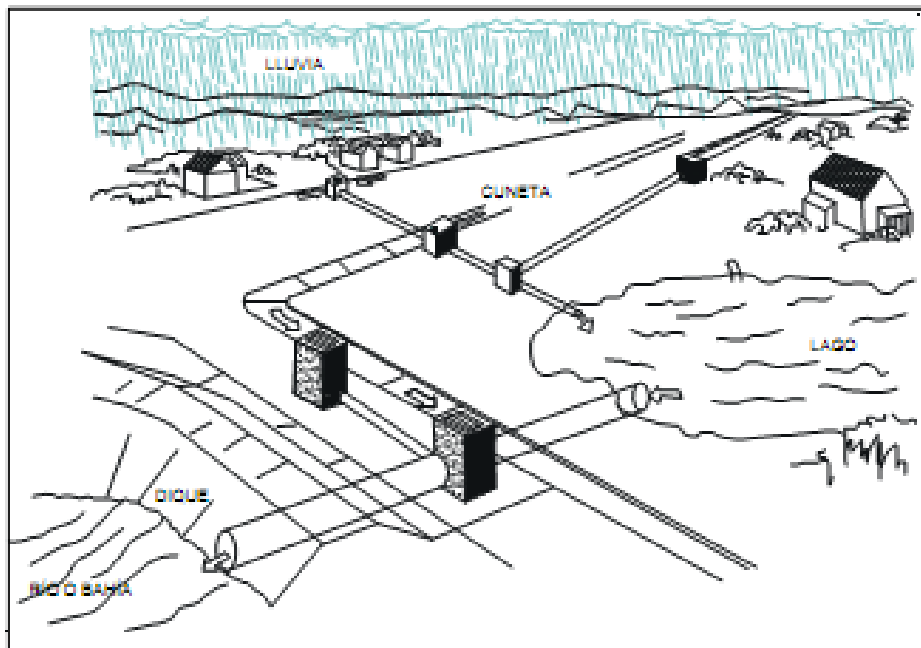
#### **1.1.1.- Alcantarillado pluvial**

Este sistema de alcantarillado sólo desaloja el agua que escurre debido a precipitaciones pluviales. Es utilizado principalmente en zonas urbanizadas, dado que la infiltración del agua al subsuelo es demasiado lenta, y esto provocaría inundaciones. Este tipo de sistema se diseña y revisa con los datos hidrométricos de la zona en cuestión.

El diseño de este tipo de sistema no se basa en la precipitación más severa, sino que, por aspectos económicos, se diseña para precipitaciones menores, *“aceptando que los problemas de encharcamiento serán mínimos.”*<sup>1</sup> En cambio, si el sistema de alcantarillado es diseñado con la precipitación más severa, representa un mayor costo de la infraestructura a instalar. Además, habrá de tomarse en cuenta que a medida de que una ciudad se edifica, las áreas impermeables incrementan y por consiguiente el escurrimiento aumenta.

---

<sup>1</sup> Comisión Nacional del Agua, *Alcantarillado Pluvial*, página 9.



**Fuente:** *Alcantarillado Pluvial, MAPAS*

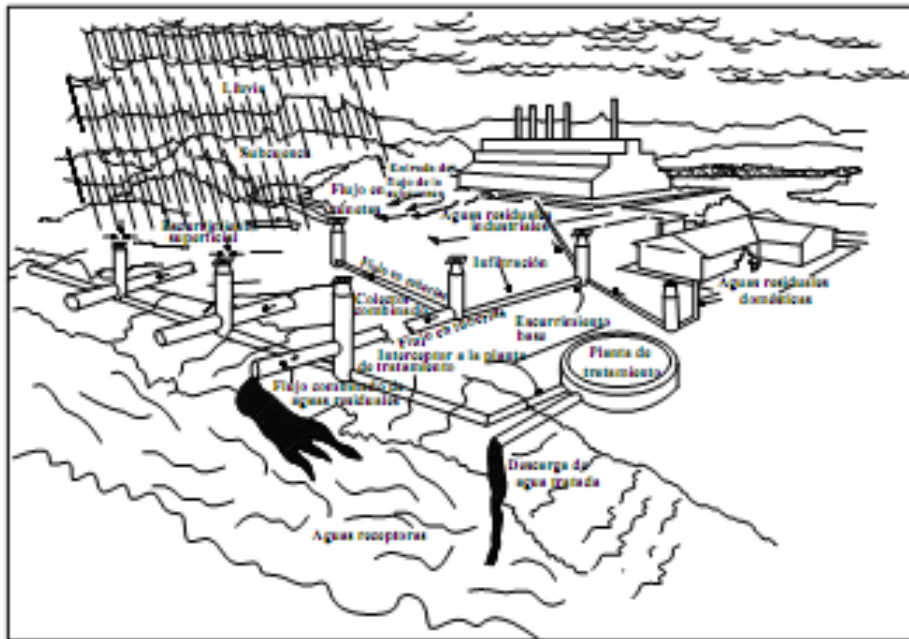
**Figura 1.1** *Sistema de alcantarillado pluvial*

### 1.1.2.- Alcantarillado sanitario

El objetivo de este tipo de alcantarillado es exclusivamente el desalojo de las aguas residuales generadas en zonas habitacionales, industriales y comerciales. Dicho sistema evita brotes de enfermedades en la población. Para su diseño es necesario conocer la densidad poblacional así como las características de uso de suelo, entre otros datos.

### 1.1.3.- Alcantarillado combinado

Consiste en la combinación de los dos sistemas anteriores y tiene el propósito de desalojar el agua que no es utilizada por la población. Este tipo de sistema se diseña como un alcantarillado pluvial principalmente, ya que en el momento de una precipitación las aportaciones provocadas por la lluvia son mucho mayores que las aportaciones sanitarias.



**Fuente:** Alcantarillado Pluvial, MAPAS

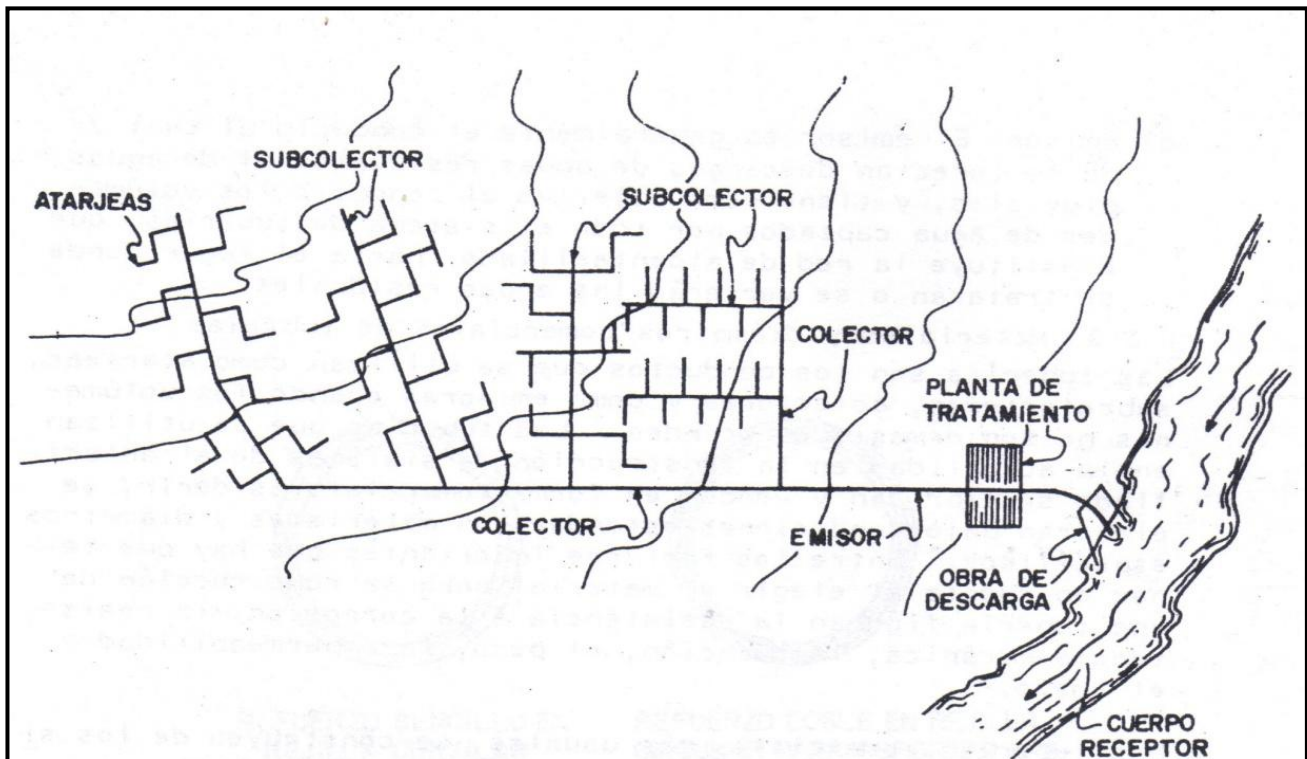
**Figura 1.2 Sistema de alcantarillado combinado**

Actualmente y en un futuro cercano los sistemas combinados se utilizarán cada vez menos ya que la tendencia actual es aplicar tratamiento al agua pluvial para su reúso.

Si bien un sistema de alcantarillado combinado es la opción que menos recursos económicos consume, habrá que comparar dicha opción, con la construcción de plantas de tratamiento para grandes volúmenes de agua que provengan de un sistema combinado; con la construcción de un sistema de alcantarillado separado y de plantas de tratamiento de menor capacidad, mismas que exclusivamente traten aguas que provengan de un sistema de alcantarillado pluvial o sanitario.

### 2.1.4.- Componentes del sistema

Un sistema de alcantarillado está integrado por conductos de diversos diámetros unidos entre sí, los cuales tienen diferentes funciones y son nombrados de distinta forma. También el sistema cuenta con diferentes obras accesorias, por ejemplo: pozos de visita, pozos especiales, pozos caja, bocas de tormenta, etc. Todos estos elementos se observan en la figura 1.3 y se explican a continuación.



*Fuente: Alcantarillado, Jorge Lara*

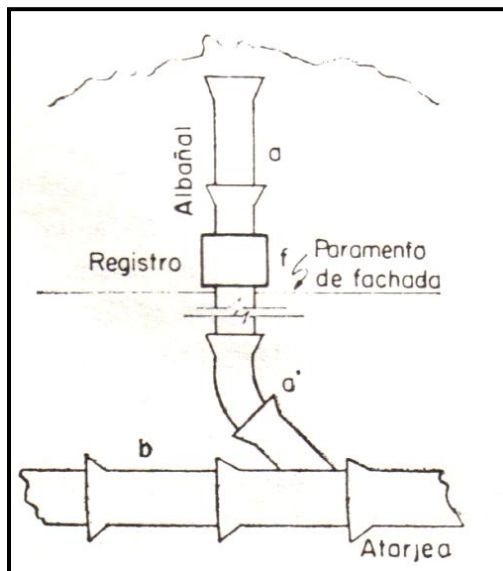
**Figura 1.3 Componentes de un sistema de alcantarillado**

### **1.1.4.1.- Tuberías o conductos**

Todo sistema de alcantarillado cuenta a lo largo de su extensión, con diferentes tipos de tuberías, las cuales son nombradas de distinta forma dependiendo de la cantidad de agua que desalojan, esto se puede observar de manera detallada en la figura 1.3. En los siguientes subcapítulos se describen los diferentes tipos de tuberías.

#### 1.1.4.1.1.- Atarjeas

Son los conductos que generalmente están ubicados en el eje de la calle y reciben directamente las descargas domiciliarias. Las atarjeas dentro de predios urbanos o industriales reciben el nombre de albañal, su diámetro mínimo es de 20 cm. Son los conductos más pequeños del sistema.



**Fuente: Alcantarillado, Jorge Lara**

**Figura 1.4 Esquema de la conexión entre el albañal y la atarjea**



#### 1.1.4.1.2.- Subcolectores

Estos conductos captan el agua recolectada por las atarjeas y por lo general presentan diámetros mayores a las mismas, pero en ocasiones, como en la cabeza de atarjea, llegan a ser del mismo diámetro.

#### 1.1.4.1.3.- Colectores

Son aquellos conductos que captan el agua de los subcolectores y atarjeas, estos conductos al ser colocados en forma perpendicular a otros conductos de menor diámetro son llamados interceptores.

#### 1.1.4.1.4.- Emisor

Es el conducto al que no se conectan descargas de ningún tipo, a lo largo del conducto, tiene como único objetivo conducir las aguas residuales de todo el sistema de la red de alcantarillado hasta el lugar donde recibirán tratamiento, si es el caso.

#### ***1.1.4.2.- Estructuras y obras accesorias***

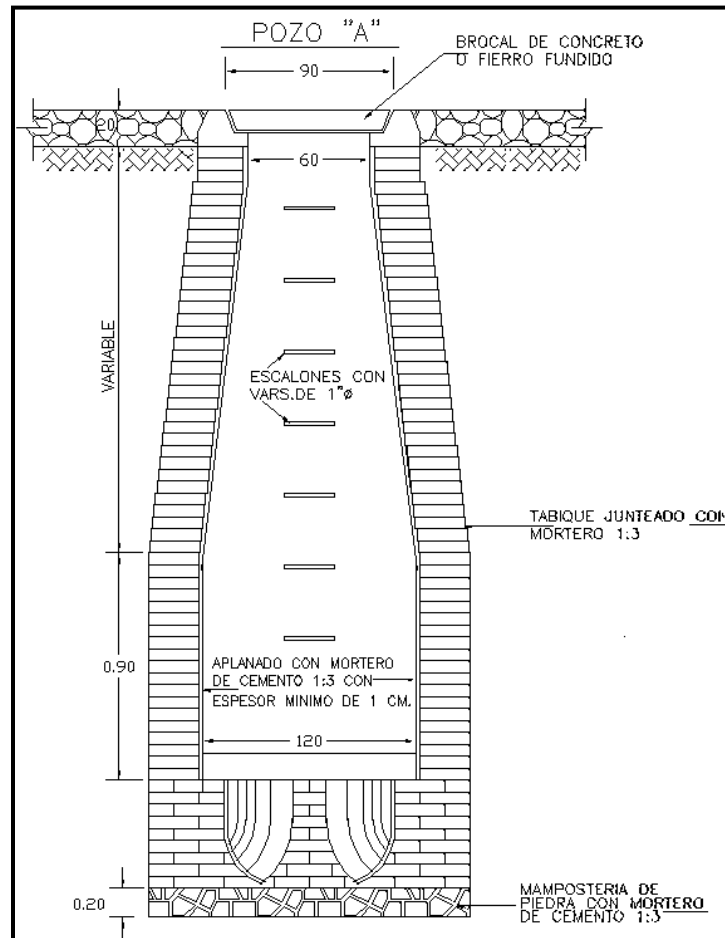
Para asegurar que un sistema de alcantarillado cumpla con las condiciones de servicio para las que fue diseñado, habrá que realizar obras de revisión y mantenimiento de los conductos que componen el sistema. Para llevar a cabo estas actividades, es necesario realizar estructuras que permitan el acceso a personal capacitado para la revisión de las condiciones de funcionamiento del sistema.

Cabe destacar que algunas de las obras accesorias construidas a lo largo del sistema también cumplen con la función de ventilar los conductos y de ésta manera evitar la acumulación de gases producto de la degradación del agua residual, que pueden provocar que los conductos trabajen a presión. A continuación se describen las estructuras accesorias más importantes en un sistema de alcantarillado.

#### 1.1.4.2.1.- Pozos de visita comunes

El objetivo de ésta estructura es facilitar la inspección y limpieza de los conductos, además de permitir la ventilación del mismo. Son necesarios en el inicio de las atarjeas, en los cambios de características del conducto, como diámetro y/o pendiente y en el cambio de dirección. La forma de ésta estructura es cilíndrica de 1.2 m de diámetro en la parte inferior y troncocónica en la parte superior, este tipo de estructuras son utilizadas para unir conductos de hasta 0.61 m de diámetro.

Las dimensiones del pozo de visita común están en función principalmente, del espacio mínimo necesario para realizar los trabajos de limpieza sin ningún tipo de complicación, en la figura 1.5 se observa el esquema de un pozo de visita común.



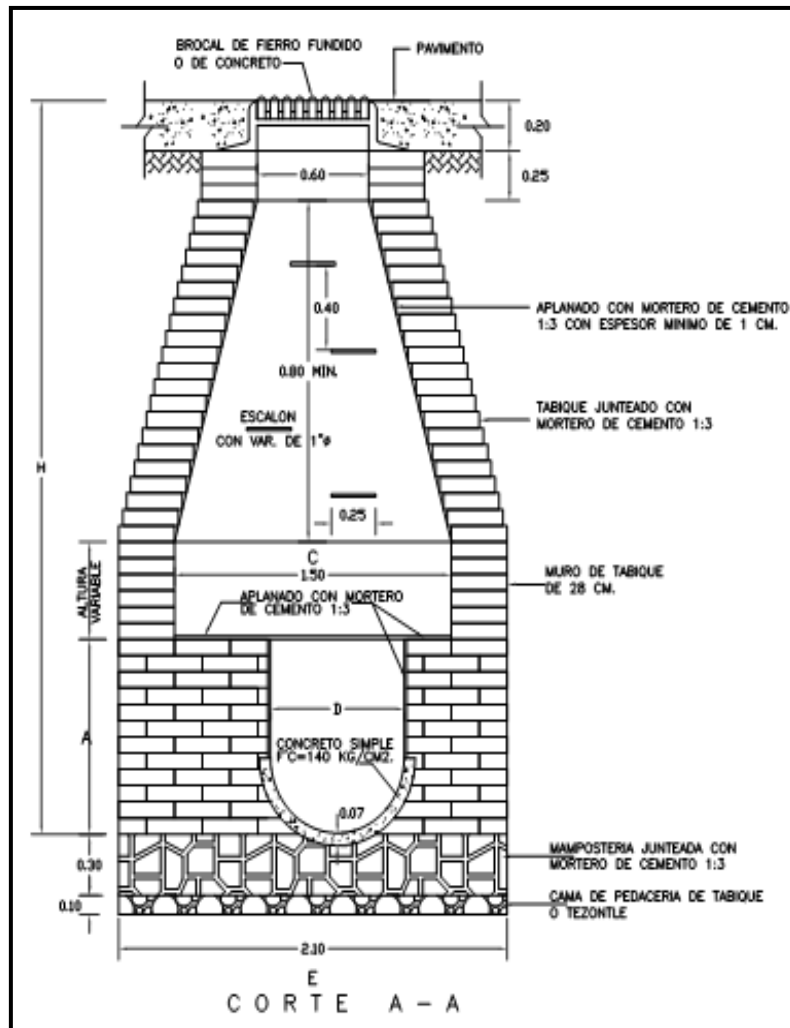
**Fuente:** Alcantarillado Pluvial, MAPAS

**Figura 1.5 Pozo de visita común**

#### 1.1.4.2.2.- Pozos de visita especiales

Estas estructuras son parecidas a los pozos de visita común, la única diferencia es que éstos son utilizados para la unión de conductos con mayor diámetro, se dividen en dos tipos los cuales se observan en las figuras 1.6 y 1.7 respectivamente.

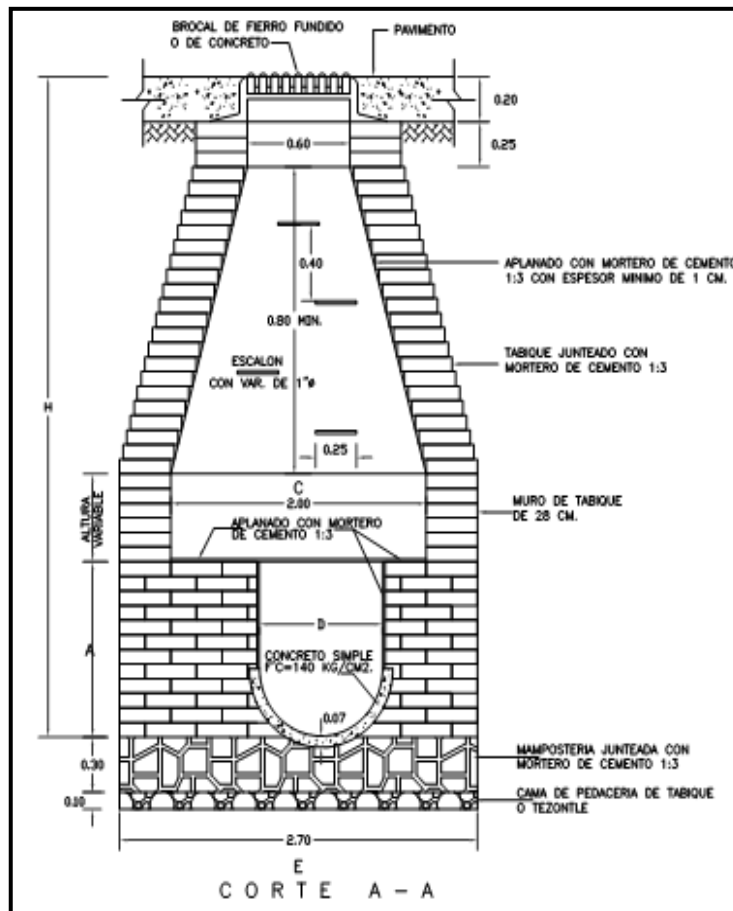
Tipo 1.- Utilizado para conductos de 0.76 m a 1.07 m; en la parte interior del pozo debe tener como mínimo un diámetro de 1.5 m. Cuenta con entronques a 90 grados, pero permite deflexiones a 45 grados como máximo.



Fuente: Alcantarillado Pluvial, MAPAS

Figura 1.6 Pozo de visita especial tipo 1

Tipo 2.- Es el pozo especial que cuenta con 2.0 m de diámetro en la parte interior y es utilizado para la unión de conductos de diámetro de 1.22 m, y presenta entronques a 90 grados, pero permite deflexiones a 45 grados como máximo.



Fuente: Alcantarillado Pluvial, MAPAS

Figura 1.7 Pozo de visita especial tipo 2

#### 1.1.4.2.3.- Pozos caja

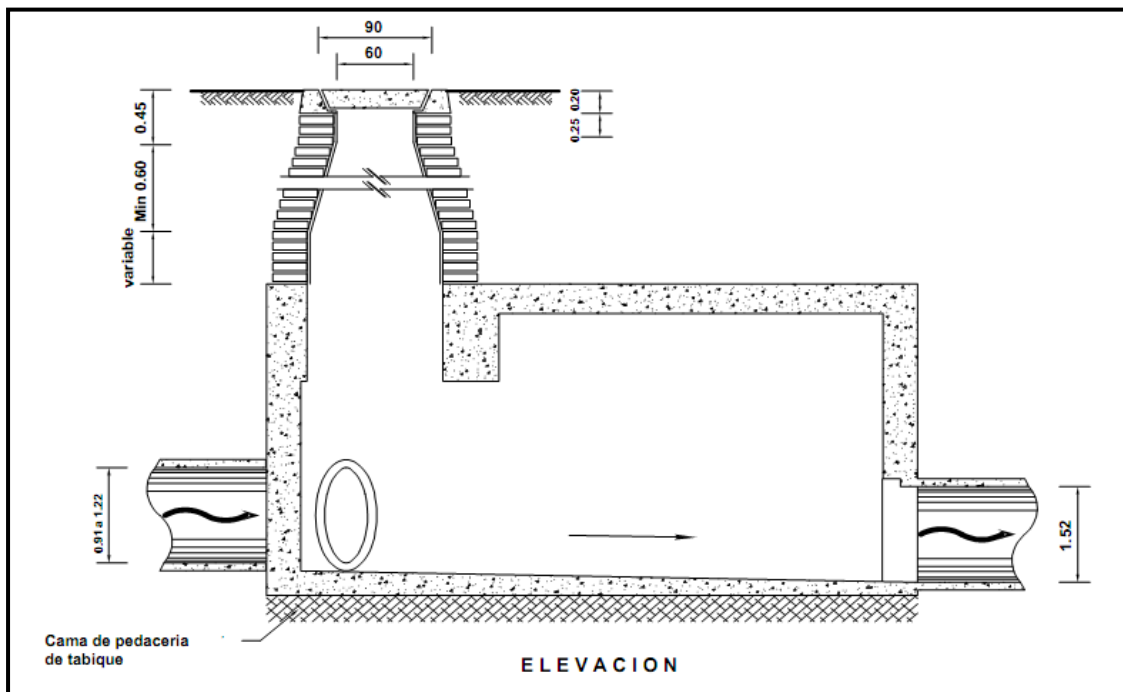
Los pozos caja están formados por el conjunto de una caja de concreto reforzado y una chimenea de tabique idéntica a la de los pozos comunes y especiales. La sección transversal de este tipo de pozo tiene forma rectangular o poligonal, los muros, el techo y el piso son de concreto reforzado. Generalmente los pozos caja son utilizados en conexiones de tuberías de diámetro entre 0.76 m y 1.83 m. Cabe destacar que este tipo de pozo permite deflexiones en los conductos de hasta 45 grados, a excepción de los pozos cuya sección transversal sea rectangular.

#### 1.1.4.2.4.- Pozos caja de unión

Son pozos caja de sección transversal horizontal en forma de polígono irregular que no permiten deflexiones en la tubería se dividen en dos tipos, la plantilla de este tipo de pozo se observa en la figura 1.8.

Tipo 1.- Se utiliza en tuberías de hasta 1.52 m de diámetro y permiten entronques de tuberías de hasta 1.22 m de diámetro a 45 grados.

Tipo 2.- Se utiliza en tuberías de hasta 2.13 m de diámetro y permiten entronques de tuberías de hasta 1.52 m de diámetro a 45 grados.



**Fuente:** Alcantarillado Pluvial, MAPAS

**Figura 1.8** Plantilla tipo de un pozo caja de unión

#### 1.1.4.2.5.- Pozos caja de deflexión

Son pozos caja a los que concurre una tubería de entrada y cuentan con una única salida, la cual cuenta con una deflexión máxima de 45 grados. Es utilizado en tuberías de diámetros a partir de 1.52 m hasta 3.05 m.

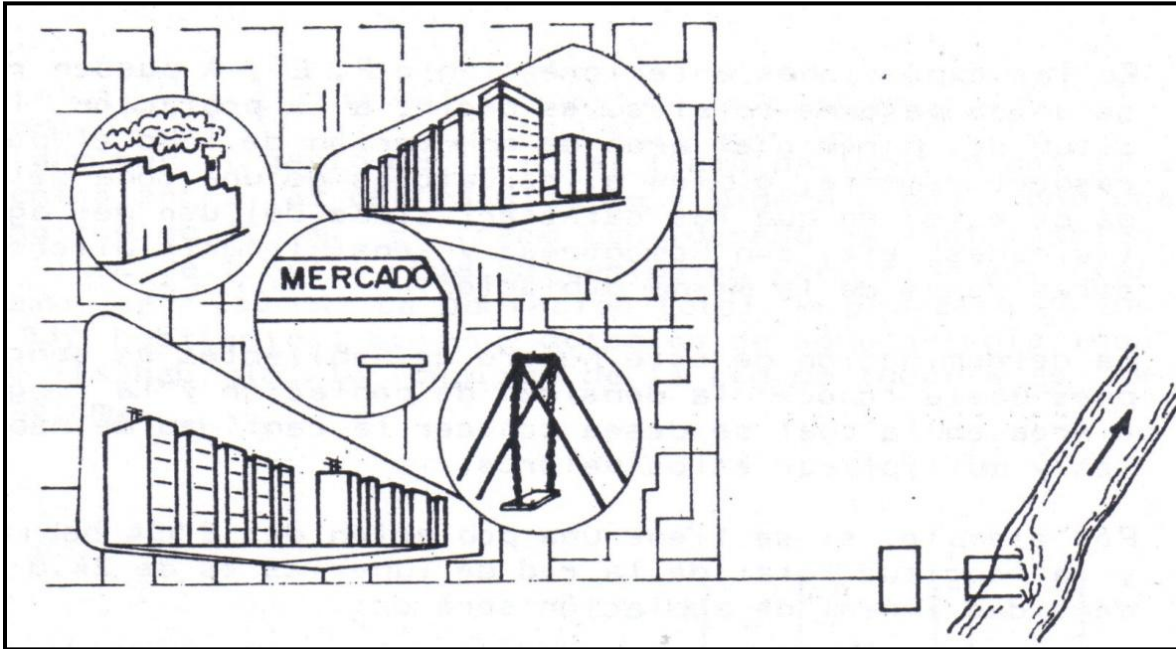
### **1.2.- Determinación de escurrimiento**

El cálculo del escurrimiento de un sistema de alcantarillado depende directamente del tipo de sistema, ya que en un sistema combinado, las aportaciones que habitualmente rigen el diseño son aquellas debidas al escurrimiento provocado por precipitaciones pluviales.

Se conoce como aportación, a la cantidad de agua que es descargada directamente al sistema de alcantarillado. La calidad de las aportaciones de tipo doméstico es regulada por la NOM-002-SEMARNAT-1996.

#### **1.2.1.- Alcantarillado Sanitario**

En este apartado se explica cada uno de los aspectos a considerar en la determinación del escurrimiento de un sistema de alcantarillado sanitario, que como se mencionó anteriormente es el sistema que recolecta exclusivamente las aguas servidas de la población y depende del uso de suelo, como se observa en la figura 1.9.



Fuente: Alcantarilla, Jorge Lara

Figura 1.9 Tipos de uso de suelo

### 1.2.1.1.- Gasto medio

Las aportaciones están relacionadas directamente con la población y su dotación de agua potable. Ésta a su vez varía en función del estrato socioeconómico de la población a la que se abastece. En zonas habitacionales el 80% de la dotación se convierte en aportación directa al sistema de alcantarillado. El cálculo del gasto medio para el diseño de un sistema de alcantarillado se obtiene con la Ec.1.1.

$$Q_{med} = \frac{A_p \cdot P}{86400} \quad (Ec.1.1)$$

Donde:

$Q_{med}$	Gasto medio de aguas negras	[L/s]
$A_p$	Aportación	[L/hab/día]
$P$	Población	[hab]
86400	Número de segundos en un día	[s]



### **1.2.1.2.- Gasto mínimo**

El gasto mínimo es el menor escurrimiento que se presenta en un tramo de alcantarillado. “Con base en la experiencia se ha establecido que este valor es igual a la mitad del gasto medio”<sup>2</sup> y se calcula con la Ec.1.2.

$$Q_{min} = 0.5 \cdot Q_{med} \quad (Ec.1.2)$$

**Donde:**

$Q_{min}$	<b>Gasto mínimo</b>	[L/s]
$Q_{med}$	<b>Gasto medio</b>	[L/s]

A excepción de algunos sistemas de alcantarillado que presentan valores de gasto medio muy pequeños, se acepta como gasto mínimo el número de descargas simultáneas de un inodoro. La tabla 1.1 muestra valores del gasto mínimo para diferentes materiales de tubería.

---

<sup>2</sup> Jorge Lara, Alcantarillado, página 90

**Tabla 1.1 Gastos mínimos de aguas residuales con inodoros de 6 litros**

MATERIAL DE LA TUBERIA					INODORO DE 6 LITROS			Qmin (Ips)
CONCRETO SIMPLE Φ (cm)	CONCRETO REFORZADO Φ (cm)	ACERO Φ (cm)	FIBRO- CEMENTO Φ (cm)	PEAD Φ (cm)	PVC (métrico) Φ (cm)	PVC (ingles) Φ (cm)	No. descargas simultaneas	
10			10	10	11	10	1	1
15		17	15	15	16	15	1	1
20		22	20	20	20	20	1	1
25		27	25	25	25	25	1	1
30	30	32	30	30	31.5	30	2	2
38	38	36	35	35		37.5	2	2
		41	40	40	40		2	2
45	45	46	45	45		45	3	3
		51	50	50	50	52.5	4	4
				55			4	4
60	60	61	60	60	63	60	5	5
				65			6	6
				70			7	7
76	76		75	75			8	8
				80			9	9
				81			9	9
				85			10	10
	91		90	90			12	12
			100				15	15
	107		110				17	17
	122		120				23	23
			130				25	25
			140				28	28
	152		150				30	30
			160				32	32
			170				35	35
	183		180				38	38
			190				41	41
			200				44	44
	213						47	47
	244						57	57
	305						74	74

**Fuente: Alcantarillado Sanitario, MAPAS**

### 1.2.1.3.- Gasto máximo instantáneo

El gasto máximo instantáneo es el flujo máximo que se puede presentar en algún instante dentro de un tramo de alcantarillado, dado esto debe de entenderse la importancia de analizar este dato. La ecuación para determinar el gasto máximo instantáneo se muestra en la Ec.1.3.

$$Q_{MI} = M \cdot Q_{med} \quad (Ec.1.3)$$

**Donde:**

$Q_{MI}$	<b>Gasto máximo instantáneo</b>	<b>[L/s]</b>
$Q_{med}$	<b>Gasto medio</b>	<b>[L/s]</b>
<b>M</b>	<b>Coefficiente de mayoración</b>	<b>[1]</b>

El valor del coeficiente de mayoración depende del uso de suelo, en zona de uso habitacional es el coeficiente de Harmon; la ecuación para el cálculo de éste coeficiente se expresa en la Ec.1.4.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (Ec.1.4)$$

**Donde:**

<b>M</b>	<b>Coefficiente de Harmon</b>	<b>[1]</b>
<b>P</b>	<b>Población servida acumulada hasta el final del tramo en cuestión expresada en miles</b>	<b>[hab]</b>

La ecuación 4, antes descrita, contempla límite superior e inferior para el valor de la población, ya que las poblaciones inferiores a 1,000 y superiores a 63,454 habitantes, presentan un comportamiento diferente al de la ecuación descrita. Para dichos valores se presentan los siguientes valores:

Cuando  $P < 1,000$  hab  $\rightarrow M=3.8$

Cuando  $P > 63,454$  hab  $\rightarrow M=2.17$

El coeficiente de mayoración para zonas de uso de suelo industrial, comercial o bien público se calcula con otra ley de variación.

Siempre que sea posible debe realizarse un aforo del caudal de las aguas residuales en las tuberías existentes para determinar sus variaciones reales; de no disponer de ésta información, entonces el coeficiente de mayoración podrá ser igual a 1.5 en zonas comerciales e industriales.

#### **1.2.1.4.- Gasto máximo extraordinario**

Este gasto considera aportaciones externas al sistema como el crecimiento demográfico no considerado, eventos no esperados de precipitaciones atípicas, o bien, cualquier tipo de aportación no considerada en el diseño del sistema. Este cálculo se realiza mediante la Ec.1.5

$$Q_{ME} = Cs \cdot Q_{MI} \quad (Ec.1.5)$$

**Donde:**

$Q_{ME}$	<b>Gasto máximo extraordinario</b>	<b>[L/s]</b>
$Cs$	<b>Coefficiente de seguridad adoptado</b>	<b>[1]</b>
$Q_{MI}$	<b>Gasto máximo instantáneo</b>	<b>[L/s]</b>

#### **1.2.2.- Alcantarillado Pluvial**

Las características físicas de las cuencas urbanas cambian constantemente con el paso del tiempo, de igual manera sucede con las características de los escurrimientos; si a todo esto se suma que comúnmente no se cuenta con registros adecuados de escurrimiento en el sitio de interés, esto conlleva a que los registros de estaciones hidrométricas sean considerados como los únicos datos para el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial. Con estos datos es posible realizar un diseño adecuado del sistema.

La determinación del escurrimiento para un sistema de alcantarillado pluvial depende de diversos factores importantes como los establecidos en la ecuación 1.6.

$$Q = f(A, f, S, i, k) \quad (Ec.1.6)$$

**Donde:**

<b>Q</b>	<b>Gasto de diseño</b>
<b>A</b>	<b>Dimensiones del área por drenar</b>
<b>f</b>	<b>Forma del área a drenar</b>
<b>S</b>	<b>Pendiente del terreno</b>
<b>i</b>	<b>Intensidad de la lluvia</b>
<b>k</b>	<b>Coefficiente de permeabilidad</b>

Con estas variables se obtiene una función compleja para obtener el gasto de diseño. Existen distintos métodos para obtener el valor del escurrimiento pluvial, y con éste diseñar correctamente el sistema de alcantarillado. Éstos métodos son divididos en las siguientes categorías:

- Métodos Empíricos. Consideran que el escurrimiento provocado por una tormenta es función principalmente de las características físicas de la cuenca. (Método Racional y Método Alemán)
- Métodos hidrológicos. Consideran que existe una relación funcional directa entre la distribución de la lluvia en el tiempo y el hidrograma a la salida de la cuenca, sin considerar las características físicas de ésta.(Método Road Research Laboratory y Método del Hidrograma Unitario)
- Métodos hidráulicos. Estiman el hidrograma de las diferentes partes de la cuenca en estudio mediante los principios de conservación de masa y cantidad de movimiento de manera simplificada, considerando las características físicas de la cuenca. (Método de Chicago)

A continuación se explican brevemente algunos de los métodos para la determinación del escurrimiento de un sistema de alcantarillado pluvial.

### **1.2.2.1.- Método Racional**

Éste es probablemente el método más antiguo para la obtención de la relación lluvia y escurrimiento. Es de los métodos más utilizados desde su origen, éste método considera que sobre el área de estudio se tiene una precipitación uniforme durante cierto tiempo, de manera que el escurrimiento en la cuenca se establece y el gasto es constante en la descarga. De ésta forma el método permite la obtención del gasto máximo provocado por una tormenta, suponiendo que éste se alcanza cuando la intensidad de lluvia es casi constante en una cierta duración, misma que se considera igual al tiempo de concentración de la cuenca. El tiempo de concentración se define como: el tiempo necesario para que la gota más alejada escurra de manera superficial hasta el punto de salida de la cuenca. La fórmula del método racional para obtener el escurrimiento se presenta en la ecuación 1.7.

$$Q_p = 0.278 C \cdot i \cdot A \quad (Ec.1.7)$$

Donde:

<b>Q<sub>p</sub></b>	<b>Gasto pico</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>
<b>C</b>	<b>Coeficiente de escurrimiento (Tabla 3)</b>	<b>[1]</b>
<b>i</b>	<b>Intensidad media de la lluvia para una duración Igual al tiempo de concentración de la cuenca</b>	<b>[mm/h]</b>
<b>A</b>	<b>Área de la cuenca</b>	<b>[Km<sup>2</sup>]</b>
<b>0.278</b>	<b>Factor de conversión de unidades</b>	<b>[1]</b>

**Tabla 1.2 Valores del coeficiente de escurrimiento**

TIPO DE AREA DRENADA	COEFICIENTE. DE ESCURRIMIENTO	
	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>ZONAS COMERCIALES</b>		
Zona Comercial	0.75	0.95
Zonas mercantiles	0.70	0.90
Vecindarios	0.50	0.70
<b>ZONAS RESIDENCIALES</b>		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
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 y terrenos sin construir	0.20	0.40
Zonas Suburbanas	0.10	0.30
<b>CALLES</b>		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.80	0.95
Adoquinadas o empedradas, juntas con cemento	0.70	0.85
Adoquín sin juntar	0.50	0.70
Terracerías	0.25	0.60
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 ó más)	0.15	0.20
Suelos arcillosos planos (0.02 ó menos)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02 -0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 ó más)	0.25	0.35

**Fuente: Alcantarillado Sanitario, MAPAS**

### **1.2.2.2.- Método Alemán**

Este método sirve para calcular avenidas de diseño en colectores. Las avenidas de diseño se definen como el caudal crítico que se presentará al menos una vez durante el periodo de diseño seleccionado. Para su aplicación se siguen los siguientes pasos:

- 1) Se divide la cuenca de estudio en subcuencas asociadas a cada tramo de la red de drenaje.
- 2) Se calcula para cada área de las subcuencas el tiempo de concentración correspondiente (Ec.1.8).

$$t_c = t_{cs} + t_t \quad (\text{Ec.1.8})$$

**Donde:**

<b><math>t_c</math></b>	<b>Tiempo de concentración</b>	<b>[min]</b>
<b><math>t_{cs}</math></b>	<b>Tiempo de concentración sobre la superficie</b>	<b>[min]</b>
<b><math>t_t</math></b>	<b>Tiempo de traslado a través de los colectores</b>	<b>[min]</b>

El tiempo de traslado que se menciona en la ecuación 1.8 se obtiene con la ecuación 1.9.

$$t_t = \frac{l}{v} \quad (\text{Ec.1.9})$$

**Donde:**

<b><math>t_t</math></b>	<b>Tiempo de traslado</b>	<b>[s]</b>
<b><math>l</math></b>	<b>Longitud en la cual escurre el agua</b>	<b>[m]</b>
<b><math>v</math></b>	<b>Velocidad media del traslado</b>	<b>[m/s]</b>

- 3) Se calcula el tiempo de concentración asociado a la cuenca ( $t_c$ ) y se considera que la lluvia tiene la misma duración, como en la Ec.1.10.



$$d = t_c \quad (Ec.1.10)$$

**Donde:**

<b>d</b>	<b>Duración de la lluvia</b>	<b>[min]</b>
<b>t<sub>c</sub></b>	<b>Tiempo de concentración en toda la cuenca</b>	<b>[min]</b>

- 4) Se determina el período de retorno (Tr)
- 5) Se calcula la intensidad de la lluvia para la duración obtenida en el paso 3, y el periodo de retorno obtenido en el paso 4, con ayuda de las curvas de intensidad de la lluvia-duración-periodo de retorno (i-d-Tr).
- 6) Con la fórmula racional (Ec.1.7), se obtiene el escurrimiento máximo en cada una de las subcuencas, considerando que la intensidad de la lluvia, calculada en el paso 5, es uniforme sobre toda la cuenca y las únicas variables que cambian son la superficie y el coeficiente de escurrimiento ponderado con respecto al área, si es el caso.
- 7) Se construyen los hidrogramas de escurrimiento de cada subcuenca. Para ello se supone que el gasto máximo Q<sub>c</sub> de la subcuenca en estudio, se alcanza linealmente en un tiempo igual al de concentración de la subcuenca; a partir de ese tiempo, el gasto se mantiene constante hasta un tiempo igual al de la duración total de la lluvia (d) y por último, la recesión también se realiza en un tiempo igual al de concentración.
- 8) Se calcula el hidrograma de escurrimiento total, para lo cual se procede de la siguiente forma:
  - a. El análisis se inicia a partir de la primera subcuenca, aguas abajo, en la cual está ubicada la salida general de la cuenca y se prosigue hacia aguas arriba.
  - b. Si los colectores son concurrentes, se supone que empiezan a contribuir simultáneamente; el hidrograma total se obtiene sumando los hidrogramas producidos por cada uno de ellos.

- c. Si los colectores son consecutivos, se considera que el colector de la subcuenca, aguas arriba, empieza a aportar agua cuando el de la subcuenca aguas abajo haya llegado a su tiempo de concentración; es decir, el hidrograma de la subcuenca aguas arriba se suma a partir de que termina el ascenso del hidrograma de la subcuenca de aguas abajo.

El tiempo de concentración,  $t_c$ , se calcula con la ecuación 1.8, el tiempo de traslado,  $t_t$ , definido por la ecuación 1.9, se obtiene para cada tramo. Al sumar todos los hidrogramas, considerando las condiciones mencionadas, se calcula el gasto máximo en el punto considerado.

Aún cuando el método gráfico alemán fue diseñado para proyectos de áreas urbanas pequeñas, se puede extender a cuencas naturales, teniendo cuidado en la selección de las corrientes que la forman y de las áreas tributarias de cada una de ellas.

### **1.3.- Velocidades permisibles**

La velocidad de flujo de las aguas servidas dentro del conducto es el principal criterio de diseño para un tramo de alcantarillado, ya que de este valor depende el funcionamiento correcto y durabilidad del sistema, de aquí que existan límites superiores e inferiores para garantizar el funcionamiento adecuado del mismo.

#### **1.3.1.- Velocidad máxima**

Se establece éste límite principalmente para evitar la erosión del conducto, esto depende directamente del material utilizado, como se observa en la Tabla 1.3

**Tabla 1.3 Velocidades máximas permisibles**

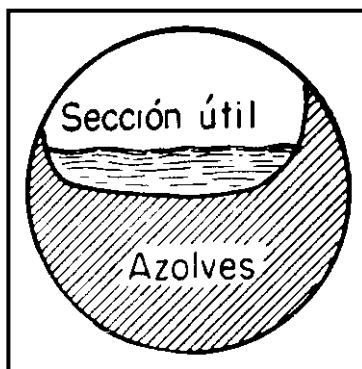
TIPO DE TUBERÍA	VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)
Concreto simple hasta 45 cm. de diámetro	3.0
Concreto reforzado de 61 cm. de diámetro o mayores	3.5
Fibrocemento	5.0
Poli (cloruro de vinilo) PVC	5.0
Polietileno de alta densidad	5.0

**Fuente: Alcantarillado Sanitario, MAPAS**

Existen excepciones para las velocidades máximas de proyecto, estas son mayores al límite establecido en la tabla 1.3, quedando con el valor de 8 m/s como máximo. En estos casos será necesario realizar un estudio especializado para conocer el funcionamiento hidráulico y la resistencia del material elegido.

### 1.3.2.- Velocidad mínima

Este valor de velocidad se regula para evitar la sedimentación de partículas que provocan azolve a lo largo del conducto cambiando el diámetro interior, o bien, la pendiente de plantilla como se observa en la imagen 1.10. El valor mínimo de la velocidad en cada tramo del sistema debe ser mayor o igual a 0.3 m/s, independientemente del tipo del material utilizado.



**Fuente: Alcantarillado, Jorge Lara**

**Figura 1.10 Ejemplo de un conducto con azolve**

## 1.4.- Factores que determinan la velocidad del agua en una conducción a gravedad

El diseño de un sistema de alcantarillado, entre otras cosas, se basa en la velocidad del agua dentro de los conductos. Existen valores permisibles establecidos, mismos que se mencionaron en los subcapítulos 1.3.1 y 1.3.2.

El valor de la velocidad está en función de variables independientes como son: el diámetro del conducto, la pendiente de plantilla y la rugosidad del material en el interior. La manera en la que cada una de éstas variables afecta el valor de la velocidad del agua dentro del conducto, es considerada y se observa claramente en la ecuación de Manning (Ec.1.11).

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{Ec.1.11})$$

**Donde:**

<b>V</b>	<b>Velocidad del escurrimiento</b>	<b>[m/s]</b>
<b>R<sub>h</sub></b>	<b>Radio hidráulico de la sección</b>	<b>[m]</b>
<b>S</b>	<b>Pendiente de plantilla</b>	<b>[1]</b>
<b>n</b>	<b>Coefficiente de rugosidad</b>	<b>[s/m<sup>1/3</sup>]</b>

Ésta fórmula es utilizada comúnmente dada la facilidad de conocer las variables involucradas, además existe mayor disponibilidad de los datos del coeficiente de rugosidad del material utilizado.

### 1.4.1.- Pendiente de plantilla

El concepto de pendiente de plantilla se refiere al desnivel vertical que hay entre el inicio y el final del conducto. Éste parámetro influye directamente en las características de diseño del sistema, ya que existen algunos tipos de suelo en los que la excavación se dificulta debido a la dureza del material que lo constituye, y es en esos casos, que se busca diseñar el sistema con tuberías que cuenten con una pendiente de plantilla menor o similar a la del terreno.

El rango de valores posibles para la pendiente de plantilla de un sistema de alcantarillado es muy pequeño, ya que ésta es directamente proporcional a la velocidad de flujo por lo que, para un óptimo diseño del sistema de alcantarillado, debe tomarse en cuenta que *“las pendientes de los conductos deben ser tan semejantes como sea posible a las del terreno con el objeto de tener excavaciones mínimas”*<sup>3</sup>. En la tabla 1.4 se observan valores experimentales de la variación de pendiente para conductos de concreto.

#### ***1.4.1.1.- Pendiente mínima de la tubería***

Se tomará en cuenta este valor cuando la pendiente del terreno sea muy pequeña o nula, se acepta como valor mínimo aquella pendiente que produce una velocidad de 60 cm/s a tubo lleno. Existen casos extraordinarios en los que el desnivel es muy pobre y será necesario sacrificar la eficiencia del conducto a cambio de evitar la construcción de plantas de bombeo, por lo cual se aceptará el valor mínimo de pendiente a aquella que produzca una velocidad de 30 cm/s con un tirante igual o mayor de 1.5 cm.

#### ***1.4.1.2.- Pendiente máxima de la tubería***

Este valor es de suma importancia, cuando la pendiente del terreno es bastante pronunciada como en las zonas montañosas o acantiladas. Es aceptado como valor de pendiente máxima aquel que produce la velocidad máxima permitida por el material.

Existen casos extraordinarios en los que se aceptan valores de pendiente, donde se presente la velocidad máxima permisible sin erosionar el interior del conducto, para estas condiciones se tienen dos diferentes casos:

- Gasto mínimo. Para éste caso, la pendiente máxima es aquella que al desalojar éste gasto dé como resultado valores menores a la velocidad máxima permisible de cada material, siempre y cuando se presenten tirantes mayores a 1 cm dentro del conducto.

---

<sup>3</sup> Jorge Lara, Alcantarillado, página 126

- Gasto máximo. La pendiente máxima es aquella que haga escurrir éste gasto a tubo parcialmente lleno con valores de velocidad menores o iguales al valor de velocidad máxima permisible del material en cuestión.

**Tabla 1.4 Pendientes máximas y mínimas para conductos de concreto**

DIÁMETRO NOMINAL EN CM.	CALCULADAS				PENDIENTE RECOMENDABLE PARA PROYECTOS (MILÉSIMOS)	
	MÁXIMA V=3 M/S A TUBO LLENO		MÍNIMA V=0.6 M/S A TUBO LLENO		MÁXIMA	MÍNIMA
	PENDIENTE (MILÉSIMOS)	GASTO (L/S)	PENDIENTE (MILÉSIMOS)	GASTO (L/S)		
20	82.57	94.24	3.3	18.85	83	4
25	61.32	147.26	2.45	29.45	61	2.5
30	48.09	212.06	1.92	42.41	48	2
38	35.09	340.23	1.4	68.05	35	1.5
45	28.01	477.13	1.12	95.43	28	1.2
61	18.67	876.74	0.75	175.35	19	0.8
76	13.92	1360.93	0.56	272.19	14	0.6
91	10.95	1951.16	0.44	390.23	11	0.5
107	8.82	2697.61	0.35	539.52	9	0.4
122	7.41	3506.96	0.3	701.39	7.5	0.3
152	5.53	5443.75	0.22	1088.75	5.5	0.3
183	4.31	7890.66	0.17	1578.13	4.5	0.2
213	3.52	10689.82	0.14	2137.96	3.5	0.2
244	2.94	14027.84	0.12	2805.57	3	0.2

**Fuente: Alcantarillado, Jorge Lara**

#### 1.4.2.- Sección transversal del conducto

Si bien un sistema de alcantarillado urbano generalmente es subterráneo y en la optimización de volúmenes de excavación lo ideal es colocar conductos de forma circular (la más utilizada), ovalada o bien una sección compuesta, la forma del conducto es un parámetro indispensable en el diseño, ya que la velocidad de flujo es afectada por el valor del área transversal por la que éste transita.

La ecuación de Manning (Ec.1.11), toma como una de sus variables el radio hidráulico (Rh) el cual a su vez está en función de las variables mostradas en la Ecuación 1.12



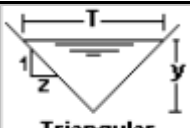
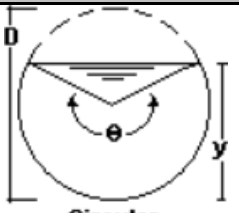

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (\text{Ec.1.12})$$

Donde:

Rh	Radio hidráulico	[m]
A	Área hidráulica	[m <sup>2</sup> ]
P	Perímetro mojado	[m]

El área hidráulica y el perímetro mojado están en función del tirante que se presenta dentro del conducto como se observa en la tabla 1.5

**Tabla 1.5 Variables hidráulicas de diferentes secciones**

Sección	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua
 Rectangular	$by$	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$\left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right)\frac{D}{4}$	$\left(\text{sen}\frac{\theta}{2}\right)D$
 Parabólica	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Fuente: Hidráulica de Canales, Sotelo Ávila

### 1.4.3.- Rugosidad

Para estimar el valor del coeficiente de rugosidad “n”, se consultan tablas con diferentes condiciones del cauce como la tabla 1.6.

Existen varios factores que afectan el valor del coeficiente de rugosidad, entre los que se encuentran principalmente: aspereza de la superficie de la conducción, presencia de vegetación cuando se trata de un cauce natural, irregularidades, obstrucciones en la conducción, depósitos de materiales, erosión, tamaño y forma del conducto.

**Tabla 1.6 Valores del coeficiente n de Manning para diferentes materiales**

MATERIAL	VALOR DE n
Fierro fundido limpio no revestido	0.013 a 0.015
Fierro fundido limpio revestido	0.012 a 0.014
Fierro fundido sucio con tubérculos	
Acero remachado	0.015 a 0.017
Acero soldado	0.012 a 0.013
Acero galvanizado	0.015 a 0.017
<b>CONCRETO</b>	
Concreto con juntas rugosas	0.016 a 0.017
Concreto (cimbra rugosa)	0.015 a 0.016
Concreto (cimbra metálica)	0.012 a 0.014
Concreto (pared lisa)	0.011 a 0.012
Tubos vitrificados (drenaje)	0.013 a 0.015

**Fuente: Alcantarillado Pluvial, MAPAS**

### 1.5.- Criterios de Optimización

Si bien el diseño de un sistema de alcantarillado se basa en garantizar que se cumpla con las velocidades permisibles dentro de los conductos, se deberá tomar en cuenta el factor económico ya que un sistema de alcantarillado debe ser optimizado en cuanto a su funcionalidad y costo.

A continuación se mencionan algunos criterios de optimización para los diferentes casos que se pueden presentar.



### **1.5.1.- Criterio de optimización modificando la pendiente del conducto**

Éste criterio consiste en optimizar el escurrimiento en un conducto modificando la configuración del sistema de alcantarillado. Se recomienda utilizar éste criterio en suelos blandos, o de fácil excavación, ya que conlleva un costo menor en comparación con los costos que implica el aumentar el diámetro.

Suponiendo que el proyecto se encuentra en una zona lacustre las pendientes de cada tramo pueden ser tan pronunciadas como sea permitido por los límites permisibles de velocidad; dentro de la variación del desnivel habrá que tomar en cuenta que la pendiente y la velocidad son directamente proporcionales, además de que la pendiente es inversamente proporcional con el tirante.

### **1.5.2.- Criterio de optimización modificando el diámetro del conducto**

Éste criterio de optimización difiere del anterior, ya que éste es aplicable a suelos duros o de difícil excavación en donde los volúmenes de excavación pueden generar costos elevados, o bien, de tiempo; de aquí surge la idea principal de que la variable que rige el diseño es el diámetro de cada tramo, dejando en segundo término la variación de la pendiente. En éste caso será menos costoso aumentar el diámetro del conducto que aumentar la pendiente de plantilla.

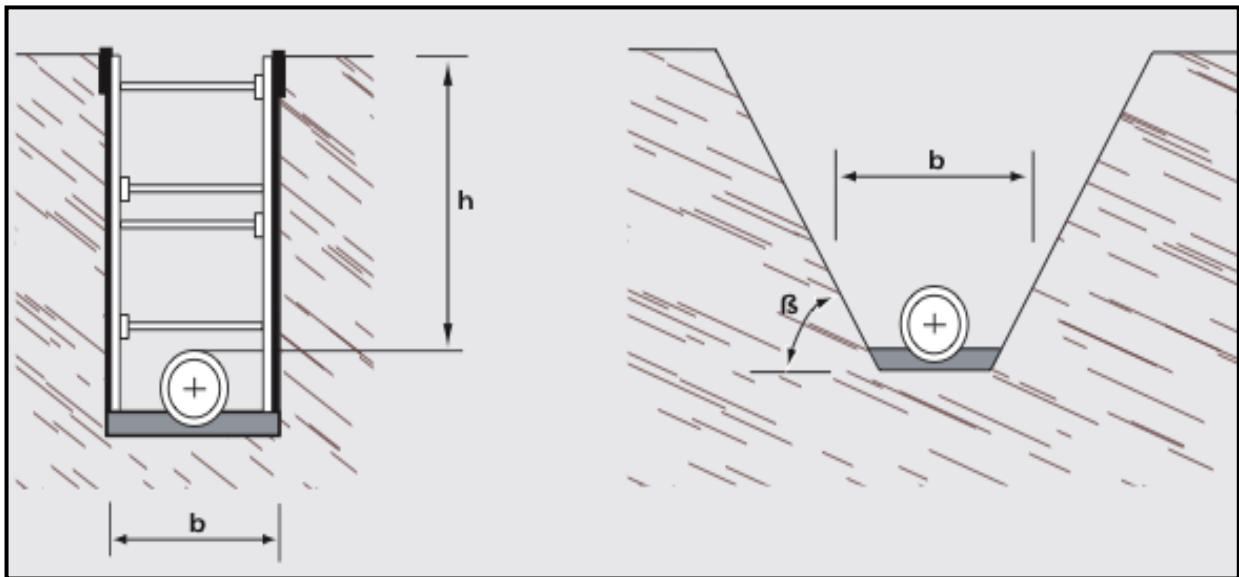
## **1.6.- Factores externos a considerar en el diseño de un sistema de alcantarillado**

En todo sistema de alcantarillado se busca principalmente: disminuir la distancia entre puntos de captación y los sitios de vertido, evitar la utilización de equipo de bombeo, determinar las pendientes óptimas para proporcionar rangos de velocidad dentro de los límites permisibles; todo esto con el propósito de reducir los costos del proyecto. Cabe destacar que los aspectos antes mencionados, no son los únicos que deben de ser considerados, ya que existen factores externos de suma importancia en el diseño de cualquier sistema de alcantarillado, dichos factores no modifican las condiciones de diseño del sistema, sin embargo deben de ser considerados en la planeación del proyecto ejecutivo. Los principales factores externos que deben ser considerados se describen en los siguientes subcapítulos.

### **1.6.1.- Ancho de zanja**

El ancho de la zanja es necesario para la instalación de los conductos de un sistema de alcantarillado, ya que debe ser lo más estrecho posible, pero de tal forma que permita la correcta colocación de la tubería y sea suficiente para realizar con comodidad una inspección visual de las juntas de unión entre los extremos de cada conducto. También habrá que considerar la facilidad para rellenar dichas zanjas una vez instalados los conductos.

En general los conductos deben instalarse en zanjas cuyas paredes sean verticales, por lo menos hasta el lomo del conducto. Para las zanjas muy profundas, o bien en suelos muy sueltos, será necesario que las paredes de la excavación cuenten con un talud adecuado (figura 1.11) para evitar deslaves, o bien, colocar sistemas de protección para evitar la caída de material. Algunos ejemplos son: el apuntalamiento o la colocación de ademes o tablestacado.



**Figura 1.11 Esquema de zanjas para la instalación de conductos**

El ancho necesario de la zanja se ha estandarizado y la forma de calcularlo es muy sencilla. Existen tablas que establecen valores para diámetros nominales y para los diferentes tipos de materiales (Tabla 1.7).

Existe una ecuación empírica desarrollada por Marston en la cual el ancho de zanja está en función del diámetro del conducto como se observa en la ecuación 1.13.

$$B = \emptyset + n \text{ (Ec.1.13)}$$

**Donde:**

<b>B</b>	<b>Ancho de zanja</b>	<b>[cm]</b>
<b><math>\emptyset</math></b>	<b>Diámetro del conducto</b>	<b>[cm]</b>
<b>n</b>	<b>Constante de seguridad</b>	<b>[cm]</b>

El valor de la constante de seguridad que se menciona en la ecuación 1.13, está en función del diámetro del conducto, ya que para diámetros menores o iguales a 45 cm, el valor de n es igual a 50cm; mientras que para conductos con diámetros mayores a 45 cm, el valor de n es igual a 60 cm.

**Tablas 1.7 Valores de ancho de zanja para diámetros nominales y diferentes materiales**

DIAMETRO NOMINAL (cm)	ANCHO (cm)						
	C.S.	C.R.	F.C.	PVC S.I.	PVC S.M.	PVC P.E.	P.E. A.D.
10	60			60			30
11					60		
15	70		60	60			35
16					60	60	
20	75		65	60	60	60	40
25	80		70	65	65	65	45
30	85	85	75	70			50
31.5					70	70	
35			85				55
37.5				80			
38	95	95					
40			90		80		55
45	110	110	100	85			65
50			110		90		70
52.5				90			
55							75
60	130	130	120	100			80
63					105		
65							85
70							90
75			145				
76	150	150					
80							100
81							100
85							110
90			170				115
91		170					
100			185				
107		190					
110			200				
120			215				
122		210					
130			230				
140			240				
150			250				
152		250					
160			260				
170			270				
180			280				
183		280					
190			290				
200			305				
213		320					
244		350					

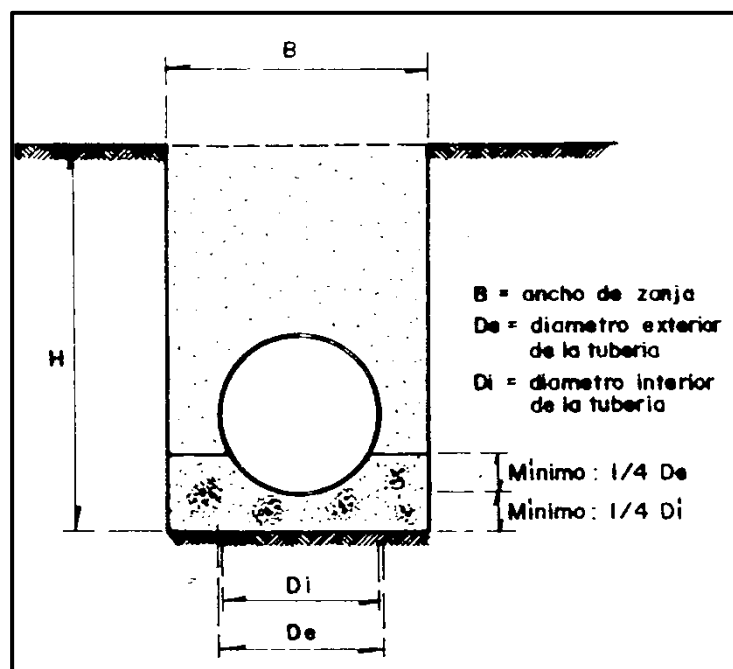
**Fuente: Alcantarillado Sanitario, MAPAS**

### 1.6.2.- Plantilla o encamado

Consiste en colocar un firme de algún material sobre el fondo de la zanja excavada para la colocación posteriormente del conducto. Ésta plantilla es de suma importancia ya que dará el soporte necesario al conducto para que éste no se deforme y cambie el valor de la pendiente de diseño. Un mal diseño de plantilla puede ocasionar que el conducto no trabaje correctamente, provocando cambios en el funcionamiento del sistema de alcantarillado.

Existen diferentes clases de encamado, mismas que dependen principalmente del material utilizado y del grosor de la capa del mismo para dar soporte al conducto. Los diferentes tipos de encamado se presentan a continuación:

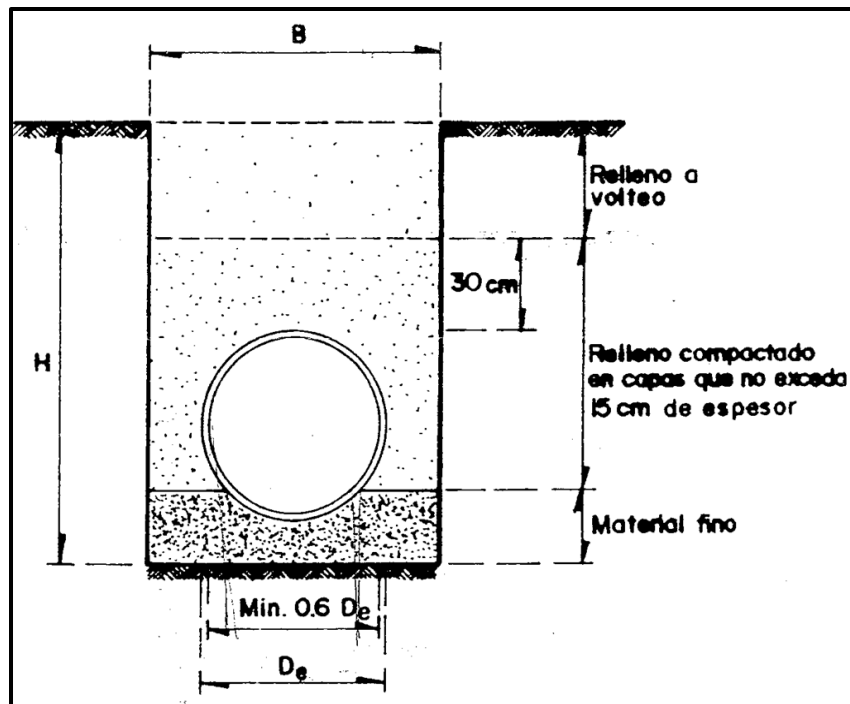
- Clase A. Consiste en colocar un firme de concreto simple sobre el fondo de la zanja, el espesor de éste firme de concreto puede ser, como mínimo, una cuarta parte del diámetro interior del conducto.



*Fuente: Alcantarillado, Jorge Lara*

**Figura 1.12 Detalles del encamado tipo A**

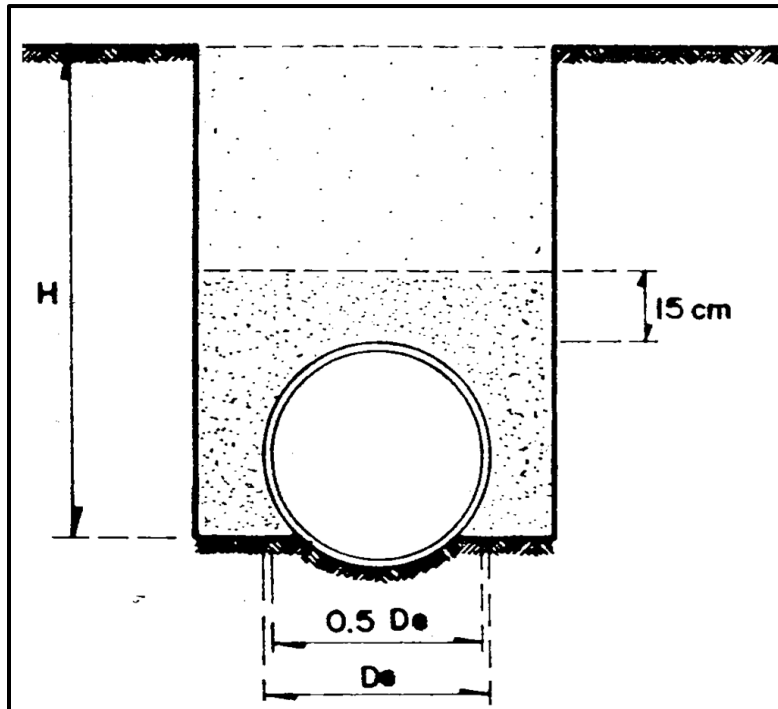
- Clase B. Este tipo de encamado es de un material fino, que debe ser ajustado a la concavidad inferior del conducto para que éste se apoye firmemente en todo lo largo. El firme de material fino debe tener como ancho mínimo el 60% del diámetro exterior del conducto, el resto del conducto debe ser cubierto al menos 30 cm arriba de su lomo con material granular fino compactado que se colocará por capas de 15 cm de espesor para después ser compactado.



*Fuente: Alcantarillado, Jorge Lara*

**Figura 1.13** Detalles del encamado tipo B

- Clase C. Es similar al tipo de encamado anterior, lo que varía en este tipo de encamado es el ancho mínimo del material fino que se reduce al 50% del diámetro exterior del conducto, habrá que cubrir el conducto al menos 15 cm sobre el lomo con material granular fino y compactarlo adecuadamente.



*Fuente: Alcantarillado, Jorge Lara*

**Figura 1.13 Detalles del encamado tipo C**

Una forma adicional de calcular el espesor del encamado, es consultar tablas en las que se estandarizan los valores del espesor para diámetros nominales y diferentes materiales como las que se presenta en la tabla 1.8.

**Tabla 1.8 Valores de espesores de encamado para diámetros nominales y diferentes materiales**

DIAMETRO NOMINAL (cm)	ESPESOR DE PLANTILLA (cm)						
	C.S.	C.R.	F.C.	PVC S.I.	PVC S.M.	PVC P.E.	P.E. A.D.
10	10			15			10
11					15		
15	10		10	15			10
16					15	15	
20	10		10	15	15	15	10
25	10		10	15	15	15	10
30	10	10	10	15			10
31.5					15	15	
35			10				10
37.5				15			
38	10	10					
40			10		15		10
45	10	10	10	15			10
50			10	15	15		10
52.5				15			
55							10
60	13	13	10	15			10
63					15		
65							10
70	14	14					10
75			10				10
76							
80							10
81							10
85							10
90			10				10
91		15					
100			15				
107		17					
110			15				
120			15				
122		20					
130			15				
140			15				
150			15				
152		23					
160			15				
170			15				
180			15				
183		27					
190			15				
200			15				
213		30					
244		34					

**Fuente: Alcantarillado Sanitario, MAPAS**



### **1.6.3.- Profundidad de zanja**

En todo sistema de alcantarillado se busca minimizar el volumen total de excavación, ésto se logra mediante la optimización de la profundidad de zanja de cada conducto, dicha optimización consiste en lograr que todos lo albañales domiciliarios trabajen por gravedad considerando los siguientes aspectos:

Profundidad mínima.- Está en función directa del colchón mínimo necesario para que el conducto no sufra daños a lo largo del tramo; así mismo de la cota de descarga del albañal domiciliario, ya que éste debe contar con una pendiente geométrica del 1% y ser precedido por un registro de profundidad mínima de 60 cm ubicado dentro del predio.

Profundidad máxima.- Depende directamente de la topografía del terreno, además de considerar la cohesión de éste, así como la resistencia de los conductos y el tipo de plantilla o encamado utilizado.

Cualquier conducto que pertenezca al sistema de alcantarillado urbano estará sometido a cargas axiales debidas al relleno que lo cubre, ésta carga aumenta considerablemente con la profundidad del conducto, si a éstas cargas se le adicionan las cargas vivas debidas al tránsito de vehículos sobre las calles, entonces se tendrán cargas externas que pueden dañar la estructura del conducto y provocar el colapso de éste en el peor de los casos.

Una forma de evitar daños a la parte externa de los conductos es colocar una capa de material de terracería sobre el lomo de éste, dicha capa de material recibe el nombre de colchón. El espesor del colchón se puede obtener de tablas con valores estándar de diámetros nominales para diferentes materiales como las que se presenta en la tabla 1.9.

"REVISIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE LA ZONA DEPORTIVA DENTRO DE CIUDAD  
UNIVERSITARIA UTILIZANDO EL SOFTWARE EPA SWMM"

**Tabla 1.9 Valores de colchón mínimo para diámetros nominales y diferentes materiales**

DIAMETRO NOMINAL (cm)	COLCHON MÍNIMO(cm)						
	C.S.	C.R.	F.C.	PVC S.I.	PVC S.M.	PVC P.E.	P.E. A.D.
10	90			90			60
11					90		
15	90		90	90			60
16					90	80	
20	90		90	90	90	80	60
25	90		90	90	90	80	60
30	90	90	90	90			60
31.5					90	80	
35			90				60
37.5				90			
38	90	90					
40			90		90		60
45	90	90	110	90			60
50			110		100		60
52.5				100			
55							60
60	100	100	110	100			60
63					100		
65							60
70							60
75			110				
76	100	100					
80							60
81							60
85							60
90			110				60
91		100					
100			110				
107		100					
110			110				
120			110				
122		100					
130			150				
140			150				
150			150				
152		130					
160			150				
170			150				
180			150				
183		130					
190			150				
200			150				
213		150					
244		150					

#### 1.6.4.- Determinación de espesor de tubo

El espesor del conducto diseñado en el sistema de alcantarillado depende directamente de la carga axial que recibe debido al peso del colchón, así también de la carga debida al tránsito de vehículos, o bien de transeúntes a lo largo de todo el conducto.

Existe la forma de obtener de manera directa el valor de la carga axial que actuará sobre el lomo del conducto, ésta es una forma empírica desarrollada por Marston la cual se describe en la ecuación 1.14, dicho valor de W es de suma importancia para

$$W = C_1 \cdot \omega \cdot B^2 \quad (Ec.1.14)$$

Donde:

<b>W</b>	<b>Carga Vertical total sobre el tubo</b>	<b>[kg/m]</b>
<b>C1</b>	<b>Coficiente asignado al material de relleno</b>	<b>[1]</b>
<b><math>\omega</math></b>	<b>Peso volumétrico del material de relleno</b>	<b>[kg/m<sup>3</sup>]</b>
<b>B</b>	<b>Ancho de la zanja</b>	<b>[m]</b>

Actualmente existe una gran variedad de materiales a utilizar en los conductos de un sistema de alcantarillado, concreto, fibrocemento, PVC, PEAD y acero. Existen tablas de valores estandarizados con clases de tuberías para los diferentes diámetros comerciales, algunos ejemplos de éstas se presentan en las tablas 1.10, 1.11 y 1.12.

**Tabla 1.10 Resistencia en tubos de concreto reforzado**

Diámetro (cm)	Resistencia (kg/m)				
	Clase II	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
61	-	2976	4018	5952	8928
76	-	3720	5022	7040	11160
91	-	4464	6027	8928	13392
107	-	5208	7031	10416	15624
122	-	5952	8036	11924	17856
152	5952	7440	10045	14880	22320
183	7142	8928	12054	17856	26784
213	8333	10416	14063	20832	-
244	9523	11904	16072	-	-

**Fuente: Alcantarillado, Jorge Lara**

**Tabla 1.11 Clasificación de tuberías de fibrocemento**

TUBERÍA JUNTA SIMPLEX																
DIÁMETRO NOMINAL (mm)	CLASE B - 6				CLASE B - 7.5				CLASE B-9				CLASE B -12.5			
	ESPESOR (mm)	CARGA RUPTURA (Kgf/m)	LONG. ÚTIL (m)	PESO (Kg/m)	ESPESOR (mm)	CARGA RUPTURA (Kgf/m)	LONG. ÚTIL (m)	PESO (Kg/m)	ESPESOR (mm)	CARGA RUPTURA (Kgf/m)	LONG. ÚTIL (m)	PESO (Kg/m)	ESPESOR (mm)	CARGA RUPTURA (Kgf/m)	LONG. ÚTIL (m)	PESO (Kg/m)
150	-	-	-	-	-	-	-	-	10.5	1350	5	9.5	11.0	1875	5	10.0
200	-	-	-	-	10.5	1500	5	12.5	11.0	1800	5	13.1	11.5	2500	5	13.7
250	10.5	1500	5	15.5	11.0	1875	5	16.2	11.5	2250	5	17.0	12.5	3125	5	18.6
300	11.0	1800	5	19.4	11.5	2250	5	20.3	13.0	2700	5	23.0	15.0	3750	5	26.8
350	12.0	2100	5	24.6	13.5	2625	5	27.8	15.0	3150	5	31.0	17.5	4375	5	36.5
400	14.0	2400	5	32.9	15.5	3000	5	36.5	17.0	3600	5	40.2	20.0	5000	5	47.7
450	15.5	2700	5	41.0	17.5	3375	5	46.4	19.0	4050	5	50.6	22.5	5625	5	60.3
500	17.5	3000	5	51.4	19.0	3750	5	56.0	21.0	4500	5	62.1	25.0	6250	5	74.5
600	20.5	3600	5	72.2	23.0	4500	5	81.3	25.5	5400	5	90.5	30.0	7500	5	107.2
750	26.0	4500	5	114.6	29.0	5625	5	128.3	31.5	6750	5	139.8	37.5	9375	5	167.7
900	31.0	5400	5	164.0	34.5	6750	5	183.2	38.0	8100	5	202.5	45.0	11250	5	241.6

Fuente: Alcantarillado Sanitario, MAPAS

**Tabla 1.12 Clasificación de tuberías de PVC**

ALCANTARILLADO SERIE INGLESA												
DIÁMETRO		LONGITUD UTIL	TIPO 35				TIPO 41			TIPO 51		
NOMINAL	EXTERIOR PROMEDIO		ESPESOR	DIÁMETRO INTERIOR	PESO	ESPESOR	DIÁMETRO INTERIOR	PESO	ESPESOR	DIÁMETRO INTERIOR	PESO	
cm	mm	m	mm	mm	kg/m	mm	mm	kg/m	mm	mm	Kg/m	
10	107.1	6.00	3.1	100.9	1.40	2.6	101.9	1.18	2.1	102.9	0.96	
15	159.4	6.00	4.6	150.2	3.09	3.9	151.6	2.63	3.1	153.2	2.10	
20	213.4	6.00	6.1	201.2	5.48	5.2	203.0	4.69	4.2	205.0	3.81	
25	266.7	6.00	7.6	251.5	8.54	6.5	253.7	7.33	5.2	256.5	5.90	
30	317.5	6.00	9.1	299.3	12.17	7.7	302.1	10.34	6.2	305.1	8.37	
37.5	388.6	6.00	11.1	366.4	18.17	9.5	369.6	15.61	-	-	-	
45	475.0	6.00	13.6	447.8	27.20	-	-	-	-	-	-	
52.5	560.0	6.00	16.0	528.0	37.74	-	-	-	-	-	-	
60	630.0	6.00	18.0	594.0	47.76	-	-	-	-	-	-	

ALCANTARILLADO SERIE MÉTRICA												
DIÁMETRO		LONGITUD UTIL	SERIE 16.5			SERIE 20			SERIE 25			
NOMINAL	EXTERIOR PROMEDIO		ESPESOR	DIÁMETRO INTERIOR	PESO	ESPESOR	DIÁMETRO INTERIOR	PESO	ESPESOR	DIÁMETRO INTERIOR	PESO	
cm	mm	m	mm	mm	kg/m	mm	mm	Kg/m	mm	mm	Kg/m	
11	110	6.00	3.2	103.6	1.40	3.0	104.0	1.18	3.0	104.0	0.96	
16	160	6.00	4.7	150.6	3.09	4.0	152.0	2.63	3.2	153.6	2.10	
20	200	6.00	5.9	188.2	5.48	4.9	190.2	4.69	3.9	192.2	3.81	
25	250	6.00	7.3	235.4	8.54	6.2	237.6	7.33	4.9	240.2	5.90	
31.5	315	6.00	9.2	296.6	12.17	7.7	299.6	10.34	6.2	312.6	8.37	
40	400	6.00	11.7	376.6	18.17	9.8	380.4	15.61	7.8	384.4	-	
50	500	6.00	14.6	470.8	37.74	12.3	475.4	-	9.8	480.4	-	
63	630	6.00	18.4	593.2	47.63	15.4	599.2	-	12.3	605.4	-	

Fuente: Alcantarillado Sanitario, MAPAS

### 1.6.5.- Separación entre pozos de visita

En algunos tramos del sistema de alcantarillado se puede presentar que las condiciones del conducto no cambien en una distancia considerable, para éstos casos existen distancias máximas estandarizadas para la colocación de los pozos de visita, esto con el fin de permitir la ventilación de los conductos y para llevar a cabo las obras de mantenimiento, o bien de reparación de los conductos y de tal forma garantizar el funcionamiento adecuado de éstos.

La separación máxima permisible entre pozos de visita muestra en la tabla 1.13

**Tabla 1.13 Separación máxima permisible entre pozos de visita**

Diámetro (m)		Separación (m)
Mayor a	Menor o igual a	
0.20	0.61	125
0.61	1.22	150
1.22	3.05	175

**Fuente: Alcantarillado Sanitario, MAPAS**

Nota: las distancias de la tabla 1.13 pueden incrementarse como máximo un 10% de lo establecido, dependiendo de la distancia entre los cruceros de las calles.

# **SOFTWARE EPA SWMM**

## **2. - Software EPA SWMM**

El software nombrado Modelo de Gestión de Aguas Pluviales SWMM por sus siglas en inglés (Storm Water Management Model) desarrollado por la EPA, es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones y sistemas de alcantarillado de cualquier tipo, ya que puede ser utilizado para un único acontecimiento, o bien, para realizar una simulación continua durante un periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos. El módulo de escorrentía o hidrológico de EPA SWMM funciona con una serie de cuencas en las cuales se genera el escurrimiento. EPA SWMM analiza el recorrido del agua a través de un sistema compuesto por conductos, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores. Así mismo, EPA SWMM es capaz de seguir la evolución de la cantidad y 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 conducto y canal, durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo.

Este software es publicado por la EPA con el propósito de complementar la modelación de sistemas de alcantarillado. EPA SWMM es bastante similar en cuanto a la interfaz y funcionamiento al software de abastecimiento de agua potable de la EPA EPANET.

El presente trabajo se realizó con la ayuda del manual que la EPA tiene en su sitio web. Adicionalmente existe una versión en español que fue traducida por el “Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos” (GMMF), además de que el software también fue modificado para que los comandos estén en español.

## **2.1.- Utilidades del software EPA SWMM**

Desde su aparición, EPA SWMM se ha utilizado en miles de redes de evacuación de aguas tanto residuales como pluviales. Entre las aplicaciones típicas 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 de las aguas.
- 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.

## **2.2.- Dibujo de objetos**

El software EPA SWMM es un programa de interacción, es decir que el usuario debe dibujar la red del sistema de alcantarillado a diseñar, o bien, la red ya diseñada y que será revisada.

Para llevar a cabo el dibujo se necesitan planos de la población ya establecida o una imagen satelital. Una de las opciones que ofrece el programa es insertar imágenes, para que sobre ésta se dibuje la red del sistema de alcantarillado, siempre y cuando sean considerados los factores de escala.

Existe una gran variedad de objetos a dibujar en el plano del software, por ejemplo: conexión, vertido, conductos, cuencas, orificios, bombas, entre otros; cada tipo de objeto desempeña funciones diferentes y específicas.

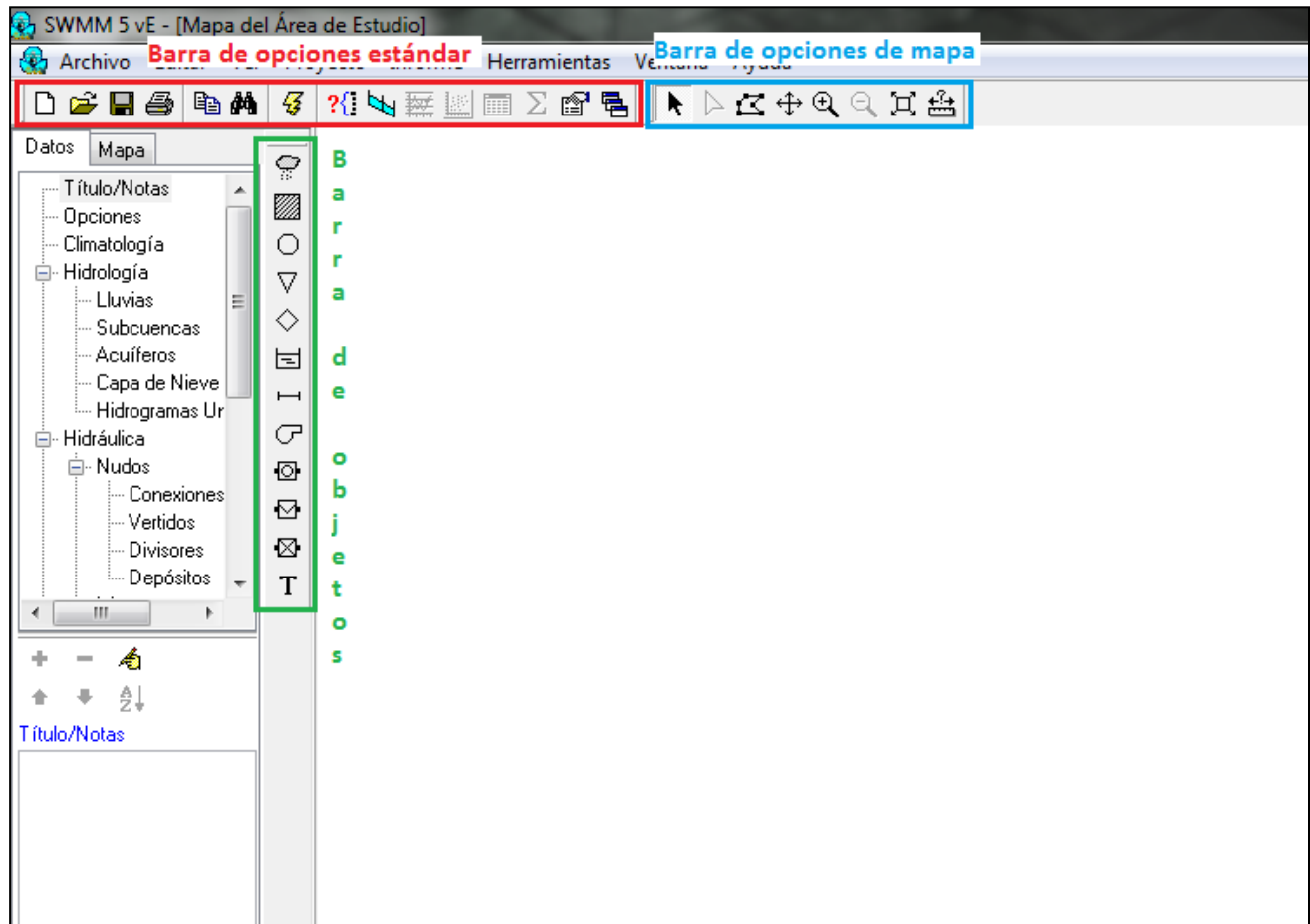


La interfaz del software se muestra en la figura 2.1 en la cual destacan los siguientes elementos:

- a. Barra de opciones estándar. Ésta barra permite el acceso a diferentes opciones con respecto al archivo del software, así como de la red de conductos dibujada sobre el plano. Cuenta con 15 botones. La función de cada botón se explica a continuación:
  1. **Nuevo.** Permite al usuario crear un plano en blanco y sustituir al que está en pantalla.
  2. **Abrir.** Permite el acceso a un plano guardado previamente desde la dirección que se indique.
  3. **Guardar.** Ofrece la opción de almacenar el plano que está en uso en la dirección que se indique (el archivo queda guardado con la extensión \*.INP).
  4. **Imprimir.** El plano en uso es enviado a la impresora predeterminada del equipo en uso, para obtener una copia impresa en papel de dicho plano.
  5. **Copiar.** Éste botón ofrece varias opciones, como obtener una copia del plano que está en uso como una imagen en plano de bits, o bien, como meta-archivo.
  6. **Buscar.** Ofrece la opción de encontrar y seleccionar cualquier objeto dibujado sobre el plano que deseé.
  7. **Calcular.** Éste botón realiza la simulación del sistema de alcantarillado con los datos cargados en cada objeto dibujado sobre el plano, de ésta forma se obtiene el comportamiento que presentará cada elemento que compone el sistema a lo largo del periodo de simulación.
  8. **Consulta.** Ofrece la opción de señalar los objetos que cumplan ciertas características definidas por el usuario.
  9. **Perfil longitudinal.** Ofrece la opción de realizar una representación gráfica del perfil de uno o todos los conductos entre los nudos seleccionados por el usuario, siempre y cuando los nudos seleccionados estén conectados.
  10. **Gráfico evolución.** Ofrece al usuario la opción de observar una gráfica de resultados de la simulación con las características y objetos deseados.
  11. **Gráfico de dispersión.** Ofrece al usuario la opción de observar una gráfica de resultados de la simulación con las características y objetos deseados definiendo las variables en las direcciones X y Y.

12. **Tabla.** Ofrece la opción de generar una tabla resumen con los objetos y datos seleccionados a lo largo de la simulación.
  13. **Estadísticas.** Ofrece la opción de observar en un plano cartesiano el comportamiento de cualquier elemento en forma de una serie de puntos unidos por una línea.
  14. **Opciones.** Permite configurar las características del plano en uso, por ejemplo: objetos dibujados, etiquetas, grosor de línea, color de nudos, color de fondo, etc.
  15. **Ventanas en cascada.** Permite observar varios planos dentro de una misma ventana y de ésta manera seleccionar el plano que se deseé.
- b. Barra de opciones del plano. Ésta barra ofrece cambiar algunas características de la red de conductos dibujada sobre el plano, cuenta con 8 botones, los cuales son descritos a continuación:
1. **Seleccionar objeto.** Permite mover, editar, o bien seleccionar cualquier objeto dentro del plano.
  2. **Seleccionar vértice.** Permite editar la ubicación de los vértices de una subcuenca para modificar la forma de ésta.
  3. **Seleccionar región.** Ofrece la opción de generar una región dentro del plano, para seleccionar, o buscar objetos que estén dentro de dicha región.
  4. **Desplazar.** Permite al usuario moverse a lo largo y ancho del plano.
  5. **Acercar.** Ofrece la opción observar de mejor manera la imagen del plano para observar detalles pequeños.
  6. **Alejar.** Ofrece la opción de regresar a la vista anterior una vez que se oprimió el botón de acercar.
  7. **Extensión.** Ofrece la opción de regresar a la vista completa del área del plano en uso.
  8. **Medir distancia.** Ofrece la opción de calcular la distancia entre dos objetos sin importar la dirección en la que se seleccione, esto quiere decir que se puede obtener la longitud total de una red de conductos.



- c. Barra de objetos. Ésta barra ofrece al usuario la opción de dibujar libremente los objetos deseados, siempre y cuando se haya seleccionado previamente el botón del objeto a dibujar. Cuenta con 12 botones.



**Figura 2.1 Ventana del software EPA SWMM**

A continuación se explican algunos detalles del dibujo de los objetos en el software, así como las diferentes características de cada objeto.


### 2.2.1.- Cuenca

- a) Seleccionar mediante el cursor la opción  “subcuenca” de la Barra de Objeto. Nótese como al seleccionar la opción de subcuenca, el cursor adquiere el aspecto de un lápiz.
- b) Mover el cursor al punto del plano donde se desea insertar una de las esquinas de la cuenca C-I y pulsar el botón secundario del ratón.
- c) Realizar el mismo procedimiento para cada una de las esquinas de la cuenca y finalmente pulse el botón derecho del ratón (o pulse la tecla *Enter*) para cerrar el polígono.
- d) Para modificar el aspecto de la cuenca (cambiar de forma a rectangular, cuadrada, trapezoidal, etc.) seleccionar el centroide de la cuenca, seleccionar la opción  “seleccionar vértice” entonces la cuenca accionará a cada vértice un punto, el cual puede ser modificado de posición libremente.


### 2.2.2.- Nudos o Conexiones

En éste software existen diferentes maneras de dibujar conexiones entre conductos, las más importantes son las conexiones y los puntos de vertido. A continuación se explica el procedimiento para dibujar cada uno de estos nudos.

#### 2.2.2.1.- Conexiones


1. Para añadir un nudo de este tipo, seleccione  “conexión” utilizando el cursor, el botón se encuentra en la barra de objeto.
2. Mover el cursor a la posición donde desee insertar el nudo o conexión, y pulsar el botón secundario del ratón.

### **2.2.2.2.- Vertido**

Para añadir una descarga o punto de vertido, seleccione el botón  “vertido” en la barra de objeto, desplace el cursor al punto de localización del vertido en el plano y pulsar el botón secundario del ratón. Nótese que el nudo de vertido recibe de forma automática el nombre D-l.

### **2.2.3.- Conducciones**

Para añadir conductos dentro del plano, será necesario dibujar previamente los nudos de inicio y final, ya que sin éstos no es posible dibujar algún conducto. El procedimiento para dibujar cualquier conducto se describe a continuación.

1. Seleccionar el botón  “conducto” en la barra de objetos. Nótese que el cursor cambia de aspecto representando una cruz.
2. Seleccione el botón secundario del ratón sobre el nudo inicial, nótese que el cursor adquiere el aspecto de un lápiz.
3. Mover el cursor en la dirección correspondiente hasta el nudo final y seleccionarlo, nótese que mientras se desplaza el cursor se dibuja una línea que representa la conducción que se está dibujando.

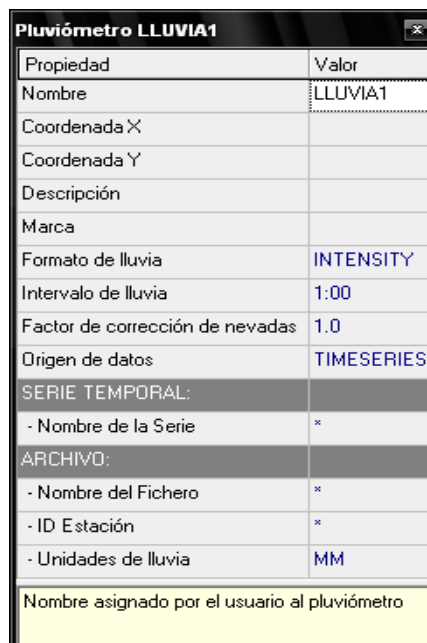
Las conducciones dibujadas sobre el plano pueden adquirir cualquier dirección, ya que si la conducción tiene dirección recta basta con realizar un trazo entre los puntos inicial y final; mientras que si la conducción presenta cambios de dirección sin ningún tipo de conexión, basta con marcar los cambios de dirección mientras se traza la conducción, hasta llegar al nudo final.

## 2.3.- Características de los elementos

EPA SWMM ofrece al usuario gran variedad de objetos a utilizar dentro del plano, cada uno de estos elementos cuentan con diferentes características, por ejemplo: parámetros de lluvia, volumen de agua, cotas, entre otros. A continuación se describen las diferentes funciones, características y parámetros de los principales objetos con los que cuenta el software.

### 2.3.1.- Pluviómetro

Este tipo de objeto realiza la función de asignar datos de precipitación a una o varias cuencas, esto con el motivo de simular la lluvia que cae sobre la cuenca, así como las características de la precipitación como duración e intensidad. En la figura 2.2 se muestra la ventana correspondiente a las características del pluviómetro, así mismo en la tabla 2.1, se explica de forma general cada parámetro.



Propiedad	Valor
Nombre	LLUVIA1
Coordenada X	
Coordenada Y	
Descripción	
Marca	
Formato de lluvia	INTENSITY
Intervalo de lluvia	1:00
Factor de corrección de nevadas	1.0
Origen de datos	TIMESERIES
SERIE TEMPORAL:	
- Nombre de la Serie	*
ARCHIVO:	
- Nombre del Fichero	*
- ID Estación	*
- Unidades de lluvia	MM
Nombre asignado por el usuario al pluviómetro	

**Figura 2.2** Tabla emergente de un Pluviómetro

**Tabla 2.1 Parámetros de un Pluviómetro**

<b>Nombre</b>	<b>Nombre del pluviómetro</b>
<b>Coordenada x</b>	Ubicación horizontal en el plano
<b>Coordenada y</b>	Ubicación vertical en el plano
<b>Descripción</b>	Descripción adicional
<b>Marca</b>	Etiqueta opcional para clasificar
<b>Formato de lluvia</b>	Formato de lluvia de los datos proporcionados: <b>INTENSITY</b> (hietograma): cada valor de precipitación es la intensidad media de la lluvia (en mm/h) a lo largo del intervalo registrado. <b>VOLUMEN</b> (pluviograma): cada valor de precipitación es el volumen de lluvia que se registro durante un cierto intervalo (en mm) <b>CUMULATIVE</b> (pluviograma acumulado): cada valor de precipitación representa la precipitación acumulada desde el inicio de la lluvia (en mm)
<b>Intervalo de lluvia</b>	Intervalo de tiempo que transcurrió entre lecturas del pluviómetro en formato decimal o como hh:mm
<b>Factor de nieve</b>	Factor que corrige las lecturas debidas a nieve en el pluviómetro
<b>Origen de datos</b>	Fuente de datos de la lluvia: <b>TIME SERIES:</b> serie temporal suministrada por el usuario. <b>FILE:</b> archivo externo de datos.
<b>SERIE TEMPORAL</b>	
<b>Nombre de la serie</b>	Nombre de la serie temporal con los datos de lluvia si el origen de los datos es una serie temporal. (dejar en blanco si no es el caso)
<b>ARCHIVO</b>	
<b>Nombre del archivo</b>	Nombre del archivo que contiene los datos de lluvia
<b>No. Estación</b>	Identificados de la estación donde está el pluviómetro cuyos datos se van a utilizar
<b>Unidades de lluvia</b>	Unidades en que están expresados los datos de la lluvia del archivo (mm o in)

**Fuente: Traducción del Manual de Usuario de SWMM, GMMF**

### **2.3.1.1.- Serie temporal**

Para que un pluviómetro trabaje correctamente será necesario agregar una serie temporal, o bien, un archivo externo que contenga los datos de lluvia, en la figura 2.3 se muestra la ventana correspondiente a las características de la serie temporal. El procedimiento para generar una serie temporal se explica a continuación:

- a) En el menú de datos seleccionar serie temporal.
- b) Llenar la siguiente tabla con los datos que requiere el software (figura 2.3).
- c) Nombre. Nombre asignado a la serie temporal.
- d) Descripción. Comentario o descripción opcional sobre lo que representa la serie.
- e) Columna Fecha. Introducir la fecha en formato mes/día/año, correspondiente al intervalo de la precipitación.
- f) Columna Hora. Introduzca la hora en formato militar horas: minutos.
- g) Valores. Los valores numéricos de precipitación correspondientes a la precipitación.

**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

Ver

Aceptar

Cancelar

Ayuda

**Figura 2.3** Tabla emergente de una Serie Temporal

### 2.3.2.- Cuencas

Son objetos dibujados por el usuario, en la cantidad y forma correspondiente al proyecto, la función que realizan dentro del plano, es simular las superficies terrestres sobre las que existe escurrimiento debido a precipitaciones. En la figura 2.4 se muestra la ventana correspondiente a las características de la cuenca, así mismo en la tabla 2.2, se explica de forma general cada parámetro.



**Tabla 2.2 Parámetros de una Cuenca**

Propiedad	Valor
Nombre	C-1
Coordenada X	2011.643
Coordenada Y	7124.838
Descripción	
Marca	
Pluviómetro	*
Descarga	*
Área	1.62
Ancho	122
Pendiente (%)	0.5
Área impermeable (%)	50
Coef. n (Impermeable)	0.01
Coef. n (Permeable)	0.1
Alm. Dep. (Impermeable)	1.25
Alm. Dep. (Permeable)	1.25
(%) Área Imperm. sin Alm.Dep.	25
Flujo entre subáreas	OUTLET
(%) escorrentía transportada	100
Infiltración	GREEN_AMPT
Águas Subterráneas	NO
Capa de nieve	
Usos del suelo	0
Acumulación inicial	NONE
Longitud Cauce	0

Nombre del juego de parámetros para el módulo de nieve (se emplea únicamente para el análisis del deshielo de la nieve)

**Figura 3.4 Tabla emergente de una Cuenca**

Nombre	Nombre de la cuenca
<b>Coordenada x</b>	Ubicación horizontal en el plano
<b>Coordenada y</b>	Ubicación vertical en el plano
<b>Descripción</b>	Descripción adicional
<b>Marca</b>	Etiqueta opcional para clasificar
<b>Pluviómetro</b>	Nombre del pluviómetro asociado a la cuenca
<b>Descarga</b>	Nombre del nudo o subcuenca que recibirá el escurrimiento de la cuenca actual
<b>Área</b>	Área de la cuenca (hectáreas o acres)
<b>Ancho</b>	Ancho característico del flujo debido al escurrimiento superficial (en m)
<b>Pendiente (%)</b>	Pendiente de la cuenca
<b>Área impermeable (%)</b>	Porcentaje de la cuenca cuyo suelo es impermeable
<b>Coef. N (impermeable)</b>	Coefficiente de Manning para el flujo superficial sobre el área impermeable de la cuenca
<b>Coef. N (permeable)</b>	Coefficiente de Manning para el flujo superficial sobre el área permeable de la cuenca
<b>Alm. Dep (impermeable)</b>	Altura de almacenamiento en depresión sobre el área impermeable de la cuenca
<b>Alm. Dep (permeable)</b>	Altura de almacenamiento en depresión sobre el área permeable de la cuenca
<b>% Área impermeable sin Alm. Dep.</b>	Porcentaje de suelo impermeable que no presenta almacenamiento en depresión
<b>Flujo entre subáreas</b>	Selección del sentido del flujo interno entre las áreas impermeable y permeable de la cuenca: <b>IMPERV.:</b> flujo desde permeable hacia permeable. <b>PERV.:</b> flujo de impermeable a permeable. <b>OUTLET.:</b> ambas áreas aportan directamente a la descarga.
<b>% Escorrentía transportada</b>	Porcentaje de escurrimiento entre las distintas áreas
<b>Infiltración</b>	Opciones de edición de los parámetros de infiltración
<b>Águas subterráneas</b>	Opciones de edición de los parámetros del flujo subterráneo de la cuenca
<b>Capa de nieve</b>	Nombre del conjunto de parámetros de nieve asignados a la cuenca
<b>Usos de suelo</b>	Opciones de edición de los parámetros de uso del suelo
<b>Acumulación inicial</b>	Opciones de edición de los parámetros de cantidades iniciales de acumulación de contaminantes sobre la cuenca
<b>Longitud del cauce</b>	Longitud total de cuencas o cauces en la cuenca (en m). Se utiliza cuando la acumulación de contaminantes se define por unidad de longitud del cauce

**Fuente: Traducción del Manual de Usuario de SWMM, GMMF**

### 2.3.3.- Conexiones

Son objetos que el usuario dibuja sobre el plano al inicio y final de cada conducto, desempeñan la función de simular pozos de visita, por lo que los datos necesarios por el software deberán ser correspondientes con el proyecto. En la figura 2.5 se muestra la ventana correspondiente a las características de la conexión, así mismo en la tabla 2.3, se ofrece de forma general, la descripción de cada parámetro.

**Tabla 2.3 Parámetros de un Nudo**

Propiedad	Valor
Nombre	N-1
Coordenada X	2367,056
Coordenada Y	3942,931
Descripción	
Marca	
Aportes	NO
Tratamiento	NO
Cota del fondo	0
Profundidad Máxima	125
Nivel inicial	0
Altura de Sobrepresión	0
Área de inundación	100
Nombre asignado por el usuario a la conexión	


Nombre	Nombre del pozo
<b>Coordenada x</b>	Ubicación horizontal en el plano
<b>Coordenada y</b>	Ubicación vertical en el plano
<b>Descripción</b>	Descripción adicional
<b>Marca</b>	Etiqueta opcional para clasificar
<b>Aportes</b>	Opciones de edición de los parámetros de aportes (véase el subíndice i)
<b>Tratamiento</b>	Opciones de edición de los parámetros de tratamiento de contaminantes en la conexión
<b>Cota de fondo</b>	Cota del fondo del pozo
<b>Profundidad máxima</b>	Tirante máximo de agua dentro del pozo
<b>Nivel inicial</b>	Tirante del agua al inicio de la simulación
<b>Altura de sobrepresión</b>	Altura adicional de agua por encima del máximo antes de que aparezca la inundación (en m). Se utiliza para simular pozos con tapa soldada o cubierta
<b>Área de inundación</b>	Área ocupada por el agua acumulada sobre la conexión en caso de inundación (en m2)

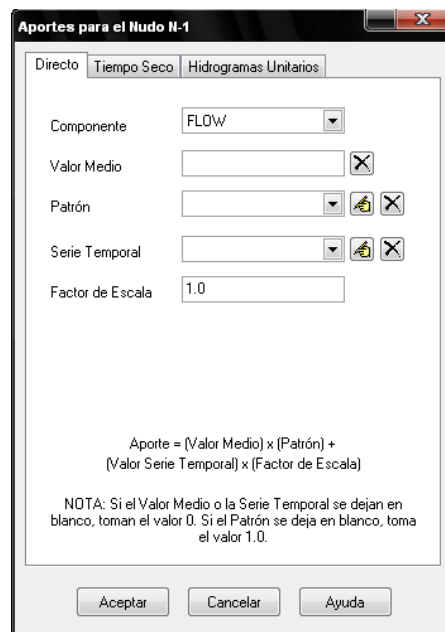
**Figura 2.5 Tabla emergente de un Nudo**

**Fuente: Traducción del Manual de Usuario de SWMM, GMMF**

#### 2.3.3.1.- Aportes

La simulación del sistema de alcantarillado que realiza éste software, está basada en los siguientes parámetros: gasto pluvial y sanitario. El gasto sanitario es asignado en forma de aportaciones en los nudos correspondientes, mientras que el gasto pluvial, es asignado en forma de precipitación sobre las cuencas, las cuales descargan el escurrimiento en los nudos asignados.

Para la asignación de aportes a cualquier nudo, basta con seleccionar la opción de  “agregar datos” que se encuentra dentro del menú de opciones del pozo. Se abrirá la ventana que se observa en la figura 2.6, el valor de aporte correspondiente al nudo, debe ser escrito la opción correspondiente dentro de ésta ventana.



Aportes para el Nudo N-1

Directo | Tiempo Seco | Hidrogramas Unitarios

Componente: FLOW

Valor Medio: [ ]

Patrón: [ ]

Serie Temporal: [ ]

Factor de Escala: 1.0

Aporte = (Valor Medio) x (Patrón) + (Valor Serie Temporal) x (Factor de Escala)

NOTA: Si el Valor Medio o la Serie Temporal se dejan en blanco, toman el valor 0. Si el Patrón se deja en blanco, toma el valor 1.0.

Aceptar Cancelar Ayuda

**Figura 2.6** Tabla emergente de un aporte

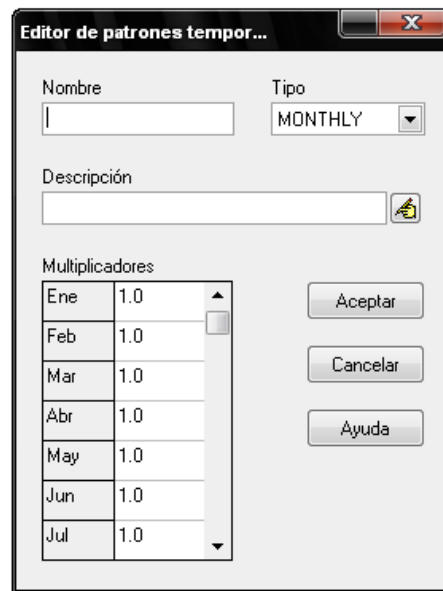
El proceso asignación de aportes a cualquier nudo, es complementado por la creación de patrones temporales, los cuales son descritos en el siguiente subcapítulo.

### **2.3.3.2.- Patrones temporales**

Para realizar de forma correcta el diseño de un sistema de alcantarillado, es necesario introducir los valores de la curva que describen el comportamiento de las aportaciones correspondientes a la población en estudio, estos datos se introducen de la siguiente manera:

- a) En el menú de datos seleccionar patrones temporales
- b) Llenar la siguiente tabla con los datos requeridos por el software (figura 2.7)

- c) Nombre. Introduzca el nombre característico del patrón temporal.
- d) Tipo. Seleccione el tipo de patrón temporal correspondiente (tabla 2.4).
- e) Descripción. Comentario opcional para el patrón de tiempo.
- f) Multiplicadores. Introduzca el valor correspondiente a cada multiplicador.



**Figura 2.7 tabla emergente de los patrones temporales**

El número y significado de los coeficientes varía en función del tipo de patrón temporal seleccionado como se observa en la tabla 2.4

**Tabla 2.4 Valores de factores temporales**

<b>MONTHLY</b>	<b>MENSUAL</b>	12 coeficientes, uno para cada mes del año
<b>DAILY</b>	<b>SEMANAL</b>	7 coeficientes, uno para cada día de la semana
<b>HOURLY</b>	<b>DIARIO (LABORABLE)</b>	24 coeficientes, uno para cada hora desde las 00:00 horas hasta las 23:00
<b>WEEKEND</b>	<b>DIARIO (FIN DE SEMANA)</b>	24 coeficientes, Como el patrón <i>HOURLY</i> , pero aplicado sólo a los fines de semana

**Fuente: Traducción del Manual de Usuario de SWMM, GMMF**

### 2.3.4.- Vertidos

Los nudos de vertido son los puntos finales de una red de alcantarillado ya que en este punto se descarga el gasto acumulado por los conductos anteriores. Un punto de vertido puede tener aportes al igual que cualquier pozo. . En la figura 2.8 se muestra la ventana correspondiente a las características de la conexión, así mismo en la tabla 2.5, se describe forma general cada parámetro.

**Tabla 2.5 Parámetros de un vertido**

Propiedad	Valor
Nombre	D-1
Coordenada X	3033.635
Coordenada Y	6597.671
Descripción	
Marca	
Aportes	NO
Tratamiento	NO
Cota del fondo	0
Compuerta antirretorno	NO
Tipo	FREE
Vertido a nivel fijo	
Nivel fijo Vertido	0
Vertido contra marea	
Nombre Curva Marea	*
Vertido variable en el tiempo	
Nombre Serie Temporal	*

Pulsar para especificar aportes externos de agua u otros compuestos que se recogen en el vertido.

2

Nombre	Nombre del vertido
<b>Coordenada x</b>	Ubicación horizontal en el plano
<b>Coordenada y</b>	Ubicación vertical en el plano
<b>Descripción</b>	Descripción adicional
<b>Marca</b>	Etiqueta opcional para clasificar
<b>Aportes</b>	Opciones de edición de los parámetros de aportes (series temporales)
<b>Tratamiento</b>	Opciones de edición de los parámetros de tratamiento de contaminantes en la conexión
<b>Cota de fondo</b>	Cota del fondo del vertido
<b>Compuerta anti retorno</b>	<b>YES</b> si existe compuerta, <b>NO</b> si es el caso contrario
<b>Tipo</b>	Condición del entorno de la descarga: <b>FREE:</b> Nivel de descarga determinado por el mínimo entre el calado crítico y el calado uniforme del conducto. <b>NORMAL:</b> Nivel de descarga basado en el calado uniforme del conducto. <b>FIXED:</b> Nivel de descarga constante. <b>TIDAL:</b> Nivel de descarga dado por una curva de nivel de la marea a cada hora del día. <b>TIMESERIES:</b> Nivel de descarga a un nivel aportado en forma de serie temporal.
	<b>Vertido a nivel fijo</b>
<b>Nivel de vertido</b>	Nivel del agua fijo para descarga de tipo FIXED (en m)
	<b>Vertido contra marea</b>
<b>Nombre curva marea</b>	Nombre de la curva que representa el nivel de agua a cada hora del día para descargas del tipo TIDAL
	<b>Vertido variable en el tiempo</b>
<b>Nombre de la serie temporal</b>	Nombre de la serie temporal con los datos de nivel de agua para descargas de tipo TIMESERIES

**Figura 2.8 Tabla emergente de un vertido**

**Fuente: Traducción del Manual de Usuario de SWMM, GMMF**

### 2.3.5.- Depósitos

La función que desarrollan estos objetos dentro del plano, es la simulación de un tanque de tormenta. El objetivo de principal de este elemento, es regular el gasto debido a la precipitación sobre la cuenca, permitiendo el almacenamiento del agua, para posteriormente extraerla con un gasto menor al de ingreso. En la figura 2.9 se muestra la ventana correspondiente a las características de la conexión, así mismo en la tabla 2.6, se describe de forma general cada parámetro.

Propiedad	Valor
Nombre	DEP-1
Coordenada X	2917.206
Coordenada Y	6429.495
Descripción	
Marca	
Aportes	NO
Tratamiento	NO
Cota del fondo	0
Nivel Máximo	125
Nivel inicial	0
Área de inundación	100
Factor de evaporación	0
Infiltración	NO ...
Curva de almacenamiento	FUNCTIONAL
Curva definida por función	
Coeficiente	1000
Exponente	0
Constante	0
Curva definida por tabla	
Nombre Curva	*

Pulsar para especificar la infiltración en la base del depósito

**Figura 2.9** Tabla emergente de un depósito

**Tabla 2.6** Parámetros de un depósito

Nombre	Nombre del depósito
<b>Coordenada x</b>	Ubicación horizontal en el plano
<b>Coordenada y</b>	Ubicación vertical en el plano
<b>Descripción</b>	Descripción adicional
<b>Marca</b>	Etiqueta opcional para clasificar
<b>Aportes</b>	Opciones de edición de los parámetros de aportes
<b>Tratamiento</b>	Opciones de edición de los parámetros de tratamiento de contaminantes en el depósito
<b>Cota de fondo</b>	Cota de fondo del depósito (en m)
<b>Nivel máximo</b>	Profundidad en el depósito (medido desde la cota del terreno en m)
<b>Nivel inicial</b>	Nivel del agua al comienzo de la simulación (en m)
<b>Área de inundación</b>	Área ocupada por el agua acumulada sobre la conexión en caso de inundación (en m <sup>2</sup> )
<b>Factor de evaporación</b>	Fracción del potencial de evaporación que se está utilizando para la superficie del agua en el depósito
<b>Infiltración</b>	Parámetros de infiltración en el fondo del depósito
<b>Curva de almacenamiento</b>	Método para describir la geometría del depósito: <b>FUNCTIONAL:</b> La geometría sigue la función: $\text{Área} = (A * (\text{NIVEL})^B) + C.$ <b>TABULAR:</b> La geometría se describe mediante una curva de área-nivel del agua.
<b>Curva definida por función</b>	
<b>Coeficiente</b>	Valor de A en la función
<b>Exponente</b>	Valor de B en la función
<b>Constante</b>	Valor de C en la función

**Fuente:** Traducción del Manual de Usuario de SWMM, GMMF

### 2.3.6.- Conductos

Estos objetos simulan como su nombre lo indica, los conductos que conforman la red de alcantarillado, incluyen los parámetros principales de una tubería, por ejemplo: diámetro, pendiente, material, forma, etc. Dentro de estos parámetros cabe destacar el tipo de conducto, ya que el software ofrece distintas formas y tipos de conductos, incluyendo canales a cielo abierto (figura 2.11). En la figura 2.10 se muestra la ventana correspondiente a las características de la conexión, así mismo en la tabla 2.7, se describe de forma general cada parámetro.

**Tabla 2.7 parámetros de un conducto**

Propiedad	Valor
Nombre	A-C
Nudo inicial	A
Nudo final	C
Descripción	
Marca	
Forma	CIRCULAR ...
Altura (Prof. Máx.)	0.91
Longitud	350
Coef. Manning (n)	0.013
Desnivel Entrada	0
Desnivel Salida	0
Caudal inicial	0
Caudal máximo	0
Coef. Pérd. Entrada	0
Coef. Pérd. Salida	0
Coef. Pérd. Medio	0
Compuerta antirretorno	NO
Código Paso Inferior	






















Pulsar para editar la geometría de la sección transversal del conducto

Nombre	Nombre del conducto
<b>Coordenada x</b>	Ubicación horizontal en el plano
<b>Coordenada y</b>	Ubicación vertical en el plano
<b>Descripción</b>	Descripción adicional
<b>Marca</b>	Etiqueta opcional para clasificar
<b>Forma</b>	Opciones de edición de los parámetros de la sección del conducto
<b>Longitud</b>	Longitud de la conducción (en m)
<b>Coef. Manning</b>	Coeficiente de Manning del material de la conducción
<b>Desnivel entrada</b>	Desnivel entre la cota de fondo del pozo inicial y el inicio de la conducción
<b>Desnivel salida</b>	Desnivel entre la cota de fondo del pozo final y el final de la conducción
<b>Caudal máximo</b>	Máximo caudal permitido en la simulación mediante Onda Dinámica en condiciones de sobrecarga (en unidades de gasto)
<b>Coef. Perd. Entrada</b>	Coeficiente de pérdidas menores debidas a la entrada de la conducción
<b>Coef. Perd. Salida</b>	Coeficiente de pérdidas menores debidas a la salida de la conducción
<b>Coef. Perd. medio</b>	Coeficiente de pérdidas menores a lo largo de la conducción
<b>Compuerta anti retorno</b>	<b>YES:</b> la conducción cuenta con compuerta anti retorno. <b>NO:</b> La conducción no dispone de compuerta.

**Figura 2.10 tabla emergente de un conducto**

**Fuente: Traducción del Manual de Usuario de SWMM, GMMF**

Los conductos en este software cuentan con un parámetro indispensable para el diseño, que es el desnivel de entrada y salida, esto se refiere a la distancia entre el fondo del pozo, (punto más profundo del pozo) y el punto más bajo del conducto (plantilla), ésta distancia es de suma importancia, ya que cuando dos o más conductos llegan a un mismo pozo funciona para variar la pendiente de cada tramo de forma independiente.

Nombre	Parámetros	Forma	Nombre	Parámetros	Forma
Circular	Profundidad		Circular Relleno	Profundidad, profundidad del relleno	
Rectangular Cerrado	Profundidad, ancho		Rectangular Abierto	Profundidad, ancho	
Trapezoidal	Profundidad, ancho en la parte superior, pendiente lateral		Triangular	Profundidad, ancho en la parte superior	
Elipse Horizontal	Profundidad		Elipse Vertical	Profundidad	
Arco	Profundidad		Parabólica	Profundidad, ancho en la parte superior	
Potencial	Profundidad, Ancho en la parte superior, exponente		Rectangular – Triangular	Profundidad, ancho	
Rectangular Redondeada	Profundidad, ancho		Cesta de mano modificada	Profundidad, ancho	
Huevo	Profundidad		Huella de caballo	Profundidad	
Gótico	Profundidad		Catenaria	Profundidad	
Semiéptica	Profundidad		Cesta de mano	Profundidad	
Semicircular	Profundidad				

**Fuente:** Traducción del Manual de Usuario de SWMM, GMMF

**Figura 2.11** Tipos de conducto que ofrece el software



Si bien el software ofrece distintos tipos de conductos (figura 2.11), los cuales se utilizan habitualmente en los sistemas de alcantarillado, cabe destacar que aunque se opte por alguna sección cerrada, ésta siempre trabajará con el valor de la presión atmosférica. Esto se debe a que el software realiza los cálculos correspondientes a la sección elegida, como si se tratará de un canal. Existe sólo un tipo de sección, la cual permite que el conducto trabaje a tubo lleno, para lo cual es necesario introducir el valor de la rugosidad del material elegido.

### **2.3.- Diagrama de flujo para el diseño de un tramo de alcantarillado usando EPA SWMM**

Para realizar de una forma más sencilla el proceso de revisión o diseño de un sistema de alcantarillado con ayuda del software EPA SWMM, se diseñó el siguiente diagrama de flujo, en el cual se describen los pasos a seguir para dibujar, analizar y optimizar cualquier tramo que pertenezca al sistema de alcantarillado de estudio.

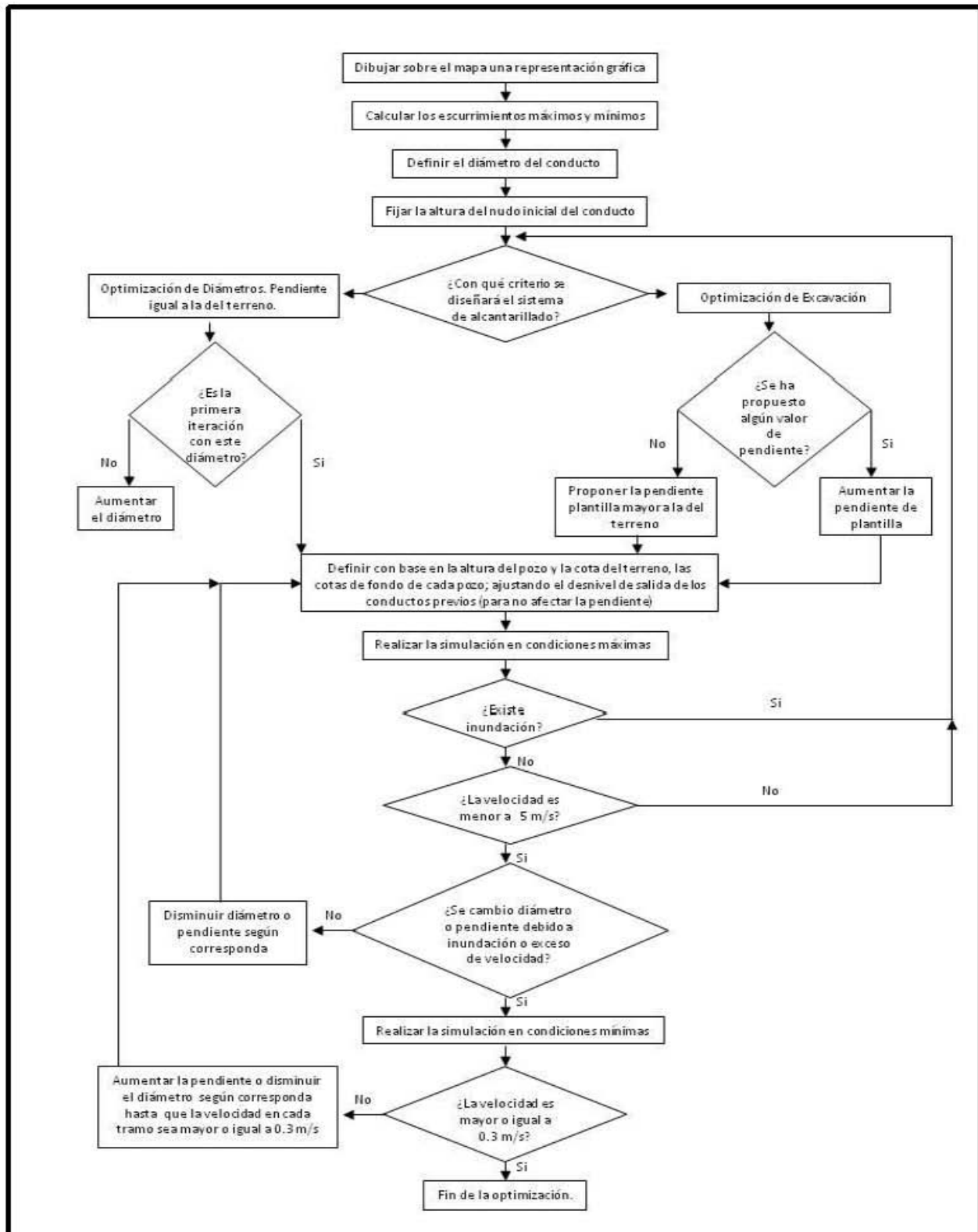


Figura 2.12 diagrama de flujo para cualquier tipo de tramo

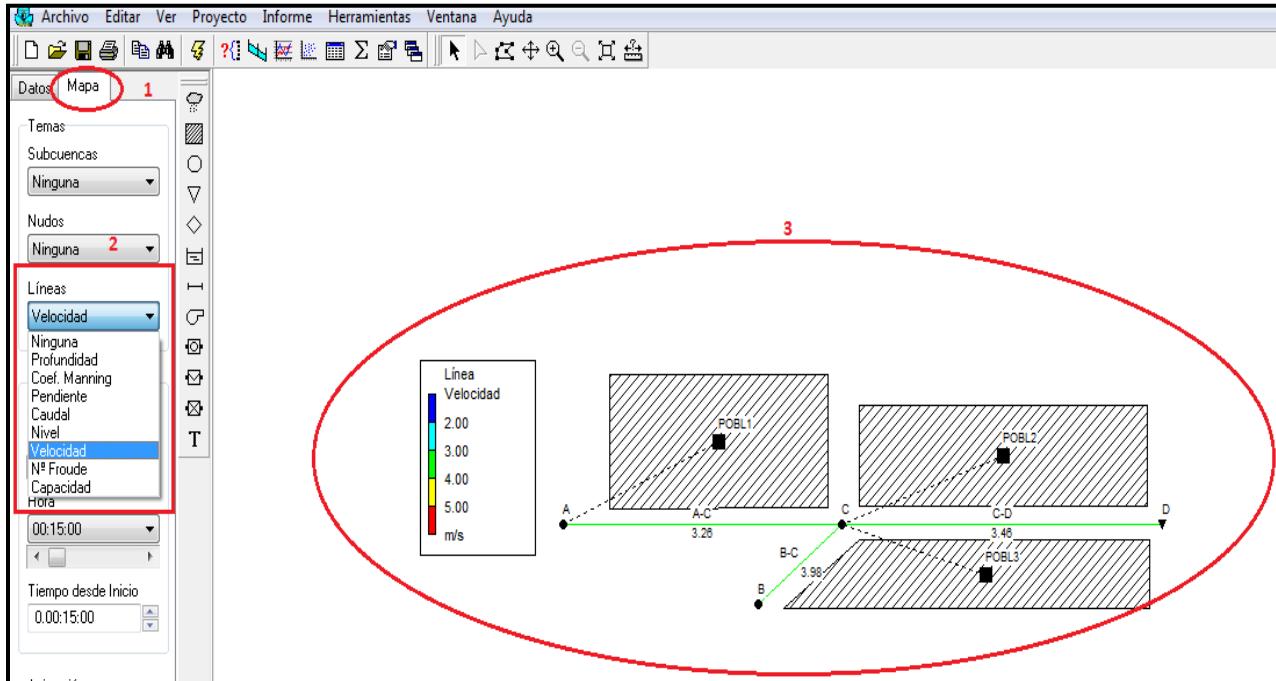
## **2.4.- Resultados que ofrece el software EPA SWMM y su interpretación.**

El software EPA SWMM, como se mencionó con anterioridad, complementa el proceso de diseño o revisión de un sistema de alcantarillado, ya que ofrece la opción de observar resultados del comportamiento de cada uno de los conductos que integran el sistema. Esto quiere decir que no sólo se puede observar la representación gráfica del problema, sino que además se pueden observar las características y el comportamiento de los conductos mientras se realiza la simulación virtual, estos aspectos se describen en los siguientes subcapítulos.

### **2.4.1.- Velocidad**

Una vez realizada la simulación del sistema de alcantarillado, el software ofrece la opción de visualizar en el plano el valor de la velocidad dentro de cada conducto, ésta función se activa de la siguiente forma:

1. Dentro de la ventana del software activar la pestaña de “Plano”
2. Seleccionar en el submenú de líneas la opción de velocidad
3. Los conductos dibujados en el plano cambian de color y aparece una tabla con colores que indican los valores representativos de cada color, como se observa en la figura 2.13.

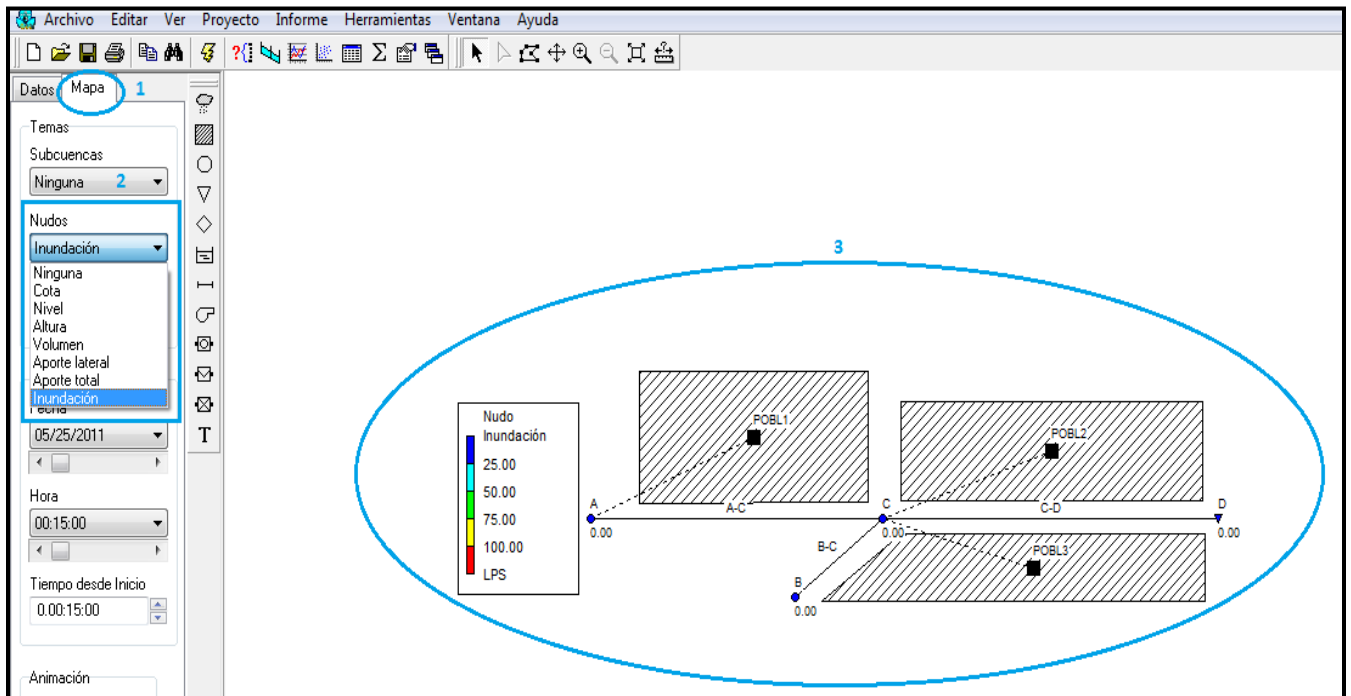


**Figura 2.13** Ventana con valores de velocidad en cada conducto

#### 2.4.2.- Inundación

Otra opción de gran ayuda para observar el comportamiento del sistema, es la inundación, ésta opción indica al usuario que el sistema no está desalojando la totalidad del volumen de agua. Lo cual provocaría inundaciones en las calles ya que los pozos se llenarían y desbordarían. Para observar los valores de inundación en los pozos que integran el sistema se realizan los siguientes pasos.

1. Dentro de la ventana del software activar la pestaña de “Plano”
2. Seleccionar en el submenú de nudos la opción de inundación
3. Los nudos dibujados en el plano cambian de color y aparece una tabla con colores que indican los valores representativos de cada color, como se observa en la figura 2.14.

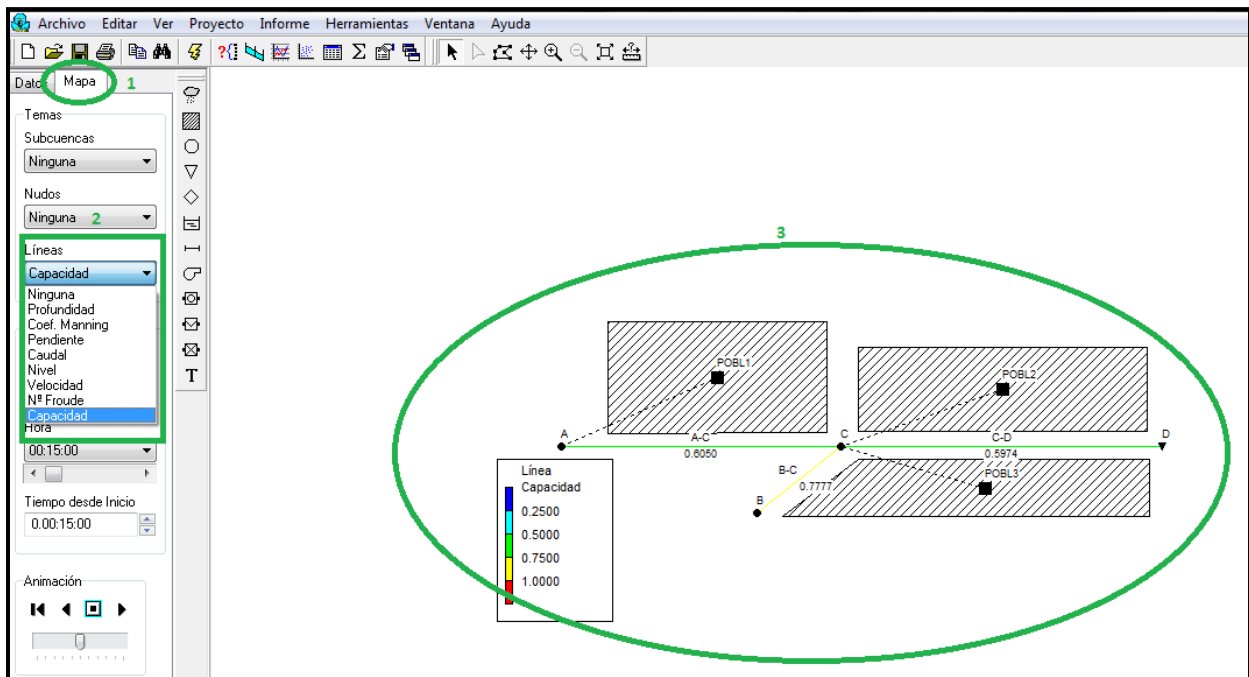


**Figura 2.14 Ventana con valores de inundación en cada nudo**

### 2.4.3.- Capacidad

Esta función ofrece al usuario visualizar el valor al que está funcionando el conducto, es decir, si un conducto presenta un valor de capacidad igual a 0.5, el conducto está desalojando el gasto correspondiente a la mitad de su máxima capacidad. La forma de activar esta función es la siguiente:

1. Dentro de la ventana del software activar la pestaña de “Plano”
2. Seleccionar en el submenú de líneas la opción de capacidad
3. Los conductos dibujados en el plano cambian de color y aparece una tabla con colores que indican los valores representativos de cada color, como se observa en la figura 2.15.

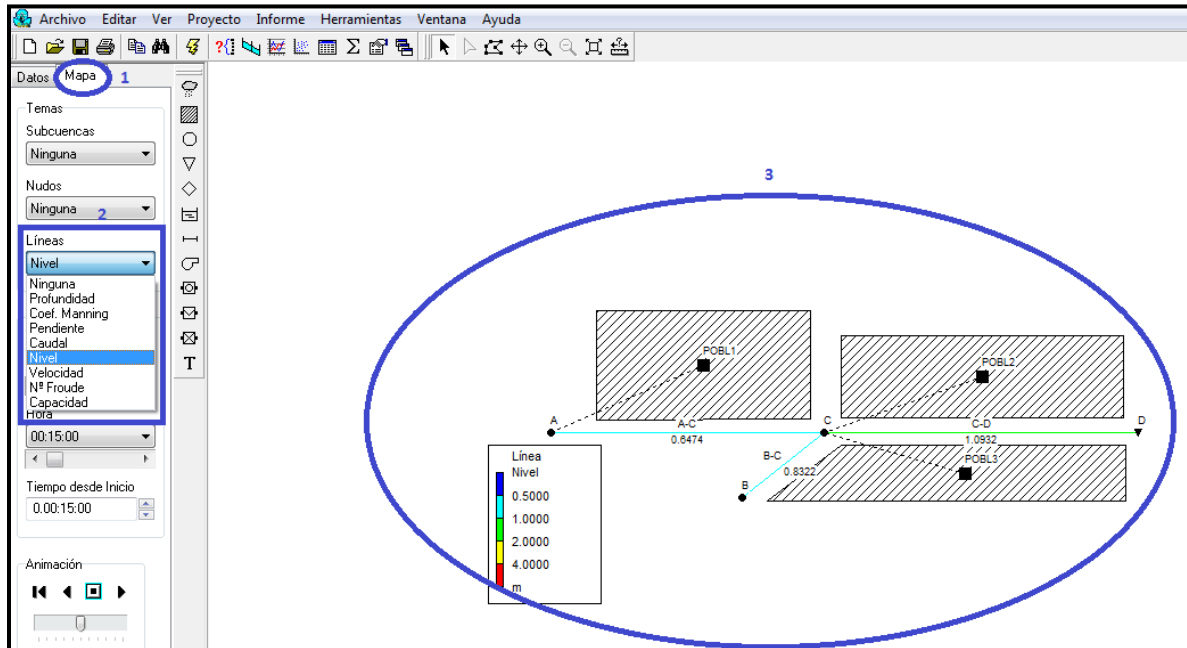


**Figura 2.15 ventana con valores de capacidad en cada conducto**

#### 2.4.4.- Nivel

Dentro del software existe una función para observar dentro del plano los valores del tirante que se presentan dentro de los conductos, ésta función recibe el nombre de nivel y la manera de activarla es la siguiente:

1. Dentro de la ventana del software activar la pestaña de “Plano”
2. Seleccionar en el submenú de líneas la opción de nivel
3. Los conductos dibujados en el plano cambian de color y aparece una tabla con colores que indican los valores representativos de cada color, como se observa en la figura 2.16.



**Figura 2.16 Ventana con valores de nivel en cada conducto**

#### 2.4.5.- Perfil Longitudinal

Para observar de una forma distinta la visualización en planta que se tiene del plano, el software ofrece la función de observar uno o varios conductos que están conectados entre sí, formando una ruta de desalojo de aguas servidas, ésta función se conoce como perfil longitudinal y proporciona al usuario una imagen del perfil de uno o varios conductos seleccionados, con sus respectivos nudos inicial y final, la manera de activar ésta función se describe a continuación:

1. Seleccionar el botón de Perfil Longitudinal de la barra de opciones estándar como se observa en la figura 2.17.
2. En la ventana que emerge seleccionar los nudos inicial y final de la ruta deseada.
3. Seleccionar el botón de buscar ruta.
4. Añadir o suprimir nudos o conductos de la ruta que sugiere de manera automática el software.
5. Seleccionar el botón de aceptar.

6. La ventana del plano será sustituida por una ventana con la imagen del perfil del o los conductos seleccionados con sus respectivos nudos inicial y final.

Con ésta función además de observar el perfil longitudinal de los conductos seleccionados, también se pueden observar a detalle los parámetros de cota de fondo, altura del pozo, longitud del conducto, así como observar el nivel de agua desalojada durante la simulación en cualquier instante como se observa en la figura 2.18.

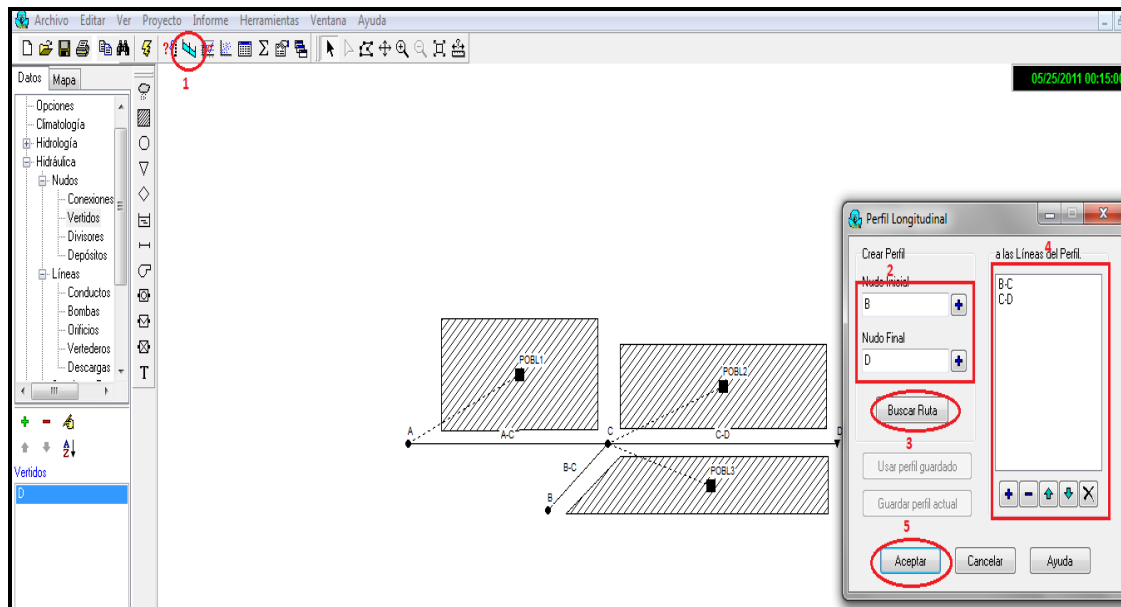


Figura 2.17 ventana emergente para la selección de conductos

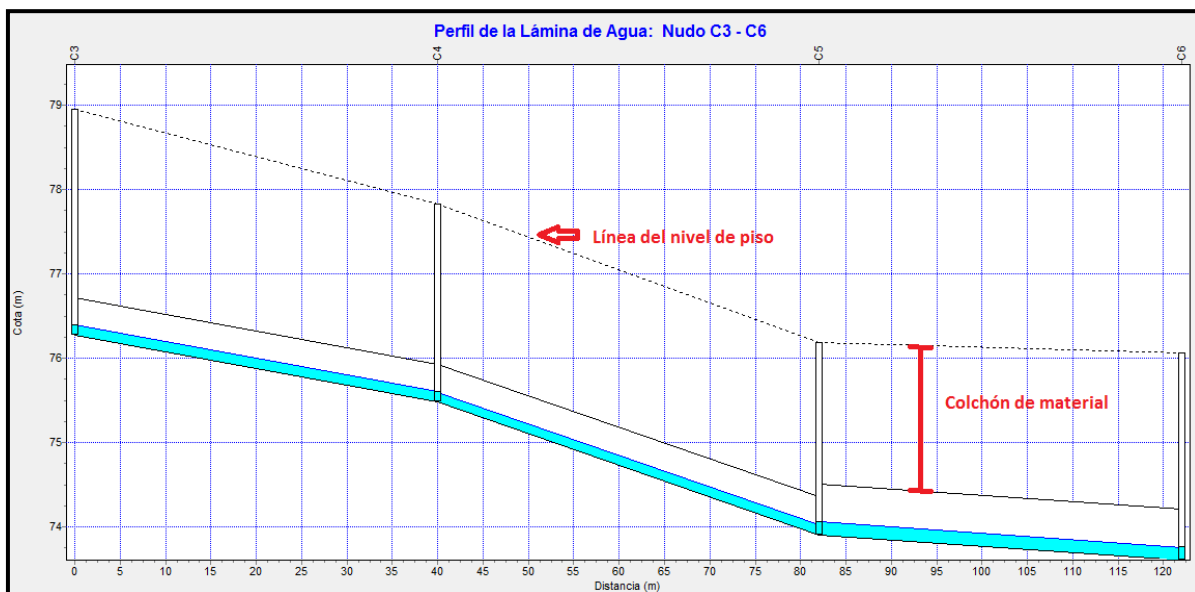


Figura 2.18 Perfil longitudinal de tres conductos



**APLICACIÓN DEL  
SOFTWARE EPA  
SWMM A LA  
REVISIÓN DE UN  
SISTEMA DE  
ALCANTARILLADO**

### **3.- Aplicación del software EPA SWMM a la revisión de un sistema de alcantarillado**

Una vez que se han explicado los principales componentes de un sistema de alcantarillado y sus características, se tiene una mejor visión de los criterios de diseño que deben ser considerados para el diseño o revisión de cualquier sistema de alcantarillado. De igual manera se explicaron las características del software EPA SWMM, incluyendo los parámetros de los diferentes objetos que lo conforman y que pueden ser utilizados por el usuario.

Para realizar una aplicación completa y adecuada del software a casos reales, es necesario recopilar información precisa de la zona de estudio, ésta información consiste en datos hidrológicos, datos topográficos de la cuenca, y si es el caso de una revisión, datos de la infraestructura realizada.

La información antes mencionada es de suma importancia, ya que es la base para la aplicación del software en situaciones reales, dicha aplicación consta de los siguientes pasos:

1. Dibujar la representación gráfica de la cuenca de estudio, esto si se trata de un sistema de alcantarillado pluvial o combinado, o bien, dibujar la zona de estudio, si es el caso de un sistema de alcantarillado sanitario.
2. Introducir los parámetros necesarios a los diferentes objetos dibujados sobre el plano, como son datos de precipitación, diámetros, cotas de profundidad, desniveles, etc.
3. Realizar la simulación para observar el comportamiento del sistema.
4. Analizar e interpretar los resultados en cada elemento que compone el sistema, así como verificar que se cumplan los criterios de diseño correspondientes, y si es necesario realizar las modificaciones pertinentes hasta que se cumplan dichos criterios de diseño.

### **3.1.- Descripción de las características del sitio**

La zona de estudio de este trabajo es una pequeña cuenca que se forma dentro del área deportiva del campus de Ciudad Universitaria, dicha cuenca está formada en su mayoría de zonas pavimentadas como algunos edificios de diferentes dependencias de la UNAM, así como espacios de recreación, circuitos automovilísticos y ciclo-pistas, también cuenta con espacios deportivos por ejemplo: campos de fútbol americano, canchas de frontón y áreas de terreno natural. Las características de la zona antes descritas serán consideradas para una mejor simulación de la cuenca. En la figura 3.1 se muestra la cuenca seleccionada, así como los diferentes tipos de suelo que se presentan.

Dentro de la cuenca seleccionada existen edificaciones que cuentan con un sistema de alcantarillado independiente, es decir, que desalojan las aguas servidas a una planta de tratamiento y posteriormente es vertida por una grieta. Dichas edificaciones son: la División de Ingenierías Civil y Geomática, así como algunos edificios del Posgrado de Ingeniería, por lo tanto el gasto que desalojan estas dependencias no será considerado dentro del análisis.



*Fuente: Google Earth*

**Figura 3.1 Características de la cuenca**

### **3.1.1.- Documentación**

La aplicación del software EPA SWMM en este trabajo, se basa en la revisión del sistema de alcantarillado de la zona deportiva dentro de Ciudad Universitaria, por lo que fue necesario la recopilación de información de dicho sistema, de igual forma fue necesaria la recopilación de información acerca de los datos pluviométricos de la zona para posteriormente determinar el escurrimiento.

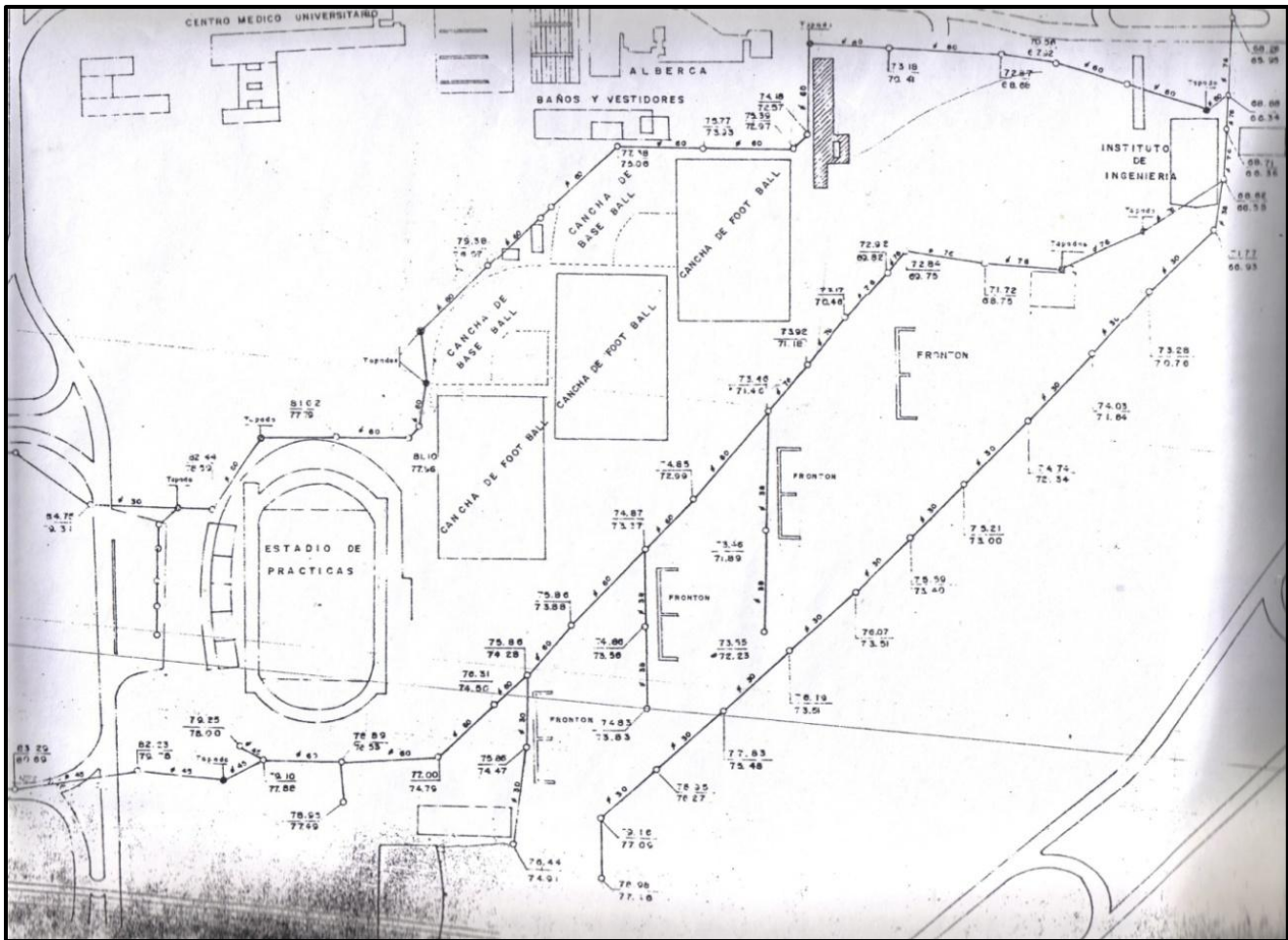
La recopilación de información se obtuvo de dos dependencias dentro de la UNAM, las cuales son: la Dirección General de Obras y Conservación, y el Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía de la UNAM, la información brindada dentro de estas dependencias se describe en la continuación.

#### ***3.1.1.1.- Información brindada por la Dirección General de Obras y Conservación UNAM***

La Dirección General de Obras y Conservación (DGOyC) cuenta con una Planoteca en la cual se encuentran los planos de todas las obras realizadas dentro de la UNAM, esto incluye planos estructurales, arquitectónicos, así como los planos de cualquier tipo de instalaciones dentro del campus de Ciudad Universitaria.

Como medida de seguridad la consulta y obtención de copias de cualquier tipo de plano debe ser solicitada por medio de oficios, en los cuales se describe el uso de la información contenida en los planos y se especifica que el solicitante es responsable por el uso de dicha información contenida en los planos consultados.

La información que se obtuvo de la planoteca de la DGOyC fue fundamental, ésta consiste en un plano general de la red de alcantarillado de Ciudad Universitaria (figura 3.2). Este plano cuenta con las trayectorias y diámetros de los conductos, así como las cotas de fondo de cada pozo de visita, ésta información fue utilizada para el cálculo de la pendiente de los conductos. Dicha información fue la necesaria para realizar la representación gráfica de la zona de estudio, así como para la introducción de los parámetros necesarios para la simulación del software, esto para los objetos dibujados sobre el plano.



**Figura 3.2** Sección del plano brindado por la DGOyC

### **3.1.1.2.- Información brindada por la unidad hidrométrica**

El Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía de la UNAM, es la estación hidrométrica más cercana a la zona de estudio que cuenta con los registros de precipitaciones desde el año 1963. Dichos datos fueron proporcionados de manera digital, los cuales consisten únicamente en valores de precipitación máxima durante 24 horas.

Por lo anterior descrito, en este trabajo se realizará la obtención de los gastos pluviales dentro de la cuenca consultando las curvas de intensidad-duración-periodo de retorno (i-d-Tr) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

# **MANEJO DE DATOS PLUVIALES**

## 4.- Manejo de datos pluviales

Debido a la falta de información en cuanto a duración de los eventos de precipitación que se han presentado. La obtención de los gastos pluviales para la cuenca de estudio será por medio de la consulta de las curvas i-d-Tr de la SCT, las cuales son utilizadas usualmente como método alternativo para el diseño de sistemas de alcantarillado urbano en todo el país, estas curvas consisten en planos con isoyetas de distintas intensidades en mm/hr para diferentes parámetros como duración y periodo de retorno.

### 4.1.- Determinación de intensidad.

La SCT cuenta con curvas i-d-Tr para el Distrito Federal, las cuales varían dependiendo de la duración de la precipitación, así como del periodo de retorno. Es necesario conocer los parámetros antes mencionados para seleccionar el plano con isoyetas adecuado.

Debido a que este trabajo consta de la revisión de una parte específica del sistema de alcantarillado del campus de Ciudad Universitaria. Se realizó el cálculo de los tiempos de concentración ( $t_c$ ) de cada una de las diferentes subcuencas que conforman la zona de estudio (tabla 6.1), por lo tanto la duración adecuada para realizar ésta revisión es de 5 min.

El periodo de retorno de 10 años que se observa en la tabla 4.1, se debe al tipo de obra civil, ya que los sistemas de alcantarillado urbanos tienen un intervalo para el periodo de retorno de diseño como se observa en la tabla 4.2

**Tabla 4.1 Parámetros para la selección de lluvia**

Duración (min)	Periodo de Retorno (años)
5	10

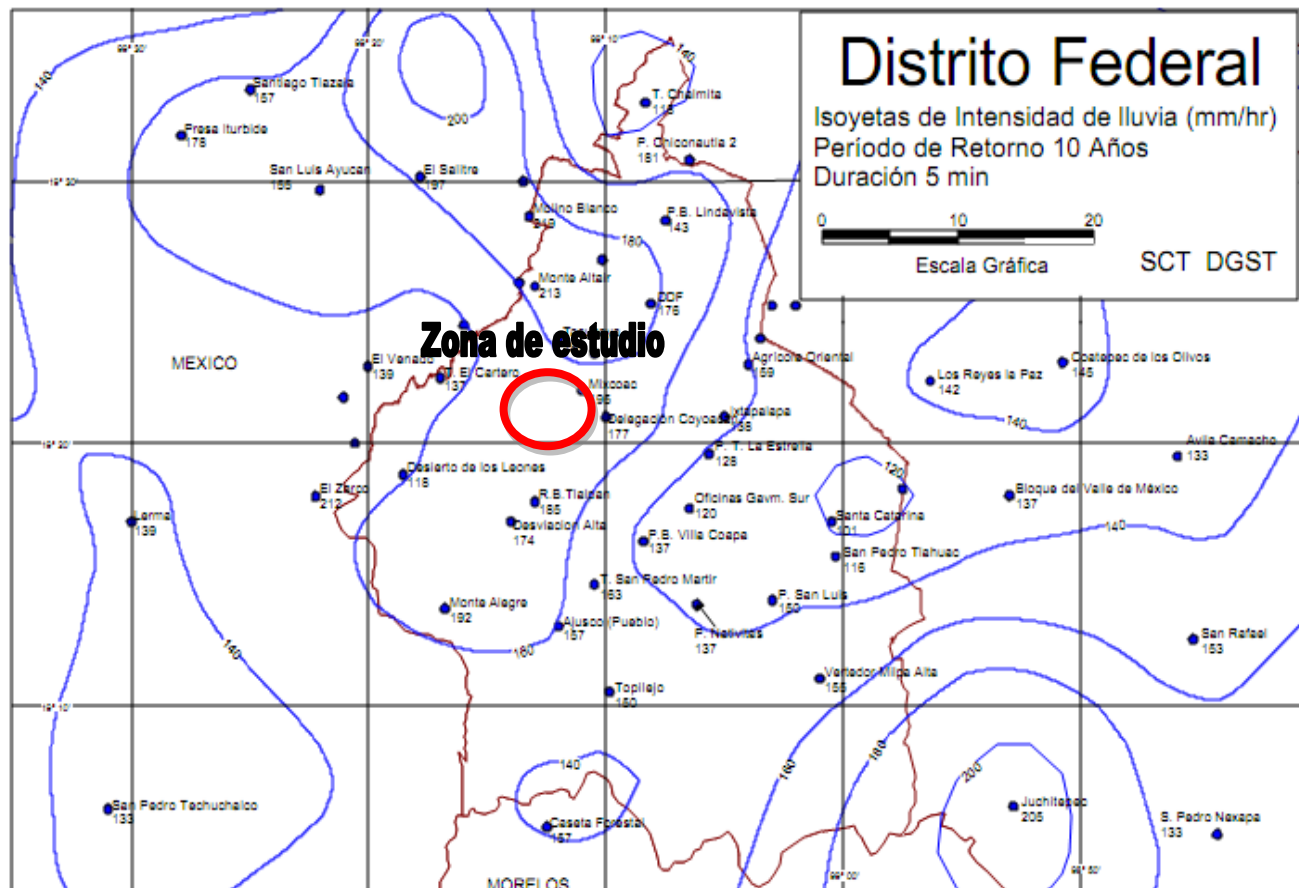


**Tabla 4.2 Periodos de retorno recomendables**

TIPO DE ESTRUCTURA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)
Alcantarillas en caminos secundarios, drenaje de lluvia o contra cunetas	5 a 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde pueden tolerarse encharcamientos causados por lluvias de corta duración	1 a 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2 a 10

**Fuente: Alcantarillado Pluvial, MAPAS**

Con los valores mostrados en la tabla 4.1 se identifican las Isoyetas de intensidad de lluvia correspondiente a los parámetros seleccionados. Las isoyetas se muestran en la figura 4.1. Se localizó la cuenca para seleccionar la isoyeta correspondiente, misma que corresponde a una intensidad de 160 mm/hr para un periodo de retorno de 10 años



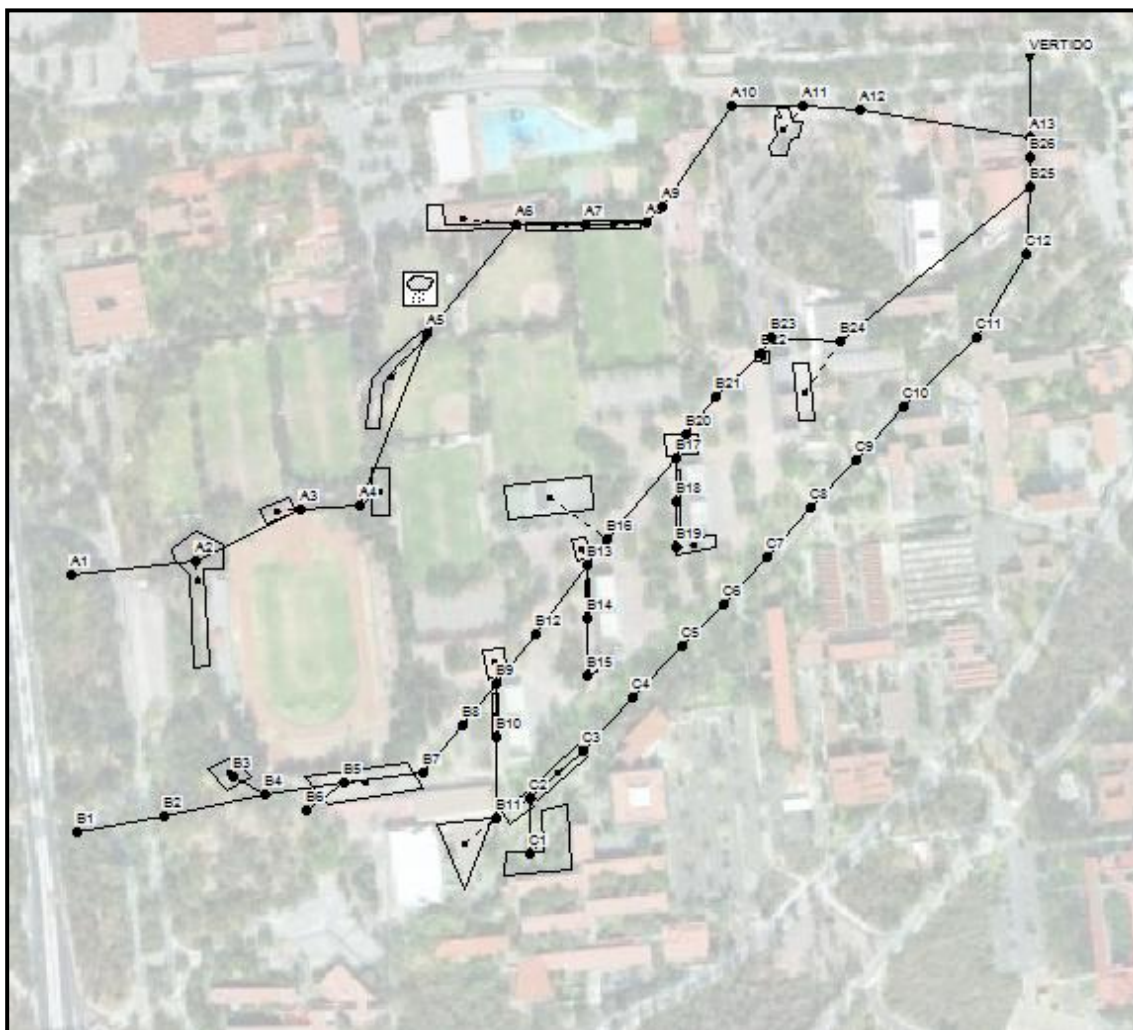
**Fuente: Curvas i-d-Tr, SCT**

**Figura 4.1 Plano de isoyetas correspondiente a la zona del DF con una duración de 5 min y periodo de retorno igual a 10 años de la SCT**

# **SIMULACIÓN**

## 5.- Simulación

Una vez que se obtuvieron los datos necesarios para la simulación del sistema de alcantarillado seleccionado como: los gastos sanitarios y pluviales, así como las características de los elementos del sistema; se procede a seguir la serie de pasos especificados en el subcapítulo 3.- Aplicación del software EPA SWMM a la revisión de un sistema de alcantarillado, estos pasos inician con la representación gráfica del sistema dibujada sobre el plano del software, este paso se observa en la figura 5.1, en la cual se observa a detalle la representación gráfica de los pozos de visita activos, trayectorias de los conductos y por último el punto de vertido del sistema de alcantarillado.



**Figura 5.1 Representación gráfica del sistema de alcantarillado**

## 5.1.- Determinación de áreas de Influencia

Las áreas de aportación correspondientes a cada pozo de visita se obtuvieron mediante un recorrido en campo de la zona de estudio, así mismo, el análisis de la infraestructura existente; lo anterior con ayuda del plano brindado por la DGOyC.

Durante el recorrido realizado se delimitó el área de influencia correspondiente a cada pozo de visita. Cabe destacar que tal y como se observa en la figura 5.1, existen pozos de visita que no cuentan con área de aportación debido al escurrimiento pluvial, ya que en algunos lugares dicho escurrimiento es directamente descargado a áreas naturadas para su infiltración al subsuelo.

Una vez que se identificaron y delimitaron las áreas de influencia correspondientes a cada pozo de la red, se obtuvieron los valores de dichas áreas, utilizando imágenes satelitales obtenidas del software “Google Earth”. El cálculo de las áreas de aportación, se llevó a cabo delimitando el área que rodea al pozo correspondiente con líneas rectas formando un polígono regular o irregular para posteriormente obtener el valor del área delimitada. Los valores de las áreas de influencia obtenidos de las imágenes satelitales se presentan en la tabla 5.1, así como los pozos de visita correspondientes en los que se desalojan las aguas pluviales.

Como se observa en la figura 5.1 la parte del sistema de alcantarillado que fue revisada en este trabajo cuenta con tres ramales nombrados A, B y C mismos que se convergen cerca del punto de vertido.

**Tabla 5.1 Áreas de influencia**

Captación a nivel de piso							
Ramal	Nudo	Área de influencia (m2)	Área de influencia (ha)	Pendiente (%)	Longitud (m)	Desnivel (m)	t <sub>c</sub> (min)
A	2	1170.28	0.1170	1.42	70	0.994	2.8059
	3	26.46	0.0026	2.1	21	0.441	0.9550
	4	93.97	0.0094	1.3	31	0.403	1.5504
	5	255.12	0.0255	1.63	42	0.6846	1.7955
	6	783.26	0.0783	1.24	97	1.2028	3.8003
	7	202.5	0.0203	1.18	56	0.6608	2.5375
	8	37.77	0.0038	1.18	65	0.767	2.8460
	11	405.92	0.0406	1.89	46	0.8694	1.8191
B	3	266.99	0.0267	3.14	25	0.785	0.9355
	5	1138.4	0.1138	1.39	68	0.9452	2.7666
	9	1326.31	0.1326	1.85	29	0.5365	1.2857
	10	529.43	0.0529	1.85	19	0.3515	0.9284
	11	934.94	0.0935	3.63	68	2.4684	1.9118
	13	760.86	0.0761	1.62	32	0.5184	1.4597
	14	405.92	0.0406	1.62	19	0.3078	0.9771
	15	481.34	0.0481	1.62	25	0.405	1.2070
	16	1765.89	0.1766	1.26	63	0.7938	2.7091
	17	1172.74	0.1173	1.36	35	0.476	1.6730
	18	405.92	0.0406	1.36	26	0.3536	1.3307
	19	253.87	0.0254	1.36	28	0.3808	1.4089
C	22	63.42	0.0063	1.74	13	0.2262	0.7097
	24	680.92	0.0681	1.74	62	1.0788	2.3632
	1	596.86	0.0597	2.6	52	1.352	1.7682
	2	83.91	0.0084	1.25	15	0.1875	0.9000
	3	217.44	0.0217	1.25	23	0.2875	1.2508

En la tabla 5.1 se muestran los valores de las pendientes en porcentaje (%) mismas que se obtuvieron mediante un plano topográfico de la cuenca en estudio. Las pendientes de las áreas de influencia se obtuvieron para completar los parámetros requeridos dentro de la simulación del software.

## **5.2.- Asignación de datos a cada nudo**

Los parámetros necesarios para la caracterización de los diferentes nudos en la representación gráfica del sistema, dependen principalmente del tipo de nudo, ya que, por ejemplo, las características de los pozos de visita son distintas a las de un punto de vertido. Las características a identificar en cada nodo son: la cota de profundidad, la altura del pozo y las aportaciones; estos parámetros se describen con detalle en los siguientes subcapítulos.

### **5.2.1.- Tipo de nudo**

El software EPA SWMM ofrece diversos tipos de conexiones entre los conductos, por lo tanto, es responsabilidad del usuario seleccionar las conexiones adecuadas para que la simulación sea lo más cercana a la realidad. En el presente trabajo los tipos de nudo o conexiones que se presentan corresponden sólo a dos tipos: el vertido y los pozos de visita.

#### **5.2.1.1. -Vertido**

El punto de vertido de un sistema de alcantarillado es aquel en el que se descarga todo el gasto del sistema y en el cual se realiza un tratamiento, o bien, se descarga a un cuerpo de agua.

Para éste trabajo el punto de convergencia de los tres ramales que se ubican dentro de la cuenca será considerado como el punto de vertido (figura 5.1). Este punto de convergencia se conecta a la red de alcantarillado que recorre la zona de cerro del agua dentro del campus de CU, dicho sistema a su vez es alimentado por otros ramales de conductos que provienen de diferentes áreas de todo el campus.

### **5.2.1.2.- Pozo**

El sistema de alcantarillado que se revisa en éste trabajo cuenta con 58 pozos de visita. Debido a mantenimiento y reestructuración del sistema, se presentan modificaciones en los planos, algunos pozos de visita han sido clausurados o reubicados por la DGOyC.

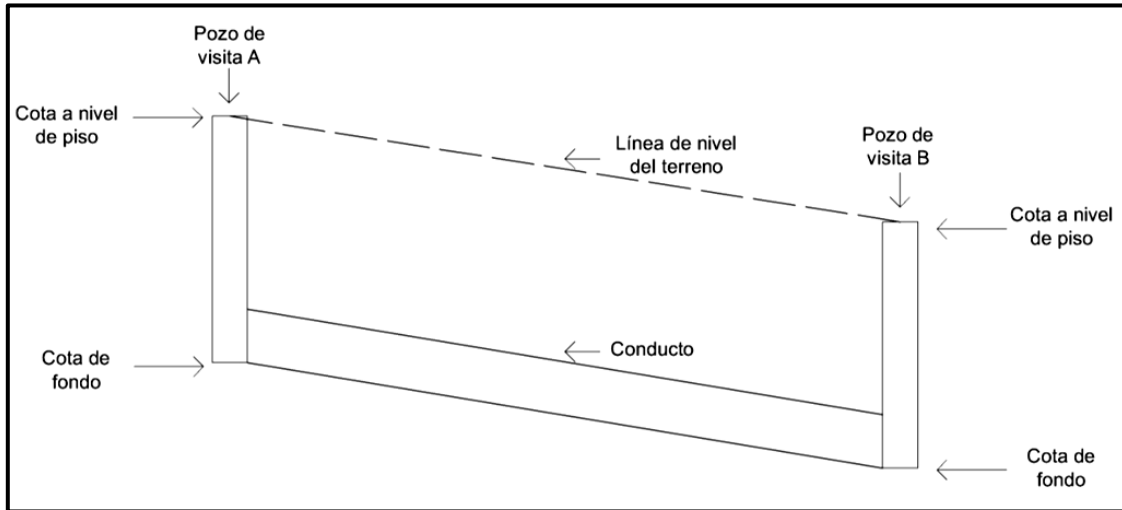
Para este trabajo se consideraron todos los pozos de visita activos actualmente. Los pozos clausurados fueron omitidos, quedando un total de 51 pozos de visita activos.

### **5.2.2.- Cotas de profundidad**

Las cotas necesarias de cada pozo son dos, la cota de fondo del pozo, la cual se refiere al respectivo nivel de cota en el que se encuentra la parte inferior más profunda del pozo de visita; y la cota a nivel de piso que se refiere al respectivo nivel de cota en el que se encuentra la parte superior del brocal. Cada una corresponde a varios parámetros independientes como: el colchón de material sobre el conducto, o la pendiente de plantilla del conducto.

Con base en la documentación consultada, se establece que todos los conductos descargan en la cota de fondo del pozo, es decir, que la plantilla al inicio y final del conducto coincide con el fondo del pozo de visita.

La cota de nivel de piso es la que define la pendiente del terreno y, por lo tanto, la altura del pozo de visita, que a su vez es el valor del colchón de material que existe sobre el conducto, este valor se obtiene al realizar la diferencia entre los valores ambas cotas(figura 5.2).



**Figura 5.2 Cotras de nivel en un pozo de visita**

### **5.3.- Trazado de tramos**

Las trayectorias de los conductos que conforman la red de alcantarillado de la cuenca seleccionada, son dibujadas tal cual se observan en el plano de la DGOyC. La representación gráfica realizada para éste trabajo, cuenta con un total de 51 conductos, de igual forma se cuentan con 51 pozos de visita, los cuales están divididos en tres ramales independientes que cruzan la cuenca, iniciando en la esquina suroeste hasta que convergen cerca de la esquina noreste de la cuenca como se observa en la figura 5.1.

#### **5.3.1.- Asignación de forma del conducto**

La selección de la forma de los conductos de un sistema de alcantarillado queda a cargo del diseñador del sistema. El cambio del tipo de sección de los conductos se puede observar de manera directa en los sistemas de alcantarillado rurales, ya que por la facilidad del trabajo y por aspectos económicos los colectores pueden descargar a un emisor con forma de canal a cielo abierto.



En los sistemas de alcantarillado urbanos, los conductos comúnmente son diseñados con forma circular, esto se debe a la resistencia que ofrecen dichos conductos, ya que una sección circular resiste valores altos de carga axial. La resistencia de los conductos ante cargas axiales es de suma importancia en los sistemas de alcantarillado urbanos, esto se debe a que sobre los conductos se desplantarán cargas axiales debidas al tránsito de vehículos de cualquier tipo, y en algunos casos se puede incluir sistemas de transporte subterráneos .

El sistema de alcantarillado que se revisa en este trabajo es de tipo urbano, por lo que todos los conductos que lo conforman son de sección circular. Cabe destacar que, para una mejor simulación, el tipo de sección seleccionada para los conductos en ésta simulación es la sección circular. Dicha sección impide que el tirante dentro del conducto sea igual al diámetro para evitar presiones internas superiores a la atmosférica, por lo anterior descrito, la presión interna del conducto será igual a la atmosférica.

### 5.3.2.- Asignación de diámetros

El diámetro de cada conducto, se obtuvo del plano de la DGOyC, estos se muestran en la tabla 5.2, En la cual se observa el valor del diámetro de los diferentes conductos, así como el número de conductos que cuentan con el mismo valor de diámetro.

**Tabla 5.2 Número de conductos con diámetros iguales**

<b>Diámetro (cm)</b>	<b>No. De conductos</b>
<b>30</b>	14
<b>38</b>	5
<b>45</b>	4
<b>60</b>	19
<b>76</b>	9

## **5.4.- Asignación de aportaciones**

La descarga de agua servida que recibe un sistema de alcantarillado combinado se debe a dos tipos de fuentes, la sanitaria y la pluvial, siendo en la mayoría de los casos, el gasto pluvial el mayor de éstos. En este trabajo la obtención de los gastos que escurren por cada tramo se explica en los subcapítulos siguientes.

### **5.4.1.- Aportaciones Sanitarias**

Las aportaciones sanitarias en el sistema a estudiar son producto de descargas de diferentes facultades así como de espacios recreativos, tal es el caso de la alberca, gimnasio, estadio de prácticas, y de edificios pertenecientes al Instituto de Ingeniería.

Dado que no fue posible realizar un análisis detallado de las descargas sanitarias en los distintos edificios, esto debido a la negativa de acciones censales por cuestiones de seguridad, se optó por determinar los gastos sanitarios mediante el método de unidades mueble, el cual consiste en asignar un gasto estándar a los diferentes muebles que se encuentran en cada una de las instalaciones sanitarias que aportan el agua servida al sistema de alcantarillado en estudio. Este método es utilizado comúnmente para el diseño de instalaciones hidro-sanitarias en predios comerciales o públicos. A continuación se describe la forma en la que se obtiene el gasto máximo instantáneo mediante el método de unidades mueble.

Una unidad mueble o unidad de descarga es el nombre representativo de una descarga de un lavabo de uso privado, dicha descarga se ha estandarizado y su valor es de 28 litros por minuto. Otro aspecto considerado en este método es, la clase de infraestructura, misma que se dividen en tres diferentes clases:

1ª clase (Uso privado): Departamentos, baños privados de hoteles y similares, destinadas al uso por un individuo o una familia.

2ª clase (Uso semipúblico): Oficinas, fábricas, ministerios, etc., instalaciones utilizadas por el número limitado de personas que ocupan el edificio.

3ª clase (Uso público): Baños públicos en estaciones de ferrocarril, de autobuses, escuelas, cuarteles, etc., en donde no hay limitaciones de personas ni del número de usos.

**Tabla 5.3 Valores de unidad de descarga para diferentes tipos de muebles**

APARATO	UNIDAD DE DESCARGA		
	CLASE		
	1ª	2ª	3ª
Lavabo	1	2	3
W.C.	4	5	6
Tina	3	4	4
Cuarto de baño completo	7	2	2
Ducha	2	3	3
Urinario suspendido	2	2	2
Urinario vertical	2	4	4
Fregadero en viviendas	3	4	4
<b>FREGADERO RESTAURANTE</b>			
Vajilla	3	8	8
Alimentos	3	6	6
<b>LAVADERO</b>			
Ropa	3	3	6
Laboratorio	2	3	6
Vertedero	8	2	6
<b>RECOLECCIÓN DE AGUA DE LLUVIA</b>			
Intensidad máxima: 17 cm/hora, cada 17 m <sup>2</sup>	1	3	3
Intensidad máxima 20 cm/hora, cada 8.5. m <sup>2</sup>	1	3	3

**Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, César Valdez**

El primer paso es contabilizar y agrupar por tipo de mueble el total de muebles sanitarios que descargan aguas servidas al sistema de alcantarillado. Posteriormente se obtiene el valor de unidades mueble asignado, dependiendo el tipo de mueble, dicho valor se consulta en la tabla 5.3, en la cual se observan los valores estándar asignados a los diferentes tipos de mueble.

Una vez asignadas las unidades de descarga, se procede a realizar la suma de cada uno de los distintos muebles, posteriormente se realiza la conversión del número total de unidades mueble a unidades de gasto, quedando un gasto representativo del caso más desfavorable dentro del sistema sanitario. En la tabla 5.4 se muestran los valores del gasto sanitario correspondientes a

"REVISIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE LA ZONA DEPORTIVA DENTRO DE CIUDAD  
UNIVERSITARIA UTILIZANDO EL SOFTWARE EPA SWMM"

cada nudo del sistema, además de una breve descripción de los lugares que descargan aguas servidas, así como el número de los diferentes tipos de muebles de cada edificio.

**Tabla 5.4 Obtención de gastos máximos instantáneos de los nudos con descargas sanitarias**

CÁLCULO DE UNIDADES DE DESCARGA									
Descripción	Nudo	WC	Urinarios	Lavabos	Tarjas	Regaderas	Unidades de descarga	Total	QMI (lps)
Vestidores de hombres en la alberca	A6	6	1	4	1	18	112	235	109.745
Vestidores de mujeres en la alberca		8	0	5	1	18	123		
Vestidores de hombres en gimnasio	B11	3	2	2	0	5	43	97	45.299
Vestidores de mujeres en gimnasio		5	0	3	0	5	54		
Sanitarios de hombres en el edificio 2 del Instituto de Ingeniería	B26	6	6	6	2	0	78	180	84.06
Sanitarios de mujeres en el edificio 2 del Instituto de Ingeniería		12	0	6	2	0	102		
Sanitarios de hombres en Fac. De Contaduría	C1	8	18	15	0	0	129	306	142.902
Sanitarios de mujeres en Fac. De Contaduría		21	0	15	1	0	177		
Sanitarios de hombres en edificio J del anexo de ingeniería	C7	8	8	11	1	0	91	133	62.111
Sanitarios de mujeres en edificio J del Anexo de Ingeniería		5	0	4	0	0	42		
Sanitarios de hombres en edificio I del Anexo de Ingeniería	C8	12	25	8	1	0	114.5	234.5	109.5115
Sanitarios de mujeres en edificio I del Anexo de Ingeniería		15	0	8	1	0	120		
Sanitarios de hombres en edificios P y Q	C10	6	8	6	1	0	64	160	74.72
Sanitarios de mujeres en edificios P y Q		12	0	6	1	0	96		
Sanitarios de hombres en edificios T y U del Posgrado de Ingeniería	C11	4	4	8	0	0	50	122	56.974
Sanitarios de mujeres en edificios T y U del Posgrado de Ingeniería		8	0	8	0	0	72		
<b>SUMA</b>								<b>685.3225</b>	

#### 5.4.2.- Descargas Pluviales

Las descargas debidas a la precipitación sobre la cuenca de estudio, son insertadas al sistema mediante estructuras de captación de escurrimiento pluvial, por ejemplo, bocas de tormenta y bajadas de agua de las azoteas de los edificios

Como se observa en la tabla 5.1 las unidades de las áreas de influencia son hectáreas, esto como requisito del software para insertar los parámetros de las diferentes subcuencas que se dibujan en el plano de la simulación. Cada subcuenca tiene asignado el pluviómetro 1, que a su vez está asignado a una serie de valores de lluvia, para este trabajo son los valores obtenidos de las isoyetas del plano de la SCT, los cuales consisten en una intensidad de 160 mm/hr con una duración de 5 minutos, con estos valores se crea una tabla de registro de lluvia para que el software simule una precipitación acorde con dichos valores.

La precipitación sobre las subcuencas escurre directamente al nudo que es asignado, de ésta manera se obtienen las aportaciones pluviales de cada área de influencia.

Otro aspecto importante referente al tema de aportaciones pluviales se debe a la captación de agua en las azoteas de los diferentes edificios que se encuentran dentro de la cuenca de estudio, estas descargas son directas al sistema de alcantarillado por medio de las bajadas de agua pluvial de cada edificio. La forma de obtener estas aportaciones en el presente trabajo fue:

- Se obtuvieron los valores de área de las azoteas de cada edificio del mismo modo que el de las áreas de influencia.
- Sumar el valor de las áreas de captación que descargan a un mismo nudo
- Con el valor de la intensidad de lluvia que es de 160 mm/hr, así como el tiempo de concentración  $t_c$ , el cual es de 5 min debido a lo pequeño de las áreas de captación y de la pendiente de éstas; lo anterior en conjunto con el valor del área total de captación y el coeficiente de escurrimiento, que en este caso es de 0.75 (tabla 2.2), se obtiene el valor del gasto pico con el método Racional.

La obtención de datos descrita anteriormente se observa en la tabla 5.5, en la cual se muestran los valores del gasto pico ( $Q_p$ ) que deben asignarse como aportaciones externas a los nudos correspondientes.

**Tabla 5.5 Valores de Qp para cada nudo**

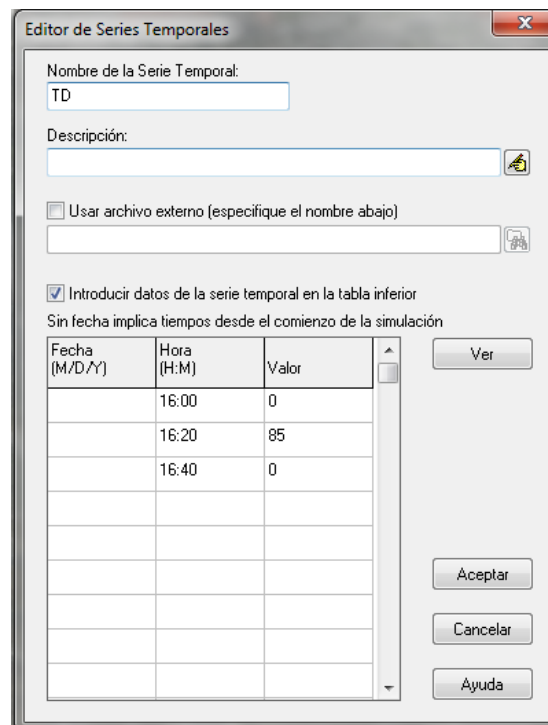
CAPTACIÓN EN AZOTEAS								
Ramal	Nudo	Área de influencia (m <sup>2</sup> )	Área de influencia (km <sup>2</sup> )	Longitud (m)	Desnivel (m)	tc (min)	Qp	
							m <sup>3</sup> /s	lps
A	6	1107.22	0.001107	39.22	0.784	1.574	0.0369	36.937
	10	864.5	0.000865	46.00	0.920	1.780	0.0288	28.840
	13	1661.77	0.001662	48.92	0.978	1.866	0.0554	55.437
B	11	2103.78	0.002104	59.21	1.184	2.162	0.0702	70.182
	24	676.84	0.000677	52.46	1.049	1.969	0.0226	22.579
C	1	3182.81	0.003183	74.01	1.480	2.567	0.1062	106.179
	4	2341.07	0.002341	31.83	0.637	1.340	0.0781	78.098
	7	1323.34	0.001323	72.33	1.447	2.522	0.0441	44.147
	8	2077.51	0.002078	48.53	0.971	1.855	0.0693	69.306
	10	1227.35	0.001227	33.18	0.664	1.384	0.0409	40.944
	11	3728.46	0.003728	67.56	1.351	2.393	0.1244	124.381

### 5.5.- Asignación de datos externos al sistema

En este subcapítulo se llevó a cabo la introducción de los datos correspondientes a los parámetros restantes, los cuales son necesarios para la simulación del sistema de alcantarillado. Dichos parámetros no dependen directamente de los elementos que conforman el sistema, los cuales son: el periodo del análisis, los patrones temporales que afectan las aportaciones de cada nudo, así como las series temporales que intervienen directamente en los intervalos de tiempo durante la precipitación.

### 5.5.1.- Series Temporales

Para este trabajo se generó una serie temporal dentro del software, la cual recibe el nombre de TD (tormenta de diseño). Ésta serie temporal cuenta con los valores de la intensidad de lluvia mismos que están distribuidos por lapsos de 5 minutos. La manera en la que la serie temporal está distribuida se observa en la figura 5.3. El horario en el que se presenta la precipitación fue aleatorio procurando que se encuentre dentro de los intervalos de mayor aporte de aguas residuales, observando el comportamiento del sistema cuando se presenta, la situación más desfavorable.



**Figura 5.3 Ventana de la Serie Temporal TD**

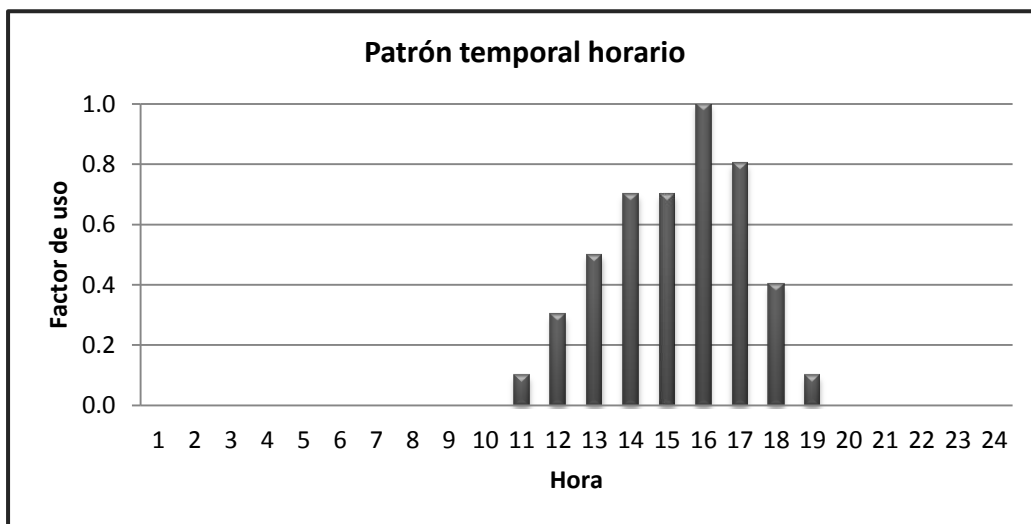
### 5.5.2.- Patrones Temporales

Para este trabajo se determinaron algunos patrones temporales, estos corresponden a diferentes tipos de edificios dependiendo el tipo de servicio que brinden. Estos edificios son las instalaciones de la alberca, instalaciones de gimnasio, bibliotecas y edificios con salones, oficinas y laboratorios. La determinación de los valores introducidos en los diferentes patrones, se realizó con base en los horarios de servicio de las instalaciones.

Tomando como ejemplo el horario de servicio de las instalaciones de la alberca del campus C.U. se presenta en la tabla 5.6, con dichos horarios se generaron dos patrones temporales uno horario y diario, estos patrones se observan en las figuras 5.4 y 5.5.

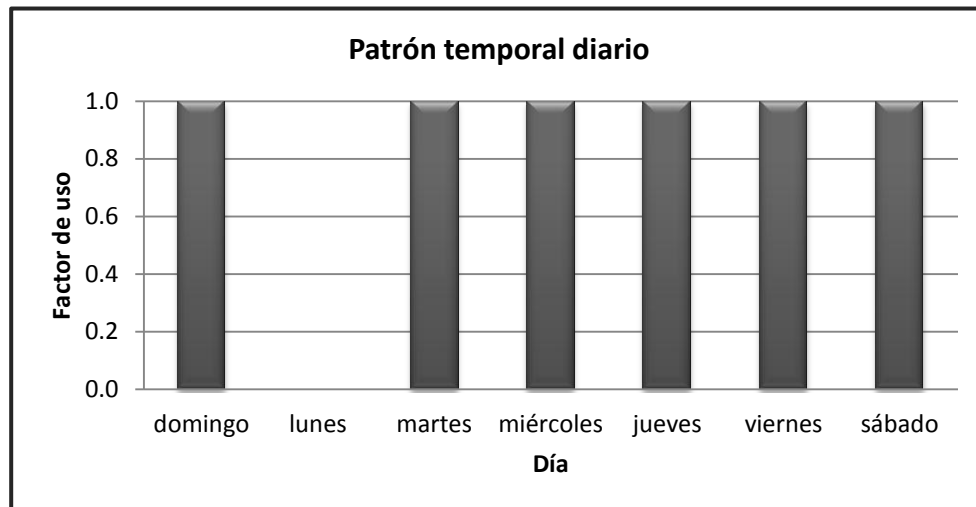
**Tabla 5.6 Horarios de servicio de la Alberca de C.U.**

Horario	Días de servicio
9:00am - 5:30pm	Martes, miércoles, jueves y viernes
9:00am - 2:00pm	Sábado y domingo



**Figura 5.4 patrón temporal horario de la alberca de C.U.**





**Figura 5.5 Patrón temporal diario de la alberca C.U.**

Los patrones temporales que se muestran en las figuras 5.4 y 5.5 se obtuvieron en base al horario de servicio de las instalaciones de la alberca de CU. Esto en conjunto con la consulta realizada al personal a cargo de las instalaciones, respecto del tema de los horarios de mayor concurrencia.

## 5.6.- Visualización de la simulación

Una vez que se han introducido todos los parámetros necesarios para realizar la simulación, se procede a su realización, así como la generación del informe. Estos procesos se pueden observar en tiempo real dentro del plano del software. En la parte inferior de la pestaña de plano se encuentran los controles para observar la animación de la simulación con intervalos de tiempo previamente seleccionados.

El análisis de la simulación es de suma importancia, ya que, se observa en forma detallada el comportamiento de cada uno de los elementos que componen el sistema de alcantarillado. Dicho análisis se realiza con la finalidad de detectar los elementos que presenten complicaciones que afecten al sistema, pudiendo ser: inundación en los nudos, velocidad fuera del rango permisible.

# **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## 6.- Análisis de resultados

Durante la simulación de la cuenca en estudio se detectó que algunos nudos presentan valores de inundación, hecho que implica una afectación directa al sistema, ya que el exceso de agua que no puede ser desalojada, en principio llenará el pozo de visita y posteriormente, en función de la presión, botará la tapa provocando daños en los edificios contiguos así como del pavimento, además, dado que se trata de agua residual puede provocar el brote de focos infecciosos, además de una desagradable apariencia del lugar.

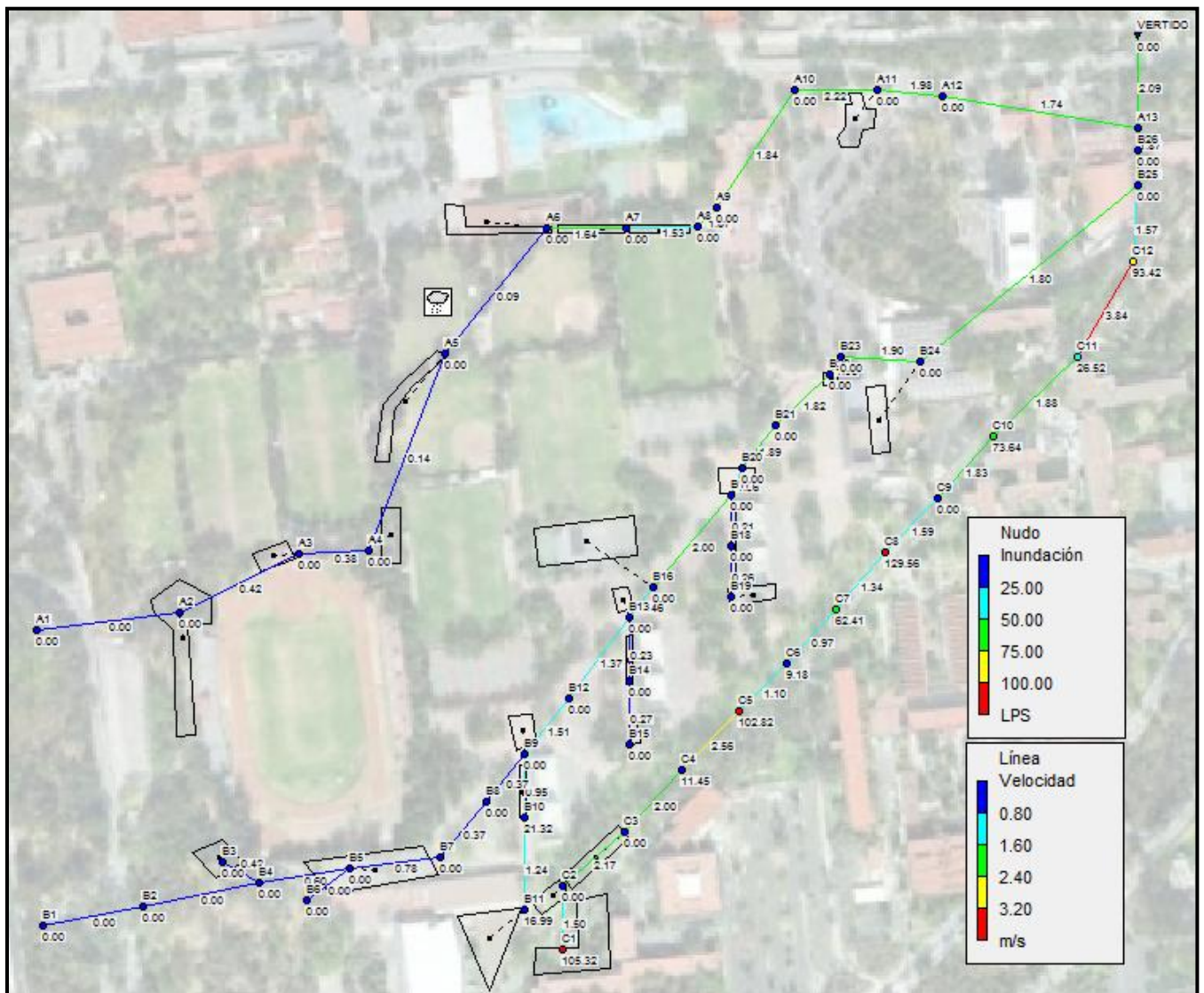


Figura 6.1 Visualización de la simulación del sistema en el instante más desfavorable

## 6.1.- Identificación de inundación en nudos

Como se observa en la figura 6.1 algunos nudos presentan valores de inundación, dichos nudos se presentan junto con el valor de inundación correspondiente en la tabla 6.1

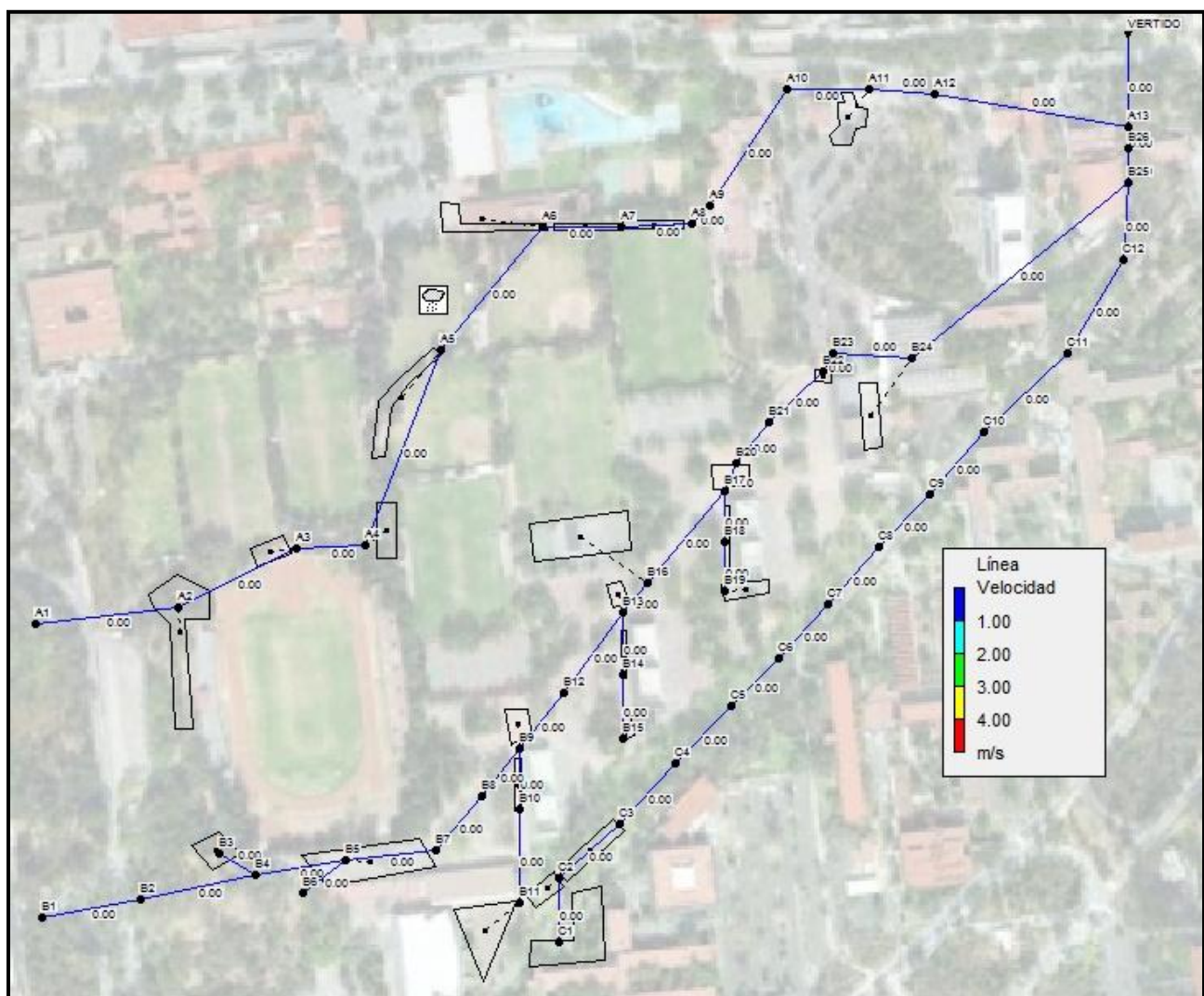
**Tabla 6.1 Valores de inundación en cada pozo**

Nudo	Inundación (lps)
B10	21.32
B11	16.99
C1	105.32
C4	11.45
C5	102.82
C6	9.18
C7	62.41
C8	129.56
C10	73.64
C12	93.42

Un aspecto importante que debe ser considerado, es que la inundación detectada en los nudos de la tabla 6.1 se presentó cuando el valor del escurrimiento de las subcuencas era el máximo, es decir, que los valores de inundación son los que se presentan en el instante más desfavorable del sistema. Conforme avanza el tiempo de la simulación los valores de inundación disminuyen hasta llegar a cero.

## 6.2.- Verificación de velocidades permisibles

Mientras se realizó la simulación de la cuenca, se observó que todos los conductos presentan valores de velocidad dentro de los límites permisibles. Cabe destacar que durante los horarios en los que las instalaciones que descargan al sistema no son utilizadas, la velocidad dentro de los conductos es inferior al límite permisible, esto debido a que no se presentan descargas sanitarias al sistema.



*Figura 6.2 Valores de velocidad en los conductos en horarios sin aportaciones*

En cuanto a los valores máximos de velocidad, se observa en la figura 6.3 que mientras se presenta la situación más desfavorable del sistema los valores de velocidad no exceden el límite permisible de 5 m/s (tabla 1.3).

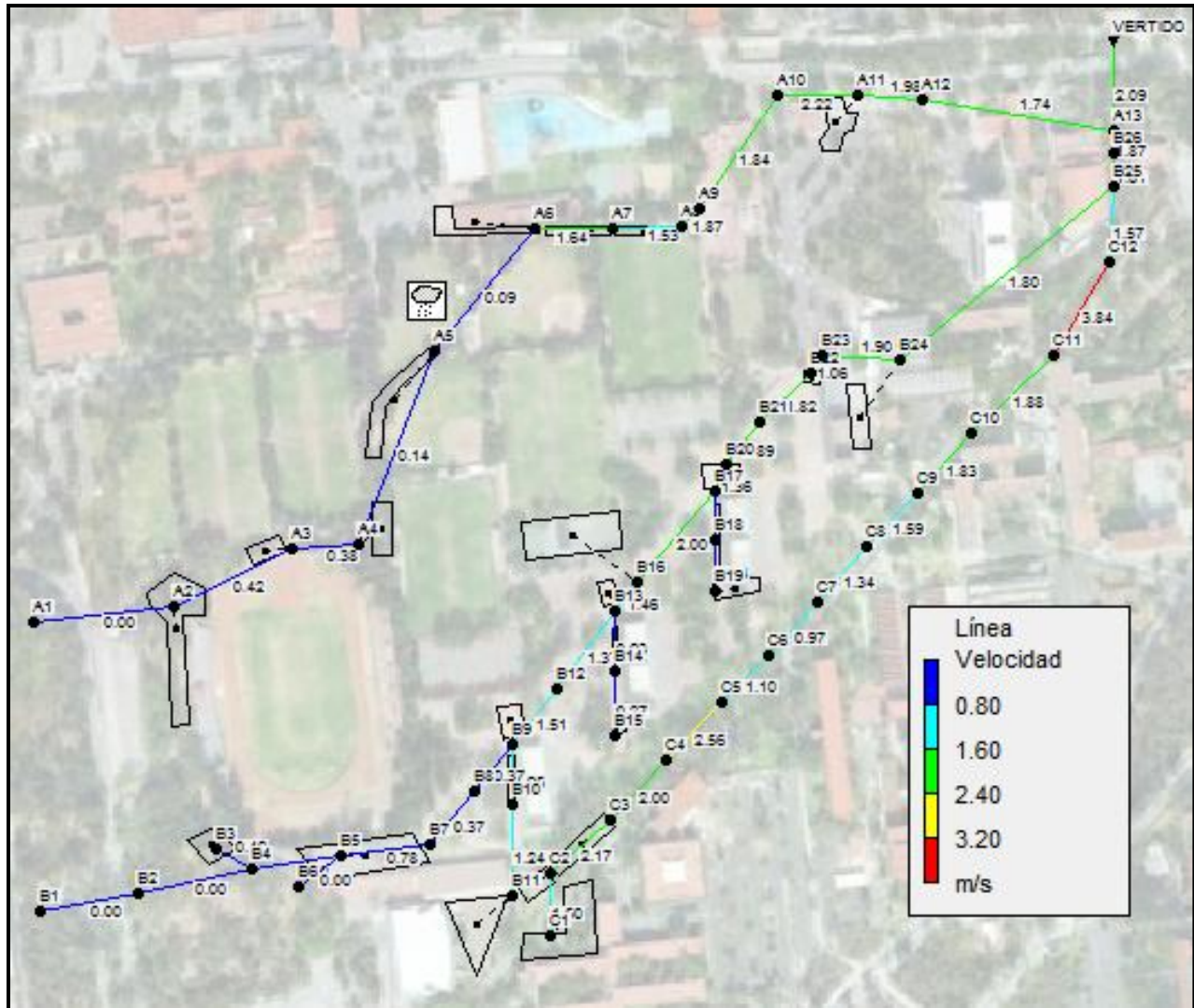
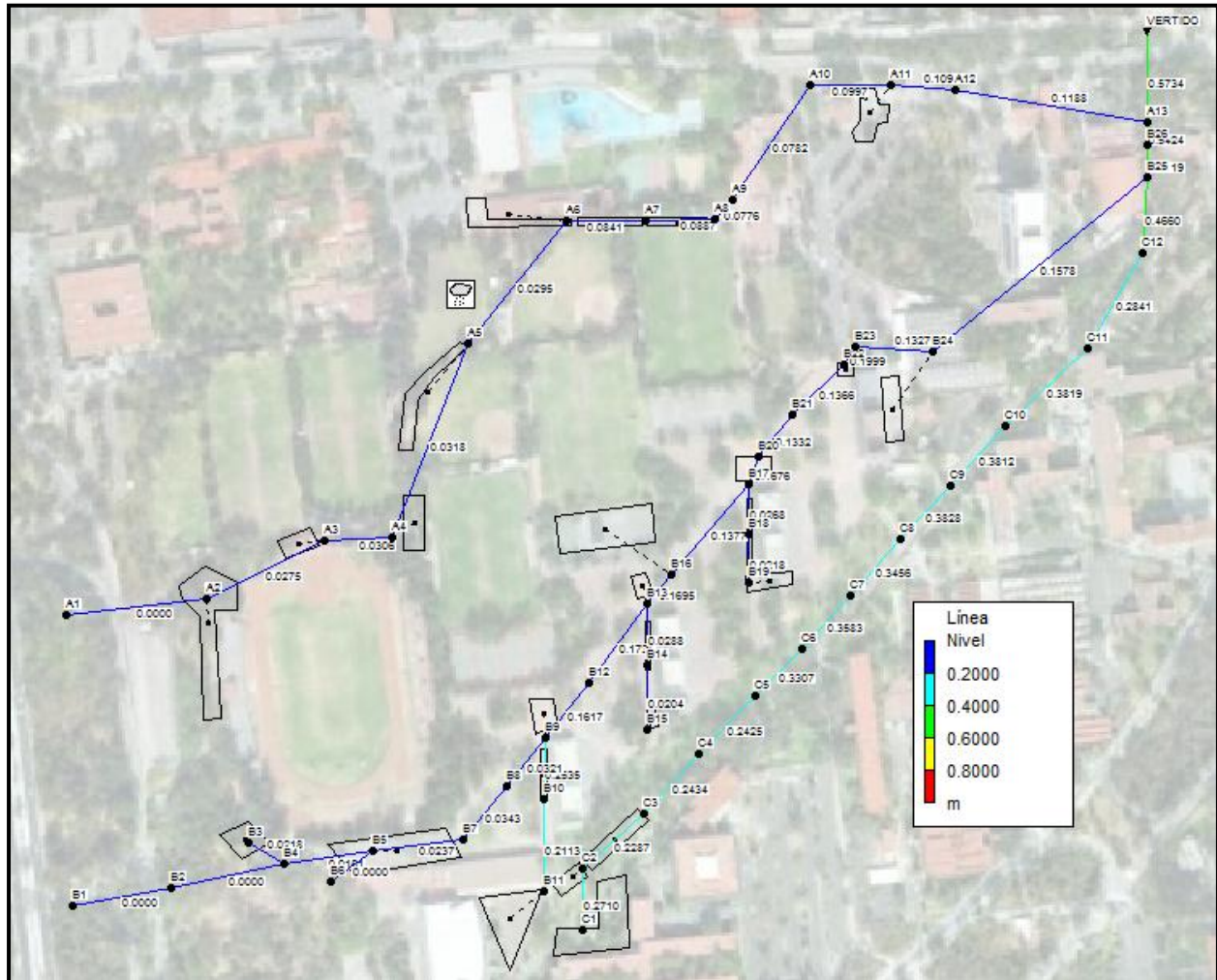


Figura 6.3 Velocidad dentro de los conductos en el instante más desfavorable

“REVISIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE LA ZONA DEPORTIVA DENTRO DE CIUDAD UNIVERSITARIA UTILIZANDO EL SOFTWARE EPA SWMM”



**Figura 6.4 Tirante dentro de los conductos en el instante más desfavorable**

# RECOMENDACIONES



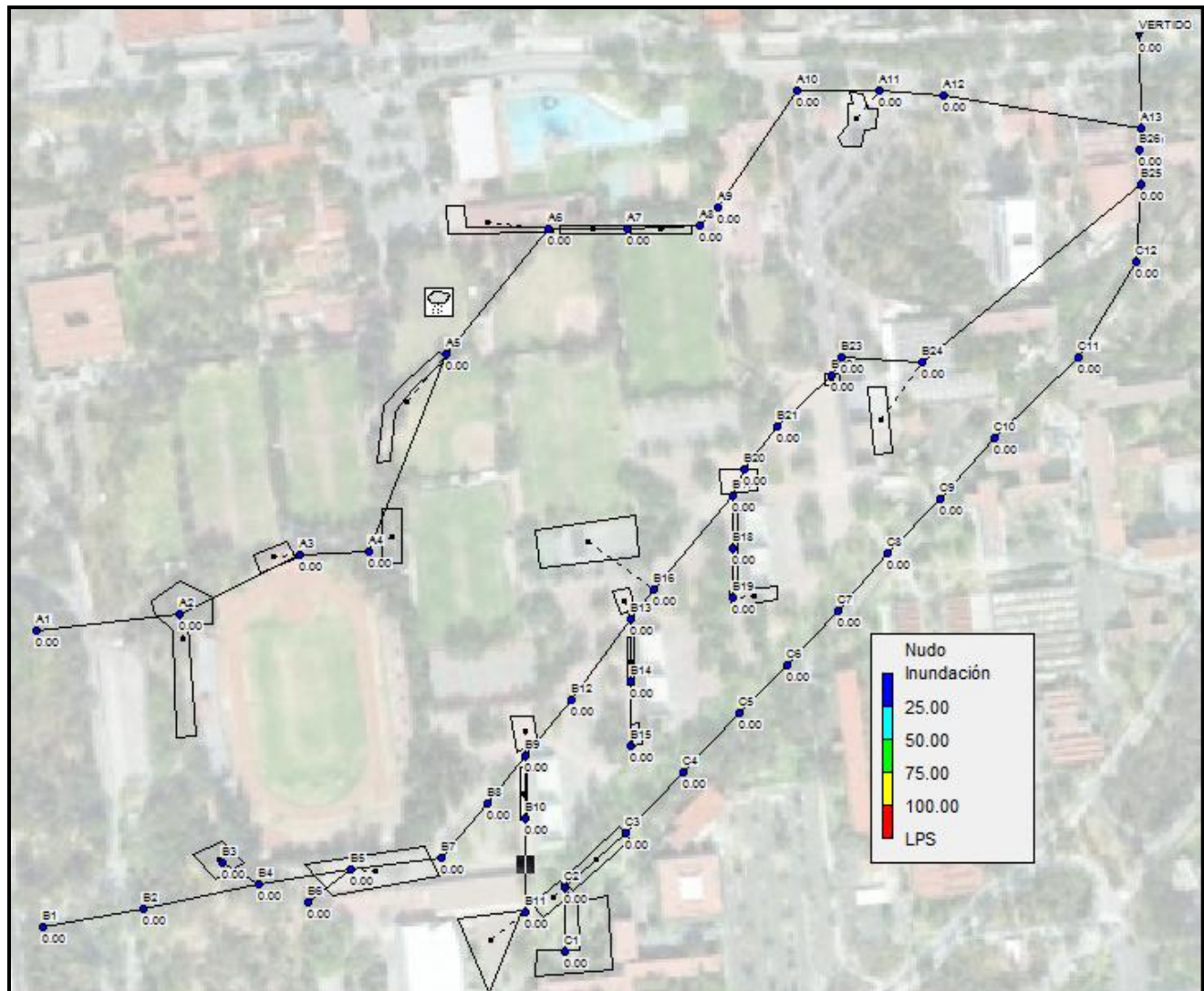
## 7.- Recomendaciones

En este capítulo se ofrecerán algunas recomendaciones para la solución de los problemas que fueron detectados en el capítulo anterior. El problema de la inundación en los 10 nudos detectados se puede resolver con la variación del diámetro de los mismos ya que estos conductos cuentan con un diámetro igual a 0.30 m, y la propuesta consiste en aumentar el diámetro a 0.45 m, de ésta manera será desalojado un mayor volumen de agua. Los conductos que deben ser sustituidos por otros de mayor diámetro se observan en la tabla 7.1.

**Tabla 7.1 Valores propuestos para cambio de diámetro**

Tramo	Diámetro (m)	Diámetro propuesto (m)
B9-B10	0.30	0.38
B10-B11	0.30	0.38
C1-C2	0.30	0.45
C2-C3	0.30	0.45
C3-C4	0.30	0.45
C4-C5	0.30	0.45
C5-C6	0.30	0.60
C6-C7	0.30	0.60
C7-C8	0.30	0.60
C8-C9	0.30	0.60
C9-C10	0.30	0.60
C10-C11	0.30	0.60
C11-C12	0.30	0.60
C12-B25	0.38	0.76
B25-A13	0.76	0.90
A13-Vertido	0.76	0.90

Los diámetros propuestos en la tabla 7.1 se eligieron con base en el criterio de elegir el siguiente conducto comercial con diámetro mayor, una vez elegido el nuevo diámetro, se realizaron pruebas para observar que no exista inundación en los pozos correspondientes. La variación del diámetro de los conductos en cuestión, ya incluye la revisión del colchón mínimo requerido para este nuevo diámetro propuesto. Después del cambio del diámetro en los conductos de la tabla 7.1, se han resuelto los problemas de inundación, como se observa en la figura 7.1



**Figura 7.1 Valores de inundación en el instante más desfavorable, con los diámetros propuesto**

Es importante mencionar que después de realizar los cambios de diámetros a los conductos indicados, y de observar el comportamiento del sistema, se observa que en el conducto C11-C12 en el instante más desfavorable del sistema, se presenta una velocidad igual a 5.96 m/s, dicho valor es mayor al límite permisible, el cual es de 5 m/s (tabla 1.3).

Considerando que la ocurrencia de la situación más desfavorable del sistema es casi nula, se considera que el sistema funcionará de manera adecuada a lo largo de su vida útil.

# CONCLUSIONES

## 8.- Conclusiones

El software EPA SWMM representa una herramienta útil y fácil de utilizar para el diseño o revisión de cualquier sistema de alcantarillado, lo cual hace pensar que cualquier problema referente al tema de alcantarillado se puede resolver sin dificultad alguna. Sin embargo, cabe destacar que para utilizar adecuadamente ésta herramienta y cualquier otra, hay que conocerla y aprender a utilizarla, para obtener los resultados esperados.

El principal beneficio que ofrece este programa, es la visualización del comportamiento de cualquier elemento, que conforma el sistema en estudio, durante cualquier intervalo de tiempo y en un instante dado.

En este trabajo se realizó la revisión de cada conducto mediante un método alternativo, dicho método se basa en un diagrama de flujo, el cual describe una serie de pasos a seguir para obtener la optimización mediante un proceso de prueba y error. Este método alternativo, comparado con el uso habitual de tablas de cálculo, disminuye considerablemente el tiempo de diseño y revisión de cualquier sistema.

La infraestructura instalada que compone el sistema de alcantarillado en este estudio presenta problemas de inundación en los pozos de visita detectados, estos problemas se presentan únicamente en la situación más desfavorable. La inundación de los pozos se debe principalmente a las descargas sanitarias, ya que durante la situación más desfavorable, el gasto debido a las descargas sanitarias es mayor que el gasto debido al escurrimiento por la precipitación.

Respecto a los valores de velocidad y tirante dentro de los conductos del sistema, cabe destacar que únicamente se presentan valores fuera de los límites mínimos permisibles de 0.3 m/s y 1.5 cm, respectivamente, durante los intervalos de tiempo, en los que no existen descargas al sistema.

Con este trabajo se ejemplifican los principales aspectos a considerar en el proceso de revisión de cualquier sistema de alcantarillado, tomando en cuenta que en la actualidad se han desarrollado herramientas computacionales que complementan y simplifican el trabajo que habitualmente era desarrollado de manera extensa y laboriosa.

Para continuar con ésta línea de investigación es necesario el desarrollo y aplicación de este y otros programas, además de la necesidad de realizar la actualización de los datos de infraestructura de los sistemas de alcantarillado existentes. Lo anterior con el fin de complementar y simplificar los proceso de revisión y diseño de los sistemas de alcantarillado.

# BIBLIOGRAFÍA

## Bibliografía

- Lara González, Jorge L., *Alcantarillado*, (2ª Edición), UNAM, México DF, (1991).
- Guzmán Mardueño, Anastasio, *Hidráulica del Alcantarillado*, México DF.
- Comisión Nacional del Agua, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, México DF, (2003).
- Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos (GMMF), *Traducción del Manual de Usuario de SWMM*, (2005).
- César Valdez, Enrique, *Instalaciones Sanitarias para Edificios*, (1ª Edición), UNAM, México DF (1997).
- López Cualla, Ricardo A., *Diseño de acueductos y alcantarillado*, Alfaomega, (1999).
- Aparicio M., Ricardo A., *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, Limusa Noriega Editores, México DF, (1989).
- Sotelo Ávila, Gilberto, *Hidráulica de Canales*, Facultad de Ingeniería UNAM, México DF, (2002).
- Springall Galindo, Rolando, *Hidrología*, Instituto de Ingeniería UNAM, México DF, (1970).
- *Normas Técnicas Complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas*, (2004).