

3. NORMATIVIDAD PARA EL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL

Una red de drenaje pluvial es un sistema de tuberías, coladeras e instalaciones complementarias que permite el rápido desalojo de las aguas de lluvia para evitar posibles molestias, e incluso daños materiales y humanos debido a su acumulación o al escurrimiento superficial generado por la lluvia. Su importancia se manifiesta especialmente en zonas con altas precipitaciones y superficies poco permeables.

Es importante destacar que la metodología empleada para el diseño de los nuevos sistemas de alcantarillado está cambiando, puesto que en cierto momento se recomendaron los sistemas de alcantarillado combinado, es decir, aquellos que desalojan aguas residuales y pluviales; sin embargo, la tendencia actual es construir sistemas de alcantarillado separados. Lo anterior obedece a la urgente necesidad de cuidar el ambiente, pues aunque un sistema de alcantarillado combinado es más económico de construir, operar y mantener; actualmente resulta de mayor importancia dar tratamiento a las aguas residuales e industriales a fin de evitar la contaminación de ríos, lagos y mares.

El uso de sistemas de alcantarillado separados tiene ventajas tales como el tratamiento de menores volúmenes de aguas residuales, así como el posible re-uso o aprovechamiento de las aguas pluviales. De esta forma, se invierte en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales de menor tamaño, pues los volúmenes de las aguas pluviales son muy superiores a los correspondientes de las aguas residuales domésticas e industriales.

Cabe destacar que un diseño eficiente y económico de una red de alcantarillado pluvial solo se logra mediante un análisis comparativo de una serie de opciones, por lo que el proyectista debe apoyarse en su juicio y experiencia, así como en las condiciones locales y de operación para determinar la opción más adecuada.

3.1. DATOS PARA EL PROYECTO

Para llevar a cabo los proyectos de Drenaje Pluvial de los fraccionamientos y condominios, se deben de conocer los siguientes datos:

Tabla 3.a Datos a considerar en el diseño de proyectos de drenaje pluvial		
No.	Datos	Características
1	Tipo de desarrollo	Habitacional Comercial Industrial Mixto
2	Tabla de áreas de usos del suelo (m ²)	Terreno Vendible (habitacional, comercial etc.) Vialidad Donaciones Verde Otros
3	Número de lotes	Cantidad (habitacional, comercial etc.)
4	Densidad de población autorizada	<i>hab/ha</i> ó <i>hab/lote</i>
5	Población de proyecto	Habitantes (total para el desarrollo)
6	Intensidad de la lluvia	<i>mm / h</i>
7	Coefficiente (s) de escurrimiento	Ver tabla 3.b
8	Área de la cuenca	<i>ha</i>
9	Gasto de proyecto	<i>l/s</i>
10	Tipo de drenaje pluvial	Superficial, tubería ó canal

Tabla 3.a Datos a considerar en el diseño de proyectos de drenaje pluvial		
No.	Datos	Características
11	Tipo de tubería a emplear	Material, características
12	Coeficiente de rugosidad de la tubería	En función del material de la tubería.
13	Tipo de canal	Material, características
14	Coeficiente de rugosidad del canal	En función del material del canal.
15	Cuerpo o estructura receptora definida por la C.E.A.	Ubicación, características, diámetro, sección del canal, cota de la rasante, cota de arrastre hidráulico.
16	Cruce de escurrimientos adicionales a la cuenca del fraccionamiento	Describir con características.

3.2. CONCEPTOS GENERALES DE HIDROLOGÍA

3.2.1. Precipitación

Se llama precipitación a aquellos procesos mediante los cuales el agua cae de la atmósfera a la superficie de la tierra en forma de lluvia (precipitación pluvial), nieve o granizo. En nuestro país la lluvia es la que genera los escurrimientos pluviales.

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

La medición de la precipitación se lleva a cabo principalmente con aparatos climatológicos conocidos como pluviómetros y pluviógrafos. Ambos se basan en la medición de una lámina de lluvia (*mm*) la cual se interpreta como la altura del nivel del agua que se acumularía sobre el terreno sin infiltrarse o evaporarse sobre un área unitaria. La diferencia entre los dispositivos de medición consiste en que el primero mide la precipitación acumulada entre un cierto intervalo de tiempo de lectura (usualmente 24 hrs.) y el segundo registra en una gráfica (pluviograma) la altura de la lluvia acumulada de acuerdo al tiempo, lo que es más útil para el diseño de obras de drenaje.

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

3.2.2. Intensidad de lluvia y duración

La intensidad de lluvia y la duración son dos conceptos asociados entre sí.

- **Intensidad.** Se define como la altura de lluvia acumulada por unidad de tiempo usualmente se especifica en *mm/h*.
- **Duración.** Es el intervalo de tiempo que dura la lluvia, definiéndose en *minutos*.

La lluvia o precipitación que cae al suelo se distribuye de diferentes formas:

- Almacenamiento superficial.
- Almacenamiento por infiltración en el suelo (retención y detención).
- El almacenamiento por retención se sostiene por un periodo largo y se agota por evaporación.
- El almacenamiento por detención es por un periodo corto que se agota por el flujo hacia fuera del almacenamiento.
- El flujo fuera del almacenamiento de detención puede ser:
 - Flujo a través del suelo no saturado, cerca de la superficie terrestre.

3.- NORMATIVIDAD PARA EL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL

- Flujo de aguas subterráneas a través de los acuíferos saturados más profundos.
- Escurrimiento superficial a través de la superficie terrestre.

El escurrimiento superficial se puede describir de la siguiente manera:

Despreciando la intercepción por vegetación, el escurrimiento superficial es aquella parte de la lluvia que no es absorbida por el suelo mediante infiltración. Si el suelo tiene una capacidad de infiltración f que se expresa en centímetros absorbidos por hora, entonces cuando la intensidad de la lluvia $i < f$ la lluvia es absorbida completamente y por lo tanto no existe escurrimiento superficial. Se puede decir como una primera aproximación que si $i > f$, el escurrimiento superficial ocurrirá con un valor de $(i - f)$.

A la diferencia $(i - f)$ se le denomina “exceso de lluvia” y es la que forma el escurrimiento superficial.

Se denomina “lluvia efectiva” la que incluye el escurrimiento sub-superficial más el escurrimiento superficial.

El flujo sub-superficial puede ser la porción de mayor escurrimiento total para lluvias moderadas o ligeras en zonas áridas, porque el flujo superficial en estas condiciones se reduce por la evaporación e infiltración sumamente elevadas.

La precipitación pluvial cae en un área denominada **Cuenca Hidrológica**, que es el área de terreno donde la precipitación toma las diferentes formas explicadas en los párrafos anteriores y de donde se drena el escurrimiento superficial hacia un canal natural o artificial.

La cuenca hidrológica está formada principalmente por las condiciones topográficas y geológicas del terreno.

Los fraccionamientos se consideran en forma general como parte de una **Microcuenca**, la cual a su vez formará parte de alguna **Cuenca Hidrológica** definida.

Los proyectos de drenaje pluvial que se presenten para aprobación deberán considerar los siguientes aspectos:

- Invariablemente no se permitirá que las vialidades de los nuevos desarrollos confluyan directamente a una zona de viviendas (casas).
- En lo posible deberán evitarse las descargas directas a las vialidades.
- Presentar un análisis (en función del tamaño) de la red pluvial existente en la zona de influencia y agregar una propuesta de disposición final de las descargas, ya sea con descarga directa a un dren abierto o cerrado, que incluya la capacidad de éste para absorber el caudal adicional o una mejora en obra pluvial en el entorno del desarrollo.
- En desarrollos que por su posición topográfica reciban aportaciones de aguas arriba, deberán considerar el gasto acumulado en las obras pluviales internas y externas que propongan para su fraccionamiento o condominio.

3.2.3. Características que afectan el escurrimiento.

Los dos principales grupos que afectan el escurrimiento son las características climatológicas y las características de la cuenca hidrológica:

Características climatológicas.

- Precipitación y su forma (lluvia, granizo, rocío, nieve, helada), intensidad, duración, distribución por tiempo, distribución estacional, distribución por área, intervalo de recurrencia, precipitación antecedente, humedad del suelo, dirección de movimiento de la tormenta.
- Temperatura.

- Viento: velocidad, dirección, duración.
- Humedad.
- Presión atmosférica.
- Radiación Solar.

Características de la cuenca hidrológica

- Topográficas: tamaño, forma, pendiente, elevación, red de drenaje, ubicación general, uso y cubiertas de la tierra, lagos y otros cuerpos de agua, drenaje artificial, orientación, canales (tamaño, sección transversal, pendiente, rugosidad, longitud).
- Geológicas: tipo de suelo, permeabilidad, formación de aguas freáticas, estratificación.

Por lo anterior, se puede determinar que el cálculo de las diferentes formas que toma la precipitación pluvial al entrar en contacto con el suelo es por demás complicado y existen varios procedimientos para su valorización.

Para el caso del cálculo del escurrimiento superficial que es el que nos interesa conocer, para poder determinar los gastos que debemos de controlar en los fraccionamientos a través del drenaje pluvial será por el procedimiento llamado **Método Racional**, que se puede aplicar a cuencas pequeñas.

3.3. MÉTODO RACIONAL

Para la determinación del escurrimiento superficial en estructuras hidráulicas menores como las utilizadas en fraccionamientos, que son estructuras en las que no hay almacenamiento ni retención de agua pluvial, se empleará el Método Racional que está definido por la siguiente fórmula:

$$Q = C x i_d x A x 0.27777$$

donde:

- Q Gasto del escurrimiento superficial en m^3/s .
- C Coeficiente de escurrimiento ponderado para el área tributaria por analizar, es igual al porcentaje de la lluvia que aparece como escurrimiento directo (ver tabla 3.b).
- i_d Intensidad media de la lluvia en mm/h , para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.
- A Área tributaria del drenaje por analizar en km^2 .
- 0.2777 Factor de conversión de unidades.

El Método Racional tiene aplicaciones razonables para las zonas urbanizadas que tienen instalaciones para drenaje de dimensiones y características hidráulicas fijas.

Este método combina todos los factores complejos que afectan el escurrimiento en un sólo coeficiente, éstas consideraciones son validas para los fraccionamientos por no justificarse la aplicación de procedimientos más complejos para el cálculo de los drenajes pluviales.

La fórmula del Método Racional incluye los siguientes supuestos:

- El valor máximo de escurrimiento para una intensidad particular de lluvia ocurre si la duración de la lluvia es igual o mayor que el tiempo de concentración.
- El tiempo de concentración se define como el tiempo requerido para que corra el agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de descarga del caudal.
- El valor máximo de escurrimiento para una intensidad específica de lluvia, la cual tiene una duración igual o mayor que el tiempo de concentración, es directamente proporcional a la intensidad de la lluvia.
- La intensidad de la lluvia disminuye conforme aumenta la duración.
- El coeficiente de escurrimiento "C" permanece constante para todas las tormentas en una cuenca hidrológica.

Tabla 3.b Coeficiente de escurrimiento "C"	
Tipo de área	Coeficiente "C"
Residencial	
Áreas unifamiliares	0.30 – 0.50
Unidades múltiples separadas	0.40 – 0.60
Unidades múltiples conectadas	0.60 – 0.75
Áreas departamentales	0.50 – 0.70
Techos	0.75 – 0.95
Casa habitación	0.50 – 0.70
Comercial	
Centro de la ciudad	0.70 – 0.95
Fuera del centro de la ciudad	0.50 – 0.70
Techos	0.75 – 0.95
Industrial	
Ligera	0.50 – 0.80
Pesada	0.60 – 0.90
Techos	0.75 – 0.95
Calles	
Asfalto	0.70 – 0.95
Concreto	0.80 – 0.95
Adoquín	0.70 – 0.85
Aceras y andadores	0.75 – 0.85
Terracerías	0.25 – 0.60
Parques, jardines, prados	
Suelo arenoso plano < o = a 2%	0.05 - 0.10
Suelo arenoso pendiente de 2 a 7%	0.10 – 0.15
Suelo arenoso pendiente de 7% o mayor	0.15 – 0.20
Suelo arcilloso plano < o = a 2%	0.13 – 0.17
Suelo arcilloso pendiente 2 a 7%	0.18 – 0.22
Suelo arcilloso pendiente de 7% o mayor	0.25 – 0.35
Áreas no urbanizadas	0.10 – 0.30
Áreas de monte o bosque según su pendiente y características del suelo	0.01 – 0.20

Al seleccionar el coeficiente de escurrimiento debe tomarse en cuenta también que depende de las características y condiciones del suelo, como la humedad antecedente, el grado de compactación, la porosidad, la vegetación, la pendiente y el almacenamiento por alguna depresión, así como la intensidad de la lluvia.

3.3.1. Tiempo de concentración.

La duración del diseño es igual al tiempo de concentración para el área de drenaje en consideración.

Se supone que el máximo escurrimiento se presenta en el tiempo de concentración t_c cuando toda la cuenca está contribuyendo al flujo en su salida. El tiempo de concentración t_c es el tiempo requerido por una gota de agua para fluir desde el punto más remoto de la cuenca hasta el punto de estudio, se calcula mediante:

$$t_c = t_{cs} + t_t$$

donde:

- t_c Tiempo de concentración.
- t_{cs} Tiempo de concentración sobre la superficie.
- t_t Tiempo de traslado a través de los colectores.

3.3.2. Tiempo de concentración sobre la superficie

Para estimar el tiempo de concentración sobre la superficie, se pueden utilizar las siguientes formulas:

$$t_{cs} = \left[\frac{0.87 \times L^3}{D} \right]^{0.385} \quad (\text{Rowe})$$

donde:

- t_{cs} Tiempo de concentración en *horas*.
- L Longitud del cauce en *kilómetros*.
- D Desnivel total del cauce en *metros*.

$$t_{cs} = 0.0003245 \left[\frac{L}{S^{1/2}} \right]^{0.77} \quad (\text{Kirpich})$$

donde:

- t_{cs} Tiempo de concentración en *horas*.
- L Longitud del cauce en *metros*.
- S Pendiente media del colector principal (h/L).

$$t_{cs} = \frac{L^{1.15}}{3085D^{0.38}}$$

donde:

- t_{cs} Tiempo de concentración en *horas*.
- L Longitud del cauce en *metros*.
- D Desnivel total del cauce en *metros*.

Se recomienda calcular los valores de las formulas anteriores y obtener un promedio para el t_{cs} .

3.3.3. Tiempo de traslado en los colectores.

Para determinar el tiempo de traslado en los colectores (tubería, canales, vialidad, etc.), se emplean las siguientes formulas:

$$V = \frac{(r_h^{2/3} \times S^{1/2})}{\eta}$$

donde:

- V Velocidad media del flujo en *m/s*.
- r_h Radio hidráulico de la tubería, canal $r_h = A/P_m$.
- A Área transversal del flujo en m^2 .
- P_m Perímetro mojado en *m*.
- S Pendiente hidráulica del tramo h/L (m/m).
- η Coeficiente de rugosidad (ver Tabla 3.d).

3.- NORMATIVIDAD PARA EL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL

El tiempo de traslado resulta

$$t_t = \frac{L}{V}$$

donde:

- t_t Tiempo de traslado en *segundos*.
 L Longitud del tramo en el cual escurre el agua en *m*.
 V Velocidad media de traslado en *m/s*.

Para el método Racional se considera que la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración:

$$d = t_c$$

donde:

- d Duración de la lluvia en *minutos*.
 t_c Tiempo de concentración en toda la cuenca en *minutos*.

3.4. PERIODO DE RETORNO Y RIESGO.

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

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

donde:

- T Periodo de retorno en *años*.
 $P(x)$ Es la probabilidad de ocurrencia de un evento mayor o igual a x .

El periodo de retorno no es un intervalo fijo de ocurrencia de un evento, sino el promedio de los intervalos de recurrencia.

De la formula anterior podemos definir las siguientes expresiones básicas de probabilidad:

1. La probabilidad de que un evento $X \geq$ ocurra en algún año es:

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

2. La probabilidad de que un evento X no ocurra en algún año es:

$$Q(x) = 1 - P(x) = 1 - \frac{1}{T}$$

3. La probabilidad de que X no ocurra durante n años consecutivos es:

$$Q_1(x) \times Q_2(x) \times \dots \times Q_n(x) = [Q(x)]^n = \left[1 - \frac{1}{T}\right]^n$$

4. La probabilidad R , llamada riesgo, de que X ocurra al menos una vez durante n años sucesivos o vida útil es:

$$R = 1 - [Q(x)]^n = 1 - \left[1 - \frac{1}{T}\right]^n$$

En la tabla descrita a continuación se describe los periodos de retorno asociados con diferentes niveles de riesgo.

Tabla 3.c Periodos de retorno asociados con diferentes niveles de riesgo y vida útil esperada de la obra

Riesgo (%)	Vida útil de diseño de la obra							
	2	5	10	15	20	25	50	100
100	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
90	1.46	2.71	4.86	7.03	9.20	11.37	22.22	43.93
80	1.81	3.63	6.73	9.83	12.93	16.04	31.57	62.93
70	2.00	4.13	7.73	11.33	14.93	18.54	36.57	72.64
60	2.21	4.67	8.82	12.97	17.12	21.27	42.03	83.56
50	3.41	7.73	14.93	22.14	29.36	36.57	72.64	144.77
40	4.44	10.30	20.08	29.87	39.65	49.44	98.38	196.26
30	6.12	14.52	28.54	42.56	56.57	70.59	140.68	280.87
25	7.46	17.89	35.26	52.64	70.02	87.40	174.30	348.11
20	9.47	22.91	45.32	67.72	90.13	112.54	224.57	448.64
15	12.81	31.27	62.03	92.80	123.56	154.33	308.16	615.81
10	19.49	47.96	95.41	142.87	190.32	237.78	475.06	949.62
5	39.49	97.98	195.46	292.94	390.41	487.89	975.29	1950.07
2	99.50	247.99	495.48	742.97	990.47	1237.96	2475.42	4950.33
1	199.50	498.00	995.49	1492.99	1990.48	2487.98	4975.46	9950.42

En hidrología se manejan los periodos de retorno en lugar de probabilidades, por tener las mismas unidades de la vida útil de la obra (*tiempo*).

Por otra parte cuando se analizan registros históricos de un fenómeno, se les asigna un periodo de retorno de acuerdo a la frecuencia de cada evento. Para calcularlo, es común suponer que la frecuencia o intervalo de recurrencia de cada evento del grupo es similar a la observada, por ello se han propuesto varias fórmulas que permiten asignar un periodo de retorno a cada dato de la muestra en función de su frecuencia.

La más usada es la de Weibull.

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

donde:

T Periodo de retorno en años.

n Es el número de datos de la muestra.

m Es el número de orden de la lista de datos ordenada de mayor a menor.

La probabilidad de no excedencia de un evento será:

$$Q(x) = 1 - P(x) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

Para efectos prácticos y considerando que gran parte del drenaje pluvial de los fraccionamientos se realiza por superficie, la C.E.A. determina como periodo de retorno para el análisis y diseño de sus obras pluviales de captación y conducción de $T = 10$ años.

3.5. INTENSIDAD DE LA LLUVIA, DURACIÓN, PERIODO DE RETORNO

Para la determinación del evento o eventos de lluvia que deben usarse en el diseño, se debe utilizar una tormenta que involucre una relación entre la intensidad de la lluvia, la duración y las frecuencias o periodos de retornos apropiados para la obra y el sitio. En algunos casos existen las curvas (*I-D-T*) para varios periodos de retorno, pero en caso contrario se presenta el procedimiento para su cálculo.

La fórmula que relaciona simultáneamente las tres variables es:

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

donde:

i Intensidad de la precipitación en *mm / h*.

T Periodo de retorno en *años*.

D Duración en *minutos*.

k, m, n Parámetros que se calculan a partir de los datos mediante un análisis de correlación lineal múltiple.

C Si los datos se agrupan en torno a líneas rectas *c = 0*

A continuación se establece el sistema de ecuaciones que hay que resolver para encontrar los parámetros *k, m, y n*.

Tomando logaritmos de la ecuación de la intensidad y considerando *c = 0* tendremos:

$$\log i = \log k + m \log T + n \log d$$

la anterior ecuación toma la forma :

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

donde:

$$y = \log i \quad a_0 = \log k \quad a_1 = m$$

$$x_1 = \log T \quad a_2 = -n \quad x_2 = \log d$$

La ecuación de *y* define una familia de líneas rectas con **pendiente** *a₂*, **ordenada** *a₀* y **espaciamiento** *a₁*.

Al hacer un ajuste de correlación múltiple de una serie de tres tipos de datos, se obtiene un sistema de las siguientes ecuaciones:

$$\sum y = N a_0 + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2$$

$$\sum x_1 y = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1 x_2$$

$$\sum x_2 y = a_0 \sum x_2 + a_1 \sum x_1 x_2 + a_2 \sum x_2^2$$

donde:

N Número de datos.

a₀, a₁, a₂ Son las variables a calcular (*k, m y n*).

x₁, x₂ Son los logaritmos del período de retorno y de la duración respectivamente (con el valor *c* si es necesario).

y Es el logaritmo de la intensidad.

3.- NORMATIVIDAD PARA EL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL

A continuación se convertirán las precipitaciones a intensidades, para lo cual se divide la altura de la precipitación entre su respectiva duración, después se asignará a cada intensidad un periodo de retorno, ordenando los valores de mayor a menor y de acuerdo con la fórmula de Weibull.

Para los fraccionamientos por ser un área tan pequeña, la intensidad obtenida por el método anterior será suficiente sin ningún ajuste a los datos hidrológicos.

Con los datos anteriores ya se tienen todos los valores para el cálculo del gasto Q con el método racional.

Se deberá de aplicar la fórmula para cada área tributaria por drenar, determinando su gasto y sumándolo al área aguas abajo, determinando el gasto acumulado, así repetitivamente se aplicará el procedimiento para cada área en cuestión.

3.6. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA.

Una vez obtenido el gasto por el Método Racional, se procederá a calcular el diámetro de la tubería con las diferentes fórmulas descritas a continuación, que dan un valor teórico del mismo, el cual deberá de revisarse con los diámetros comerciales más cercanos.

Para la obtención del diámetro en *centímetros* de la fórmula de Manning

$$D_{cm} = \left(\frac{691,000 \times Q \times \eta}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

donde:

- D_{cm} Diámetro interior del tubo, en *cm*.
- Q Gasto requerido en m^3/s .
- η Coeficiente de rugosidad (ver tabla 3.d).
- S Pérdida de energía por metro h/L (m/m).

- Para la obtención del diámetro en *metros* de la fórmula de Manning

$$D = \left(\frac{3.208 \times Q \times \eta}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

donde:

- D Diámetro interior del tubo en *m*.
- Q Gasto requerido en m^3/s .
- η Coeficiente de rugosidad (ver Tabla 3.d).
- S Pérdida de energía por metro h/L (m/m).

3.7. VELOCIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA DEL AGUA PLUVIAL PARA SOLUCIÓN CON TUBERÍAS (LLENAS)

Al igual que en el drenaje sanitario, se deben de revisar las velocidades máxima y mínima de circulación en las tuberías con objeto de poder controlar la sedimentación y erosión respectivamente. La velocidad se calcula con la fórmula:

$$V = \frac{(r^{2/3} \times S^{1/2})}{\eta}$$

donde:

- V Velocidad media del flujo en m/s .
- r Radio hidráulico total de la tubería.
- S Pendiente h/L (m/m).
- η Coeficiente de rugosidad (ver Tabla 3.d).

Tabla 3.d Coeficiente de fricción η para las fórmulas de Manning	
Material	η
PVC y Polietileno de alta densidad	0.009
Asbesto Cemento	0.010
Hierro fundido dúctil (nuevo)	0.013
Hierro fundido dúctil (usado)	0.017
Concreto liso	0.012
Concreto rugoso	0.016
Mampostería con mortero de cemento	0.020
Acero soldado con revestimiento interior basado en epoxi / hierro fundido dúctil con recubrimiento interno de mortero acabado fino	0.011
Acero sin revestimiento	0.014
Acero galvanizado nuevo o usado	0.014

3.8. VELOCIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA DEL AGUA PLUVIAL PARA SOLUCIÓN CON TUBERÍAS PARCIALMENTE LLENAS O CANALES

Para el caso de tuberías parcialmente llenas se aplicará para el cálculo de la velocidad la siguiente fórmula:

$$V = \frac{(r_h^{2/3} \times S^{1/2})}{\eta}$$

donde:

- V Velocidad media del flujo en canal m/s .
- r_h Radio hidráulico de la tubería parcial. $r_h = A/P_m$
- A Área transversal del flujo en m^2 .
- P_m Perímetro mojado en m .
- S Pendiente h/L (m/m).
- η Coeficiente de rugosidad (ver Tabla 3.d).

Tabla 3.e Velocidad máxima y mínima permisible en tuberías		
Material de la tubería	Velocidad (m/s)	
	Mínima	Máxima
Concreto simple hasta 45 cm de diámetro	0.30	3.00
Concreto reforzado a partir de 60 cm de diámetro	0.30	3.50
Acero con revestimiento	0.30	5.00
Acero sin revestimiento		
Acero galvanizado		
Asbesto cemento		
Fierro fundido		
Hierro dúctil		
PEAD (Polietileno de Alta Densidad)		
PVC (Policloruro de Vinilo)		

3.- NORMATIVIDAD PARA EL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL

El cálculo hidráulico, para el caso tuberías circulares parcialmente llenas se da con las siguientes fórmulas:

Tabla 3.f Características hidráulicas principales de tuberías circulares parcialmente llenas			
SECCION	AREA (A)	PERIMETRO MOJADO (P)	RADIO HIDRAULICO (r)
CIRCULO			
	$\frac{1}{8}(\theta - \text{SEN}\theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\text{SEN}\theta}{\theta}\right)d_0$
	ANCHO SUPERFICIAL (T)	PROFUNDIDAD HIDRAULICA (D)	
	$\left(\text{SEN}\frac{1}{2}\theta\right) d_0$ $\sqrt{y(d_0 - y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \text{SEN}\theta}{\text{SEN}\frac{1}{2}\theta}\right)d_0$	

Para el cálculo de las velocidades en las tuberías se supone un diámetro comercial de la tubería que se proyecte utilizar, considerando que el diámetro mínimo de las tuberías para el drenaje pluvial debe ser de 30cm (12").

Para los canales al igual que en las tuberías, se deben de revisar la velocidad máxima y mínima de circulación con objeto de poder controlar la sedimentación y erosión respectivamente. La velocidad se calcula con la fórmula:

$$V = \frac{(r_h^{2/3} \times S^{1/2})}{\eta}$$

donde:

- V Velocidad media del flujo en canal m/s.
- r_h Radio hidráulico de la tubería parcial. $r_h = A/P_m$
- A Área transversal del flujo en m^2 .
- P_m Perímetro mojado en m.
- S Pendiente h/L (m/m).
- η Coeficiente de rugosidad (ver Tabla 3.h).

3.- NORMATIVIDAD PARA EL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL

A continuación se dan las principales características para tres de las principales formas usadas en canales.

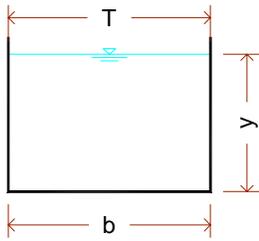
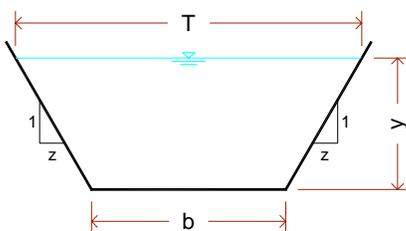
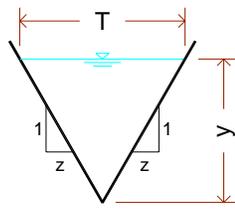
Tabla 3.g Características hidráulicas principales de canales			
SECCION	AREA (A)	PERIMETRO MOJADO (P)	RADIO HIDRAULICO (r)
RECTANGULO			
	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$
	ANCHO SUPERFICIAL (T)	PROFUNDIDAD HIDRAULICA (D)	
	b	y	
SECCION	AREA (A)	PERIMETRO MOJADO (P)	RADIO HIDRAULICO (r)
TRAPEZIAL			
	$(b + zy) y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy) y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$
	ANCHO SUPERFICIAL (T)	PROFUNDIDAD HIDRAULICA (D)	
	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy) y}{b + 2zy}$	
SECCION	AREA (A)	PERIMETRO MOJADO (P)	RADIO HIDRAULICO (r)
TRIANGULAR			
	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2y\sqrt{1 + z^2}}$
	ANCHO SUPERFICIAL (T)	PROFUNDIDAD HIDRAULICA (D)	
	$2zy$	$\frac{1}{2} y$	

Tabla 3.h Coeficiente de fricción η para las fórmulas de Manning en canales y Velocidades máxima y mínima permisibles				
Material	η	V Máxima agua limpia	V Máxima agua que transporta limos coloidales	V Mínima
Arena fina coloidal	0.020	0.45	0.75	0.30
Marga arenosa no coloidal	0.020	0.50	0.75	0.30
Marga limosa no coloidal	0.020	0.60	0.90	0.30
Limos aluviales no coloidales	0.020	0.60	1.05	0.30
Marga firme ordinaria	0.020	0.75	1.05	0.30
Ceniza volcánica	0.020	0.75	1.05	0.30
Arcilla rígida muy coloidal	0.025	1.15	1.50	0.30
Limos aluviales coloidales	0.025	1.15	1.50	0.30
Esquistos y subsuelos de arcilla dura	0.025	1.80	1.80	0.30
Grava fina	0.020	0.75	1.50	0.30
Marga graduada a cantos rodados, no coloidales	0.030	1.15	1.50	0.30
Limos graduados a cantos rodados coloidales	0.030	1.20	1.65	0.30
Grava gruesa no coloidal	0.025	1.20	1.80	0.30
Cantos rodados y ripio de cantera	0.035	1.50	1.65	0.30
Mampostería junteada	0.018 a 0.025	2.50	3.00	0.30
Concreto	0.014 a 0.020	3.00	3.50	0.30

3.9. RED PLUVIAL

La red pluvial es el conjunto de obras que sirven para encauzar el escurrimiento superficial producto de la lluvia dentro del fraccionamiento hasta la obra receptora que defina la C.E.A.

La red pluvial en un fraccionamiento se puede formar por:

- Las vialidades para un escurrimiento superficial.
- Las tuberías para un escurrimiento oculto.
- Canal para escurrimiento superficial.
- Combinación de las tres mencionadas.
- Estructuras hidráulicas complementarias.
- Cuerpo o estructura hidráulica receptora.

Para el caso de los fraccionamientos de Querétaro no se acepta que el drenaje pluvial se combine con el drenaje sanitario, debiendo tener una solución totalmente independiente.

El fraccionador deberá llevar el drenaje pluvial hasta donde lo determine la C.E.A., considerando como parte de su proyecto ésta obra aunque se realice fuera de los límites de su fraccionamiento.

3.- NORMATIVIDAD PARA EL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL

En caso de existir una obra hidráulica pluvial que por necesidades topográficas e hidráulicas deba de cruzar el fraccionamiento en análisis, el desarrollador deberá de considerar la continuación de esta obra hidráulica dentro de su proyecto, debiendo de definir conjuntamente con la C.E.A. las características y condiciones de la misma que satisfagan la continuidad del flujo pluvial y además que acepte los gastos propios del fraccionamiento en análisis.

3.9.1. Escurrimiento pluvial en vialidades

Se acepta que el escurrimiento se realice por las vialidades en las siguientes situaciones:

- Que la C.E.A. lo apruebe previamente.
- Que la pendiente mínima longitudinal de las vialidades sea del 0.5%.
- Que las vialidades contemplen un bombeo transversal del 2% hacia un solo lado o para ambos lados de la vialidad.
- Que se indique en el proyecto el gasto de descarga de cada vialidad.
- Que el proyecto indique la vialidad u obra hidráulica receptora definida por la C.E.A., con sus características (ubicación, dimensiones, nivel de rasante, nivel de arrastre hidráulico, sentido del escurrimiento, capacidad disponible, etc.)
- Cuando el gasto acumulado en una vialidad sea igual o mayor a 300 l.p.s. deberán considerarse obras de captación y conducción hasta el punto de descarga que sea definido por la CEA.
- La lámina del escurrimiento superficial en una vialidad podrá considerarse una altura máxima de un tercio de la altura de la guarnición (en promedio de 6cm).

3.9.2. Escurrimiento pluvial por tuberías

El escurrimiento pluvial por tuberías se presentará bajo las siguientes circunstancias:

- Que la C.E.A. lo apruebe previamente
- Que el escurrimiento pluvial por vialidad produzca daños al propio fraccionamiento o a las vialidades donde descargue.
- Que las pendientes de las vialidades sean menores al 0.5%.
- Las tuberías se deberán de ubicar en zanjas alojadas en las vialidades.
- El diámetro mínimo de la tubería de drenaje pluvial deberá ser de 30cm.
- El proyecto deberá de indicar:
 - El gasto de descarga de cada red pluvial, con sus características, dimensiones, niveles de rasante y de arrastre hidráulico.
 - La obra hidráulica receptora, con sus características, dimensiones, sentido del flujo, niveles de rasante y de arrastre hidráulico.
 - Las obras hidráulicas complementarias a la red pluvial como rejillas, bocas de tormenta, cajas receptoras, lavaderos, etc.

3.9.3. Escurrimiento pluvial por canal

El escurrimiento pluvial por canal se podrá presentar en los siguientes casos.

- Que la C.E.A. lo apruebe previamente.
- Que el escurrimiento pluvial por vialidad produzca daños al propio fraccionamiento o a las vialidades donde descargue.
- Que las pendientes de las vialidades sean menores al 0.5%.
- Los canales se deberán de ubicar en los camellones de las vialidades ó en los pasillos de servicio, debiendo contar con una sección adecuada para su construcción en campo, por lo que invariablemente del resultado del cálculo de la sección y del gasto pluvial, se considerará un ancho mínimo de 0.80m interior libre y una altura mínima de 0.60m, incluyendo adicionalmente el bordo libre y la protección peatonal y vehicular con un muro de altura mínima de 0.80m.
- El proyecto deberá de indicar:

3.- NORMATIVIDAD PARA EL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL

- El gasto de descarga de cada red pluvial, con sus características, dimensiones, niveles de rasante y de arrastre hidráulico.
- La obra hidráulica receptora, con sus características, dimensiones, sentido del flujo, niveles de rasante y de arrastre hidráulico.
- Las obras hidráulicas complementarias a la red pluvial como rejillas, bocas de tormenta, cajas receptoras, lavaderos, alcantarillas, etc.

3.10. ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS COMPLEMENTARIAS

Las estructuras hidráulicas complementarias a la red pluvial más usadas en los fraccionamientos son:

- **Pozos de visita**, se utilizan en las uniones de varias tuberías, en los cambios de diámetro, de dirección y de pendiente. Los pozos de visita deberán de cumplir las mismas especificaciones de los pozos de drenaje sanitario.
- **Coladeras de banqueteta y rejillas de piso**, las cuales están apoyadas sobre un registro que se conecta a la tubería pluvial.
- **Bocas de tormenta**, formadas por un registro rectangular de longitud mayor a 1.00m, normalmente colocadas perpendiculares al trazo de la vialidad, con una rejilla que permite la captación de los escurrimientos, conectadas al drenaje pluvial.
- **Alcantarillas**, es un canal cubierto por una losa para permitir el paso vehicular en su parte superior y el paso del agua pluvial en su parte inferior.
- **Lavaderos**, es una estructura con sección abierta, de poca altura, cuya función principal es desalojar el escurrimiento superficial en rotondas, vialidades cerradas, áreas verdes, etc., así como para facilitar la incorporación de los escurrimientos a los drenes o canales pluviales.

3.11. CRITERIO DE CÁLCULO

A continuación se describirán los pasos a seguir para el cálculo del drenaje pluvial.

- Solicitar a la C.E.A. la definición del cuerpo o estructura hidráulica receptor del drenaje pluvial, con sus características. En caso de que la C.E.A. no le proporcione al fraccionador las características de la obra receptora, el proyectista deberá de investigarlas e informarlas a la C.E.A. para que ésta analice y autorice dicha obra como receptora.
- Determinar conjuntamente con la C.E.A. el tipo de drenaje pluvial que se deberá de proyectar:
 - Superficial.
 - Con tubería.
 - Con canal.
 - Combinado.
- Definir las diferentes áreas tributarias de escurrimiento pluvial del fraccionamiento, las cuales no son las mismas que para el drenaje sanitario y el agua potable.
- Las áreas tributarias para el cálculo del drenaje pluvial están en función de la topografía propia del fraccionamiento, de las pendientes de las vialidades, del uso que tendrá cada zona y de la definición de parte de la C.E.A. del cuerpo o estructura receptora.
- Obtener el coeficiente de escurrimiento "C" para cada área tributaria, ponderando en forma proporcional el valor de cada zona del área tributaria (ver tabla 3.b), de acuerdo a:
 - Área habitacional.
 - Área jardinada.
 - Área de vialidad, etc.
- Valorizar el tiempo de concentración T_c para cada área tributaria.
- Determinar la lluvia de proyecto.
- Calcular el gasto pluvial para cada área tributaria con la fórmula de Método Racional.
- El gasto obtenido con la fórmula del Método Racional para cada área tributaria de drenaje deberá de aplicarse parcialmente en forma reiterada para cada zona del fraccionamiento con objeto de poder obtener el gasto total del mismo. Según la siguiente fórmula:

3.- NORMATIVIDAD PARA EL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL

$$Q_n = \sum_{1-n} (Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots + Q_n)$$

- Proyectar la obra hidráulica de conducción del agua pluvial dentro del fraccionamiento para cada área tributaria, hasta el cuerpo o estructura hidráulica receptor: vialidad, tubería, canal.
- Suponiendo el diámetro de la tubería, para el gasto dado, revisar la velocidad del flujo que se encuentre entre los valores máximo y mínimo.
- Proyectar en caso de requerirse la estructura hidráulica necesaria para llevar el escurrimiento pluvial fuera del fraccionamiento en estudio hasta la obra receptora definida por la C.E.A.
- Proyectar en caso necesario el paso o continuación de algún cauce pluvial externo al fraccionamiento que por razones topográficas o hidráulicas deba cruzarlo.