

# CAPÍTULO 4

## DISEÑO

#### **4.1 CONDICIONES Y CONSIDERACIONES INICIALES**

Una de las consideraciones iniciales es el identificar al sistema con el perfil de alguna cuenca conveniente y así poder determinar qué camino seguir para su estudio. La cuenca será considerada como una cuenca pequeña no instrumentada.

Dicho método también se utiliza para determinar los gastos de diseño en alcantarillado, y debido a la naturaleza del funcionamiento del proyecto esto es benéfico para el mismo.

Dentro de las consideraciones iniciales hay que tomar en cuenta las características justificadas de la cuenca para que funcione el sistema, eso incluye datos de área, longitud y pendiente de la misma. Para esto se determinan los elementos para la configuración de la zona de estudio.

El área de la cuenca constaría principalmente de la zona de captación la cual está compuesta por el área de las diversas azoteas del edificio para el cual se diseña el sistema, además de la que ocupan las jardineras de filtración. Las áreas son obtenidas a partir del plano del edificio y sus inmediaciones. Dicha área de captación constará de 14 zonas que poseen extensiones diferentes, a manejar en metros cuadrados. Las áreas de las azoteas serán consideradas como zona de captación, sin embargo no se verán consideradas dentro de la longitud del cauce al cual se aproxima el sistema. Se tendrán que considerar como área de captación, las jardineras, es así como se forma un esquema de las diversas entradas de gasto que se tienen.

Una de las consideraciones es que el funcionamiento del drenaje para el manejo de excedencias posea una naturaleza tal que, el tiempo de escurrimiento en el cual ingresa el agua de las excedencias dentro de la atarjea es prácticamente cero. La consideración se centra en el hecho de que el drenaje puede manejar cualquier gasto de excedencias que el sistema proporcione sin afectar el funcionamiento del mismo, dentro de un periodo de retorno de 50 años.

El funcionamiento sistemático se verá explicado en un apartado posterior, sin embargo para tener una idea clara del procedimiento es necesario explicar que el dispositivo operará dividido en dos partes, sistemas paralelos, las cuales presentarán características parecidas. El funcionamiento del dispositivo se verá inducido por medio de la imposición de pendientes en el terreno de tal forma que el agua siga un curso preestablecido.

Está claro que al ser el propósito la filtración se considerará un suelo tipo "A" para la aplicación en las jardineras y su subbase, esto quiere decir que se tratará principalmente de suelos muy permeables recubiertos con pastizales además de poseer una pendiente de un valor alrededor del uno por ciento. Esto es con el propósito de obtener agua con un tratamiento suficiente, además de que recaiga en los ámbitos prácticos en cuanto a su obtención.

A continuación se presentarán los valores del coeficiente "n" necesarios para el uso de la fórmula propuesta por Kerby.

Tipo de superficie	n
Superficies impermeables	0.02
Suelo desnudo, empacado, liso	0.10
Superficies desnudas, moderadamente rugosas	0.20
Césped pobre y cosechas cultivadas en surco	0.20
Pastos forrajeros o comunes	0.40
Tierras madereras	0.60
Tierras madereras con lecho profundo	0.80
Bosque de coníferas	0.80
Pastos densos	0.80

#### 4.1.1 Hidrogramas

Primero para el diseño de los filtros hace falta visualizar el funcionamiento de los mismos. Las condiciones iniciales son las óptimas, es decir, el suelo del dispositivo filtrante o jardinera no ha sufrido alguna especie de saturación previa. Esto conlleva que al presentarse una tormenta o evento el suelo posee, dependiendo de la magnitud del evento, la capacidad de absorber una fracción de las precipitaciones con propósitos de filtrado, dicho esto se asume que el resto formará parte del escurrimiento, formando un gasto que transitará por el sistema como excedencia.

Las excedencias de una parte o jardinera del sistema pueden verse aprovechadas por las partes subsecuentes (jardineras en serie). Sin embargo esto depende de qué tan rápido transite ese gasto a través del mismo, es por esto que es necesario calcular el tiempo que transcurre desde que el agua de las precipitaciones ingresa al sistema hasta que lo deja, a esta variable se le llamará tiempo de ingreso. Que es posible estimarlo mediante fórmulas empíricas. La fórmula será la propuesta por Kerby.

$$t_i = \frac{2}{3} L \left( \frac{n}{\sqrt{S}} \right)^{0.467}$$

Donde, "L" es la longitud del cauce principal, en metros, y "S" es la pendiente del cauce expresado en porcentaje, "n" es un coeficiente de rugosidad que depende de la superficie, dichos datos han sido estipulados en las consideraciones iniciales, cabe señalar que el valor tomado será de 0.40 debido a que en la superficie de las jardineras se sembrarán pastos comunes, luego de esto se considerará una pendiente del uno por ciento y una longitud de setenta metros para la primera parte de la cuenca, es así como se obtiene:

$$t_i = \frac{2}{3} L \left( \frac{.4}{\sqrt{1}} \right)^{0.467}$$

Donde la "L" es la longitud de la cuenca considerada en metros, la cual tendrá un valor variable dependiendo del tramo del sistema considerado. Se realizará un análisis separado

de seis partes del sistema, una por jardinera, con el fin de realizar un diseño adecuado de cada uno. Con este fin se requiere de tablas que ordenarán los datos y darán una idea más clara del ingreso y salida del agua en cada parte.

Para el estudio de cada jardinera se debe tener en cuenta que cada una posee un gasto constante, después de esto se le agrega lo que pueda producir la tormenta, como ejemplo se observa que la jardinera de entrada al sistema maneja el gasto que le proporciona la azotea del edificio que funge como área de captación, además del que capta por la tormenta.

Dicho esto se propone un manejo de datos que asocie las áreas de captación (azoteas), con la jardinera que le corresponde para asociar los datos importantes en el desarrollo del hidrograma, como el tiempo de ingreso.

Para fines del proyecto se utilizará material altamente permeable de tipo arenoso, que no contenga ninguna especie de finos, asegurando así, el mayor aprovechamiento durante la filtración. Una vez establecido el material se tomará en cuenta su capacidad de infiltración. Esto de la constante de permeabilidad del suelo otorgada por los datos del "Soil Conservation Service" que establece una permeabilidad de 75 mm/h en el caso de los suelos arenosos.

Los hidrogramas serán trazados por medio de un método gráfico el cual permite trazarlos con base en el tiempo y el gasto pico, que es el valor de gasto máximo que interesa en el diseño. Se sabe que es necesario conocer la duración efectiva del evento para poder determinar el hidrograma del mismo, sin embargo gracias a la consideración inicial hecha de que el dispositivo sería tratado como una cuenca pequeña no instrumentada, se asume que la duración efectiva es igual al tiempo de concentración y se utiliza la ecuación siguiente.

$$t_p = \frac{t_c}{2} + 0.6 * t_c$$

Donde el tiempo de las variables son " $t_p$ " tiempo pico y " $t_c$ " tiempo de concentración, el cual al tomar en cuenta la consideración acerca del drenaje resulta ser igual al tiempo de ingreso " $t_i$ " mencionado anteriormente.

Debido a que el sistema constará de 6 fracciones, una por jardinera, es necesario señalar que el gasto que las jardineras perciban por parte de otros elementos posee su propio comportamiento y a su vez su propio hidrograma. Por lo cual se observará que conforme la sección se encuentre más cerca de la salida de excedencias mayor será el gasto que maneje, debido a que existe un acumulado a lo largo del sistema.

A continuación se presentan los hidrogramas de la tormenta de diseño, cada hidrograma representa una sección diferente del sistema ante la cual se realizará el diseño, figuras 4.1 a 4.6

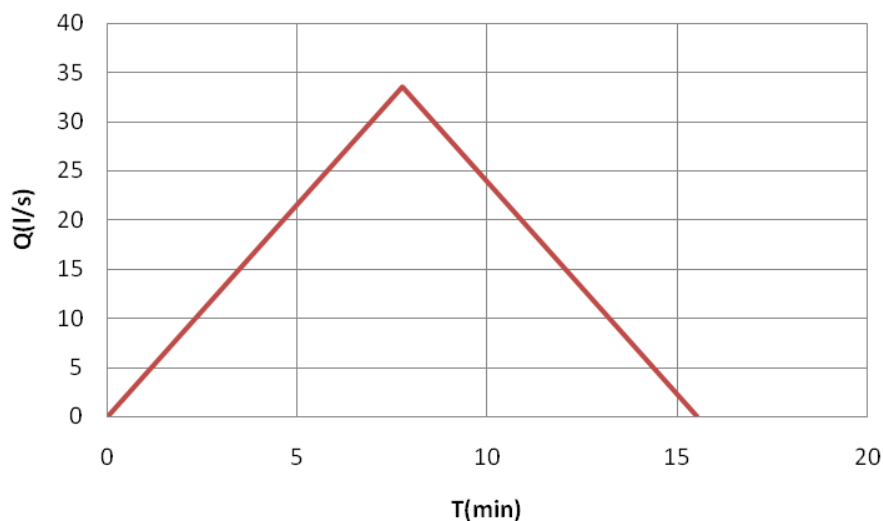


Figura 4.1 Hidrograma de la 1ª Sección del sistema

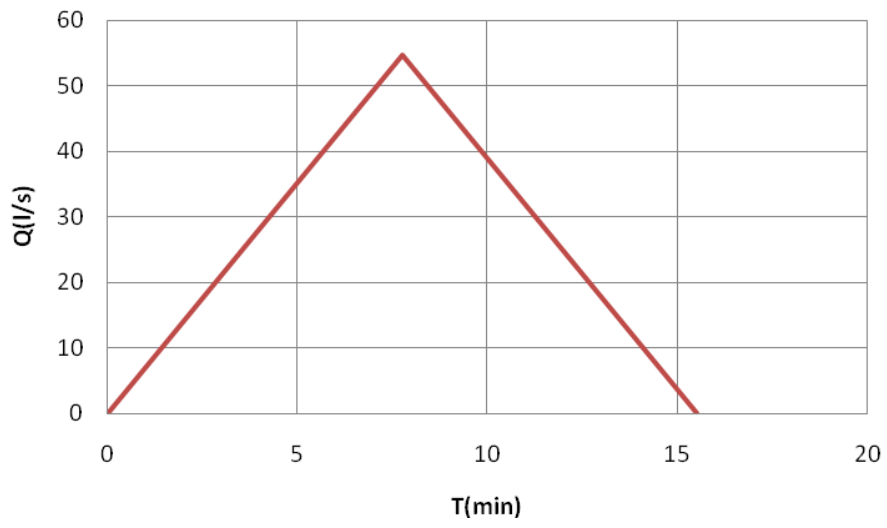


Figura 4.2 Hidrograma de la 2° Sección del sistema

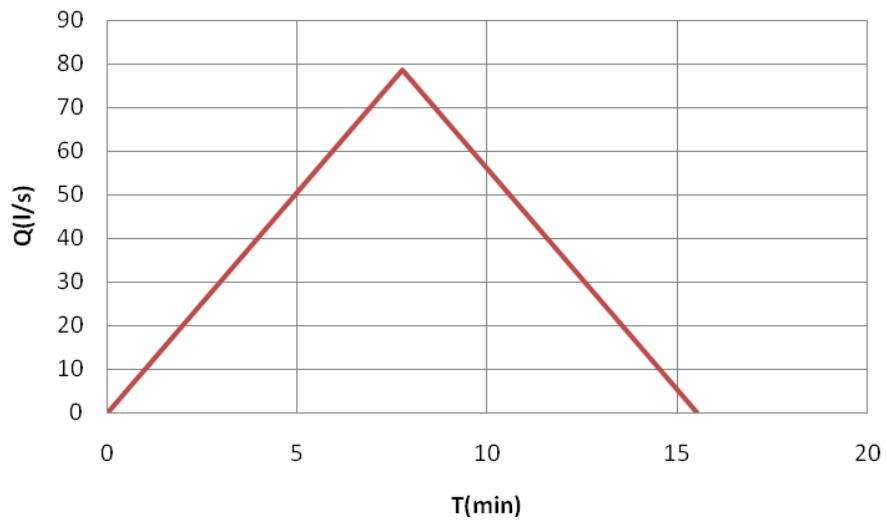


Figura 4.3 Hidrograma de la 3° Sección del sistema

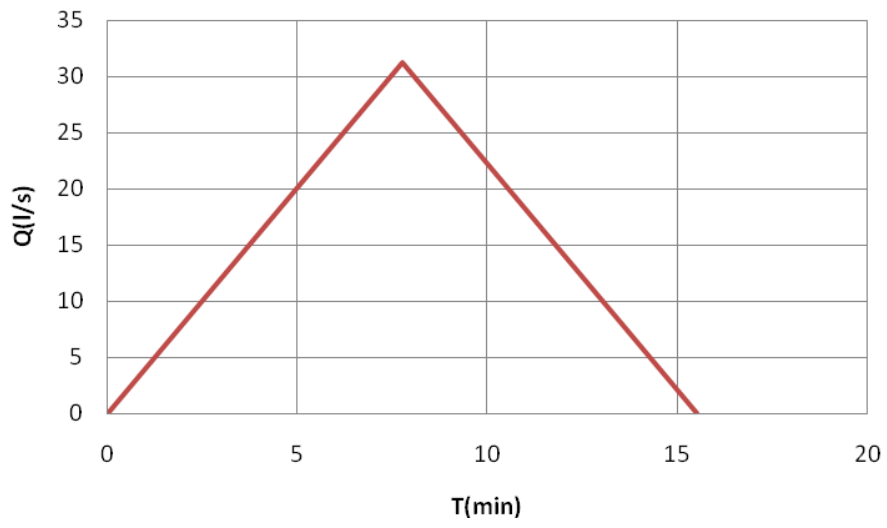


Figura 4.4 Hidrograma de la 4° sección del sistema

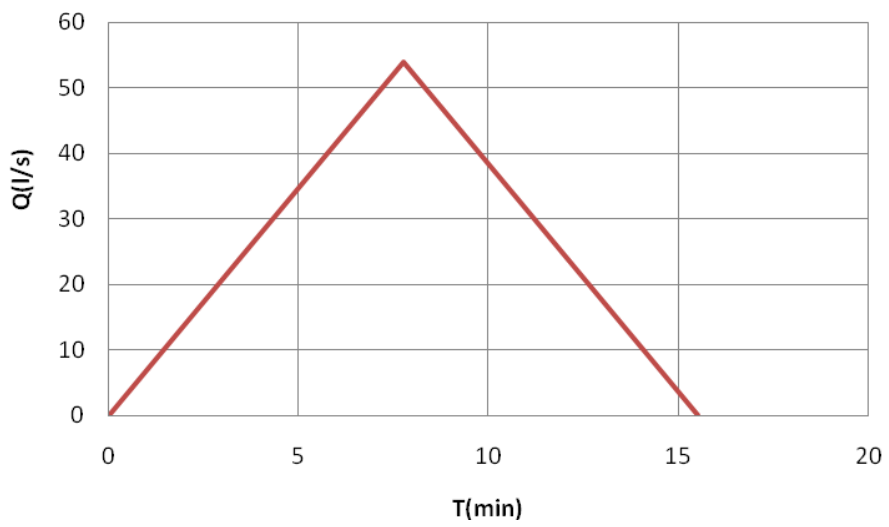


Figura 4.5 Hidrograma de la 5° sección del sistema



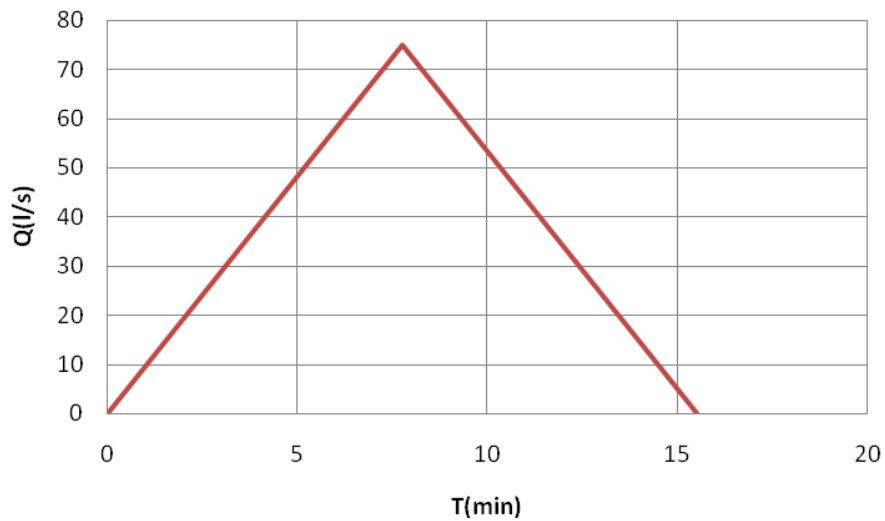


Figura 4.6 Hidrograma de la 6° sección del sistema

Con fines de comprensión a continuación se explica el procedimiento detallado para la obtención del hidrograma en la primera sección del sistema, de modo que se puede conceptualizar una idea general del procedimiento algebraico.

La sección uno se conforma por las áreas de captación número 6, 11 y 12 por lo cual se puede deducir que el hidrograma representa el gasto conjunto de las 3 áreas de captación.

Primero se obtienen las dimensiones de cada área para la cuantificación que se verá relacionada con la intensidad de lluvia y finalmente asociada con los gastos de la sección. Los resultados son expresados de forma ordenada a continuación (Tabla 4.1).

TABLA 4.1. Gastos de las secciones del sistema

Zona	L(m)	ti(min)	tp(min)	i(mm/hr)	f	C	A(m2)	Q(l/s)
6.00	25.00	10.86	11.95	139.64	75.00	0.46	328.00	5.89
4.00	18.00	7.82	8.60	166.57	75.00	0.55	280.00	7.12
2.00	15.00	6.52	7.17	183.71	75.00	0.59	378.00	11.42
5.00	24.00	10.43	11.47	142.73	75.00	0.47	242.00	4.55
3.00	21.00	9.13	10.04	153.34	75.00	0.51	336.00	7.31
1.00	15.00	6.52	7.17	183.71	75.00	0.59	312.00	9.42
11.00	12.00	5.21	5.74	207.10	0.00	0.95	238.00	13.01
12.00	14.00	6.08	6.69	190.64	0.00	0.95	285.00	14.34
13.00	14.00	6.08	6.69	190.64	0.00	0.95	285.00	14.34
14.00	14.00	6.08	6.69	190.64	0.00	0.95	285.00	14.34
10.00	12.00	5.21	5.74	207.10	0.00	0.95	245.00	13.39
9.00	14.00	6.08	6.69	190.64	0.00	0.95	281.00	14.14
8.00	15.00	6.52	7.17	183.71	0.00	0.95	285.00	13.82
7.00	14.00	6.08	6.69	190.64	0.00	0.95	260.58	13.11

Se puede ver que en cada zona el tiempo de ingreso ha sido calculado en minutos con la fórmula mencionada anteriormente, dicha variable depende de la longitud de la sección, en este caso se tomará como ejemplo la sección 6.

$$t_i = \frac{2}{3} (25) \left( \frac{.4}{\sqrt{1}} \right)^{0.467} = 10.86 \text{ min}$$

Posteriormente se obtiene el tiempo pico a partir del tiempo de ingreso con la fórmula ya expuesta.

$$t_p = \frac{10.86}{2} + 0.6 * 10.86 = 11.95 \text{ min}$$

Posteriormente y tomando la consideración de que presentándose el gasto pico, la intensidad de la lluvia es máxima es necesario que a partir del este dato se obtenga la intensidad de lluvia máxima para la sección. Esto será posible gracias a la ecuación de intensidad y duración obtenida con anterioridad. (Fig. 3.5)

$$i = 529.13(11.95)^{-0.537} = 139.64 \frac{mm}{hr}$$

Después de esto se obtiene el coeficiente de escurrimiento utilizando el dato de permeabilidad del suelo arenoso en conjunto con la intensidad de lluvia obtenida anteriormente y así poder determinar qué porcentaje de las precipitaciones transitará por la sección así como también que porcentaje se infiltrará.

$$C = 1 - \frac{75}{139.64} = 0.46$$

Lo cual significa que el 46% de las precipitaciones realizará su aportación al gasto que transitará por la sección y que el otro 54% se infiltrará a través del lecho.

Posteriormente lo único que resta hacer es determinar el gasto implícito en el anterior valor de intensidad, esto es posible gracias a que la geometría de la sección es conocida por lo cual se cuenta con el dato del área que al ser multiplicado y convertido a las unidades adecuadas brindan el gasto máximo que transitará por la sección.

Sin embargo al depender el tiempo de concentración de la longitud de la misma, además de contar con distinta geometría para todas las secciones, los tiempos obtenidos son diferentes para cada sección. La propuesta es predecir el comportamiento del sistema completo para el evento de diseño, es por esto que para cuestiones de diseño se decide utilizar el tiempo de ingreso medio obtenido a partir de los datos de la Tabla 4.1 y así realizar el ajuste pertinente a los demás datos. Dichos resultados se expresan a continuación, Tabla 4.2.

TABLA 4.2. Ajuste de los gastos del sistema

Zona	L(m)	ti(min)	tp(min)	i(mm/hr)	f	C	A(m <sup>2</sup> )	Q(l/s)
6.00	25.00	7.05	7.75	176.19	75.00	0.57	328.00	9.22
4.00	18.00	7.05	7.75	176.19	75.00	0.57	280.00	7.87
2.00	15.00	7.05	7.75	176.19	75.00	0.57	378.00	10.63
5.00	24.00	7.05	7.75	176.19	75.00	0.57	242.00	6.80
3.00	21.00	7.05	7.75	176.19	75.00	0.57	336.00	9.44
1.00	15.00	7.05	7.75	176.19	75.00	0.57	312.00	8.77
11.00	12.00	7.05	7.75	176.19	0.00	0.95	238.00	11.07
12.00	14.00	7.05	7.75	176.19	0.00	0.95	285.00	13.25
13.00	14.00	7.05	7.75	176.19	0.00	0.95	285.00	13.25
14.00	14.00	7.05	7.75	176.19	0.00	0.95	285.00	13.25
10.00	12.00	7.05	7.75	176.19	0.00	0.95	245.00	11.39
9.00	14.00	7.05	7.75	176.19	0.00	0.95	281.00	13.07
8.00	15.00	7.05	7.75	176.19	0.00	0.95	285.00	13.25
7.00	14.00	7.05	7.75	176.19	0.00	0.95	260.58	12.12

Cabe aclarar que varias de las secciones están conformadas tanto por jardineras o por techos de los edificios circundantes. Por cuestiones de diseño el área de captación ubicada en alguno de los techos de los edificios se considerarán completamente impermeables lo cual provocará que su capacidad de infiltración “f” sea considerada como “0”, sin embargo para el aporte de estos al gasto, se considerará que las precipitaciones que participan en el escurrimiento se encuentran en el orden del 95% por factores que puedan presentarse como irregularidades en su superficie, etc.

Es claro que al tratarse el sistema como una cuenca no instrumentada el tiempo base considerado para el hidrograma será el doble del tiempo pico, consideración que al final permite el trazado de los hidrogramas anteriormente expuestos

## 4.2 PLANTEAMIENTO DEL ARREGLO EN FORMA GENERAL

El sistema contará con un funcionamiento de varias secciones, las cuales aún sin variar en las partes que lo conforman poseen una diferencia en los gastos que manejarán. Se podría decir que el arreglo en el que se encuentran las partes del sistema posee una naturaleza en serie ya que ciertas partes del sistema tienen influencia directa sobre las siguientes provocando que el diseño de la parte dependiente sea basado en la influencia de la sección aguas arriba.

### *4.2.1 Descripción del sistema y su funcionamiento*

Como se ha mencionado el sistema tiene varias partes las cuales cumplen una función específica dentro del mismo, a continuación se explicará el funcionamiento desde el inicio del proceso hasta la disposición final.

Al darse un evento meteorológico o tormenta, el agua producto caerá en los terrenos del proyecto siendo captada de inmediato por zonas establecidas: las azoteas de los edificios y las jardineras. Las azoteas estarán acondicionadas de manera que puedan conducir el volumen de agua captado a alguna de las jardineras haciendo que el aprovechamiento sea mayor. Dentro de la jardinera, la cual se comportará como un canal de geometría rectangular, se producirá un tirante cuya presión sobre el suelo provocará la filtración de una parte del volumen de agua conducido, gracias a esto los sólidos de mayor tamaño serán removidos y el agua obtenida podrá utilizarse para propósitos sanitarios. El agua que no es filtrada escurre a través del canal hacia un vertedor y es tratada como volumen excedente, una vez que el agua de excedencias pasa a través del vertedor, será trasladada hacia una nueva sección del sistema donde será sometida al proceso anterior una vez más, con la intención de que se aproveche un porcentaje del volumen de excedencias, este funcionamiento actuará hasta llegar al final del sistema donde la disposición final del agua de excedencias será el drenaje local.

#### *4.2.2 Descripción de las partes del sistema*

El sistema consta de varias partes que tienen funciones diferentes, como en toda obra hidráulica, existen partes que se encargan del suministro, conducción y disposición final, es el caso de este proyecto, sin embargo para fines de este trabajo existirán partes que se encargaran de la captación parcial del agua y la canalización de la misma para fines de uso sanitario. En el siguiente apartado se dará una descripción de dichas partes y de su funcionamiento en forma detallada.

##### *4.2.2.1 Jardines para filtración y retención*

Esta parte del sistema en particular es la más importante ya que es la que le brinda significado al proyecto. Para conceptualizar su funcionamiento hay que entender los propósitos con que se utilizarán estos jardines ya que poseen algunas diferencias fundamentales con respecto a los filtros para tratamiento de agua potable.

Las jardineras constarán de una geometría rectangular a través de la cual fluirá el volumen captado con una pendiente establecida del 1% al momento de la construcción. Se contará con un lecho filtrante de granulometría tal, que el material pueda ser considerado de una permeabilidad alta, a través de los datos del "Soil Conservation Service" se estima dicha permeabilidad para una tasa de infiltración de 75mm por hora.

El filtro contará con una capa de dicho material permeable, algún material arenoso, con un grosor adecuado para los objetivos de filtración, y una capa inferior de algún material con una granulometría mayor y por lo tanto una mayor capacidad de infiltración, por lo cual su propósito será únicamente de soporte hacia la primera capa, para dicho material se consideran las gravas.

En la base de las jardineras se encontrará el dispositivo de captación para el agua filtrada, que la conducirá hacia un depósito secundario para su almacenamiento y posterior utilización.

#### 4.2.2.2 Vertedor

El vertedor será la estructura de manejo de excedencias que se localizará al final de cada jardinera con el fin de disponer del volumen de agua que no fue sometido al proceso de filtración. Dicho vertedor tendrá una geometría rectangular con contracciones laterales y descargará hacia una canaleta comunicada con la siguiente jardinera o en su defecto con el drenaje. El vertedor se verá embebido dentro de la parte final de la jardinera aprovechando dicha estructura para la construcción.

El dimensionamiento final de este dispositivo se realizará mediante la información de la tormenta de diseño obtenida de la SCT para asegurar que la obra no sea rebasada en un periodo de retorno determinado.

#### 4.2.2.3 Lecho filtrante

El lecho filtrante como se ha mencionado anteriormente se encontrará esparcido a través de toda la geometría de la jardinera. Además que sus dimensiones se ajustarán de acuerdo a la conveniencia del proyecto. Se debe hacer notar que el funcionamiento del lecho difiere de los lechos utilizados para procesos de potabilización, sin embargo es necesario que se tomen como referencia dichos valores ya que establecen dimensiones necesarias para el correcto funcionamiento de un lecho filtrante.

Se mencionó que consta de dos capas las cuales serán de materiales graduados para asegurar la tasa de infiltración, para dichos materiales se considerarán las arenas para la primera capa y las gravas para la segunda.

#### 4.2.2.4 Manejo de excedencias

Está claro que dicho manejo de una forma muy particular se da a través de los vertedores, sin embargo este apartado se enfoca más en la disposición final en la cual, las partes del sistema verterán el volumen total de excedencias dentro de un colector cuyo destino final es el drenaje, dicho dispositivo colector constará de una canaleta cubierta por una coladera, la cual se comunicará con un tubo de diámetro adecuado para asegurar que el rango de las velocidades en el tubo sean las adecuadas.

#### 4.2.3 Arreglo general

Con la información anterior se tiene la idea del funcionamiento del dispositivo, sin embargo a continuación se presenta el arreglo con el cual se trabajará explicado a manera de un diagrama, ver figura 4.7

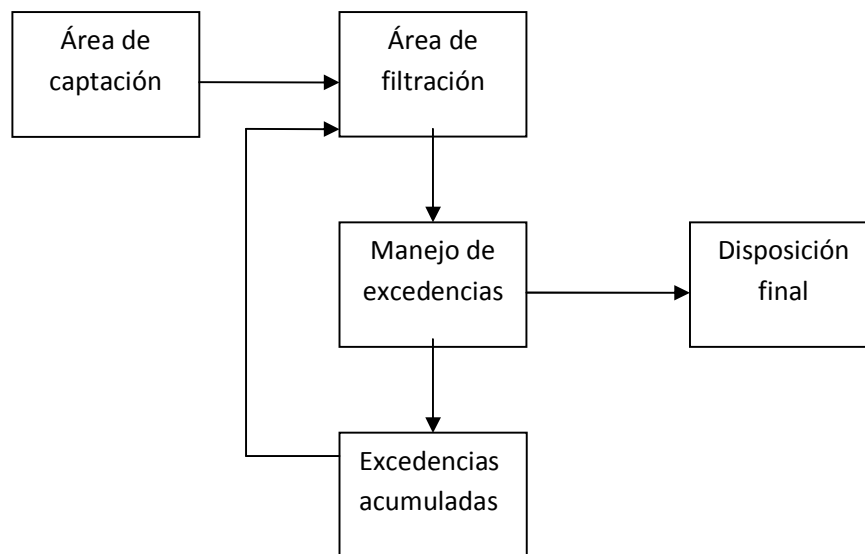


Figura 4.7 Arreglo general del sistema

Cabe mencionar que dentro de la figura las flechas simbolizan la conducción que comunica cada sección.



### 4.3 DIMENSIONAMIENTO ACORDE A LOS DATOS RECABADOS

En el presente apartado se darán a conocer las dimensiones finales de cada una de las partes que componen al proyecto, dicho dimensionamiento estará basado en los datos recabados y consideraciones reportadas.

Se ha mencionado que las áreas de captación consisten en catorce espacios, de los cuales según la nomenclatura utilizada en este trabajo las áreas numeradas de la uno a la seis consisten en las jardineras, las cuales fueron dimensionadas de acuerdo a la distribución del área de proyecto, al ser de geometría rectangular cuentan con dos dimensiones las cuales se expresarán a continuación (Tabla 4.3).

TABLA 4.3. Dimensiones de las jardineras filtrantes

Jardinera	Lado A (m)	Lado B (m)	Área (m <sup>2</sup> )
1	15	21	315
2	15	25	375
3	21	16	336
4	18	16	288
5	24	10	240
6	25	13	325

Donde el lado "A" es aquel que se encuentra coincidente con el sentido del flujo del sistema.

Posteriormente se debe considerar la altura de la barda de retención de la jardinera, a partir de la superficie de la capa del lecho filtrante, es decir, la altura de los muros de contención que encausarán el agua a través de los dispositivos, para este fin se tienen dos criterios a considerar. El primero es la altura de almacenamiento, cuyo propósito es proporcionar tiempo extra al lecho filtrante para poder procesar una mayor cantidad de agua. El segundo consiste en determinar la altura tal que el vertedor que manejará las excedencias tenga un funcionamiento adecuado.

El primer dimensionamiento parte del hecho de que los datos recabados en los últimos cinco años señalan que de las tormentas que puedan darse, el 90% de ellas tendrán una

altura de precipitación de 30mm o menos, por lo cual este valor se considera como una característica de diseño para cuestiones de control de calidad almacenamiento.

Dicho almacenamiento, tendría que tener entonces una altura de 30mm a partir de la superficie del lecho filtrante. Sin embargo, sería un desperdicio de recursos utilizar el valor máximo de almacenamiento, teniendo en cuenta dicha observación se procede a estimar qué valor de diseño es el más probable, el cual forzosamente debe ser menor al valor máximo antes mencionado. El almacenamiento captará parte del agua de precipitaciones y el volumen restante se considera dentro de las excedencias. Para obtener dicho valor probable se observa el comportamiento de la tormenta con diversas intensidades (Tabla 4.4)

TABLA 4.4. Intensidades para el evento de diseño en almacenamiento

hp (mm)	Duración (min)	i (mm/h)	f (mm/h)	C
30	5	360	75	0.79
30	15	120	75	0.38
30	20	90	75	0.17
30	30	60	75	0.00
30	30	60	75	0.00
30	50	36	75	0.00
30	60	30	75	0.00

Dentro de la tabla anterior es posible observar cómo se comporta la tormenta de diseño en diversas situaciones y cómo dichas situaciones afectan el coeficiente de escurrimiento "C", cabe mencionar que "f" es la constante de capacidad de infiltración del material del lecho filtrante propuesto.

Se puede observar un comportamiento dentro del cual al poseer una menor intensidad de tormenta, el coeficiente de escurrimiento tiende a disminuir al grado de que en los eventos menos intensos, el coeficiente de escurrimiento es nulo, es decir el volumen total de lluvias alcanza a filtrarse.

Para obtener el valor de diseño es necesario establecer el valor más probable de duración del evento, esto se puede realizar con la información de la SCT como se ha mencionado, se recurre a la curva masa generada por dicha información y se selecciona el valor de altura de precipitación de 30 mm con lo cual la curva masa arroja que si se da dicha altura de precipitación la duración más probable resulta ser de 15min. Dicha curva masa es obtenida a partir de la ecuación de la curva de i-d-Tr manejada con anterioridad al asignarle valores de duración a la ecuación. Dicha curva es expresada a continuación, figura 4.8.

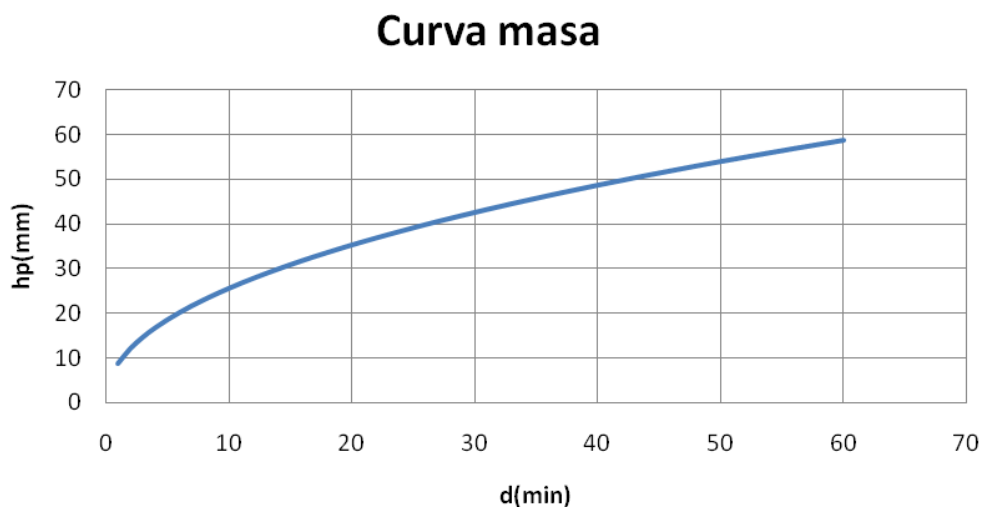


FIGURA 4.8. Curva masa

Obtenido dicho valor se observa la tabla 4.4 para obtener el coeficiente de escurrimiento acorde, el cual adquiere un valor de 0.38. Lo anterior quiere decir que presentándose el evento de diseño para almacenamiento, el escurrimiento probable es el 38% del volumen escurriría en condiciones normales.

Sin embargo debe tomarse en cuenta que aunque el almacenamiento tiene como propósito el mayor aprovechamiento de la lluvia de diseño, no debe ignorarse que en cierto modo la capacidad de captación de las jardineras se hace extensiva hacia el volumen captado de las azoteas de las cuales reciben determinado volumen de agua. Esto

es debido a que las azoteas poseen un coeficiente de escurrimiento de un valor cercano al 0.95 debido a que son supuestas impermeables.

Lo anterior obliga a considerar que el volumen captado de las azoteas será cuantificado y traducido a una altura de precipitación adaptada el área de la jardinera a la cuál conduzca la azotea. Dicho valor también es la altura de precipitación de 30 mm ya manejada por cada jardinera y tomando en cuenta esto, se determinará el coeficiente de escurrimiento. Los resultados de dicho proceso se expresan a continuación (Tabla 4.5).

TABLA 4.5. Coeficientes de escurrimiento total para jardineras

Sección	Area (m <sup>2</sup> )	Azotea (m <sup>2</sup> )	hp (mm)	hp (total)	Duración (min)	i (mm/h)	f (mm/h)	C
1	312	378	30	54.76	15	219.05	75	0.66
2	375	285	30	69.47	15	277.89	75	0.73
3	336	285	30	65.37	15	261.47	75	0.71
4	288	285	30	60.32	15	241.26	75	0.69
5	240	281	30	55.62	15	222.49	75	0.66
6	325	285	30	64.21	15	256.84	75	0.71

A continuación se explica más detalladamente la obtención de la Tabla 4.5.

Primero se observa que la tabla maneja las 6 secciones del sistema además de poseer sus datos de área, esto es con el propósito de poder obtener la altura de precipitación que le aporta a cada jardinera las azoteas correspondientes es por esto que el aprovechamiento deseado de la tormenta de diseño de 30mm influirá dentro de la obtención de dicho dato. Se hace la suposición de que cada área de captación se verá sometida a la altura de precipitación total de la tormenta es decir 30mm, una vez hecha dicha consideración se debe tomar en cuenta que las azoteas se limitan únicamente a la captación, es por esto que el volumen captado dentro ellas se verá transmitido a la jardinera pertinente casi en su totalidad. Sin embargo el dato que interesa realmente es cuánto aumentará la altura de precipitación dentro de la jardinera correspondiente al redirigir el volumen manejado por la azotea hacia ella. Es de esperarse que no coincidirá con el valor de 30mm debido a que las áreas son distintas, es por esto que se debe utilizar una fórmula de conversión la cual fue obtenida de forma aritmética, dicha ecuación se presenta a continuación.

$$hp_T = \left(1 + \frac{A_j}{A_{az}}\right)(hp_t)$$

Siendo “ $hp_T$ ” la altura de precipitación total manejada por la jardinera, “ $hp_t$ ” la altura de precipitación de la tormenta, ambas expresadas en mm, “ $A_j$ ” el área de la jardinera y “ $A_{az}$ ” el área de la azotea correspondiente en unidades concordantes. Es así como se puede observar que el coeficiente de escurrimiento de 0.38 con el que originalmente operaban las jardineras, se ve modificado por el hecho de que el volumen de las azoteas es manejado por las mismas de forma adicional. A continuación se ejemplifica el primer renglón de la Tabla 4.5

Al observar la fórmula planteada anteriormente, se realiza la sustitución de sus valores

$$hp_T = \left(1 + \frac{312}{378}\right)(30) = 54.76mm$$

Y así se observa que la altura de precipitación que la jardinera manejará es superior al valor original de 30mm, en un 80% aproximadamente. Después de observar este incremento es necesario obtener las intensidades teóricas que el manejo de dicho volumen de agua produciría en las jardineras, para esto se hace la consideración de que las azoteas transmiten el volumen de agua en un lapso de tiempo muy corto. A continuación se ejemplifica la obtención de dicha intensidad.

$$hp = \frac{54.76mm}{15 \text{ min}} (60) = 219.05 \frac{mm}{hr}$$

Es claro que el factor con un valor numérico de 60 es con el propósito de la conversión de las unidades. Posteriormente con los datos de la capacidad de infiltración que se han manejado es posible obtener el nuevo coeficiente de escurrimiento. La fórmula para su obtención se expresa a continuación.

$$C = 1 - \frac{f}{i}$$

Donde "C" es un coeficiente adimensional, mientras que la intensidad de lluvia "i" y la capacidad de infiltración "f" únicamente tienen que tener las mismas unidades, es decir de altura de precipitación por unidad de tiempo. A continuación se muestra la sustitución dentro de la fórmula.

$$C = 1 - \frac{75}{219.05} = 0.6576 = 0.66$$

Lo anterior fue realizado con el propósito del diseño de la sección de volumen de almacenamiento, por lo cual se puede decir que tendrá que abarcar el porcentaje del volumen total que no es absorbido por el lecho filtrante, es decir el 66% del total. Ya que los datos de la altura de precipitación total están asociados al área de la sección es posible obtener de igual manera una altura para la sección de almacenamiento, la cual es tomada a partir del lecho filtrante, dicha altura se obtiene con la siguiente fórmula.

$$h_a = \frac{C(h_T)}{10}$$

Donde "h<sub>a</sub>" representa la altura de almacenamiento en cm. "C" es el coeficiente de escurrimiento y "h<sub>T</sub>" es la altura de precipitación total obtenida en mm. A continuación se presenta la operación aritmética.

$$h_a = \frac{0.66(54.76)}{10} = 3.6\text{cm}$$

En la tabla 4.6 se muestran los caudales que escurren azoteas y jardineras. Los datos de las alturas del almacenamiento en las jardineras son presentados en una tabla adicional, Tabla 4.7.

TABLA 4.6. Suma de caudales en azoteas y jardineras para filtración.

Sección	i (mm/h)	Azotea (m <sup>2</sup> )	C <sub>azotea</sub>	Q <sub>azotea</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Jardín (m <sup>2</sup> )	C <sub>jardín</sub>	C·i·A (m <sup>3</sup> /h)	Duración (min)
1	120	378	0.95	43	312	0.38	14	15
2	120	285	0.95	32	375	0.38	17	15
3	120	285	0.95	32	336	0.38	15	15
4	120	285	0.95	32	288	0.38	13	15
5	120	281	0.95	32	240	0.38	11	15
6	120	285	0.95	32	325	0.38	15	15

Cabe mencionar que los datos de la Tabla 4.6 fueron producidos a partir de la intensidad del evento de diseño, es decir aquel que presenta una hp de 30mm. A partir de este dato y con ayuda de la curva masa se obtuvo su duración y se estimó en 15 min lo cual conlleva la intensidad de 120mm/hr

Siendo la altura de precipitación obtenida para cada jardinera de un valor variable, la altura considerada para almacenamiento será del porcentaje obtenido referido a la altura de precipitación de cada jardinera por cuestiones de seguridad, lo cual resulta en las siguientes alturas de almacenamiento para cada jardinera. (Tabla 4.7)

TABLA 4.7. Alturas de almacenamiento para jardineras

Sección	ha(cm)
1	3.60
2	5.07
3	4.66
4	4.16
5	3.69
6	4.55

Sin embargo existe un factor que es crucial considerar y es el hecho de que algunas de las jardineras se encuentran en serie, este efecto se ve mitigado por el hecho de que de forma tradicional las alturas de almacenamiento anteriormente expuestas, por diseño tienen la función de retener el volumen de agua que no pueda ser absorbido de momento

por el lecho. Sin embargo esta condición puede ser rebasada en el evento de diseño lo cual forma parte del cálculo de las excedencias.

El siguiente paso es el dimensionamiento de los vertedores de cada sección del sistema. Cabe mencionar que cada sección maneja un gasto diferente por lo cual se deberá realizar un dimensionamiento para cada uno de ellos.

Utilizando la fórmula para vertedores rectangulares, mencionada anteriormente, se realiza el dimensionamiento de cada sección para obtener valores convenientes. Inicialmente se estableció un valor constante de ancho del vertedor y se iteró con los cálculos hasta alcanzar cierto objetivo, a continuación se expresan los resultados (Tabla 4.8). En el dimensionamiento de los vertedores se utiliza la lluvia de diseño crítica determinada para drenaje (Tr de 50 años y duración de 5 min).

TABLA 4.8. Ancho de vertedores rectangulares y tirantes producidos con lluvia crítica (i-d-TR, 225mm/h-5min-50años).

Sección	Q(l/s)	b(m)	h(m)	h(cm)
1	36.19	2	0.01	1.49
2	59.08	5	0.01	1.32
3	85.05	8	0.01	1.39
4	33.64	2	0.01	1.38
5	58.29	5	0.01	1.30
6	80.98	8	0.01	1.32

En la tabla se puede observar que los valores del ancho del vertedor rectangular se han iterado hasta que el tirante adquiriera el mismo valor para todas las secciones, esto se ha hecho primordialmente por el proceso constructivo, además de buscar que las condiciones en los vertedores sean lo más parecidas posibles.



También se debe revisar el paso del agua a través de las jardineras y los tirantes que produce para determinar cuál será la altura de diseño, ya que podría resultar en tirantes mayores que los que manejan los vertedores. Para ello pueden obtenerse los tirantes que se desarrollarán con la fórmula de Manning, ya que se posee la geometría del canal y los materiales que la conformarán, además se ha establecido el valor de la pendiente hidráulica, realizando el estudio los resultados son presentados a continuación. (Tabla 4.9)

TABLA 4.9. Tirantes obtenidos para el flujo del agua en jardineras

Sección	Q (l/s)	b (m)	S <sub>f</sub>	n	h (m)	A (m <sup>2</sup> )	Rh <sup>3/2</sup>	Q <sub>calc</sub> (m <sup>3</sup> /s)	h (cm)
1	36.19	15	0.01	0.04	0.06	0.94	0.02	0.04	6.25
2	59.08	15	0.01	0.04	0.08	1.14	0.02	0.06	7.61
3	85.05	21	0.01	0.04	0.08	1.61	0.02	0.09	7.69
4	33.64	18	0.01	0.04	0.06	1.01	0.01	0.03	5.64
5	58.29	24	0.01	0.04	0.06	1.50	0.02	0.06	6.26
6	80.98	25	0.01	0.04	0.07	1.76	0.02	0.08	7.02

Donde, “b” es el ancho de la canaleta en metros, “S<sub>f</sub>” es la pendiente hidráulica expresada de forma numérica, “n” es la constante de Manning para las condiciones del fondo de la canaleta, “Rh” es el radio hidráulico de la sección y por último “h” expresa el tirante de la sección.

Se puede ver que los tirantes son significativamente mayores dentro de la jardinera, que en los vertedores por lo cual se deben utilizar los valores presentados dentro de la jardinera para el dimensionamiento.

Finalmente solo resta obtener las medidas de las canaletas que comunicarán a las jardineras después de los vertedores, dichas canaletas por conveniencia poseerán el ancho igual al vertedor que la preceda y conservarán la pendiente propuesta a lo largo del sistema (Tabla 4.10).

TABLA 4.10. Tirantes de las canaletas para la conducción entre jardineras.

Sección	Q (l/s)	b (m)	Sf	n	h (cm)	A (m <sup>2</sup> )	Rh <sup>3/2</sup>	Qcalc (l/s)	h (cm)
1	36.19	2	0.01	0.014	10	0.19	0.03	40	9.67
2	59.08	5	0.01	0.014	8	0.39	0.02	60	7.86
3	85.05	8	0.01	0.014	7	0.60	0.02	90	7.48
4	33.64	2	0.01	0.014	9	0.19	0.03	30	9.38
5	58.29	5	0.01	0.014	8	0.39	0.02	60	7.82
6	80.98	8	0.01	0.014	7	0.59	0.02	80	7.33

En el apartado de anexos se presentarán los planos que representarán de forma más clara la distribución y dimensiones de las jardineras.

#### 4.3.1 Dimensionamiento final del sistema

El siguiente dimensionamiento se ha establecido mediante las consideraciones de seguridad planteadas a lo largo del presente trabajo y sintetiza la información necesaria para proyectar un diseño preliminar del proyecto, la siguiente información está respaldada por los capítulos anteriores pero puede sujetarse a correcciones por consideraciones posteriores no tomadas en cuenta en este trabajo (Tabla 4.11)

TABLA 4.11. Dimensionamiento final del sistema.

Sección	B(m)	L(m)	Sf	h(cm)	H(m)	ha(cm)	b(m)
1	15	15	0.01	5.45	6.27	3.60	2
2	15	15	0.01	6.19	7.12	5.07	5
3	21	21	0.01	8.59	9.87	4.66	8
4	18	18	0.01	5.91	6.80	4.16	2
5	24	24	0.01	8.95	10.29	3.69	5
6	25	25	0.01	9.17	10.54	4.55	8

“H” es la altura de los lados del canal considerando un bordo libre del 15% del tirante presente en la sección.