

CRITERIOS PARA EL DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS

*Celina Cruz Martínez
Lorena Molina de Salguero*

Diagnóstico de la red del AMSS

Condición actual de la red de aguas lluvias

LA RED de drenaje de aguas lluvias del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) adolece de una serie de problemas originados, sobre todo por la carencia de una institución legalmente responsable de la planificación, limpieza y mantenimiento del sistema. El sistema de drenaje del AMSS casi en su totalidad está construido con colectores de concreto de sección circular.

El Ministerio de Obras Públicas (MOP), tradicionalmente tuvo a su cargo el mantenimiento parcial de este sistema, como parte del mantenimiento de la red vial; pero a partir del año 2000 comenzó el proceso mediante el cual se ha ido desligando de esta responsabilidad. A partir de 1999 la Oficina del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) retomó la responsabilidad de otorgar el trámite de factibilidades de aguas lluvias, estando ligado esto directamente al otorgamiento de los permisos de desarrollos urbanos en el ámbito metropolitano.

Algunos problemas identificados en la red de drenaje son los siguientes: graves deficiencias estructurales, incapacidad hidráulica, conexiones cruzadas de aguas negras y vertidos industriales, diseños inadecuados, cambios de diámetros mayores a diámetros menores, pozos sellados por el pavimento.

Todo esto es el resultado de una falta de planificación del sistema y de la falta

de normativa adecuada para su construcción, Además, hay que agregar la expansión descontrolada de desarrollos urbanos que impermeabilizan cada vez más nuestras áreas, incrementándose así el volumen de aguas, lo que viene a sobrecargar las capacidades de los sistemas colectores existentes..

Deficiencias estructurales

Los colectores de aguas lluvias se encuentran sometidos a cargas verticales (peso del suelo más cargas vivas —tráfico—) y cargas horizontales (empuje activo o pasivo del terreno). La combinación de estas cargas causan la ovalización del colector o la pérdida de la forma del colector respecto a la forma original.

También hay muchos casos colectores que han sido instalados con pendientes mayores que las de diseño, específicamente los cloectores de concreto, lo que provoca el deterioro rápido de la parte inferior de la tubería, debido al desgaste ocasionado por la fricción del agua.

Entre algunos factores que contribuyen al deterioro estructural de los sistemas deben mencionarse: los movimientos sísmicos frecuentes en nuestro país; instalación inadecuada de los sistemas, carentes de una supervisión y normativa adecuada, falta de limpieza y mantenimiento.

Vale la pena mencionar algunos tipos de fallas estructuras encontradas, tales como: fisuras y grietas que atraviesan la totalidad del material de la tubería; roturas en la tubería, que son evidentes desde la reducción de la sección de éstas hasta el colapso total; deformaciones en la tubería; fallas superficiales causadas algunas veces por la corrosión del material del tubo o por el desprendimiento de arena y de grava de la tubería; desplazamiento transversal y longitudinal de las tuberías, visibles cuando las uniones entre tubos están desplazadas o parcialmente abiertas; conexiones empotradas, muy usuales debido a las conexiones cruzadas existentes en nuestro medio, las que aparte de contaminar aún más las aguas lluvias, debilitan estructuralmente los sistemas al ser empotradas directamente a estos; arrastre de objetos extraños en el sistema, como fragmentos de hormigón, que además de causar obstrucciones también impactan la tubería causando así daños y debilidad estructural; incrustaciones de raíces, que cuales van deteriorando progresivamente tanto el área hidráulica del tubo como su condición estructural; acumulaciones de grasa y basura, que van formando costras en el interior de los tubos, disminuyendo así su área hidráulica.

Incapacidad hidráulica

Es importante mencionar que los sistemas de drenaje pluvial del AMSS ya no cuentan, en su mayoría, con capacidad hidráulica, debido a que han sido sistemas contruidos como redes aisladas y hay pocos colectores primarios de grandes di-

mensiones para manejar el caudal total. Todo esto siempre redundará en la falta de planificación desde los inicios de nuestras ciudades; estos sistemas se diseñaron para manejar áreas de influencia pequeña y nunca considerando el aporte de los desarrollos futuros. Un ejemplo de esto es la colonia Escalón, que en ningún momento contó con los permisos respectivos para desarrollarse.

Otro factor importante a mencionar es que contamos con dos estaciones climáticas bien definidas, la estación lluviosa y la estación seca, cuya duración promedio es de cinco a seis meses. La época seca permite la acumulación de basura, de ripio y de toda clase de desecho. La época lluviosa, con precipitaciones de mucha intensidad, facilita el arrastre de desechos sólidos, y que van a dar hasta los colectores pluviales.

Vale la pena mencionar la importancia de contar con un registro adecuado de precipitaciones adecuado, ya que durante muchos años no hubo registros confiables. En la actualidad se cuenta con los datos de lluvia colectados por el Sistema Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

Conexiones cruzadas de aguas negras y de vertidos industriales

Las conexiones cruzadas en los sistemas de aguas pluviales son un problema permanente en toda la red de aguas lluvias, esto deteriora los colectores y a la vez contamina la escorrentía pluvial, y esto en general disminuye el área hidráulica instalada de los sistemas.

En cuanto a los vertidos industriales debe señalarse que en el sistema pluvial del AMSS es muy común contar con este tipo de descargas, que en muchos casos contienen desechos tóxicos muy contaminantes que terminan por deteriorar las paredes de los sistemas colectores.

Diseños inadecuados y cambios de diámetros mayores a diámetros menores

La red de aguas lluvias del AMSS no responde a un diseño adecuado, sino que responde a diseños aislados, de ahí que entre un sistema y otro puede haber conexiones de diámetros mayores a diámetros menores. En la práctica hidráulica esto resulta inadecuada, ya que se producen almacenamientos de agua que provocan problemas puntuales de inundación.

Pozos sellados por el pavimento

Una función muy importante de los pozos es la inspección y mantenimiento de la red; a través de éstos se da la incorporación de escorrentías adicionales al sistema (unión de varias tuberías), razón por la que es importante contar con una distribución adecuada de pozos en un sistema de drenaje. No obstante, en la red del AMSS

es muy común notar que aparte de no contar con un número adecuado de pozos de visita, incide otro factor determinante que es el sellado de las tapaderas de estos con el recarpeteo de las calles efectuado por el MOP, sin tomar en cuenta la importancia de este tipo de infraestructura, volviéndose ésta causa principal de la inaccesibilidad al sistema.

Aspecto institucional

Como se ha expuesto en los apartados anteriores, el sistema de aguas lluvias del AMSS enfrenta problemas de capacidad hidráulica, además de daños estructurales. Ante esto cabe preguntarse, ¿qué hace la institución encargada de dicho sistema? O dicho de otra forma, ¿Cuál es la institución responsable de dar mantenimiento del sistema o de construir nuevos sistemas?

Hasta el año 2000, la Dirección de Urbanismo y Arquitectura, dependencia del MOP, asumió tal función como parte de su responsabilidad del mantenimiento del sistema vial, es decir, se encargaba de planificar, ejecutar nuevos proyectos y dar mantenimiento a la red de drenaje pluvial, además de contar con el archivo de la red de drenaje. Sin embargo al desaparecer dicha institución la responsabilidad no fue asumida por ninguna dependencia del Estado ni por la alcaldía municipal.

Recientemente, el *Plan maestro de drenaje de aguas lluvias del AMSS*, financiado por la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional y el Consejo de Alcaldes Municipales del Área Metropolitana de San Salvador, realizó una revisión sobre el marco institucional en la que se refiere a aguas lluvias. He aquí, a manera de resumen, algunas conclusiones sobre el tema:

-El estudio identifica dos diferentes aspectos de la red de aguas lluvias: la inversión privada en drenaje para una parcelación y la inversión pública en drenajes principales. En el primer caso existen normas de diseño y definición de responsabilidades de las que se parte; es decir, la OPAMSS es la encargada de autorizar los nuevos proyectos de urbanización o construcción a ejecutarse en el AMSS, de ahí que el propietario del proyecto entrega a esa oficina la respectiva información para su revisión y aprobación, además está claro que el desarrollador será el responsable de construir los nuevos sistemas. Sin embargo, para el segundo caso el marco legal no está claro, ni para el financiamiento ni para la ejecución o mantenimiento de las obras públicas.

-Ninguna ley extiende una responsabilidad específica para la inversión en manejo de aguas lluvias. La *Ley de Carreteras y Caminos Vecinales* proporciona algunas pautas respecto a las responsabilidades para la construcción de carreteras y las obras correspondientes de drenaje de aguas lluvias. Sin embargo, la conservación de estas carreteras y sus drenajes queda en un vacío legal.

-La responsabilidad de ejecutar obras públicas en la red de aguas lluvias y en los drenajes principales carece de sustento legal.

-Existe una clara tendencia hacia la descentralización de la responsabilidad de ejecutar obras públicas dentro de los límites urbanos; sin embargo, el financiamiento permanece como un obstáculo importante para alcanzar un acuerdo.

-No existen mecanismos establecidos para la inversión en drenajes de aguas lluvias.

Al planteamiento señalado por el *Plan maestro de drenaje de aguas lluvias del AMSS* es importante agregar otros comentarios que contribuyan a comprender el escenario actual:

-En abril de 1999, la OPAMSS firmó un convenio con el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano que establece que será la OPAMSS la encargada de autorizar la factibilidad de aguas lluvias en la región comprendida por el AMSS; sin embargo, no es responsable por el mantenimiento o planificación de la red: su competencia se limita a definir el punto de descarga para un nuevo desarrollo.

-El *Plan maestro de drenaje de aguas lluvias del AMSS* señala a los municipios como los responsables del manejo de residuos sólidos; no obstante, es necesario aclarar que los municipios son responsables por el manejo de residuos domésticos, que no incluyen desechos hospitalarios o peligrosos, además son responsables por el barrido de calles, parques o áreas verdes, no así de la limpieza de un colector (que por experiencias adquiridas en el centro de Santa Tecla, dicha limpieza exige el contar con un equipo especial, dado que en ellos se encuentra desde basura orgánica hasta basura voluminosa como armaduras de colchones, concreto, tapaderas de hierro).

-La *Ley del Agua* aún continúa sin ser aprobada.

La experiencia en el AMSS saca a flote los problemas que se generan a raíz de la ausencia de un marco regulatorio. Por ejemplo, los nuevos desarrollos podrán ejecutar nueva infraestructura, pero se enfrentan al hecho de que para poder conectar sus sistemas de drenaje deberán realizar cambios en la infraestructura existente, y esto implica costos mayores a los que representa su proyecto. En otros casos, como el de la carretera al puerto de La Libertad, el problema radica en que no hay infraestructura de aguas lluvias para conducir la escorrentía y nuevamente el dueño del proyecto no ve factible cargar a su proyecto los costos de generación de infraestructura que se supone corresponden al gobierno central.

Normativa

Es importante contar con una normativa adecuada, ya sea para el diseño como para ser aplicada a los procesos constructivos de los sistemas de aguas lluvias, porque en la actualidad sólo existen normas mínimas para el desarrollo de urbanizaciones, contenidas en el *Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del AMSS y de los Municipios Aledaños*. El artículo V.62 de este reglamento menciona consideraciones a atender en la elaboración de estudios hidrológicos, que deberán efectuarse en el caso de análisis de urbanizaciones que colinden o sean atravesadas por quebradas o ríos; en el texto se especifican los períodos de retorno a utilizar, ya sea para el diseño de redes de urbanizaciones como para el diseño de obras de paso de quebradas o ríos, definiendo cinco años para el diseño de sistemas de urbanizaciones. Para aquellas obras de drenaje cuyo diámetro exceda de 72 pulgadas su diseño deberá considerar un período de retorno de diez a veinticinco años, según sea el caso. El mismo artículo también menciona que el escurrimiento superficial máximo es de cien metros, y señala que no se permitirán pozos de visita ni cajas de registro ciegos, se mencionan además las pendientes máximas permisibles para diseños con tuberías de concreto, únicamente, y además habla de las velocidades mínimas y máximas a considerar en bóvedas, y alguna otra normativa para la construcción de los pozos de visita y tragantes, todo dentro de lo que cabe para ser utilizado en el diseño de una urbanización, por lo que se puede decir que no existe una normativa específica para el diseño de los sistemas pluviales, lógicamente, ya que no hay una institución a quien le competa elaborar este tipo de normas. Hoy por hoy existen especificaciones técnicas elaboradas por los fabricantes de los diversos tipos de tuberías y accesorios para el manejo de aguas lluvias, estos productos se hallan disponibles en el mercado, sin embargo dichas especificaciones técnicas deberían ser revisadas por la institución idealmente rectora del sistema.

Uso del suelo

Al igual que muchas aglomeraciones urbanas latinoamericanas, el AMSS ha experimentado un proceso urbanístico no planificado, que ha provocado efectos negativos considerables en el medio ambiente. Particularmente y de gran peso es la disminución en el nivel freático como consecuencia de las construcciones profundas y de los sistemas de canalización. También a habido alteración en los parámetros hidrológicos de la cuenca y las pérdidas en el suelo, por ejemplo, si se realiza una comparación entre las condiciones existentes en las microcuencas localizadas en el AMSS, con respecto a ellas mismas hace treinta años atrás se encontrará que el

incremento de las zonas impermeables ha aumentado, por tanto se ha eliminado en estos sitios la condición del suelo de retener agua (efecto de esponja), y esto reduce el tiempo de concentración de la escorrentía superficial, resultando en una respuesta mas rápida de la cuenca de mayor magnitud que la de las condiciones naturales, produciendo, por ende, mayores posibilidades de inundación.

Por otra parte, el desarrollo urbano no solamente incide en la cantidad de agua que escurre sino también en su calidad, contrariamente a lo que se podría pensar las aguas lluvias conducen una serie de contaminantes que provienen tanto de los depósitos que se realizan sobre las superficies impermeables (productos tales como contaminantes evacuados a la atmósfera por industrias y vehículos, residuos de combustión, aceites, polvos), como también los provenientes de las aplicaciones de fertilizantes y pesticidas usados en parques, jardines y áreas verdes en general.

Actualmente los usos del suelo del AMSS están definidos por lo establecido en el mapa derivado de la ordenanza de zonas de protección del AMSS, que a su vez tiene su fundamento en el *Plan maestro de desarrollo urbano para el Área Metropolitana de San Salvador* (PLAMADUR-AMSS). En dicho plano se identifican las zonas donde es posible urbanizar, sin embargo al revisar algunas de estas zonas, con respecto a lo que se tiene como catastro de la red, se encuentra que éstas presentan problemas en términos de puntos de descarga, ya sea por falta de capacidad en el sistema existente o porque no existe un colector al cual pueda conectarse.

Debe señalarse, además, que los usos del suelo, que regula la ordenanza referida, están calificados como de máxima protección, y están experimentando una fuerte presión por convertirse en tierra urbana, dada la construcción de nueva infraestructura vial, particularmente el llamado anillo periférico de San Salvador (por ejemplo el subsistema norte, que facilita la conectividad vial entre el oriente y el occidente del país, siendo un lugar ideal para asentar los usos industriales) Y es que si se accede a estos cambios la consecuencia inmediata será un incremento en la escorrentía y la pérdida de recarga del acuífero, además de afectar los asentamientos humanos ya existentes.

Finalmente, es necesario tener en consideración que el drenaje primario del AMSS está afectado por un considerable número de comunidades, las que, producto de la pobreza, se han visto obligadas a ubicarse en los márgenes de ríos o quebradas, convirtiéndose en comunidades de riesgo.

Medidas técnicas adoptadas

Antes de comentar la forma cómo se están manejando los nuevos desarrollos urbanos dentro del AMSS, es importante mencionar cuál ha sido el soporte o la información que ha servido de base para la toma de decisiones relacionadas con los drenajes secundarios. En los últimos años se han desarrollado estudios encaminados a buscar soluciones sobre la problemática de las inundaciones en el AMSS. Estos son: *Estudio de las obras de paso* (MOP/1998), *Diagnóstico, factibilidad y diseño final del sistema secundario de drenaje de aguas lluvias en cuatro zonas críticas del Área Metropolitana de San Salvador y el diseño final de la zona más crítica* (MOP/2001), y el *Plan maestro de drenaje de aguas lluvias del AMSS* (ASDI/ SWECO-OPAMSS/2003).

Estudios técnicos realizados

Estudio de las obras de paso (MOP/1998)

Este estudio fue realizado por Consulting Engineers Salqitter GMBH, Alemania/Consultores Latinoamericanos Asociados, Perú (CES-CLASS), en 1998, para el MOP. Dicho estudio realizó un análisis completo del comportamiento hidráulico de las obras de paso para las descargas con períodos de retorno de 1/25 y 1/50, además de un análisis hidrológico. Las obras de paso fueron estudiadas hidráulicamente conjuntamente con los cauces, estableciendo el régimen de flujo en la quebrada. Como resultado de esto, en algunos casos, se han dado condiciones de retención o embalses importantes, planteándose también opciones de profundización del cauce para aquellos casos en los cuales el remanso era insuficiente. Este estudio contiene además propuestas para modificar la estructura de aquellas obras en las cuales ninguna de las opciones antes citada era posible.

Diagnóstico, factibilidad y diseño final del sistema secundario de drenaje de aguas lluvias en cuatro zonas críticas del Área Metropolitana de San Salvador y el diseño final de la zona más crítica (MOP/2001)

En febrero de 1999, la empresa italiana Lotti & Associati, Societa di Ingegneria S.p.A. comenzó a desarrollar el estudio *Diagnóstico, factibilidad y diseño final del sistema secundario de drenaje de aguas lluvias en cuatro zonas críticas del Área Metropolitana de San Salvador y el diseño final de la zona más crítica*, a través del MOP, teniendo como finalidad la determinación de las opciones para la rehabilitación o las ampliaciones de la red de drenaje secundario en las cuatro zonas especificadas como las más críticas del AMSS, que se definieron así:

Zona 1: Altos de Escalón y San Benito, cubre un área de 1,263 hectáreas y sus límites son:

- Al norte: quebrada Las Lajas, Tutunichapa.
- Al este: 49 avenida sur.
- Al sur: autopista sur o bulevar Los Próceres.
- Al oeste: parte de la finca El Espino y el área no urbana en las faldas del volcán de San Salvador.

Zona 2: Santa Lucía y Matazano, esta zona cubre un área de 539.3 hectáreas y sus límites son:

- Al norte: bulevar del Ejército.
- Al este: río El Chagüite y avenida Las Mercedes.
- Al sur: río El Chagüite.
- Al oeste: calle Las Brisas.

Zona 3: barrio Modelo, barrio Candelaria, cubre un área de 679.9 hectáreas y sus límites son:

- Al norte: arenal de Montserrat.
- Al este: río Matalapa.
- Al sur: colonia Santa Clara.
- Al oeste: colonias Santa Úrsula y Las Lomitas.

Zona 4: sector poniente del bulevar Constitución, esta zona cubre un área de 679.9 hectáreas y sus límites son:

- Al norte: quebrada Las Lajas, Mejicanos.
- Al este: bulevar Constitución.
- Al sur: quebrada Las Lajas, Tutunichapa.
- Al oeste: área no urbana en las faldas del volcán de San Salvador.

En la primera etapa de este trabajo se llevó a cabo el diagnóstico del drenaje del sistema secundario de las cuatro zonas críticas en estudio, para lo cual se realizaron las siguientes actividades:

- Inspección física de la red de drenaje.
- Levantamiento topográfico de la red de drenaje.
- Inspección de colectores de gran diámetro.
- Inspección de descargas.

1. La inspección física del sistema

Fue una de las actividades más importantes, y fue realizada con cuadrillas compuestas por cuatro personas, quienes calle por calle y auxiliados por un plano fueron ubicando la red, destapando pozos y tragantes para determinar la profundidad de los mismos, los diámetros de llegada y salida y alturas de caída de tuberías, el grado de asolvamiento del sistema, etc. Toda esta información fue recopilada en fichas previamente elaboradas. Vale la pena mencionar que en esta etapa quedaron pozos no inspeccionados por estar enterrados o bajo la capa de pavimento, quedando registros en fotografías digitales de muchos de los puntos inspeccionados que presentaron mayor dificultad.

2. Levantamiento topográfico

Esta actividad fue realizada paralelamente al trabajo de inspección, que también se desarrolló mediante cuadrillas de trabajo conformadas por cuatro personas, que contaban con equipo idóneo (estación total y registrador digital de datos) Los puntos levantados en esta etapa fueron los centros de las tapaderas de pozos y tragantes y los puntos de quiebre de cordones.

3. Inspección de colectores de gran diámetro

Los colectores mayores de 36 pulgadas fueron inspeccionados por personal capacitado para esta actividad, realizando un recorrido interno con el objetivo de determinar la situación estructural de estas tuberías, la razón por la que fueron elegidos los sistemas de drenaje mayores de 36 pulgadas para este tipo de inspección fue porque en tuberías de menor diámetro no era posible el acceso de una persona al interior de éstas. Las condiciones estructurales encontradas han servido como base para la determinación del Índice de Condición Interna, y para el desarrollo de este trabajo se utilizaron cuadrillas de cuatro personas, dos dentro del colector para tomar datos y realizar fotografías digitales y dos personas en la superficie para el control de los accesos, comunicándose ambos grupos por radio.

4. Inspección de las descargas

Esta actividad fue realizada para todas las descargas que se encontraban en una situación de fácil acceso, entendiéndose por descarga el punto terminal de las redes de drenaje secundario o sea las obras de descarga en los cauces de la red de drenaje primario constituido por los cauces naturales de ríos y quebradas.

De todas las descargas inspeccionadas se preparó una ficha con la situación encontrada.

Algunas de las dificultades que se dieron en esta etapa de trabajo fueron: pozos

completamente azolvados, pozos sellados por el pavimento de la calle, pozos enterrados en zonas no pavimentadas. Por lo que del total de pozos identificados, no se pudieron inspeccionar un 3.21 por ciento en las cuatro zonas de estudio.

Otros aspectos importantes para el desarrollo de este estudio fueron también determinar las características de las cuencas en cuanto a su grado de impermeabilidad superficial. Este es un factor que incide mucho en la respuesta de cualquier sistema secundario de aguas lluvias, ya que si las superficies impermeabilizadas en una cuenca son mayores, se incrementa notablemente el volumen de agua que debe ser drenado por el sistema de drenaje pluvial. Para la determinación de las áreas permeables e impermeables necesarias para la determinación del coeficiente de escorrentía a utilizar en la modelación hidráulica de la red, se utilizaron fotografías aéreas. Cabe mencionar que las áreas consideradas en el estudio son las áreas de desarrollo futuro previstas en el PLAMADUR-AMSS.

Es importante mencionar que la red de colectores del drenaje secundario está constituida básicamente por cinco elementos diferentes:

- Los colectores, constituidos por tubos de diferente material y sección, que están divididos en tramos que se extienden normalmente de un pozo a otro pozo de visita. Su función es drenar el flujo de agua lluvia del evento de diseño seleccionado como crítico hasta las descargas finales.

- Los pozos de visita, estos tienen diferentes funciones, como la de facilitar el acceso al sistema para inspección y mantenimiento, permitir el ingreso del agua drenada por los tragantes en los colectores, controlar el cambio de diámetro de tuberías, limitar la sobrecarga en los colectores, facilitando la inundación superficial en caso de eventos de lluvia superiores a los de diseño.

- Los tragantes, su función es la de filtrar el agua superficial hacia la red colectora, separar el material arrastrado en superficie por el agua por medio de rejillas, reduciendo así el volumen de sólidos que entran en los colectores.

- Las descargas finales, que representan el punto de transición desde la red secundaria hacia la red primaria del sistema de drenaje (quebradas o ríos). Las descargas deben garantizar que el flujo proveniente de los colectores no provoque erosiones localizadas en los cauces naturales.

- Las obras especiales, que representan los elementos no repetitivos introducidos en el sistema y que resuelven problemas puntuales, entre los que se pueden considerar las estaciones de bombeo, los aliviadores de caudal y las cámaras de expansión. Para el caso en estudio no se encontró ninguna de estas obras.

El siguiente cuadro permite obtener una idea de la forma en la cual está constituida la red.

CUADRO 1
Constitución de la red

Zona	Tubería		Pozos de Acceso		Tragantes	
	(km)	%	(n)	%	(n)	%
1	121.129	51.80	1570	45.83	2,873	44.63
2	42.121	18.01	659	19.24	1,610	25.01
3	24.302	10.39	251	7.33	685	10.64
4	46.299	19.80	946	27.61	1,270	19.73
Total	233.851		3,426		6,438	

FUENTE: *Diagnóstico, factibilidad y diseño final del sistema secundario de drenaje de aguas lluvias en cuatro zonas críticas del Área Metropolitana de San Salvador y el diseño final de la zona más crítica.*

Dentro de las principales conclusiones que hace el estudio referente a la red de estas cuatro zonas críticas están:

-El sistema, en la casi totalidad de los casos, se ha construido con colectores de concreto de sección circular. Raramente se encontraron canales de sección rectangular (de concreto). En las zonas 2 y 4 se encontraron colectores en PVC. En la zona 3 y por un tramo de corta extensión se encontró un canal de sección rectangular en ladrillo. En la zona 1 se han encontrado canales abiertos de sección trapezoidal en concreto con pendientes de bordes en la mayoría de los casos 1:1.

-Existe una necesidad de aumentar el número de pozos en las zonas con pendiente fuerte, es decir se necesita disminuir la distancia entre un pozo y el siguiente.

-La superficie tributaria de cada tragante varía entre 0.214 y 0.535 hectáreas por tragante. Es decir que la cantidad de tragantes está muy por debajo de los estándares (uno por cada 500 a 800 metros cuadrados).

-El sistema de drenaje tiene una capacidad de captación muy por debajo de los estándares normales, ya que el área tributaria unitaria es de dos hasta cuatro veces mayor que los parámetros.

-Existe un sistemático y difuso problema de mantenimiento del sistema, ya que se ha tenido dificultad de acceso; se ha identificado como la principal causa de inaccesibilidad la pavimentación de las carreteras.

-Existe falta de capacidad de los sistemas de drenaje, especialmente en las zonas 1 y 2. La rápida expansión de la ciudad hacia el oeste y hacia el sur-este ha producido que los colectores diseñados para el caudal producido para determinadas áreas, ahora se encuentren en condiciones de sobrecarga por haber aumentado drásticamente la cuenca servida.

-Las condiciones de instalación no son las recomendables, especialmente en la

zona 1, donde las pendientes son elevadas, las distancias entre pozos son excesivas y limitados los saltos en los pozos, lo que produce excesiva velocidad y el rápido deterioro de las condiciones estructurales.

-Es importante iniciar las obras lo antes posible con el fin de evitar que el sistema se continúe deteriorando, sin embargo mientras la situación institucional (definición de responsabilidades) no esté bien definida, la rápida realización de las obras se verá obstaculizada.

-Es importante evitar que el sistema de drenaje siga ocupándose como un sitio de disposición de desperdicios, con lo cual podrá recuperarse la sección hidráulica del sistema.

-En cuanto al modelo hidráulico (Info Works) y la base de datos en geográfica (Arc View) es recomendable mantenerlos actualizados, con el objeto de tener un mejor control sobre la red.

Estudio ASDI/SWECO-OPAMSS

El estudio *Plan maestro de drenaje de aguas lluvias del AMSS* inicia en abril del 2002, teniendo un período de ejecución de quince meses, es financiado por ASDI, bajo la modalidad de cooperación técnica, es decir que tanto la OPAMSS como las alcaldías del AMSS realizaron un aporte económico. La empresa SWECO Internacional fue la responsable de este proyecto, y los alcances del estudio se detallan a continuación:

-Elaboración de un plan maestro, basado en una serie de estudios preliminares (estudio de población, interfaces aguas negras-aguas lluvias, estudio de impacto ambiental de las prácticas actuales, proyectos en ejecución y planificados, bosquejo del plan maestro).

-Capacitación del personal de la OPAMSS.

-Elaboración del plan maestro incluyendo, estudio financiero, análisis costo-beneficio y evaluación ambiental.

La ejecución de este estudio ha demandado una serie de actividades encaminadas a generar información y a capacitar al personal de la OPAMSS, entre ellas podemos mencionar las siguientes:

1. Catastro de la red

El proyecto inicia con la capacitación en el área de catastro de la red, lo que implicó la definición de un área piloto que permitiera a los técnicos instruirse en el menor tiempo posible en el manejo de los instrumentos, con la finalidad de reproducir dicha experiencia en el resto del AMSS. En tal sentido, se seleccionó el municipio de Santa Tecla, ya que presentaba graves problemas de drenaje y presión por la construcción de nuevos desarrollos urbanísticos, a la vez, se consideraron otros aspectos

como ubicación dentro de la cuenca y condiciones de tráfico. El primero se refiere a la ubicación del área con respecto a puntos de descarga; el segundo se refiere al volumen de tráfico imperante en la zona de tal manera que no implicará un retraso considerable en el proyecto en vista de las limitaciones en cuanto a tiempo que el estudio presentaba (quince meses).

La metodología empleada en el catastro consistió en:

-Inspección de campo, utilizando pocket PC + Ortofoto. A diferencia del procedimiento utilizado por Lotti (realizado en el estudio de las cuatro zonas críticas del AMSS), antes mencionado, en el trabajo de inspección de tuberías desarrollado en este proyecto ya no se utilizaron fichas de registro, sino que se utilizó otro tipo de metodología, como es el uso de las pocket PC, ya que estas permitían almacenar en su memoria, hojas prediseñadas, ortofotos, planimetría, entre otras cuestiones. A esa memoria también es posible incorporar un GPS, que permite obtener la posición del punto requerido, básicamente esta labor es la que ocupa mayor tiempo, debido a que se toman los datos referentes al material, las conexiones, las obstrucciones, las dimensiones, los niveles de fondos de pozos, los tragantes y las descargas, además de colocar identificación a la infraestructura. La información colectada en las pocket era descargada diariamente a la base de datos de la OPAMSS, con la finalidad de ir alimentando las bases del Sistema de Información Geográfico (SIG) de aguas lluvias.

Este trabajo demandó contar con cuadrillas de campo conformadas por un coordinador, dos auxiliares de campo, vehículo con motorista y otras herramientas necesarias como pintura, ganchos, almadana, linternas y guantes.

La primera fase consistió en el catastro de la red de aproximadamente dos kilómetros cuadrados de la parte norte del municipio, actividad ejecutada durante los meses de mayo a julio; posteriormente se ejecutó la segunda fase que comprende 3.63 kilómetros cuadrados, durante el mes de noviembre a diciembre. La parte norte se trabajó con dos cuadrillas mientras que el sector sur con tres, esto permitió capacitar a más personal de la OPAMSS y a un técnico de la alcaldía de San Salvador.

-Levantamiento topográfico de la red. El levantamiento topográfico de la red parte de los datos obtenidos durante la inspección de campo y tiene como objetivo la nivelación de pozos, de tragantes y de descargas, para esto se contrataron los servicios de una empresa de topografía, a la que se le entregó un plano que contenía la información recopilada con las pocket, con la finalidad de que realizara la nivelación respetando la numeración establecida.

Como consecuencia del trabajo de inspección de la red de aguas lluvias se tienen los resultados siguientes:

a) Catastro de la red de aproximadamente el 75 por ciento de Santa Tecla.

b) Adquisición de conocimientos en el manejo de Arc Pad a través del uso de la pocket. Personal capacitado: cuatro técnicos de la OPAMSS y uno de la alcaldía de San Salvador.

c) Establecimiento de una metodología para el catastro de la red de drenaje pluvial: pocket PC + Ortofoto, la que permite ir construyendo la base del SIG directamente en campo.

d) Información básica (inspección + nivelación) para la creación del SIG.

e) Se obtiene la información básica para la modelación.

f) La investigación ha permitido constatar que muchos pozos y tragantes están llenos de basura o azolvados como es el caso de pozos de absorción; varios pozos no han podido destaparse dado que están sellados o porque sus tapaderas están fracturadas y tramos de tuberías sellados.

2. Construcción del sistema de información geográfica del

Plan maestro de drenaje del AMSS

El SIG construido recoge la información proveniente de la inspección de tuberías, el inventario general de áreas críticas reportadas por cada municipalidad y la clasificación de tuberías usando la metodología del Water Resource Center (WRC).

Primeramente se comenzó por capacitar a los técnicos de la Unidad Ambiental de la OPAMSS en el programa Arc View.

Posteriormente se procedió a depurar la información proveniente del catastro de la red con el objeto de construir el SIG de aguas lluvias, el que aporta información sobre dimensiones, materiales, conexiones, identificación de tuberías críticas, y es la base para el trabajo de modelación hidráulica.

Luego se realizó otra capacitación orientada a dar a conocer conceptos generales sobre el manual del WRC, que suministra pautas y procedimientos para ayudar en la planificación y diseño de obras con el objeto de mejorar el funcionamiento de sistemas de alcantarillado ya existentes y en la planificación estratégica de operaciones y obras de mantenimiento. Particularmente, para este proyecto se ha retomado la metodología del WRC para la clasificación de tuberías, es decir que para la identificación de tuberías críticas se parte del establecimiento de ciertos factores (hidráulicos, tráfico, estructurales y operación) así como la asignación de una categoría A, B y C, donde A es la falla que implicaría mas costos, B la falla intermedia y C la más barata; con estos datos ha sido posible generar otra capa más al SIG de aguas lluvias, que servirá para planificar medidas de prevención o reparación en trabajos de tuberías de gran importancia.

Los resultados del estudio para el proyecto piloto de Santa Tecla se muestran en el siguiente cuadro:

CUADRO 2
Resultado del estudio para el proyecto piloto de Santa Tecla

Categoría	Cantidad Total	Longitud Total	Porcentaje %
nd	189	4,247	5.4
A	407	22,970	29.5
B	395	17,746	22.8
C	2,015	32,975	42.3
Total	3,006	77,940	100.0

FUENTE: *Plan maestro de drenaje de aguas lluvias del AMSS.*

Con el objeto de proporcionar un marco de referencia respecto a los problemas de drenajes se procedió a elaborar un inventario general de áreas o puntos críticos dentro de todos los municipios que conforman el AMSS.

Esta tarea se inició durante el mes de agosto de 2002, y arrancó con la elaboración de un formulario diseñado para recabar información se remitió a cada municipalidad, obteniéndose respuesta de nueve alcaldías en el lapso de seis semanas. Partiendo de la información recibida se iniciaron las visitas de campo y se entrevistó al personal de cada alcaldía, esta tarea de investigación se extendió hasta febrero del 2003.

Como resultado de esta actividad se adjuntó una capa más al SIG de aguas lluvias y se han creado formularios para mantener actualizada la base de datos.

3. Inspección de tuberías

El trabajo de capacitación se apoyó también en el manual de la Asociación Sueca de Empresas Sanitarias (SWD), que establece pautas para documentar inspecciones de tuberías, para esto se parte del establecimiento de una clasificación de fallas y un formulario de inspección.

El curso implicó visitas de campo así como revisión de videos y fotografías. En esta actividad se contó con la participación de personal de las alcaldías de Mejicanos, de Ciudad Delgado, de Soyapango, de Tonacatepeque, de Ilopango, de San Salvador y de Santa Tecla.

El proyecto ha generado una copia en español de la SWD, del que se entregó un ejemplar a cada municipalidad participante, con el objeto de que sirva para el trabajo diario y la creación de registros que constituyen una base importante para futuros trabajos.

Al igual que el estudio realizado por Lotti, este proyecto también contempló la inspección con cámara robot (CCTV) para aquellas tuberías cuyo diámetro es me-

nor de 900 milímetros, de ahí que, según las recomendaciones del WRC, fue necesario priorizar la inspección de los colectores identificados como A y B, puesto que son las tuberías más importantes de vigilar. Para nuestro caso piloto se decidió inspeccionar la mayor parte de colectores localizados dentro del centro histórico de Santa Tecla. Dicha elección se debe a que el centro de la ciudad alberga una buena cantidad de edificios así como también está afectado por vías primarias, además las tuberías de este sector son de las más antiguas del municipio.

CUADRO 3
Estadística del Área de Inspección por cámara robot (CCTV)

Cantidad total de colectores, área piloto	3,006
Cantidad de colectores inspeccionados	68
Longitud total de colectores inspeccionados (m)	6,667
Porcentaje (%)	8.6

FUENTE: *Plan maestro de drenaje de aguas lluvias del AMSS.*

Al analizar el tipo de fallas descubiertas en la inspección mediante cámara robot se observó que alrededor del 60 por ciento de las fallas se deben a obstáculos tales como hormigón depositado ilegalmente durante la construcción de edificios en el área piloto, tuberías de aguas negras o agua potable que cruzan piedras de gran tamaño que se han arrojado a la tubería a través de la caja tragante o del pozo. Lo anterior pone en evidencia que para efectos de limpieza de estos colectores es necesario un equipo especializado (chorro a presión).

4. Marco institucional y financiero

Como ha sido mencionado al principio de este documento, existe una fuerte problemática en drenaje pluvial debido a la falta de un marco institucional, en tal sentido el proyecto comenzó con una recopilación de información con el objeto de plantear una propuesta del marco institucional; tal documento fue entregado en diciembre del 2002.

La propuesta plantea la creación de una unidad especializada en aguas lluvias adscrita a la OPAMSS, que podrá compartir responsabilidades con las alcaldías y posteriormente pasar de una unidad especializada en drenaje pluvial a una empresa encargada del manejo del agua en el AMSS, además se propone la creación de tres tasas (usuario, conexión, permiso de construcción) para adquirir los fondos necesarios para el financiamiento de este rubro.

Costos de inversión y operación

En el Plan de inversiones se presentan dos alternativas: nivel bajo y nivel alto de inversión. Los planes se basan en: el estudio ejecutado por SWECO y los municipios dentro del AMSS; el estudio ejecutado por la empresa consultora italiana Lotti y el estudio del área piloto en Santa Tecla, ejecutado por SWECO y la OPAMSS.

La alternativa nivel bajo de inversión se limita a trabajos en las 140 áreas críticas, y alcanza un total estimado de 59 millones de dólares, sin incluir el interés durante el período de ejecución de las obras. Esto incluye costos de rehabilitación de la red secundaria por 43.5 millones de dólares, costos de limpieza por 71 mil dólares, así como costos de obras de paso y protección de erosión por 9.9 millones de dólares, lo mismo que costos de diseños e inspección por 5.3 millones de dólares. El período total de la inversión se estima en seis años.

La alternativa nivel alto de inversión está dividida en tres etapas, cada una de seis años de duración. La etapa A consiste en la ejecución de la alternativa nivel bajo de inversión, así como el diseño de las obras correspondientes al sistema 1 que incluye los municipios de San Salvador, Santa Tecla, Antiguo Cuscatlán y San Marcos. El costo total de la etapa A se estima en 64 millones de dólares.

La etapa B consiste en trabajos de rehabilitación e inspección de obras en las cuatro alcaldías del sistema 1 indicadas anteriormente, así como realización del diseño de las obras de rehabilitación de la red de aguas lluvias en las cuatro alcaldías del sistema 2 (Soyapango, Ilopango, Tonacatepeque y San Martín) y las seis alcaldías que pertenecen al sistema 3 (Mejicanos, Ayutuxtepeque, Ciudad Delgado, Apopa, Cuscatancingo y Nejapa). El costo total de la etapa B se estima en 116 millones de dólares, excluyendo el interés durante el período de la construcción.

La etapa C consiste en los trabajos de rehabilitación e inspección de obras en los sistemas 2 y 3. El costo total de la etapa C, excluyendo el interés, está estimado en 99 millones de dólares. La inversión total necesaria en la alternativa nivel alto de inversión resulta así igual a 279 millones de dólares, sin considerar el interés.

Los costos de operación son derivados de la misma fuente que los costos de inversión y de experiencias de alcaldías suecas. Dichos costos se estiman en 718 mil dólares por año, en caso de que no se realicen inversiones. Con la alternativa nivel bajo de inversión se disminuye a 710 mil dólares y con la alternativa nivel alto de inversión a 675 mil dólares anuales, una vez realizadas las inversiones.

5. Modelación hidráulica

Uno de los principales objetivos de este proyecto es el de elaborar un plan de inversión para el mejoramiento de los sistemas de drenaje de las subcuencas identificadas en el área piloto. En forma resumida, las mejoras incluyen entre otras cosas

la reconstrucción de tuberías con insuficiente capacidad o con deficiencias estructurales, o la construcción de nuevas tuberías a fin de aminorar la descarga en tuberías con capacidad insuficiente pero en buenas condiciones estructurales.

Para efectos de la modelación, el área piloto se dividió en cuatro sectores.

6. Recomendaciones

Las principales recomendaciones serían:

-Concluir el catastro de la red de aguas lluvias, ya que es la única manera de saber cuales son los problemas de la red.

-Continuar los trabajos del SIG y modelación hidráulica de forma tal que se mantengan actualizados.

-Mantener un registro de los eventos de inundación en cada municipio. Dicha información es fundamental para poder tomar una decisión sobre qué áreas necesitan reparaciones o medidas de mejora, así como la urgencia de dichas medidas.

-Iniciar los pasos tendientes a lograr un financiamiento de las obras requeridas para rehabilitar la red de drenaje. Dichos pasos, además de los citados, son:

a) Delimitar las responsabilidades de la gestión de la red de aguas lluvias entre el Gobierno central y las alcaldías.

b) Considerar que las alcaldías han recibido nuevas responsabilidades, de ahí el Gobierno central deba facilitar la obtención de fondos para hacerse cargo de dichas tareas. Esto implica acordar los montos que sea apropiado transferir desde el Gobierno central a las alcaldías y fijar las condiciones de dicha transferencia.

c) Acordar en el COAMSS el nivel de inversión que se considera adecuado solicitar al Banco Interamericano de Desarrollo (BID)/Banco Mundial.

d) Acordar con el Gobierno central sobre el modo de solicitar el préstamo. En esto los resultados del análisis costo-beneficio serán de suma importancia.

e) Acordar con el BID/Banco Mundial el monto y las condiciones del préstamo.

f) Lograr acuerdo con el ente que realizará el cobro de la tarifa de usuario (por ejemplo, una empresa eléctrica).

g) Obtener del Centro Nacional de Registros los resultados del catastro de propiedades en los municipios en que se planea realizar inversiones y, por consiguiente, efectuar cobro de tarifa de usuario.

h) Cada alcaldía debe clasificar los sectores que forman la alcaldía en niveles altos, medios y bajos.

i) Las alcaldías deben calcular los costos de limpieza de la red de aguas lluvias, atención al público y mantenimiento del registro de inundaciones, para así calcular la fracción de la tarifa de usuario que será transferida a las alcaldías.

j) En base a los datos obtenidos en las actividades indicadas en los literales d)

a h) realizar un cálculo más exacto de la tarifa de usuario y la capacidad de pago.

k) La OPAMSS deberá realizar una estimación de horas ingeniero/trámite (clasificado en diferentes tamaños de urbanización), costo hora ingeniero y recargo por gastos generales (costo de electricidad, papelería, etcétera) para calcular la tasa de permiso de construcción.

l) Creación de la unidad ejecutiva de aguas lluvias en la OPAMSS y de la unidad técnica dentro de la alcaldía.

m) Realizar los estudios de factibilidad y diseños definitivos en las áreas consideradas prioritarias.

n) Dar inicio a las inversiones en las áreas consideradas prioritarias.

o) Los pasos l) y m) deben aplicarse a las áreas restantes del AMSS, de acuerdo al número de etapas en las cuales se realice la rehabilitación del sistema de aguas lluvias del AMSS.

Criterios de diseños adoptados

Como ya se ha mencionado a lo largo de este documento, desde abril de 1999, la OPAMSS asumió la responsabilidad de otorgar el trámite de factibilidad de aguas lluvias, y se inició el trabajo de recopilación de información relacionada con la red del AMSS, identificando en ese momento *Diagnóstico y factibilidad del sistema secundario de drenaje de aguas lluvias en cuatro zonas críticas del Área Metropolitana de San Salvador y diseño final de la zona más crítica* desarrollado por la empresa Lotti & Associati, el estudio de factibilidad y diseño final del proyecto *Obras de paso del sistema hidrográfico del AMSS* realizado por la empresa CES Consulting y CLASS Consultores, y a la vez se inicia la gestión, en la OPAMSS, para desarrollar el *Plan maestro de aguas lluvias del AMSS* en cooperación con ASDI a través de la empresa SWECO, proyecto que a la fecha ya ha sido concluido y que aporta insumos valiosos en lo referente al catastro de la red de drenaje y propuestas sobre su manejo institucional.

Dentro del análisis de factibilidad de aguas lluvias para cada proyecto, y dependiendo del caso, se solicita a los responsables de proyectos que presenten estudios hidrológicos, ya sea en cuencas semi urbanas o cuencas totalmente urbanas, así como también cálculos hidráulicos de generación de caudales de los proyectos a desarrollar, con el fin de tener instrumentos que nos permitan en cierta medida analizar los sistemas más próximos a cada proyecto a ejecutar. En vista de la necesidad de enfrentar una realidad muy compleja, ya que nunca ha existido una institución a cargo del sistema de aguas lluvias ni mucho menos una planificación de este, se han adoptando algunas medidas con el fin de no incrementar aún más la situación crítica del sistema. Entre estas medidas están las siguientes:

a) Control de la escorrentía: en vista de la fuerte presión por el cambio de usos del suelo del sector de la Escalón, que de ser viviendas con áreas impermeabilizadas entre el 60 y 70 por ciento se están convirtiendo en zonas comerciales, de oficinas y de desarrollos de condominios habitacionales en altura. Esto lleva a la impermeabilización completa de estos lotes o a la densificación de la zona, e implícitamente a un sensible incremento de la escorrentía de aguas lluvias; esto es una situación compleja, en vista de que aunado a este fenómeno también nos enfrentamos con el escenario crítico de los colectores del sector, situación que lleva a buscar algunas medidas para poder evitar que a estos colectores les llegue aún más agua. Dichas medidas serían:

- Restricciones de áreas impermeabilizadas: en algunos sectores como la Escalón y otros más donde se han identificado colectores en estado crítico, no se deber permitir impermeabilizar más del 70 por ciento del área total de estos lotes debiendo quedar el resto como áreas verdes, esta disposición genera una fuerte presión por parte del gremio de la construcción.

- Sistemas de detención: ante la presión por impermeabilizar totalmente algunos lotes que descargan a colectores en estado crítico, ya mencionada en el inciso anterior, la OPAMSS investiga sobre posibles soluciones para controlar la escorrentía descargada a los sistemas existentes. Ante tal situación se ha comenzado a implementar el uso de los sistemas de detención, con el fin de por lo menos mantener al sistema de drenaje en la condición crítica actual sin empeorarla. Estos métodos de detención consisten en sistemas de almacenamiento donde se retiene el excedente de escorrentía generada por la impermeabilización adicional del inmueble, de forma tal que el sistema existente donde se descarga la escorrentía pluvial, en un evento pico de lluvia, no perciba más agua de la que siempre ha recibido. Es importante mencionar los diferentes tipos constructivos de sistemas de detención: cisternas de concreto armado o su equivalente, sistemas de almacenamiento previamente diseñados por algunos distribuidores de sistemas hidráulicos como DURMAN, AMANCO (entre otras), a través de almacenamiento en sistemas de tuberías. Para el diseño de este sistema hay que considerar algunos aspectos importantes como su limpieza, de ahí que se deba contar con responsables institucionales específicos.

- En la evaluación y diseño de estos sistemas se debe considerar, lógicamente, el caudal en la condición con y sin proyecto, debiendo determinar el excedente de las dos condiciones, con el que se deberá calcular el volumen de almacenamiento del sistema; para el diseño de la tubería de desfogue únicamente se considera la condición sin proyecto, de tal forma, como se mencionó anteriormente, que al sistema receptor de aguas lluvias llegue la cantidad de escorrentía de la condición sin proyecto.

b) Consideraciones para el análisis de los sistemas de aguas lluvias de urbaniza-

ciones: dentro del diseño de aguas lluvias de urbanizaciones existen algunos casos particulares de mayor importancia, dentro de los cuales está el considerar algún tipo de escorrentía natural para efectos de diseñar la red de aguas lluvias de la urbanización, este es el caso en el que el terreno a urbanizar es atravesado o bordeado por vaguadas o en algunos casos quebradas. En ese sentido, es necesario realizar un estudio hidrológico de la quebrada, tomando como punto de interés el área donde se desarrollará el proyecto, con el fin de determinar el caudal generado por ese cuerpo de agua en ese punto, ya sea para ser incluido en el diseño del sistema o para determinar el nivel de agua máximo de la quebrada en algún punto y poder definir la zona de protección de la quebrada, niveles de descarga de aguas pluviales del proyecto, etcétera. El estudio hidrológico deberá contener lo siguiente:

- Definición de los parámetros físicos de la cuenca como lo son el área de recogimiento, las elevaciones máximas y mínimas, la longitud del cauce más largo, la pendiente del cauce principal para lo que se debe demarcar la cuenca en hoja altimétrica a escala adecuada.

- Evaluación de los parámetros siguientes: tiempo de concentración, coeficiente de escorrentía, período de retorno e intensidad de lluvia.

Para la evaluación del coeficiente de escorrentía, es muy importante definir los diferentes usos de suelo proyectado, de acuerdo a lo establecido en la OPAMSS, dentro de la cuenca en estudio, y poder determinar así el coeficiente de escorrentía ponderado de la misma.

Para la determinación de la intensidad de lluvia es necesario conocer los registros de precipitaciones de la estación pluviométrica correspondiente al área de análisis, los que se encuentran a disposición en el SNET.

Referencias

- ASDI/SWECO-OPAMSS, *Plan maestro de aguas lluvias del Área Metropolitana de San Salvador*, San Salvador, 2003.
- CEPAL. *Gestión ambiental de cuencas*, 1998.
- Kuroiwa, J. *Reducción de desastres*, PNUD, 2001.
- Lotti & Associati. *Diagnóstico, factibilidad y diseño final del sistema secundario de drenaje de aguas lluvias en cuatro zonas críticas del Área Metropolitana de San Salvador y diseño final de la zona más crítica*, Ministerio de Obras Públicas, San Salvador, 2001.