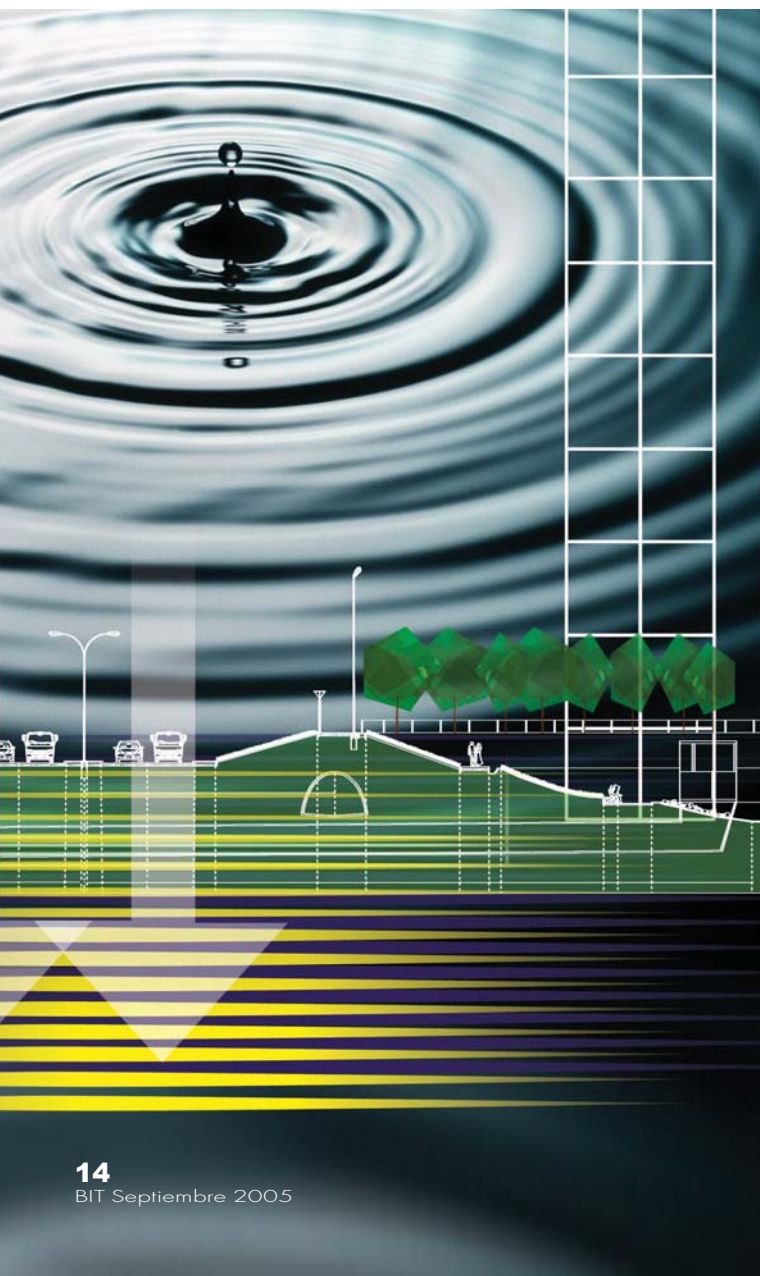




Aguas Lluvia

Desborde de ideas

No sólo los tradicionales colectores permiten hacer frente a las inundaciones en la ciudad, desde el extranjero se han sumado innovadoras modalidades como zanjas de infiltración, lagunas de retención y parques inundables. Si bien los nuevos proyectos y la aplicación de novedosos materiales resultan incipientes en el país, ya se observan apuestas interesantes.



Claudia Ramírez F. y Marcelo Casares
Revista BIT

Enormes construcciones subterráneas expanden sus redes bajo la ciudad. A las obras del metro y las autopistas urbanas se han sumado gigantescos colectores de aguas lluvia. Los avances constructivos en esta materia no se remiten sólo a los sistemas tradicionales, la Ley de Aguas Lluvia, que desde 1997 establece las responsabilidades sobre el manejo del caudal, abre las puertas a nuevos enfoques, incluyendo el uso de soluciones alternativas. De esta manera, zanjas de infiltración, lagunas de retención y parques inundables se presentan como opciones atractivas por costo y eficiencia.

A diferencia de lo que ocurre en Estados Unidos y gran parte de las ciudades europeas, donde los enfoques orientados a disminuir la escorrentía se emplean hace más de treinta años, el uso de estas modalidades aún es incipiente en nuestro país. Sin embargo, tanto la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Directorio Ejecutivo de Obras Bicentenario (DEOB), como importantes escuelas de ingeniería, arquitectura y urbanismo, auguran que la combinación de diversas opciones, tanto de almacenamiento temporal como de disminución de caudales, resulta la solución definitiva para desterrar las inundaciones.

El conocimiento de las condiciones hidrológicas y geográficas de las ciudades también resulta clave, por ejemplo Santiago cuenta con particularidades que según los expertos no se han respetado, incrementando los anegamientos.

En esta edición presentamos una variedad de modalidades para el manejo de aguas lluvias, que incluyen la utilización de materiales especiales como pavimentos porosos. A



Canal en Fort Collins, Estados Unidos.

Canal de gran extensión que incluye un área de pasto. Estas modalidades presentan una especie de solera donde escurre el agua o una zona pavimentada que permanece húmeda.



Estanque de regulación. El parque, que normalmente permanece seco, almacena y controla el escurrimiento de aguas lluvia por medio de esta solución.

esto se suma la descripción de tres casos interesantes: Un proyecto a la espera de ser aprobado, que propone un parque fluvial ubicado a orillas del Zanjón de la Aguada para controlar y solucionar el desborde de este cauce; el desarrollo de un sistema de retención y regulación de flujos de aguas en dos quebradas en Colina; y la propuesta de una red seca de inundación basada en un sistema de parques inundables en la ciudad.

El nuevo enfoque para abordar los problemas de drenaje urbano supone minimizar la escorrentía, favorecer la retención, tratar los problemas de contaminación localmente y usar y mantener la red natural de drenaje. Para ello se recurre al empleo masivo y localizado de pequeñas obras conocidas en nuestro país como soluciones alternativas. Éstas se clasifican de acuerdo con el tratamiento que hacen al escurrimiento de agua en modalidades de **almacenamiento, infiltración y la combinación de ambas**. A continuación presentamos una selección de la «Guía de diseño de técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias», elaborada por la Escuela de Ingeniería de la Universidad Católica y editada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en 1996 (*).

Alternativas de almacenamiento

El objetivo de estas obras es aplazar la distribución temporal de aguas hacia las redes de drenaje o los cauces receptores. Además permiten el tratamiento de la contaminación por sedimentación. Las retenciones pueden ser de volúmenes altos o bajos, dependiendo de las alturas de las obras que contienen elementos de control de salida del flujo. Se observan variadas alternativas.

Estanques de retención: Se diseñan para vaciarlos completamente después de un breve período posterior a las lluvias, encontrándose habitualmente secos. Se construyen con ele-

mentos naturales como vegetales, piedrecilla y una pequeña capa de hormigón para evitar la dispersión de componentes. Su objetivo consiste en reducir los caudales máximos hacia aguas abajo además de capturar cantidades significativas de sedimentos, que tras la decantación deben retirarse.

Lagunas: Mantienen permanentemente un volumen de agua, que se reemplaza total o parcialmente durante las tormentas. Es decir, sobre un contenido fijo se prevé uno adicional destinado a amortiguar las crecidas provocadas por las lluvias, que se evacua 12 horas después de una tormenta. Las lagunas son similares a los estanques ya que se diseñan para captar y retener un determinado volumen de agua para las tormentas más frecuentes. Pueden emplearse en conjunto con otras obras de control de aguas lluvia. Un ejemplo son las lagunas de retención ubicadas en el sector norte de Santiago, en la provincia de Chacabuco. «Se dispusieron en esta zona debido a que no existe cota suficiente para descargar gravitacionalmente los cauces naturales cuando se produce una crecida», explica Rodrigo Caro, jefe especialidad Obras Hidráulicas de CADE-IDEPE.

Zanjas con vegetación: Son más anchas que las zanjas tradicionales, funcionan como vías de drenaje con densa vegetación y pendientes bajas que conducen el agua lentamente. Se ubican bajo el nivel del suelo adyacente y la escorrentía ingresa desde superficies laterales de jardines y calles. Se pueden usar como una alternativa a sistemas tradicionales de soleras y redes de colectores, especialmente para sectores residenciales poco densos.

Canales para drenaje urbano: Los canales abiertos en sistemas de drenaje urbano ofrecen ventajas significativas por su relación costo- capacidad. Además de los aportes estéticos y paisajísticos, brindan mantención de condiciones naturales y un volumen de regulación de crecidas importantes. Estos cauces requieren un diseño especialmente cuidado para que se incorporen a la urbanización y están preferentemente orientados al mejoramiento de los cauces naturales que debieran formar la base de la red de drenaje, en conjunto con las áreas verdes urbanas.

(*) Técnicas Alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño, Ministerio de la Vivienda 1996.



Pablo Allard,
jefe de proyecto
Parque La Aguada Oriente.



Hernán Briones,
gerente de operaciones de
Inmobiliaria La Reserva.

Hay distintas alternativas como aquellos excavados antes que ocurra el proceso de urbanización. Los revestidos de pasto que proveen de capacidad de almacenamiento, menores velocidades de escurrimiento y beneficios de usos múltiples. Con vegetación en el fondo y cubiertos de hormigón o albañilería para soportar velocidades altas del flujo.

Alternativas de infiltración

Estas obras disminuyen la carga de contaminantes que llega a los cauces superficiales al quedar retenidos en el suelo o atrapados al infiltrarse. Son efectivos en reducir los gastos máximos y el volumen escurrido hacia aguas abajo. La capacidad de absorción del suelo depende de la cubierta vegetal, las características del acuífero(**) y la calidad de las aguas lluvia producto del arrastre de finos y otros materiales. Conviene emplear este tipo de obras sólo si el caudal captado alcanza a infiltrar antes de la próxima tormenta. Se construyen en terrenos que tengan un nivel de agua subterránea profundo, para asegurar que filtre a través del suelo antes de alcanzar la napa y otorgar una permeabilidad que permita el vaciado total entre lluvias en períodos breves para no dañar la vegetación.

Estanques: Los de infiltración son estanques de poca profundidad, con agua de alturas bajas de 5 a 10 centímetros, que almacenan temporalmente los caudales hasta que se infiltran por el fondo y los lados. Su efectividad es mayor si operan masivamente. Habitualmente entre lluvias, su terreno es ocupado como espacio abierto o para otros fines. Se pueden incluir en veredas, calles, jardines, parques y estacionamientos, entre otros. El caso típico son los jardines para infiltrar.

Para el diseño de los estanques, que incluyen un fondo horizontal y taludes laterales, se requiere un análisis de factibilidad que comprende las características del suelo y del agua subterránea, y determinar el dimensionamiento, es decir, la superficie y profundidad. Además, se debe consi-

(**) Acuífero, capa o vena subterránea que contiene agua.

derar el diseño de los elementos de detalle que comprenden la elección del tipo de vegetación, materiales y el suelo para estabilizar taludes o acelerar el vaciado final.

Entre las precauciones para su operación se encuentran la limitación de los finos protegiendo los estanques con una membrana impermeable durante la construcción, y la limpieza permanente.

Zanjas: Son obras longitudinales con una profundidad recomendada del orden de 1 a 3 metros, que reciben agua en toda su longitud. Poseen un sistema de drenaje local semi subterráneo o subterráneo cuyo rebase puede formar parte del escurrimiento superficial o estar conectado a un sistema tradicional de colectores. Si no es posible alimentarla naturalmente, se puede hacer desde uno de los extremos empleando una tubería perforada a lo largo de la parte superior para disponer de cámaras de entrada y salida.

Se ubican en zonas inmediatas a las impermeables de manera de recibir aguas limpias en sectores estrechos. Dependiendo del diseño pueden almacenar el volumen total de escurrimiento superficial o evacuar parte de su contenido hacia el sistema de drenaje superficial.

Entre sus ventajas está la facilidad de integración a la estructura urbana ya que son poco visibles y comprometen una franja delgada del suelo. Tienen bajos costos y fácil puesta en marcha. Entre las debilidades están los problemas de pérdida de capacidad en períodos menores a cinco años por retener partículas de finos que van en el agua.

La empresa Ingeniería y Recursos Hidráulicos aplicó este sistema en el mall Alto Las Condes, cuyo sector a pesar de tener varios niveles e incluso estacionamientos subterráneos no ha presentado problemas de inundación. «Lo ideal es aplicar los drenajes en colaboración mixta entre urbanizadores, ingenieros y constructores», explica René Ureta, gerente general de Ingeniería y Recursos Hidráulicos.

Pozos: Son excavaciones normalmente cilíndricas de profundidad variable, pueden estar rellenas o no de material y permiten infiltrar el agua directamente en el suelo en espacios reducidos. Se aplican en zonas en las que el estrato superior es poco permeable, en lugares altamente urbanizados y en superficies impermeabilizadas. Es posible combinarlos con otras alternativas como estanques de retención y zanjas de infiltración.

Requieren de mantención ya que pueden colmarse al retener partículas finas. Otra precaución es el riesgo de contaminación de la napa subterránea.

Materiales y soluciones constructivas

Pero no sólo se trata de diseño, en cuanto a materiales hay algunas aplicaciones interesantes y útiles para el manejo de aguas lluvia.

Pavimentos porosos: Reducen el flujo superficial, logrando disponer de una zona pavimentada permeable. Se componen, de acuerdo con sus estratos, por una subrasante formada por el suelo inalterado, un filtro geotextil y uno granular o membrana impermeable, más una base inferior



Bonifacio Fernández,
departamento de Ingeniería Hidráulica
y Ambiental de la Universidad Católica.

Jonás Figueroa,
arquitecto, urbanista y académico de la
USACH.

de material granular grueso que provee almacenamiento temporal, sobre ésta un filtro granular o base y en la superficie la carpeta de rodado o pavimento poroso que permite la infiltración del agua.

Se emplean en calles de poco tránsito, pasajes, veredas, canchas, y estacionamientos, entre otros. Entre sus ventajas está la capacidad de remover elementos contaminantes como metales, aceite, y grasa. Como experiencia local destaca el departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Católica que a través de un proyecto FONDEF desarrolló pavimentos permeables de hormigón empleados en una instalación piloto de estacionamientos durante más de dos años con muy buenos resultados.

Pavimentos celulares: Son pavimentos cuya carpeta de rodado está formada por bloques perforados de concreto,

con huecos rellenos con arena, maicillo o césped que permiten reducir el flujo superficial proveniente de una tormenta mediante la infiltración a través de su carpeta de rodado. Ésta se compone de bloques con aperturas ya sea en ellos mismos o por la disposición entre bloques y una base inferior que acumula temporalmente el agua infiltrada para percolarla (***) posteriormente al suelo.

De acuerdo a la ubicación de sus estratos están formados por una subrasante de suelo inalterado, un filtro geotextil o granular sobre la base, una capa inferior de material granular grueso, un filtro granular o base y una capa de arena sobre la que se asienta la carpeta de rodado.

Disipadores de energía: Su objetivo es adecuar la conducción del agua a las condiciones del terreno para establecer un lugar en el que se produzca la disipación de energía de manera segura y controlada. Pueden ser elementos de hormigón colocados en la zona de inundación o construcciones tipo escaleras o anfiteatros hundidos en el terreno para disminuir la velocidad de escorrentía. En parques inundables estas estructuras podrían tener usos recreativos mientras el cauce permanezca seco.

Geotextiles: Son utilizados como filtros en reemplazo de arenas u otros elementos. Facilitan una permeabilidad controlada para el paso de agua y partículas en suspensión. En cuanto a su fabricación deben cumplir con características técnicas como ser de polipropileno, no tejido, termounido, y de fibra continua. Pueden instalarse en pavimentos, drenes, zanjas y pozos de infiltración.

Aunque las alternativas de diseño y materiales son abundantes, las aplicaciones recién han tomado fuerza en algunas zonas del país. Los proyectos comprenden la propuesta de un parque fluvial a orillas del Zanjón de la Aguada y el manejo de quebradas en Colina.

(***) Percolar, mover líquido a través de un medio poroso.

PLAN MAESTRO

La ley de Aguas Lluvia 19.525 encargó a los ministerios de Obras Públicas y de Vivienda y Urbanismo la responsabilidad sobre las redes. De esta manera, al MOP le corresponde la planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria de los sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias, y el MINVU cumple la misma labor pero en las redes secundarias.

En este contexto a la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP se le encomendó la elaboración de los planes maestros de las ciudades de más de 50 mil habitantes con un plazo de 5 años. A la fecha el organismo ha desarrollado más de 30 planes favoreciendo a más de 40 localidades.

El Plan Maestro, un estudio hidrológico que determina los puntos vulnerables a la inundación en una zona, cuenta con un diagnóstico de preinversión que orienta soluciones, sin entregar diseños definitivos. «Pretende identificar y caracterizar las inundaciones en las ciuda-

des, realizar un diagnóstico general de la infraestructura, plantear la solución genérica, definir herramientas para el diseño detallado, identificar las obras de la red principal y evaluar el monto de la inversión, entre otros», reseña Pedro Rivera, asesor en recursos hídricos de la Dirección Nacional de Planeamiento del MOP.

En término de costos, la red primaria para Santiago sobrepasa los US\$ 800 millones en los 550 kilómetros necesarios de colectores. «Una suma por sobre nuestro presupuesto de US\$ 11 millones anuales. Por esto en el corto plazo decidimos aprovechar las concesiones viales para incluir los colectores primarios además de invertir US\$ 250 millones en cuatro años en estas obras», señala Luis Aguirre, subdirector de Cauces y Drenajes de Aguas Lluvias del MOP. Como para el resto del país la suma alcanza casi los US\$ 2.000 millones, el MOP decidió modificar la Ley para establecer el financiamiento privado de sistemas de drenaje urbano a través de concesiones.

Zanjón innovador

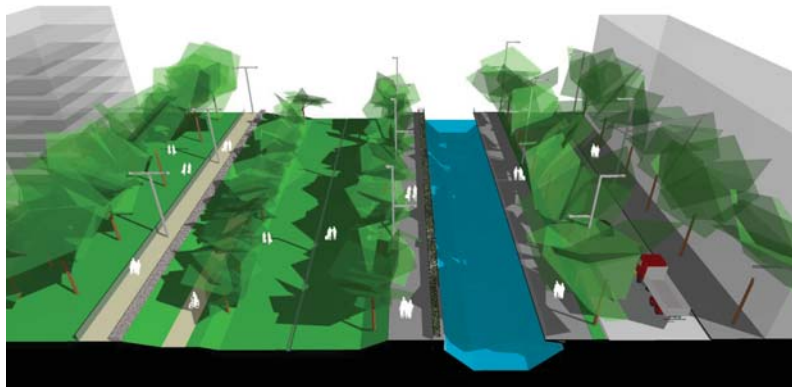
La remodelación del anillo interior metropolitano de Santiago, a cargo del Directorio Ejecutivo de Obras Bicentenario (DEOB) y de los ministerios de Obras Públicas y de Vivienda, apunta a recuperar las zonas en torno al antiguo «cinturón de hierro» de Vicuña Mackenna, incluyendo terrenos obsoletos por el desplazamiento de las industrias como el Parque Forestal, el Parque de los Reyes, la avenida Yungay, el patio trasero de la Estación Central, la Maestranza San Eugenio, y la ex Estación San Diego en el sector de Franklin.

La iniciativa contó con la participación de cuatro universidades que elaboraron un plan maestro para las 280 hectáreas. Entre ellas, el departamento de Servicios Externos de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos de la Universidad Católica (SEREX) junto a un equipo multidisciplinario que desarrolló el 2003 una propuesta para el sector del Zanjón de la Aguada en los sectores ubicados entre Santa Rosa y General Velásquez. «El Zanjón tiene un tramo entubado de más de tres kilómetros entre Carmen y Club Hípico, con una capacidad limitada. Cada vez que hay un evento mayor de lluvias, el excedente corre por la superficie, anegando las áreas aledañas. Ante esto la DOH estaba evaluando alternativas de aumento de capacidad de los ductos, pero ignoraba que pronto el Zanjón conducirá exclusivamente aguas lluvias y que en esto había una tremenda oportunidad de regeneración urbana. La idea era incentivar el desarrollo inmobiliario a partir de la recuperación de espacios públicos, áreas verdes, concesiones, y equipamiento en esta zona completamente estigmatizada», cuenta Pablo Allard, jefe de proyecto y actualmente a cargo del equipo que está diseñando el Plan Maestro de paisaje y prediseño hidráulico para el Parque La Aguada Oriente.

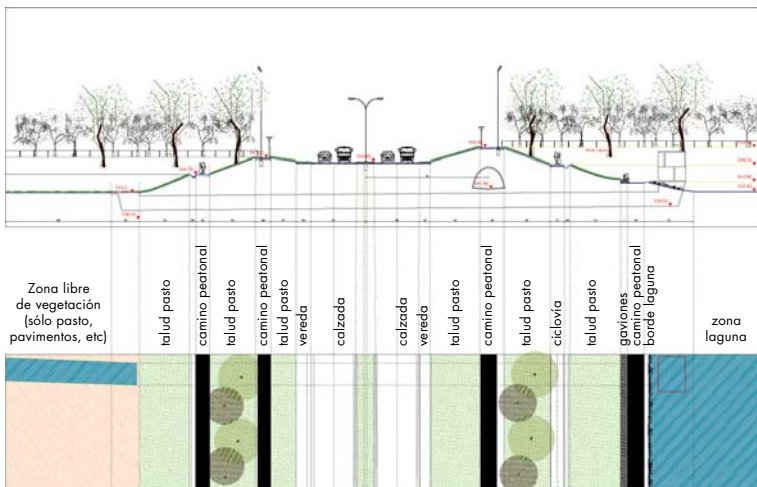
Paralelamente, el plan maestro de aguas lluvia para Santiago, a cargo del MOP, contemplaba evaluar alternativas en este tramo, particularmente en los sectores más dañados por los anegamientos en las comunas de Santiago, San Joaquín, San Miguel, y Pedro Aguirre Cerda. «Nos preguntamos cuál era el sentido de hacer un colector que escondía el agua y se usaba sólo algunos días en invierno. De allí surgió la idea de proponer un parque fluvial asociado a un proyecto hidráulico y de paisajismo para reconstituir la cuenca del zanjón», explica Allard.

Los autores del proyecto Parque La Aguada Oriente lo definen como un «colector verde» que maneja el exceso de agua conduciéndola por el parque a través de pendientes controladas para reducir las velocidades de escurrimiento, sin anegar las áreas aledañas permitiendo el desarrollo de actividades recreativas y culturales en períodos secos. Pablo Allard lo resume como «una zona de depresión en la que se maneja el 100% del caudal, con los debidos anchos, profundidades y revanchas para que las aguas se contengan dentro del perímetro preestablecido».

El sistema incluye disipadores de energía, estanques, y lagunas de retención para bajar los peaks. En cuanto a materiales se priorizan los naturales. Los parques cuentan



Parque La Aguada Oriente, zona de Vicuña Mackenna.



Parque La Aguada Oriente, detalle tramo Las Industrias.

con una vegetación adecuada con arborización de troncos de cierta altura manteniendo sólo algunos árboles en el perímetro húmedo para disponer de pasos despejados y césped con taludes vegetales en lagunas de retención. Hay áreas de pavimentos duros - adoquinados o de radier- y de maicillo, césped, y gramíneas, entre otros elementos.

En cuanto a tramos, entre Vicuña Mackenna y la calle Carmen donde el Zanjón corre abierto, la propuesta implicaba asegurar que el caudal existente continuara por el entubado y separara las aguas lluvia de las servidas, de manera que estas últimas siempre corrieran por el entubado. Cuando la canalización se viera sobrepasada, un parque paralelo tomará el exceso de agua lluvia y la conducirá en forma controlada.

En el sector de San Joaquín se dispuso de una laguna ornamental permanente complementada por estanques, cuyo diseño permite regular su caudal, y retener agua de manera de entregarla controladamente.

Tras las lagunas se ubica el área de la cañada y el Parque San Diego, una pequeña hondonada que corre en paralelo a la avenida Isabel Riquelme. Para alcanzar este sector y cruzar la ribera norte, se propuso entubar un tramo menor arriba del actual entubado del Zanjón para luego emerger con el parque fluvial al poniente de Santa Rosa.

El último tramo, comprendido entre San Diego y el Parque Centenario, también incluye un sector entubado bajo



LA TRADICIÓN SE ALEJA

Dificultades para la realización de obras e incomodidad para los vecinos han marcado la tónica de la construcción de grandes colectores en la ciudad. Pero ante los obstáculos, la innovación se ha hecho presente.

Para compatibilizar el impacto vial y ambiental que producen estas obras se acude a calles alternativas, evitando trabajar en las avenidas principales. «Lo que es igualmente complejo porque se trata de pistas de en promedio 3,5 m y para colectores de grandes secciones se requieren excavaciones de más 4 m de ancho, por lo que habitualmente se ocupa una calzada completa y una parte de la segunda pista. Los efectos son cortar la calle y dejar muy poco espacio para la circulación de maquinaria pesada y camiones requeridos para la instalación de los ductos y rellenos de las zanjas. Es común encontrarse con proyectos que significan instalar cajones de hormigón armado prefabricado o tuberías de cemento comprimido de grandes diámetros», explica Juan Pablo Aylwin, gerente de operaciones y socio de la Constructora Arauco S.A.

Esto ha fomentado las innovaciones en materia de construcción de colectores de grandes diámetros en zonas urbanas, incorporando nuevas tecnologías y materiales. El uso de sistemas de entibaciones metálicas en base a paneles, riostras y puntales metálicos, ha permitido la ejecución de zanjas verticales de hasta 8 m de profundidad, reduciendo los espacios para construir y evitando la modificación de servicios secos (de electricidad y telefonía, entre otros) y húmedos (agua potable y alcantarillado) además de reducir la superficie de reposición de pavimentos, todos costos significativos de la construcción.

Los colectores de acero corrugado galvanizados, de secciones circulares y abovedadas, se conforman en base a pequeñas planchas que se enlazan dentro de las zanjas a través de pernos con dimensiones desde 0.60 m hasta 10 m de diámetro. Su uso ha contribuido a reemplazar los pesados cajones de hormigón y tuberías prefabricadas que exigen maquinarias de gran envergadura para su manipulación e instalación, además de disminuir los tiempos en que las zanjas permanecen abiertas. En zonas urbanas, que presentan gran cantidad de interferencias y las excavaciones sobrepasan los 6 m de profundidad, es conveniente hacer un túnel con acero corrugado que se reviste con hormigón para conformar el colector definitivo. La técnica, conocida como túnel liner, incluye la instalación de diversas planchas de aproximadamente 50 cm de largo, las que se apertan para armar la bóveda. El sistema permite atravesar las avenidas principales sin interrumpir el tránsito, aminorando los impactos viales de este tipo de obras.

(Más información Bit 43, julio 2005).



COLECTOR COLOMBIA. Las bóvedas corrugadas se conforman por pequeñas planchas enlazadas dentro de las zanjas a través de pernos. En esta zona las profundidades son de 7 a 8 metros.

la Autopista Central, para salir nuevamente en un parque en la nueva Ciudad Judicial y entregar finalmente las aguas a la altura de la calle Club Hípico donde el Zanjón corre nuevamente abierto.

El extenso recorrido y la diversidad de aplicaciones del Parque La Aguada suponen costos importantes que se amortizan a través del retorno social y económico producto de las bondades en urbanismo. «Proponemos solucionar el tema hidráulico del sector con una alternativa, que aunque de costo levemente mayor, ya que a las obras civiles se suma la construcción del parque, se compensa plenamente con los beneficios sociales de las nuevas áreas verdes y equipamiento», recalca Allard.

Reserva natural

En las faldas de un cerro se ubica el proyecto inmobiliario La Reserva, ocupando un terreno de 750 hectáreas en el sector de Chicureo en Colina. La zona emplazada junto a las quebradas ON1 y ON2, dispone de un cauce natural para el manejo de aguas lluvia en el sector denominado Pan de Azúcar. «Nos propusimos hacer un proyecto que intervenga lo menos posible los espacios públicos. En este contexto, Bonifacio Fernández del departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Universidad Católica, diseñó un Plan Maestro alternativo para el manejo de quebradas que implicaba controlar los escurrimientos mediante un sistema de retención y control de flujos, con elementos de mejoramiento de los cauces para disminuir las velocidades de las aguas», explica Hernán Briones, gerente de operaciones de Inmobiliaria La Reserva.

La iniciativa, que funciona hace dos años en un tramo de 600 metros, pretende disminuir el impacto de las aguas lluvia fuera del recinto de La Reserva, manejando una quebrada al interior de las áreas verdes, con anchos en promedio de 6 metros y 3 metros de profundidad. «La particularidad del tramo es que se ubica en la parte más baja y plana del predio, lo que permitió desarrollar una solución de tramos escalonados de cauce prácticamente horizontal con caídas de enrocado y disipadores de resalto formados por cuencos (****) compuestos por fondo rocoso de bolones (*****) de un máximo de 10 pulgadas reconsolidados con

(****) Cuenco, de cuenca, recipiente no muy grande de barro u otra materia, hondo y ancho, y sin borde o labio.

(*****) Bolones, ripio de gran tamaño.



PROYECTO LA RESERVA, Colina. Construcción de la quebrada ON2, colocación de emplantillados y material de filtro en cuencos de disipación.

hormigón para evitar los desplazamientos de las rocas», comenta Briones.

El proyecto dispuso de un canal de flujos bajos sin pendientes para disminuir la velocidad del agua. De esta manera el agua ingresa a cuencos de amortiguación, unos 20 en total, ubicados a una distancia de 15 a 20 metros que cumplen el objetivo de retener el caudal de agua. En complemento, el proyecto incorporará en total cinco estanques de regulación ubicados en la parte superior del predio y que a través de emboquillamientos, formados por pretilos de hormigón, proveen una lenta evacuación acorde con la estadística pluviométrica del sector.

El sistema considera formar una circunvalación de área verde del orden de los 5 km para incluir las dos quebradas, una de 2 y otra de 3 kilómetros. La quebrada ON2 que corre por el oriente tiene una mayor área plana, de alrededor de 30 hectáreas, mientras la ON1 no presenta superficies planas llegando directamente a la vía de evacuación de las aguas lluvia.

El recorrido concluye en la parte baja con una gran laguna que elimina las aguas fuera del sector. «Con este sistema anulamos el impacto de nuestras aguas controlando el flujo de salida a través de la regulación de las aperturas de los estanques, y los pasos de agua», señala Briones.

Pero la disminución de los impactos locales no basta. La zona norte de Santiago mantiene pendiente la evacuación final de las aguas del sector, ya que la DOH ha establecido un plan de avance que permite a los proyectos operar con un 5% de su urbanización estableciendo un plazo de 18 meses para entregar una solución definitiva a la evacuación de aguas lluvia en la zona. «Se manejan dos alternativas: El estero Los Patos como eje de evacuación, lo que implica restituir y expropiar en la zona, y la otra disponer de un canal artificial en el eje vial de la Avenida del Valle, que igualmente tendrá que incurrir en costos de expropiaciones», asegura Briones.

Con la evacuación final pendiente, La Reserva trabaja en el manejo de aguas lluvia en el segundo tramo ubicado aguas arriba con menor distancia de recorrido y mayor pendiente. Esperan tener el circuito completo en funcionamiento el 2006.

CAPITAL INUNDABLE

Es claro que la superficie de Santiago no es plana, se asienta sobre una serie de hondonadas naturales provocadas por quebradas como las de Apoquindo, San Ramón y Macul, las que a su vez dieron origen a cuatro cauces transversales importantes (en el sentido oriente-poniente): El Estero Las Cruces, el Mapocho, el Maipo, y el Zanjón de la Aguada, siendo este último el que recibe los mayores aportes.

La zona es históricamente inundable. El valle central se formó por efecto de las aguas lluvia y lo que tradicionalmente era una copa se colmó dando origen a la depresión intermedia. «En muchas ciudades, las inundaciones no se deben a una causa sino a la combinación de varias, además coexisten sectores con distintos problemas», explica Rodrigo Caro, jefe de especialidad de Obras Hidráulicas de CADE IDEPE.

A las condiciones naturales de abundantes aguas, se suma la orientación de las avenidas. «Las calles que van de norte a sur están construidas como terraplenes y actúan como barreras al escurrimiento de las aguas además no hay grandes avenidas en el sentido transversal de la ciudad, salvo la Alameda», asegura Jonás Figueroa, arquitecto y urbanista de la Universidad de Santiago. Así los mayores efectos de las inundaciones se producen en áreas residenciales situadas en el piedemonte cordillerano - como Macul y Peñalolén- y en las vaguadas urbanas - como Pudahuel, Maipú y Lampa. A su vez la composición del terreno en zonas de agua debajo de la ciudad potencia la impermeabilidad.

Red Seca

A juicio del arquitecto, urbanista y académico Jonás Figueroa, las condiciones climáticas de la capital -alto volumen de lluvias concentrado durante algunos meses de invierno- inhabilitan la acción de los colectores subterráneos por el arrastre de material sólido, lo que se ve agravado por la saturación de los suelos. «El problema no es que la ciudad haya aumentado su pavimento sino que por diversas razones sus suelos presentan una limitada capacidad de absorción». En Santiago las aguas fluyen naturalmente hacia occidente, «y lo que podría ser un atributo natural, se transforma en un desastre cuando las urbanizaciones y la vialidad longitudinal impiden el normal escurrimiento», asegura.

Ante esto, el académico de la USACH propone la construcción de una red seca de inundación basada en la restitución de las quebradas naturales en las zonas urbanas y la construcción de un sistema de parques inundables. El sistema lineal de parques discurriría des-

de las quebradas o vertientes de los cordones preandinos, cruzando en sentido transversal la ciudad siguiendo las hondonadas o vaguadas y arrojando una parte de las aguas en los cauces fluviales de occidente y otra en reservorios especialmente habilitados para almacenar agua para usos urbanos. Es posible aplicar la red seca en varias ciudades del país por presentar similares patrones de asentamientos en valles inundables entre montañas.

El parque inundable se define como un parque seco que se instala donde históricamente se han producido inundaciones. Para desarrollar este sistema es necesario expropiar 300 hectáreas de terrenos en Santiago, «lo que cuesta más barato que un sistema de colectores y cumple diversos cometidos urbanos», asegura el arquitecto. (Ver tabla)

Estos parques lineales arborizados en sus bordes y con una hondonada central donde escurre el torrente, también resuelven las demandas de conexión transversal de las comunas perimetrales y se utilizan al menos 300 días al año como áreas verdes y recreativas de vastos sectores urbanos que presentan un alto déficit en esas materias. Figueroa destaca que en el país sólo Antofagasta y Chañaral poseen una red seca para hacer frente a los aluviones que discurren por las quebradas urbanas. (Más información www.urbanismo.8m.com/redsec.htm)

Los detractores de los parques inundables argumentan los altos costos de las obras y la falta de conocimiento de

1. Los números de una inundación de la ciudad: (datos de junio 2001 y mayo 2002)

Población afectada directamente	200.000 personas
Población damnificada	50.000 personas
Viviendas familiares dañadas	28.000 unidades
Pérdidas en viviendas familiares	US\$ 5 millones
Reparación de calles	US\$ 10 millones
Pérdidas totales	(Asexma) US\$ 200 millones
	(CChC) US\$ 40 millones
Ausencia escolar	40
Ausentismo laboral	15 a 50 %
Atrasos laborales	90 %

2. Colectores de aguas lluvia:


Déficit de colectores:	250 kilómetros (2001)
Costo de construcción de colectores	US\$ 1.500 millones (El Mercurio, 2000)
	US\$ 1.140 millones (El Mercurio, 2002)
	US\$ 625 millones (El Mercurio, 2003)

3. Construcción de un parque lineal inundable que cruza la ciudad de este a oeste: *

300 hectáreas de suelo urbano:	US\$ 540 millones
300 hectáreas de parques:	US\$ 37 millones
Total:	US\$ 577 millones

* La Red Seca de Inundación es una idea original de Jonás Figueroa (año 2000).

los usuarios. «No es una solución económica ya que tiene altos costos de operación. Su plus es el aporte urbanístico aunque se deben evaluar los costos de expropiación», comenta Luis Aguirre, subdirector de Cauces y Drenajes de Aguas Lluvias del MOP. «Desde el punto de vista de los usuarios resulta más atractivo un ducto bajo tierra que un canal a la vista sin mantención y que puede usarse incluso como vertedero. Sin embargo, según criterios de Mideplan, los parques inundables presentan una rentabilidad positiva desde el punto de vista social, es decir, evitan daños que son mayores que el hecho de construirlos», señala Luis Estellé, coordinador general de Estudios y Proyectos de Aguas Lluvias del MOP. «Efectivamente los parques inundables deben contemplar algún tipo de mantención. Especialmente después de lluvias intensas hay que considerar el retiro de basuras y escombros que son arrastrados por las crecidas además de reparaciones menores si hay erosiones. Sin embargo, el depósito de sedimentos, tierra y material vegetal sobre los parques se incorpora sin dificultad al terreno», argumenta Bonifacio Fernández.

Colectores, lagunas, pozos, canales y parques. La receta más efectiva parece ser una combinación de estas modalidades en diferentes zonas y en grandes proporciones. Una tarea que exige coordinación entre organismos públicos y privados y montos en inversión no despreciables. 

en síntesis

Las soluciones alternativas para el manejo de aguas lluvia se clasifican de acuerdo con el tratamiento que realizan al caudal en modalidades de almacenamiento, infiltración y la combinación de ambas.

En alternativas de almacenamiento están los estanques de retención, lagunas, y zanjas con vegetación, entre otros. En cuanto a infiltración destacan estanques y pozos. Estas modalidades son incipientes en el país, sin embargo sobresalen el proyecto La Reserva en Colina, el Parque La Aguada Oriente a orillas del Zanjón, y la propuesta de una red seca basada en parques inundables.

www.centroaguasurbanas.cl

Para profundizar este tema recomendamos ver las publicaciones y sitios web incluidos en la página 80.