

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XVII CONGRESO CHILENO DE HIDRÁULICA

PARQUE LA AGUADA

BONIFACIO FERNÁNDEZ L. ¹
LUIS E. ESTELLÉ A. ²
MILO MILLÁN R. ³

RESUMEN

En este trabajo se presenta el “Proyecto Parque La Aguada” que está siendo desarrollado en base a una coordinación entre profesionales del Departamento de Estudios y Proyectos de Aguas Lluvias de la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP (DOH-MOP) y profesionales del Directorio Ejecutivo de Obras Bicentenario del MINVU (DEOB-MINVU), lo cual ha generado una sinergia de los aspectos paisajísticos, urbanos e hidráulicos del proyecto, y constituye una muestra de los beneficios que se obtienen al lograr una adecuada coordinación entre distintos servicios públicos.

Desde el punto de vista específico del tratamiento de los problemas generados por el escurrimiento de las aguas lluvias en las ciudades, este proyecto también introduce una nueva propuesta de solución, basada en el uso compartido del espacio, tanto para encauzar el exceso de escorrentía que llegará al Zanjón de La Aguada, como para su uso como espacio deportivo, de recreación y paisajístico en épocas sin lluvias.

¹ Profesor Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, bfernand@ing.puc.cl

² Coordinador de Estudios y Proyectos de Aguas Lluvias, DOH, MOP, luis.estelle@moptt.gov.cl

³ Ingeniero Depto. Proyectos de Aguas Lluvias, DOH, MOP, milo.millan@moptt.gov.cl

1. INTRODUCCIÓN

El Zanjón de la Aguada es un cauce natural, de 27 Km de longitud y que en su recorrido atraviesa 9 comunas del Gran Santiago, desde el oriente al poniente, para descargar finalmente en el Río Mapocho. Se origina con los aportes de la Quebrada de Macul y en su trayecto recibe las aguas lluvias generadas por una cuenca aportante de 21 comunas del Gran Santiago.

La Ley N°19.525, “Sobre Regularización de los Sistemas de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias”, dictada por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, dio inicio a los estudios y obras tendientes a resolver los problemas de drenaje urbano existentes en Santiago, producidos por las precipitaciones. Debido a que corresponde a uno de los principales cauces evacuadores de aguas lluvias del Gran Santiago junto con esta ley se decidió iniciar los mejoramientos del Zanjón de la Aguada en toda su extensión.

Es por ello, que el Zanjón de la Aguada ha sido ampliado y revestido en casi toda su longitud, quedando en condiciones de recibir y transportar la escorrentía de aguas lluvias con un nivel de seguridad, equivalente a un período de retorno de $T = 100$ años.

Sin embargo, aproximadamente en la mitad de su trayecto, entre las calles Carmen y Club Hípico, existe un tramo de 3.160 m de longitud abovedado, que no ha sido mejorado y acondicionado para este nivel de seguridad, y de no intervenir, se verá sobrepasado para lluvias frecuentes, provocando importantes inundaciones en el área céntrica de la ciudad.

Por lo anterior y considerando que en el corto plazo comenzarán a descargar al Zanjón importantes caudales provenientes de algunos colectores asociados a las concesiones viales (Colombia, La Serena-Las Industrias, etc.) la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) requiere en forma prioritaria realizar las inversiones que permitan dar una adecuada capacidad hidráulica a todo el cauce del Zanjón de La Aguada, incluyendo el tramo abovedado. Paralelamente en 2002 se propuso para la Comisión Bicentenario un proyecto de renovación urbana del corazón de la capital, conocido como Anillo Interior de Santiago, (Garnham, 2005), que incluía el sector del Zanjón de la Aguada entre V. Mackenna y la maestranza de FFCC. Estos hechos se constituyen en el detonante para la ejecución de un proyecto paisajístico para la zona denominado “Parque La Aguada” y para la renovación urbana que se espera gestionar en el entorno de este parque. Un análisis de las alternativas de solución a la ampliación de la bóveda permitió al MOPTT visualizar que con una inversión similar a la que se requeriría para ejecutar una obra hidráulica subterránea, se puede ejecutar una obra de conducción superficial que solucione el problema hidráulico e incorpore parte del paisajismo del parque, el cual sin esta inversión detonante de la DOH, tendría poca factibilidad de ser ejecutado en el corto o mediano plazo.

Varias ciudades del mundo han abordado proyectos similares con un enfoque en que se combinan criterios técnicos y urbanos para lograr obras que son un gran aporte a la ciudad, como es el caso del río Besos en Barcelona, (Martín-Vide, 2003), o en Seúl, Corea (Tai Sik Lee, 2004).

2. ESTUDIOS PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE LA BÓVEDA DEL ZANJÓN

El Zanjón de La Aguada es un cauce de data antiquísima y en su formación han participado, durante muchos años y de manera natural, las aguas lluvias de terrenos que actualmente son parte de numerosas comunas de la ciudad de Santiago. Es el receptor natural de la Quebrada de Macul y atraviesa la ciudad de oriente a poniente con una longitud de 27 kilómetros. Se desarrolla a través de 9 comunas, a saber: La Florida, Macul, San Joaquín, San Miguel, Pedro Aguirre Cerda, Santiago, Estación Central, Cerrillos y Maipú.

Si bien las comunas atravesadas por el Zanjón son solo 9, las que aportan con sus aguas lluvias son 22, recolectando este cauce los escurrimientos de aproximadamente el 40% del área urbana del Gran Santiago, provenientes de las siguientes comunas: La Florida, Peñalolén, Macul, La Reina, Ñuñoa, San Joaquín, San Miguel, Providencia, Santiago, Pedro Aguirre Cerda, La Granja, San Ramón, La Cisterna, Puente Alto, La Pintana, El Bosque, Lo Espejo, Cerrillos, Estación Central, Quinta Normal, Maipú y Pudahuel.

La propia condición topográfica de la ciudad de Santiago permitió que el Zanjón de La Aguada fuera utilizado también como colector de aguas servidas hasta junio de 2004, fecha en que las últimas aguas servidas que llegaban a él fueron derivadas hacia la planta de tratamiento de La Farfana.

La DOH ha estado trabajando en el cauce del Zanjón de la Aguada desde el año 1995. Los proyectos y obras ejecutadas en este curso natural buscan regularizar el cauce y revestir en hormigón sus tramos abiertos de modo de aumentar la capacidad de conducción a caudales correspondientes a lluvias de 100 años de período de retorno.

El estudio ejecutado por la DOH contempló los siguientes aspectos principales:

- Diagnóstico de la bóveda actual y sus posibilidades de mejoramiento.
- Actualización Plan Maestro PM-01 en cuanto a cartografía, catastros y factibilidad de red primaria en el área de estudio.
- Análisis de alternativas de ingeniería básica del mejoramiento y aumento de capacidad para el tramo.
- Análisis de la factibilidad de disminución del caudal entrante a la bóveda mediante obras de almacenamiento.
- Estudio de la llegada de las aguas de las zonas aledañas al Zanjón de la Aguada.
- Identificación de las interferencias.
- Definición de expropiaciones y otros aspectos legales.
- Análisis ambiental de las obras a realizar.
- Evaluación económica de alternativas de solución y selección de la alternativa recomendada.

La Bóveda del Zanjón de La Aguada fue construida en la década del 40 por organismos públicos de la época, con el fin de habilitar nuevos sectores urbanos para la ciudad de Santiago. Toda la obra está construida de hormigón armado con radier adoquinado, tiene una altura libre

(interior) de aproximadamente 4 m, con una longitud de 3.160 m y pendiente suave del orden del 5 a 6 por mil.

Su capacidad actual, considerando su situación de deterioro, corresponde a los siguientes valores:

- Funcionando en Acueducto : $Q = 70 \text{ m}^3/\text{s}$
- Funcionando en Presión: $Q = 88 \text{ m}^3/\text{s}$ (esta alternativa no es recomendable sin una reparación previa de la bóveda).

El diagnóstico estructural e hidráulico de la bóveda existente, arrojó que se encuentra relativamente en buen estado en términos estructurales, requiriendo sólo algunas reparaciones (principalmente en sus revestimientos y enfierraduras) para prolongar su vida útil. Desde el punto de vista hidráulico se determinó una capacidad actual del orden de $70 \text{ m}^3/\text{s}$, la cual podría llegar hasta unos $100 \text{ m}^3/\text{s}$ con mejoramientos.

Luego se desarrolló una modelación de las redes existentes y planificadas en el Plan Maestro, definiendo caudales para distintas situaciones y periodos de retorno hasta 100 años, resultando un caudal de $252 \text{ m}^3/\text{s}$ en la sección de entrada a la bóveda para una situación futura y $T=100$ años. En relación a las alternativas estudiadas para el aumento de la capacidad del tramo abovedado, se estudiaron alternativas de reparación y mejoramiento de las estructuras existentes y ampliación de su capacidad con obras nuevas, entre las que se encuentran las siguientes cuatro:

- Alternativa 1: Reemplazo de la bóveda por una nueva estructura de mayor capacidad de hormigón armado (\$20.600 Millones de pesos).
- Alternativa 2: Reparación bóveda existente y refuerzo con obra paralela enterrada de hormigón armado (\$12.600 Millones de pesos).
- Alternativa 3: Reparación bóveda existente y refuerzo con un túnel urbano funcionando en presión a mayor profundidad (\$13.600 Millones de pesos).
- Alternativa 4: Parque La Aguada. Contempla 3 lagunas de regulación y un canal para conducir superficialmente las aguas a través de un parque inundable, de acuerdo al proyecto del MINVU “Anillo Interior de Santiago” (\$11.000 Millones de pesos). Esta solución incorporó una obra para separar las aguas mezcladas (aguas lluvias y aguas servidas) provenientes de los aliviaderos de tormenta de la red unitaria de Santiago, para conducir las directamente a la bóveda sin pasar por las lagunas de regulación y el parque inundable. Es importante señalar que esta alternativa no evaluó los costos del proyecto paisajístico y las expropiaciones, ni tampoco los beneficios sociales del parque.

2.1 Obras de Reparación de la Bóveda Existente.

Las obras de reparación y/o mejoramiento de la estructura de la bóveda que se consideran más importantes se indican a continuación:

- Retiro del hormigón de la bóveda en proceso de descascamiento o erosionado y su reemplazo por morteros epóxicos y/o de alta resistencia.
- Reparación de los sectores con armadura a la vista.

- Refuerzo de armaduras faltantes o que se encuentren significativamente deterioradas.
- Demolición del murete central a lo largo de toda su longitud, con el objetivo de aumentar la capacidad hidráulica de la bóveda.
- Sellado de descargas no operativas.
- Reparación del mortero de unión entre adoquines.
- Reposición de los adoquines faltantes.

2.2 Mejoramiento de Bóveda Existente

Está destinado a asegurar que para el caudal de diseño no se produzcan desbordes a la entrada de la bóveda, debido al peralte del flujo generado hacia aguas arriba de la entrada por necesidad de alcanzar la energía suficiente para entrar con altura crítica a la Bóveda, las reparaciones contempladas son:

- Mejoramiento del embudo de entrada a la bóveda: Esta actividad requiere previamente a su ejecución la realización de un Modelo Físico-Hidráulico que permita determinar la geometría óptima para maximizar la capacidad de la obra de entrada.
- Reparación del piso del zanjón en el tramo de acceso a la bóveda.
- Mejoramiento del revestimiento interior: considera mejorar el revestimiento al interior de la bóveda, con el fin de aumentar la capacidad hidráulica a 100 m³/s y asegurar un coeficiente de rugosidad de Manning del orden de 0,015. El revestimiento interior de la bóveda elegido es el mortero epóxico de alta resistencia, colocado en forma manual en las paredes y clave de la bóveda. Este revestimiento, resiste sustratos húmedos y es resistente a sulfatos. La superficie total a revestir es de 31.880 m².

3. PROYECTO PARQUE LA AGUADA

Considera para la solución hidráulica del tramo abovedado del Zanjón de La Aguada, la propuesta arquitectónica del Parque La Aguada y ha sido desarrollada en un trabajo coordinado entre profesionales del Departamento de Estudios y Proyectos de Aguas Lluvias de la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP (DOH-MOP) y profesionales del Directorio Ejecutivo de Obras Bicentenario del MINVU (DEOB-MINVU). Este proyecto de parque ha sido propuesto al Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, en el marco del proyecto Bicentenario “Anillo Interior de Santiago”, desarrollado por las Universidades de Chile y Católica, en los tramos del zanjón comprendidos desde Av. Vicuña Mackenna a Av. Santa Rosa y Av. Santa Rosa a Av. General Velásquez respectivamente, (DEOB-MINVU, 2003).

En el contexto urbano, el nuevo Parque La Aguada se constituye en un “espejo” del Parque Forestal respecto al centro de Santiago, ya que éstos parques se ubican en las riberas de los cauces que delimitan el sector céntrico de la ciudad por su costado sur y norte respectivamente. Gracias a esto el Parque La Aguada funcionaría como un enlace entre el centro y las comunas periféricas del sector sur del Gran Santiago.

Esta ubicación privilegiada, permitiría generar un polo de renovación y desarrollo urbano en un sector con gran accesibilidad, conectividad y cercano al centro de la ciudad, lo cual entregaría

además beneficios urbanos relacionados con la disminución de la longitud de los desplazamientos, menor congestión vehicular y otros.

El anteproyecto hidráulico original de la DOH fue modificado en un trabajo conjunto DOH-DEOB para adaptarlo a los espacios públicos disponibles, y de esta forma reducir los costos de expropiación e integrar adecuadamente los aspectos hidráulicos y arquitectónico-paisajísticos.

El conjunto está formado por la bóveda del Zanjón, un parque inundable paralelo y un sistema de regulación para grandes crecidas, los cuales operan en conjunto. Para ello el anteproyecto modificado propone en el tramo comprendido entre Av. Vicuña Mackenna y calle Carmen, la construcción de una laguna y un estanque de retención de aguas en serie para amortiguar los caudales extremos en el Zanjón. El caudal máximo a regular por las lagunas es de 45 m³/s, y funcionarían sólo para crecidas superiores a un período de retorno T=20 años. La laguna tendrá una superficie de 2,1 há, un volumen de almacenamiento máximo de 78.000 m³, y mantendrá un pequeño espejo de agua permanente con fines paisajísticos, mientras que el estanque tendrá una superficie de 4,4 há, un volumen máximo a almacenar de 120.000 m³, y permanecerá seco normalmente, por lo cual el diseño incorpora su uso alternativo como recinto deportivo y recreativo, con elementos tales como canchas de fútbol, tenis, básquetbol y áreas verdes. Ambos elementos de regulación ocuparán sectores del parque limitados por pretilos de tierra con taludes suaves de manera de integrarlos al diseño paisajístico del parque. La alimentación a los elementos de regulación se efectuará por un parque de 700m de largo y 30m de ancho ubicado al sur del Zanjón que nace en un vertedero de crecidas inmediatamente aguas debajo de V. Mackenna.

La solución del parque además proyecta una obra de conducción hidráulica paralela al tramo abovedado desde calle Carmen hasta Club Hípico, superficial en algunos tramos y subterránea en otros, que permite portear el caudal laminado desde las lagunas conjuntamente con el caudal aportado como excedente de la bóveda. Esta obra conducirá un caudal de 110 m³/s para una crecida de T=100 años de período de retorno y presentará un diseño armonioso con el parque. El diseño de los tramos abiertos, contempla diferentes niveles de inundación, para crecidas entre 2 y 100 años de período de retorno y se ha limitado su caudal a velocidades máximas de 2 m/s, para evitar el deterioro de las áreas verdes y por motivos de seguridad. Otro aspecto importante es que el análisis ha verificado las velocidades máximas ante condiciones de vegetación poco desarrollada (rugosidad baja) y ha verificado la capacidad del canal y los niveles de agua ante condiciones de vegetación desarrollada (rugosidad alta), siguiendo recomendaciones para el diseño de este tipo de cauces (UDFCD, 2002).

El primer tramo de conducción paralelo a la bóveda es subterráneo, desde el inicio de la bóveda hacia el poniente, luego de lo cual se abre a un canal abierto, integrado al parque y paralelo a Av. Isabel Riquelme por el lado sur.

Luego se cruza subterráneamente Av. Isabel Riquelme y Av. Santa Rosa hacia el norte, para abrirse nuevamente a un canal abierto entre Av. Santa Rosa y San Diego.

Desde San Diego hasta la Ruta 5, se desarrolla una obra subterránea debido al poco espacio disponible y a que existe un parque consolidado en este sector. La Ruta 5 se proyecta cruzarla en forma subterránea, por medio de una gran obra de arte, de oriente a poniente.

Desde este último punto, el curso de las aguas vuelve a integrarse al parque en canal abierto, hasta volver a entregar las aguas al cauce abierto del Zanjón de La Aguada en su tramo ya mejorado, aguas abajo de calle Club Hípico.

El proyecto contempla diversas obras especiales, tales como vertederos y descargas al Zanjón de La Aguada, obras de cruce de calles, transiciones, gradas y otras. Adicionalmente se ha considerado un muro divisorio en el cauce del Zanjón para evitar la contaminación del parque con aguas servidas provenientes de descargas de las aguas excedentes de la red unitaria en tormentas de gran magnitud.

4. PRINCIPALES BENEFICIOS DEL PROYECTO



Proyecto Integrador y Corredor Ecológico: La existencia de un Parque Longitudinal de más de 4 km de longitud, entre Av. Vicuña Mackenna y Club Hípico, permitirá una continuidad de áreas verdes y espacios públicos, con equipamiento deportivo y recreativo y a los cuales se podrían asociar futuros proyectos inmobiliarios de recuperación urbana en los sectores aledaños.

Aparte de las áreas verdes, existirán diversos ejes que permitirán esta continuidad espacial, tales como un pequeño cauce ornamental con agua permanente, paseos peatonales y ciclovías.

También, este proyecto permitirá integrar distintos espacios públicos dispersos en la zona, así como recintos pertenecientes a organismos públicos que pueden ser parcialmente ocupados por el parque e integrar los proyectos urbanos existentes al proyecto global.

Dentro de los recintos y proyectos que se han considerado, destacan los siguientes:

- **Parque Isabel Riquelme y Futuro Centro Cívico de la Municipalidad de San Joaquín:** En este sector, se ubicarían dos lagunas de regulación de caudal, la primera al oriente y la segunda al poniente de Av. Las Industrias, una de ellas estaría normalmente seca (se inundaría aproximadamente una vez cada 20 años) y por lo tanto tendría equipamiento deportivo y recreativo, mientras que la otra laguna contaría con un espejo de agua permanente con fines paisajísticos.

A un costado de esta laguna permanente, la Municipalidad de San Joaquín está evaluando la posibilidad de construir su nuevo Centro Cívico con un diseño acorde al parque.

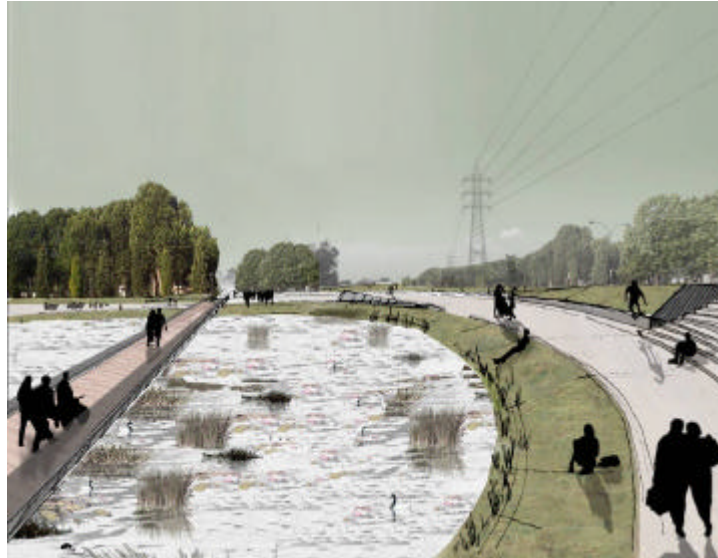


Figura 1: Laguna al Oriente de Av. Las Industrias

- **Ex-estación San Diego:** Aprovechando el gran potencial inmobiliario de estos terrenos de EFE actualmente eriazos, ubicados entre Av. Santa Rosa y San Diego, se espera cambiar el uso de suelo de este sector, para reservar una faja en su costado sur donde se implementaría el proyecto hidráulico y paisajístico, mientras que su costado norte se utilizaría para el desarrollo de proyectos inmobiliarios de altura, similares a lo que ocurre actualmente en la comuna de San Miguel. Existe un acuerdo entre el MINVU y EFE para la gestión de estos terrenos, considerando el parque y los futuros proyectos inmobiliarios.

NUEVOS PROYECTOS INMOBILIARIOS



Figura 2: Tramo Santa Rosa – San Diego

- **Recinto de Gendarmería de Chile:** En los antiguos terrenos del ex-estadio de Famae, que actualmente han sido adquiridos por el Ministerio de Justicia y entregados en comodato a Gendarmería de Chile, se ha planteado ubicar las obras hidráulicas en una faja por su costado norte, paralela a calle Centenario. Esto sería una canalización abierta con revestimiento natural y valor paisajístico que abarcaría un ancho de al menos 30 m, y con la posibilidad de incorporar a futuro los terrenos que actualmente ocupa Gendarmería y que limitan en su costado sur con Av. Isabel Riquelme, ya sea mediante expropiación o gestionando algún acuerdo con el Ministerio de Justicia. Con esto se generaría una faja de parque de grandes dimensiones en el tramo entre Ruta 5 y calle Club Hípico, que podría prestar servicio al gran flujo de personas que se espera en el sector, producto de la existencia de la Ciudad Judicial actualmente en ejecución.



Figura 3: Tramo Ruta 5 – Calle Club Hípico

5.- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES:

La evaluación económica del proyecto completo considera tanto los aspectos relacionados con las obras hidráulicas, como también los aspectos urbanos del Parque La Aguada.

Para valorar los beneficios de las obras hidráulicas del proyecto es posible utilizar la metodología de daño evitado esperado, propuesta por MIDEPLAN. Estimaciones preliminares desarrolladas en el anteproyecto indican que la solución hidráulica sería altamente rentable.

Por otra parte, al incluir los aspectos arquitectónicos, paisajísticos, expropiaciones y otros, el costo total del proyecto se eleva a cerca de \$22.000 Millones, sin embargo, la valoración de los beneficios urbanos del Parque La Aguada, a través de métodos de estimación de beneficios aplicables a áreas verdes, supera el aumento de costos de inversión, por lo cual el proyecto integral continuaría teniendo una alta rentabilidad social.

Adicionalmente, existen una serie de beneficios urbanos asociados a una intervención urbana de esta magnitud que resultan difíciles de evaluar, y por lo tanto deberían aumentar la rentabilidad del proyecto.

En resumen, este proyecto contribuirá a la conformación de una vida urbana más amable en una ciudad que ofrecerá un mejor nivel de habitabilidad y con una, también, mejor protección contra ciertos riesgos naturales como son las crecidas fluviales y las inundaciones por aguas lluvias. Todo lo anterior a través de una obra que combina adecuadamente aspectos paisajísticos y urbanos con aspectos técnicos hidráulicos, constituyéndose en un buen ejemplo de los beneficios que se obtiene cuando se logra una adecuada coordinación entre distintos servicios públicos, en este caso el MINVU y el MOP, para enfrentar proyectos complejos desde una perspectiva multidisciplinaria.

REFERENCIAS

DEOB-MINVU, 2003. Anillo Interior de Santiago, un desafío de gestión urbana estratégica. Gobierno de Chile, MINVU.

Garnham, J.P. 2005. Bicentenario II, Obras en Construcción. Revista Universitaria, 87, 10-21.

Martín-Vide, J.P. 2003. Restauración del Tramo del río Besos en Barcelona. Primer Simposium Regional sobre Hidráulica de Ríos, Buenos Aires, Argentina, Noviembre.

Tai Sik Lee, 2004. Buried Treasure. Civil Engineering, January 2004, Vol. 74, number 1, pp 31-41.

UDFCD, 2002. Urban Storm Drainage Criteria Manual. Denver, Colorado.