

[VOLVER AL ÍNDICE](#)

EFFECTOS DE SISTEMAS DE DRENAJE SUSTENTABLES EN NUEVAS URBANIZACIONES

Guillermo Mena (oguillemena@yahoo.com.ar); Alicia Gamino (aligamino@hotmail.com); Ángel Queizán (ghidraulica@gmail.com); Rubén Fittipaldi (ghidraulica@gmail.com); Diego Amiconi (ghidraulica@gmail.com); Florencia Palmitano (florencia.cpr@gmail.com); Paola Soledad Cedrik (cedrik.ps@gmail.com); Franco Gimenez (gimenez.fl@outlook.com); Lucas Morgante (ghidraulica@gmail.com)

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata (UTN-FRLP) - Arg.

Palabras clave: Sustentabilidad Urbana, Drenajes Pluviales, Impacto Hidrológico, Reservorios de Detención

El ciclo hidrológico está constituido por distintos procesos interrelacionados entre sí. Cuando el hombre actúa sobre este sistema, puede ocasionar alteraciones que provocan impactos significativos en el propio hábitat.

La concentración de poblaciones en pequeñas áreas y el aumento de la periferia de las ciudades de manera descontrolada, sin un adecuado planeamiento urbano, (situación frecuente en Argentina) ocasionan importantes problemas relacionados con la infraestructura, que afectan la calidad de vida de los habitantes y producen serios impactos ambientales.

La impermeabilización del suelo provocada por techos, calles, veredas, etc. modifican la respuesta hidrológica frente a las precipitaciones, y requiere la implementación de medidas que tiendan a un manejo racional de los escurrimientos para evitar las consecuencias negativas de esta situación.

Las medidas estructurales normalmente adoptadas para mitigar estos efectos, consisten en obras de conducción y evacuación de los desagües, que deben ir creciendo en dimensiones acompañando el aumento progresivo de las urbanizaciones. Sin embargo, los costos involucrados en la reformulación de las conducciones resultan ser de magnitudes tales que en muchos casos su ejecución resulta impracticable

En el presente trabajo se propone analizar los efectos de modificar los sistemas de drenaje, incluyendo en cada nuevo predio urbanizado, dispositivos de detención que provoquen que los caudales producidos a la salida del mismo sean del orden de los que había previo al aumento de la impermeabilización provocado por el crecimiento urbano. Esta modalidad de intervención encierra, el concepto de "impacto hidrológico cero", de aplicación creciente en los últimos tiempos constituyendo una forma de contribuir a la mitigación de los problemas de inundaciones urbanas, mejorando la calidad de vida de la sociedad.

El análisis se completa con la modelación comparativa de la respuesta hidrológica sobre una ampliación de zona urbana, mostrándose en forma cuantitativa las ventajas de la implementación de esta estrategia de diseño.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades, con diferentes ritmos, se manifiesta en todas las regiones del planeta (Tucci y Bertoni, 2003), en consonancia con la creciente tendencia que presentan las poblaciones a agruparse en torno a las zonas urbanas, buscando las ventajas que representa contar con una mayor disponibilidad de fuentes de trabajo y una mejor cobertura en servicios de educación, salud y esparcimiento.

El proceso de urbanización, ya sea espontáneo o planificado, genera demandas de infraestructura e introduce, en el medio natural, modificaciones que lo impactan desde diversos aspectos y provocan la continua necesidad de observación, control y mitigación.

Una de las perspectivas desde la que puede analizarse este fenómeno es el de los cambios que se producen en las proporciones de las distintas componentes del ciclo hidrológico.

En un medio rural, una importante proporción del agua originada en las precipitaciones se transforma en agua infiltrada en el subsuelo.

Por su parte, la impermeabilización del suelo producto del crecimiento urbano por la interposición de techos, calles, veredas y patios incrementa el escurrimiento superficial. Además, el mismo crecimiento urbano, es usualmente acompañado por la canalización y encauzamiento de los escurrimientos, aumentándose la cantidad y la velocidad de la escorrentía superficial, generando inundaciones diferentes a las que existían en la etapa previa a la urbanización, desafiando reiteradamente la capacidad de los sistemas de drenaje naturales o artificiales pre-existentes.

Una vez que las regiones metropolitanas dejan de crecer en su núcleo, comienzan a expandirse hacia la periferia, y se suceden y multiplican los problemas ocasionados por el traslado hacia aguas abajo de los excedentes pluviométricos.

A medida que aumenta el escurrimiento superficial provocado por el crecimiento de la población en la cuenca, también crece el pico de los hidrogramas generados por la lluvia, pudiendo alcanzar este crecimiento una proporción equivalente hasta 7 veces el valor de los caudales pico, correspondientes a la misma zona sin urbanización (Urbonas y Stahre, 1993).

Esta problemática, de carácter netamente antrópico, se ve particularmente agravada en el área metropolitana de Buenos Aires y en el Gran La Plata, debido a la variabilidad climática que se viene presentando en los últimos tiempos y a las bajas pendientes regionales en las que se produce.

Resulta impensable detener el proceso de urbanización pero sí, en cambio, cabe plantearse qué tipos de medidas pueden adoptarse para mitigar los perjuicios causados por las inundaciones resultantes.

En este aspecto se pueden adoptar dos tipos de medidas: estructurales y no estructurales (Tucci, 2007).

Las medidas no estructurales buscan la reducción de la vulnerabilidad de la población en riesgo a partir del planeamiento y la gestión llevados a cabo antes, durante y después de la catástrofe.

Las medidas estructurales son obras de ingeniería destinadas a reducir el posible impacto de las inundaciones; las soluciones más extendidas para mitigar los efectos hidrológicos que trae aparejada la urbanización tienden a evacuar rápidamente los escurrimientos pluviales, reemplazando el sistema natural de drenaje por elementos artificiales como calles, cunetas, canalizaciones y conductos colectores. Las obras resultantes, en general de costos altos, dependiendo de la ubicación en la cuenca del sector a drenar, de la etapa del proceso de urbanización en que se decide construirlas, y del mayor o menor alcance en superficie saneada, presentan la particularidad de tener una vida útil asociada no sólo a su mantenimiento, sino también a la evolución en el tiempo del propio proceso de urbanización, que puede tornarlas obsoletas en un muy corto plazo.

A este concepto tradicional de evacuación rápida de los excedentes pluviométricos generados en las zonas urbanas se viene agregando en el mundo, el uso de prácticas destinadas a controlar y manejar de otras formas los escurrimientos ocasionados por los

procesos de urbanización. Al conjunto de las medidas adoptadas en esa dirección se las conoce como “Mejores Prácticas de Administración” (Mays, 2004).

En este marco, se propone intercalar en cada nuevo predio urbanizado, dispositivos de detención que reduzcan los caudales a la salida del mismo, con el fin de llevar dichos caudales a valores del orden de los que había previo al aumento de la impermeabilización, y con un cierto retraso respecto a los que se hubieran producido en la cuenca por el efecto antrópico. Esta modalidad de intervención encierra en su seno, el concepto de “impacto hidrológico cero”, de aplicación creciente en los últimos tiempos (Agra, 2001), (Mays, 2004), (Nicholas, 1995), como una forma ingeniosa de contribuir a la mitigación de los problemas de inundaciones urbanas, mejorando la calidad de vida de la sociedad, de manera que los crecimientos de las urbanizaciones resulten sustentables desde el punto de vista de los caudales generados y de las correspondientes obras de drenaje destinadas a acompañar a ese crecimiento urbano.

El propósito del presente trabajo es analizar los efectos de la implementación de estos reservorios en cada uno de los terrenos que componen el barrio de viviendas que conforman una urbanización dada.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo demostrar que la implementación de medidas de mitigación “en el sitio” (o a nivel lote) de los problemas causados por los escurrimientos de origen pluvial pueden representar una atractiva alternativa para contribuir a crecimientos urbanos sustentables desde el punto de vista de los desagües pluviales.

2.1. Objetivo General:

Validar las ventajas de la implementación de estrategias innovadoras a gran escala destinadas a mitigar los efectos la modificación del uso del suelo provocada por nuevas urbanizaciones y evitar la propagación de los impactos negativos hacia aguas abajo, de un área en detrimento de otras.

2.2. Objetivos Particulares:

- Comparar cualitativamente los efectos de introducir medidas estructurales en la fuente para el manejo de los escurrimientos en una urbanización.
- Generar antecedentes y metodologías de análisis del fenómeno de los escurrimientos pluviales en nuevas urbanizaciones que sirvan de base para la generación de reglamentaciones municipales o provinciales destinadas a una planificación sustentable del territorio.

3. METODOLOGÍA

Con el objetivo de mostrar los efectos de la implementación de reservorios de detención en un barrio de viviendas, que conforma una ampliación planificada de la trama urbana, se realizará una evaluación pre-post de los caudales generados en el punto de evacuación de los escurrimientos del barrio. Para ello se ha desarrollado una metodología que incluye, en primera instancia, un abordaje en cada terreno y luego se extiende su aplicación a un barrio de viviendas que incluyan dispositivos de detención.

3.1. Análisis a nivel terreno:

3.1.1. Elección de la lluvia de diseño

Para adoptar la lluvia de diseño se consideran las curvas I-d-R desarrolladas para la estación de Villa Ortúzar sintetizadas en la ecuación 1, utilizada en proyectos de saneamiento hidráulico admitidos por los organismos de la provincia de Buenos Aires:

$$I = \frac{A}{(d+B)^C} \quad (1)$$

- I= intensidad de la lluvia (mm/h)
- d= duración de la lluvia (min)
- A=1360, B=7,8 y C=0,745 coeficientes para una recurrencia de diez años

Utilizando el Método de los bloques alternos se define el hietograma de diseño correspondiente a 1 hora de duración, elegida para analizar el problema. La lluvia elegida se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 - Lluvia de diseño obtenida mediante el Método de los Bloques Alternos

Tiempo (min)	P (mm)
0 - 3	1,074
3 - 6	1,188
6 - 9	1,333
9 - 12	1,523
12 - 15	1,780
15 - 18	2,147
18 - 21	2,713
21 - 24	3,687
24 - 27	5,690
27 - 30	11,556
30 - 33	7,698
33 - 36	4,483
36 - 39	3,127
39 - 42	2,397
42 - 45	1,946
45 - 48	1,641
48 - 51	1,421
51 - 54	1,256
54 - 57	1,128
57 - 60	1,025

3.1.2. Prediseño de los reservorios a utilizar

Los sistemas de detención a plantear recibirán el agua de lluvia del techo a través del conducto de bajada y tendrán un volumen que permita regular la salida al sistema pluvial a un ritmo menor en función de las características de la descarga a prever. Durante el proceso, el volumen de agua en el reservorio irá variando con el tiempo.

La ecuación diferencial que gobierna el fenómeno puede obtenerse partiendo de la ecuación de continuidad, como indica la ecuación 2:

$$\frac{dV}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t) \quad (2)$$

que representa la variación del volumen V en el tiempo para un reservorio, al cual ingresa un hidrograma de entrada dado por $Q_e=Q_e(t)$ y del cual sale un hidrograma indicado mediante $Q_s=Q_s(t)$.

El hidrograma de entrada Q_e se obtiene considerando una lluvia que incide sobre la superficie impermeable representada por el techo, que una vez colectada por el sistema de desagüe, ingresa al reservorio.

Se considera que la lluvia incide sobre un techo plano, con drenaje hacia el reservorio materializado mediante una cañería vertical de diámetro 100 mm (suficiente para trasladar los caudales resultantes en el techo hacia el reservorio sin ocasionar ningún retardo en este proceso)

De esta forma, el hidrograma utilizado, multiplicado por la superficie del techo, define el hidrograma de entrada $Q_e(t)$ al receptáculo retardador propuesto. El intervalo de simulación es de tres minutos, por lo que se considera que la hipótesis de retardo nulo al escurrimiento en el techo es totalmente aceptable (Pilar y Biain, 1999).

El hidrograma de salida del reservorio se calcula según la ecuación 3:

$$Q_s(h) = C \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gh} \quad (3)$$

- D =diámetro del orificio de salida (m)
- h =altura de agua en el reservorio (m)
- $C=0,61$ (Soares Cruz et al, 1998)

Se modela el comportamiento del reservorio para un diámetro del conducto de salida de 0,035 m, valor que resulta compatible con la evacuación de un reservorio sin elementos que puedan obstruir la salida.

El elemento de detención estudiado (Queizan et al, 2017) tiene forma cilíndrica, con paredes verticales, fondo horizontal y descarga de fondo mediante una cañería de sección circular, como se esquematiza en la figura 1.

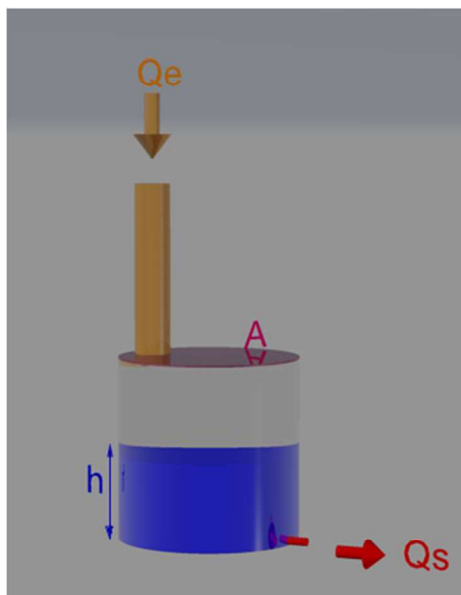


Figura 14. Esquema de Reservorio Cilíndrico

Para este caso, el volumen V puede expresarse según la ecuación 4:

$$V = h.S \quad (4)$$

- S : área transversal del reservorio cilíndrico (m^2)

Dado que la altura h de agua en el reservorio evoluciona con el tiempo, resulta $Q_s(h)=Q_s(t)$, tal como consigna la ecuación 2.

La ecuación 2 es una ecuación diferencial ordinaria, y para obtener su solución se adopta la premisa que el reservorio se encuentra vacío al momento de inicio de la lluvia ($h(0 \text{ seg})=0 \text{ m}$). El fenómeno de la evolución de la altura de agua en el reservorio puede ser estudiado como un problema de valor inicial, el que admite diferentes formas de resolución. Debido a que uno de los datos ($Q_e(t)$) está dado en forma discreta, no es posible aplicar métodos exactos para resolver la ecuación 2. Para el presente trabajo se utiliza una metodología numérica de solución, eligiéndose, dentro de los múltiples métodos de soluciones aproximadas para problemas del valor inicial, el Método de Runge Kutta clásico de 4° Orden, ya que es uno de los más utilizados por aportar un menor error en el cálculo.

Para un techo de 50 m^2 , se ha seleccionado un valor de $S=0,7 \text{ m}^2$, analizándose, para la lluvia de diseño, la altura máxima del reservorio que resulte compatible con la máxima altura h que se obtiene de la modelación matemática, calculándose correspondientemente los volúmenes de reservorio necesario y el efecto atenuador de los caudales pico provocado por la interposición del dispositivo.

La aplicación de la metodología descrita permite obtener un prediseño del reservorio, el que se considera cilíndrico con una altura de 1,30 m y una superficie horizontal de $0,70 \text{ m}^2$, dimensiones que resultan compatibles con la superficie del techo y con la lluvia de diseño elegida

3.2. Análisis a nivel barrio de viviendas:

3.2.1. Elección del barrio de viviendas a analizar

Con el propósito de analizar los efectos de la construcción de dispositivos de detención en múltiples lotes que conforman un barrio, se diseña un amanzanamiento regular compuesto de 12 bloques, en el que cada manzana contiene 16 lotes de 10 m de frente y 20 m de fondo, como el que se muestra en la figura 2, en la que también se han indicado las cotas de esquina adoptadas:

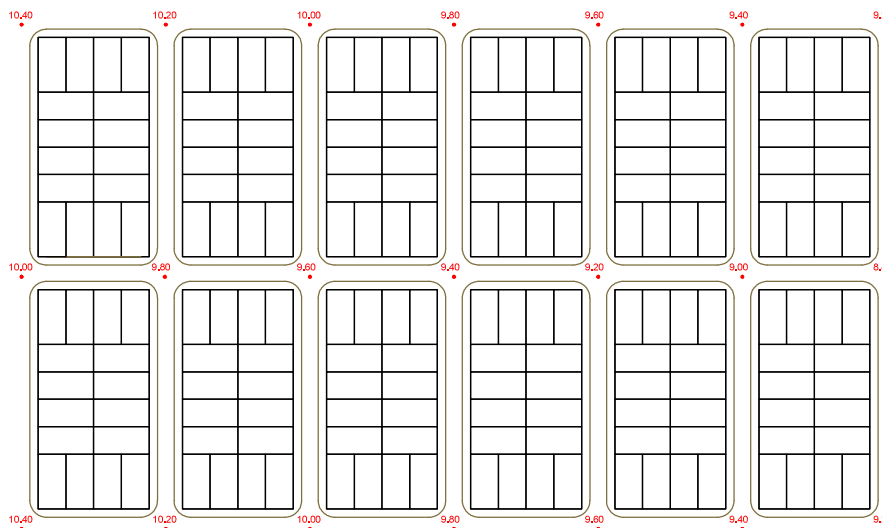


Figura 15 - Planialtimetría del Barrio de Viviendas a Modelar

Desde el punto de vista de los desagües, se ha adoptado una trama regular, simétrica, con escurrimientos hacia la calle central, en la que la topografía lleva los excedentes pluviométricos desde la izquierda de la figura hacia la derecha.

Los escurrimientos superficiales son encauzados mediante obras de cordón cuneta que rodean a cada una de las manzanas propuestas.

Consecuentemente con lo indicado en el apartado destinado al prediseño de los reservorios, en cada lote se considera que la impermeabilización se materializa mediante una vivienda de una sola planta y de 50 m² de superficie.

3.2.2. Escenarios a modelar

El primero de los escenarios a analizar está compuesto por el amanzanamiento mostrado en la figura 2, con la vivienda de 50 m² descrita, ocupando cada uno de los terrenos del barrio, y con un escurrimiento directo desde las bajadas de los techos hacia los cordones-cuneta ubicados en el frente de cada lote.

El segundo de los escenarios incluye el mismo amanzanamiento, con las mismas viviendas, pero con los escurrimientos de cada bajada de techo interceptados por dispositivos de detención cilíndricos apoyados sobre el piso, previo a su desagüe hacia los cordones-cuneta que conforman la primera etapa del sistema público de desagües del barrio.

3.2.3. Modelización

Para realizar la modelización de los dos escenarios descritos, se utiliza el programa Stormwater Management Model (SWMM) de la Agencia de Protección del Medio Ambiente del gobierno federal de Estados Unidos (EPA). Este programa es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular la cantidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos. El SWMM representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una serie de flujos de agua, y cada uno de los componentes del sistema de desagües se modeliza mediante objetos diferenciados. El programa está compuesto por un conjunto de módulos que tienen distintas funciones.

- El módulo de escorrentía de SWMM funciona con una serie de subcuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía.
- El módulo de transporte de SWMM analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores.
- El módulo de calidad permite seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada subcuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la concentración de un compuesto en cada tubería y canal durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo.
- Con el propósito de lograr una simulación detallada del proceso de transformación de lluvias en escorrentías y de los efectos de intercalar en cada lote, y previo a su descarga en el sistema público de desagües, reservorios cilíndricos de detención; los datos en el programa se cargan considerando:
- Que cada terreno de 10 m x 20 m es una subcuenca, en la que, a los efectos de considerar la impermeabilización, se incluyen los datos correspondientes a cada una de las viviendas de 50 m² indicadas.
- Que cada subcuenca descarga en el sistema público de desagües (primer escenario) o en reservorios de detención cilíndricos apoyados sobre el piso, con descarga final al sistema público de desagües (segundo escenario).
- Que cada tramo de cordón cuneta es representado por una canal con sección transversal triangular.
- Que a partir de los puntos en los que los canales representativos de los cordones cuneta son desbordados en su capacidad, el escurrimiento es captado mediante sumideros (representados en el programa mediante vertederos laterales) con descarga hacia conductos circulares enterrados con traza ubicada en el eje de las calles.

- Que en el punto de desagüe de los conductos proyectados el escurrimiento se desarrolla como una descarga libre.

El esquema del barrio modelado en el programa SWMM tiene el aspecto que muestra la figura 3.

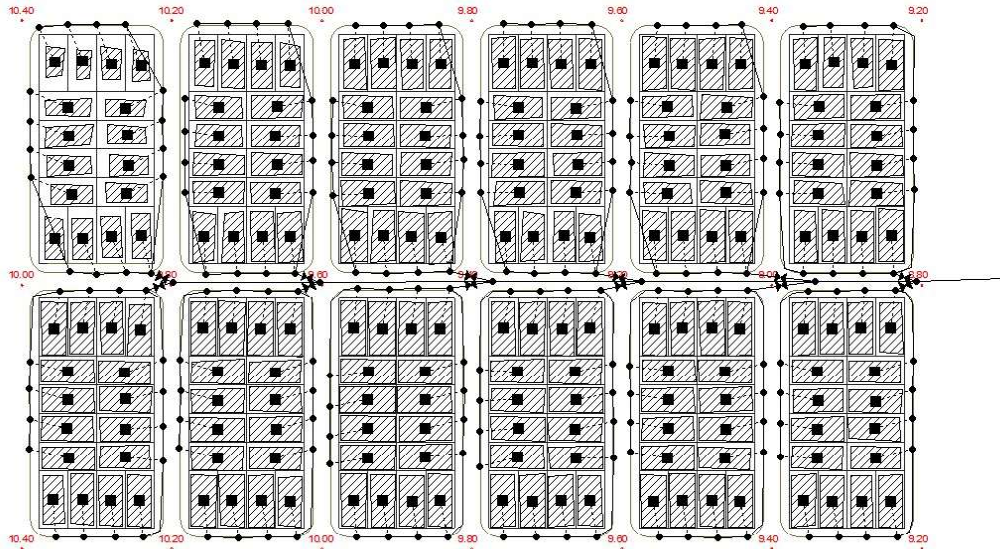


Figura 16. Barrio modelado sin Reservorios

Una vez incorporados los reservorios en cada uno de los terrenos del barrio, el esquema de la modelación de los escurrimientos, es como se muestra en la figura 4:

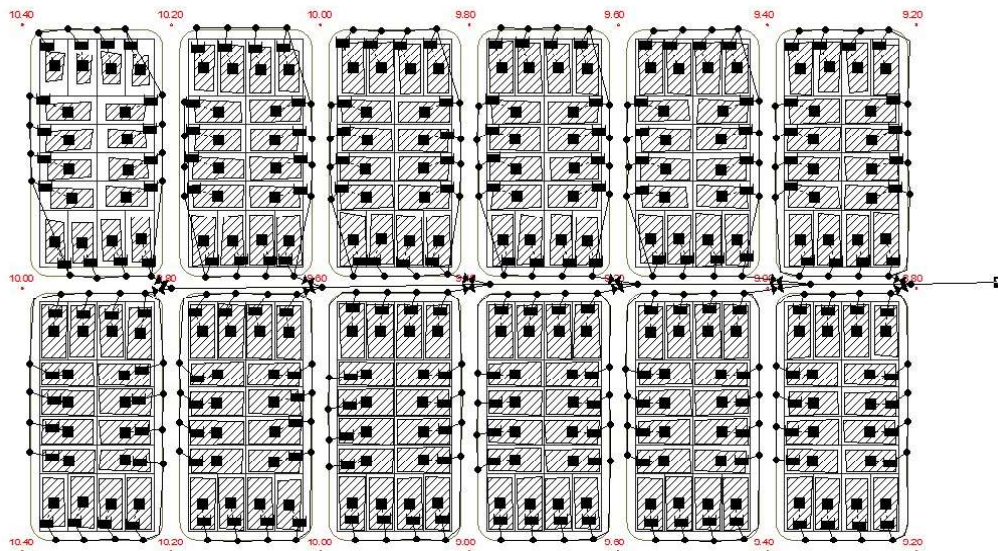


Figura 17. Barrio modelado con Reservorios

4. RESULTADOS

En la figura 5 se muestran los hidrogramas correspondientes al punto de descarga de los conductos para el barrio sin reservorios y para el escenario con reservorios en cada lote.

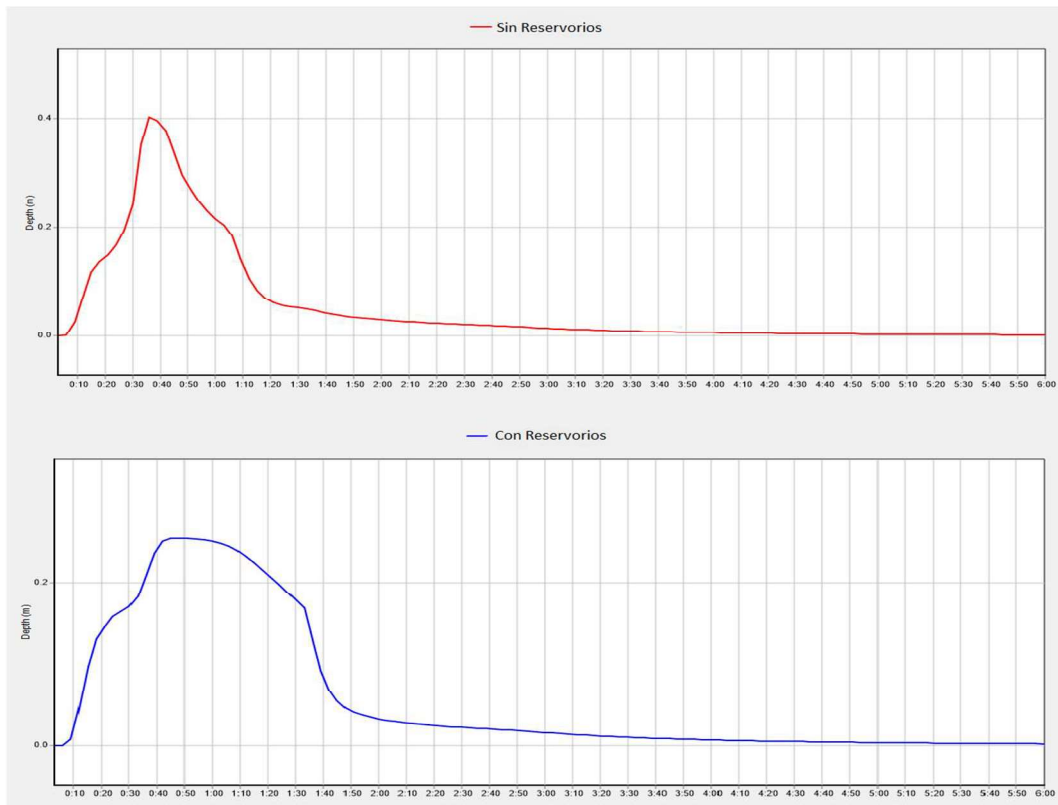


Figura 18 . Hidrogramas resultantes para barrio sin y con reservorios

En la figura 6 se aprecia la superposición de los dos hidrogramas, evidenciándose la atenuación en los picos de los hidrogramas obtenida y el correspondiente retardo.

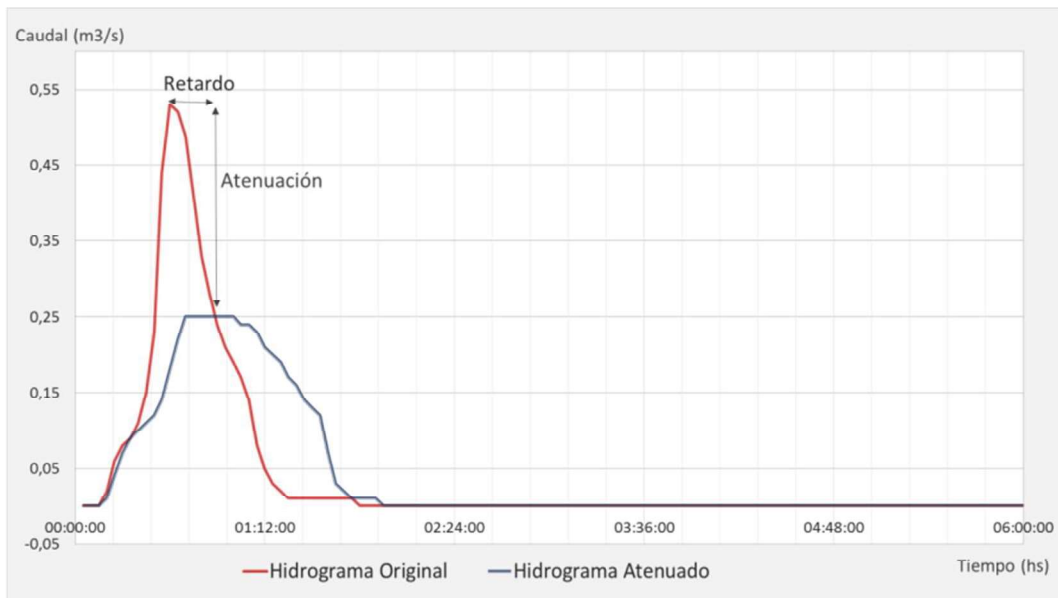


Figura 19. Superposición de hidrogramas

De los valores obtenidos en la modelización se han cuantificado los efectos en los caudales logrados con la interposición de los reservorios, resultando una atenuación del 47 % y un retardo del pico de 18 minutos.

5. DISCUSIÓN

El resultado alcanzado evidencia la conveniencia de utilizar esta forma de tratamiento de los desagües en núcleos urbanos como el analizado y, frente a esa alternativa, cabe preguntarse si resultaría más conveniente plantear un único reservorio, generalmente

enterrado, que atenúe los escurrimientos del barrio en su conjunto. Sin embargo, esta última solución no sólo puede resultar más onerosa, sino que requiere contar con un espacio suficiente para su implantación (no siempre disponible) y sistemas de bombeo ocasionando un costo asociado a los equipos y a su posterior mantenimiento en el tiempo.

Por otro lado, la solución en cada lote individual, se entiende que incentiva el compromiso del propietario del terreno, que por otro lado es quien origina el aumento de la impermeabilización, en contribuir al mejor funcionamiento de las redes públicas de desagüe y eventualmente disminuir las inversiones públicas en el trazado de nuevas conducciones o ampliación de las existentes.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Medidas estructurales como las propuestas, se vienen utilizando en forma creciente en países más desarrollados, y forma incipiente en el nuestro, con el objetivo de propender hacia el propósito de lograr el denominado “impacto hidrológico cero”, contribuyendo al logro de urbanizaciones sostenibles.

En cuanto a las cuestiones económicas, no analizadas en esta instancia, es de esperar que de su aplicación deriven resultados en la misma dirección, es decir en economías en las redes urbanas de desagües.

Una vez evidenciadas las ventajas técnico-ambientales asociadas a la utilización de estos dispositivos a nivel predio, queda manifiesto que el tratamiento de los escurrimiento merece un análisis más profundo dado que no puede desconocerse que, si bien los costos son reducidos con respecto al valor de la vivienda que conforma la nueva urbanización, su implementación requiere inversiones no previstas y resignar un espacio dentro del predio.

Teniendo presentes estas consideraciones, resulta necesario concientizar a los usuarios sobre los alcances y beneficios de los reservorios propuestos y, al mismo tiempo, desde la órbita institucional o pública, debe complementarse con reglamentaciones que regulen e incentiven su implementación, ya sea mediante controles o beneficios en las tasas e impuestos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agra, S. (2001). *Estudo experimental para microrreservatórios para controle do escoamento superficial. Brasil*
- Leopold, L. (1968). *Hydrology for urban land planning - a guidebook on hydrologic effects on urban land use. Geological Service (U.S.A.). Estados Unidos de Norteamérica.*
- Mays, I, (2004). *Urban stormwater management tools. Estados Unidos de Norteamérica. Mc Graw – Hill.*
- Nicholas, D (1995) *On-site stormwater detention: improved implementation techniques for runoff quantity and quality management in Sidney, Australia.*
- Pilar, J ; Biain (1999) *Estudio de la viabilidad técnica de la implantación de retardadores de escurrimiento pluvial en lotes urbanos. Argentina.*
- Queizán, A et al (2017) *Dispositivos de Detención a Nivel Predio para mejorar Sistemas de Desagües Pluviales Urbanos. Argentina.*
- Secchi, A.; Mazzón, R (2000) *Nuevas tecnologías para contribuir a la solución de inundaciones en grandes ciudades”, Instituto Nacional del Agua, Centro Regional Litoral. Argentina.*
- Soares Cruz; Tucci, C; Da Silveira, (1998) *Controle do Escoamento com Lotes de Detenção em Lotes Urbanos. Brasil.*
- Tucci, C; Bertoni, J (2003) *Inundações Urbanas na América do Sul. Brasil. Associação Brasileira de Recursos Hídricos*

-
- *Tucci, C. (2007) Gestión de Inundaciones Urbanas. Brasil. Editora Evangraf Ltda.*
 - *Urbonas B, Stahre, P (1993) Stormwater Best Management Practices and Detention for Water Quality Drainage. Estados Unidos de Norteamérica.*