

Técnicas de impacto hidrológico cero a nivel predial

Ruberto, Alejandro R.^a, (aleruerto44@yahoo.com.ar)

Mendoza, Renato^b, <https://orcid.org/0000-0002-7673-8939>, ()

Wojicki, Oscar^b

^{a1} Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigación del Dpto. de Hidráulica. Resistencia, Chaco, Argentina.

^b Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ingeniería. Resistencia, Chaco, Argentina.

Resumen

Se aborda el proyecto de un barrio en la ciudad de Corrientes de alta densidad poblacional actual.

Para mitigarlo se buscó la solución mediante Sistemas de Drenajes Urbanos Sostenibles (SUDS) a nivel de lote.

Se adoptó una lluvia de diseño de cinco años con curvas IDF de Resistencia, Chaco, definiendo el hietograma con el método de bloques alternos y convertido en caudal se obtuvo el hidrograma de entrada.

Se propuso retardar los excesos con tanques de almacenamiento de cuatro medidas, comparando el caudal pico, tiempo de retardo, volumen retenido y amortización del costo del retardador, con la alícuota del impuesto inmobiliario municipal para cada medida, eligiendo finalmente la óptima.

Se realizó un análisis de sensibilidad para distintos porcentajes de instalación de retardadores en viviendas: 25% hasta 100%; para capacidades de 850 a 2.750 litros, obteniendo disminución del caudal pico entre 26% a 56%, con retardos de 1'56'' a 8'36'' y amortización entre 11 a 17 meses.

La solución con tanques de almacenamiento de agua se presenta como una opción económica, rápida y eficiente para reducir el impacto hidrológico de superficies impermeables sobre el sistema mayor de desagües pluviales, resultando importante que mayor porcentaje poblacional los utilice para mayor eficiencia.

Palabras Clave – Impacto hidrológico cero, retardadores en el lote, hidrología urbana.

Abstract

This project's scope includes a neighborhood in the city of Corrientes which has a current high population density.

In order to mitigate the hydrological impact, a solution was sought through Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) at a lot level.

A five-year rainfall design with IDF curves from Resistencia, Chaco was adopted in order to determine the hietograph, and with an alternating block method and converting it into volume, the hietograph input was obtained.

The objective of delaying any excess was achieved with storage tanks of four different sizes. The peak volume, delay time, retaining volume and amortization of the cost of the retarder were compared with the municipal real estate tax rate for each tank size, finally choosing the best option.

A sensitivity analysis was performed for different percentages of installation of retarders in dwellings: 25% up to 100%; for capacities of 221 to 715 gallons, a reduction of the peak volume between 26% and 56%, with delays of 1' 56" to 8' 36" and amortization between 11 and 17 months was obtained.

The solution with water storage tanks appeared to be an economical, quick and efficient option in order to reduce the hydrologic impact of impervious surfaces on the major system of pluvial drainages; therefore, it is important that a higher percentage of the population utilize them for better efficiency.

Keywords - retarders in a lot, urban hydrology, zero hydrological impact.

1. Introducción

El análisis de caso se sitúa en la ciudad de Corrientes, de la provincia homónima e hidrográficamente próximo a la confluencia de los ríos Paraná y Paraguay, más precisamente aguas abajo de la misma y sobre margen izquierda del río Paraná (fig. 1 y 2).

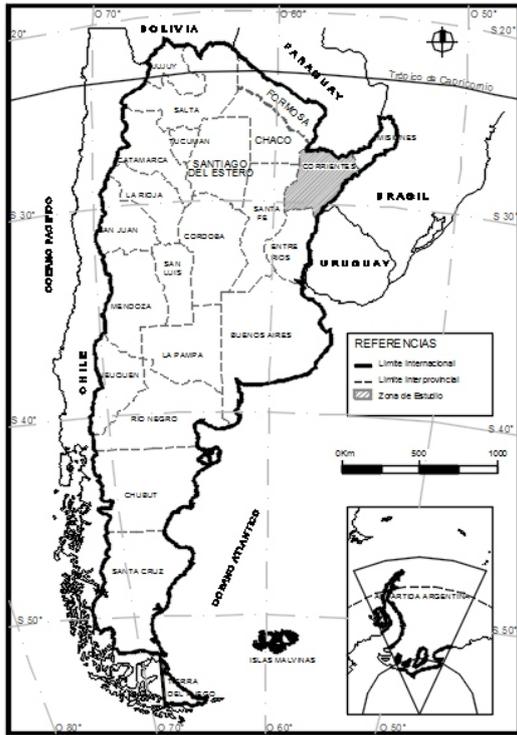


Fig. 1. Localización de la provincia de Corrientes (fuente: elaboración propia).



Fig. 2. Corrientes y su hidrografía (fuente: elaboración propia).

El centro de la ciudad posee un sistema de macrodrenaje que tiene la singularidad de acometer hacia el río Paraná en forma radial, particularmente por cómo se ha urbanizado el territorio y el barrio que se estudia, denominado Ex Aeroclub y que se ubica en la cuenca del arroyo Limita (ver fig. 3):

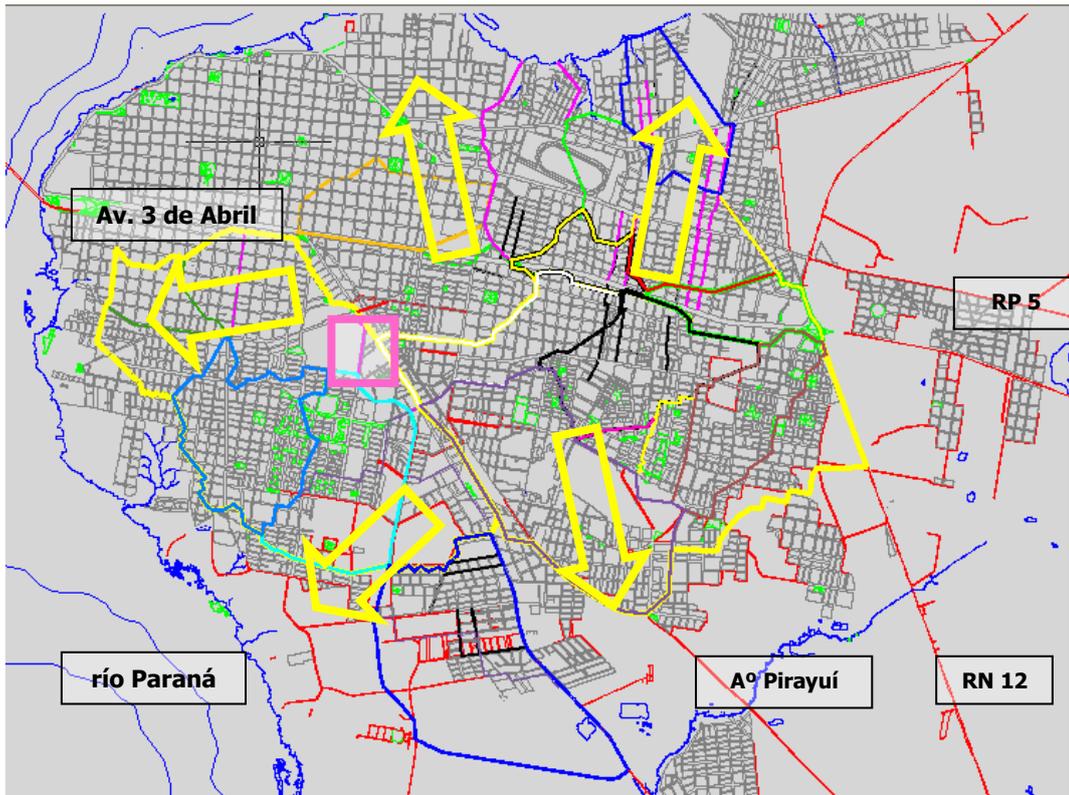


Figura 3. Catastro, división de subcuencas, identificación del barrio y dirección de las pendientes de la ciudad de Corrientes (Fuente: elaboración propia).

El proyecto consiste en un barrio de la ciudad de Corrientes de 25ha de superficie y con hasta 533 unidades habitacionales iguales a proponer; en una zona que actualmente se encuentra rodeada por distritos urbanos de alta densidad poblacional y cercana al casco céntrico. Consiste en introducir un nuevo distrito de uso residencial e incorporarlo al sistema de desagües pluviales urbanos actual, siendo que el mismo se encuentra saturado con el grado de urbanización hoy existente.

Para ello se pretende que la inserción del barrio tenga impacto hidrológico cero utilizando los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) (Contardi, F. et al., 2.014).

El objeto fue la inserción del barrio que tenga impacto hidrológico cero utilizando los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS).

Con el trabajo desarrollado se busca dar a conocer, informar, desarrollar y poner en práctica el uso de técnicas orientadas al drenaje urbano sostenible el cual consiste en la aplicación de tanques retardadores a nivel de lote, de manera que el agua de lluvia sea captada dentro del domicilio y que una parte de ella sea almacenada y otra entregada al sistema de drenaje, diferida en el tiempo.

La ciudad de Corrientes tiene como ejido 522km² de superficie (fig. 4) con poco más de 10% de densa a muy densamente urbanizado y se ubica al noroeste de la provincia, limitando al norte y al oeste con la provincia del Chaco, al este con los departamentos de San Cosme y San Luis del Palmar y al sur con el departamento Empedrado.

Una de las características de la ciudad es que conserva el trazado de estilo español, con calles angostas y cuenta con 125 barrios.

Según el censo poblacional de 2.010, el departamento Capital tenía población de 356.314 habitantes (184.853 mujeres y 171.461 varones) lo cual arroja elevada densidad poblacional, particularmente en el centro de la ciudad.

El relieve medio de la ciudad está constituido de ondulaciones que la recorren, con altitud promedio de 56msnm, estando la costa caracterizada por barrancos y grandes formaciones de bancos de arenas.



Figura 4. Ubicación geográfica del área dentro de la ciudad de Corrientes (Fuente: elaboración propia).

En más detalle se observa (fig. 5, en rojo) el barrio Ex Aero Club y sus alrededores densamente urbanizados.



Figura 5. Ubicación del área destinada al barrio dentro de la ciudad de Corrientes (Fuente: elaboración propia).

Antecedentes

En el año 2.000 Alejandro Pilar y Biaín, han considerado el uso de retardadores aplicado a viviendas residenciales, buscando y analizando la eficiencia de un mecanismo hidráulico llamado retardador, que cumple la función de atenuar el escurrimiento generado por una cubierta plana y/o techo inclinado, característico de Resistencia, Chaco e interponiendo una tormenta crítica. Para ello antepusieron un retardador para un hietograma como los de las Figuras 6 y 7.

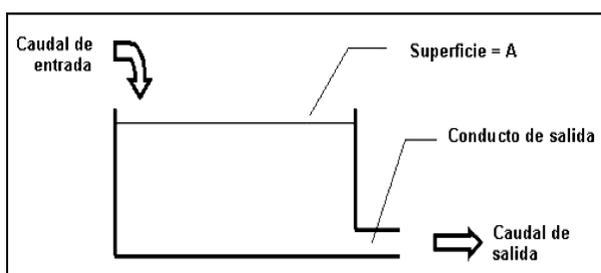


Figura 6. Esquema del retardador analizado

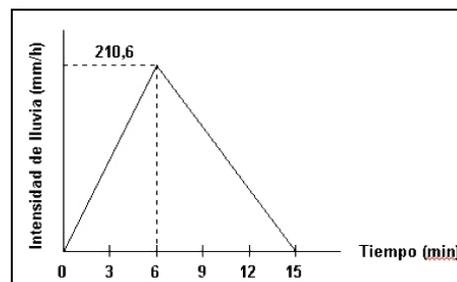


Figura 7. Hietograma crítico utilizado

Los autores han simulado el funcionamiento de un dispositivo aplicando un dispositivo prismático, de planta rectangular y salida con un caño de menor diámetro aplicando el modelo de conservación de masa (Chow, Maidment & Mays, 1994; Tucci, 1998) según:

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(H, t) \tag{1}$$

donde “S” es el almacenamiento; “t” tiempo; “I (t)” caudal de entrada, función del tiempo y “Q (H, t)” caudal de salida, función de la carga hidráulica “H” y del tiempo.

Reemplazando la variación del almacenamiento $dS = A \times dH$, siendo “A” el área de la sección horizontal del retardador, (1) puede ser expresada según:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{I(t) - Q(H, t)}{A} \tag{2}$$

Los mismos autores resolvieron la ecuación diferencial (2) iterando, para lo cual utilizaron el método de Runge – Kutta de tercer orden (Chow, Maidment & Mays, 1994) y para obtener el caudal de salida para cada intervalo se aplicó la ecuación de descarga por orificio con salida libre.

Gutiérrez y Cundom (2.000), indagaron el uso de patios de viviendas, impermeables, funcionando como retardadores y que funcionen a nivel inferior al de vereda.

Estudiaron cómo funcionarían en una vivienda tipo FONAVI de 100m² de superficie cubierta, considerando el patio totalmente impermeabilizado; siendo el tamaño del lote en análisis de 10m de frente por 20m de fondo y considerando que el patio funcione como reservorio.

La metodología fue la misma que Pilar y Biaín e interpusieron caños de 1” y 1,50” de diámetro a la salida, resultando:

Tabla 1. Síntesis de los resultados del trabajo de Cundom & Gutiérrez

Diámetro de salida (mm)	Retardo del pico del hidrograma (min)	Reducción del pico del hidrograma (%)	Altura máxima (cm)	Tiempo de permanencia (min)
25	9	92,3	5,1	233
38	8	83,4	5	85

La utilidad del trabajo resulta en que es posible la atenuación a nivel de lote, si se tolera la salida controlada, alcanzando sólo 5cm de altura en el patio de la vivienda, aunque con tiempo de permanencia algo elevado para la sobrellevarlo “intradomicilio”, analizado con la premisa de “impacto hidrológico cero” de los SUDS.

2. Materiales y Métodos

El tipo de SUDS utilizado en el caso que se estudia son tanques de almacenamiento de aguas de lluvia que ofician como retardadores a nivel de lote, al cual se aplica una lluvia de diseño obtenida a partir de curvas IDF de la ciudad de Resistencia, Chaco y así obtener el caudal pico de salida del lote hacia el sistema mayor, su tiempo de retardo y el volumen retenido, siendo que en el lote trabaja el SUDS y comparar con la situación del lote sin el tanque de almacenamiento y amortiguamiento de aguas de lluvia. Esto se realizó para cuatro medidas comerciales de tanque y finalmente se eligió la que se consideró óptima.

Para aplicar estos sistemas se tomó el criterio de impermeabilización máxima del suelo permitida por el código de planeamiento urbano de la ciudad de Corrientes, dado por el factor de ocupación de suelo (FOS) para un lote tipo y consiste en que la impermeabilización máxima del suelo permitida se tomará a 60% de cada lote como impermeable y 40% como permeable, respetando la zona del barrio que fue destinada a espacios verdes.

También se analizó la posibilidad, como sensibilidad, de que distintos porcentajes de población del barrio decidan la colocación y uso de los retardadores.

Como corolario se estudió la forma de amortizar el gasto que generaría la instalación del retardador al propietario del lote analizado con el valor de la alícuota del impuesto inmobiliario.

Lluvia de diseño

Se obtuvo a partir de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) del Área Metropolitana del Gran Resistencia, Chaco (figura 8) siendo que las mismas son resultado de la representación gráfica de:

$$i [mm/h] = A / (B + d)^c \quad (3)$$

Donde:

-A, B y C son parámetros de ajuste de la función que se obtienen de tabla 2 en función del tiempo de recurrencia adoptado.

- d (min) = duración del evento igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Tabla 2. Parámetros de ajuste

Tiempo de retorno	Parámetros obtenidos		
	A	B	C
2 años	740	8,1	0,63299
5 años	1.201,5	11,1	0,684
10 años	1.648,5	16	0,716
25 años	2.300	24,5	0,745
50 años	2.135	24	0,711

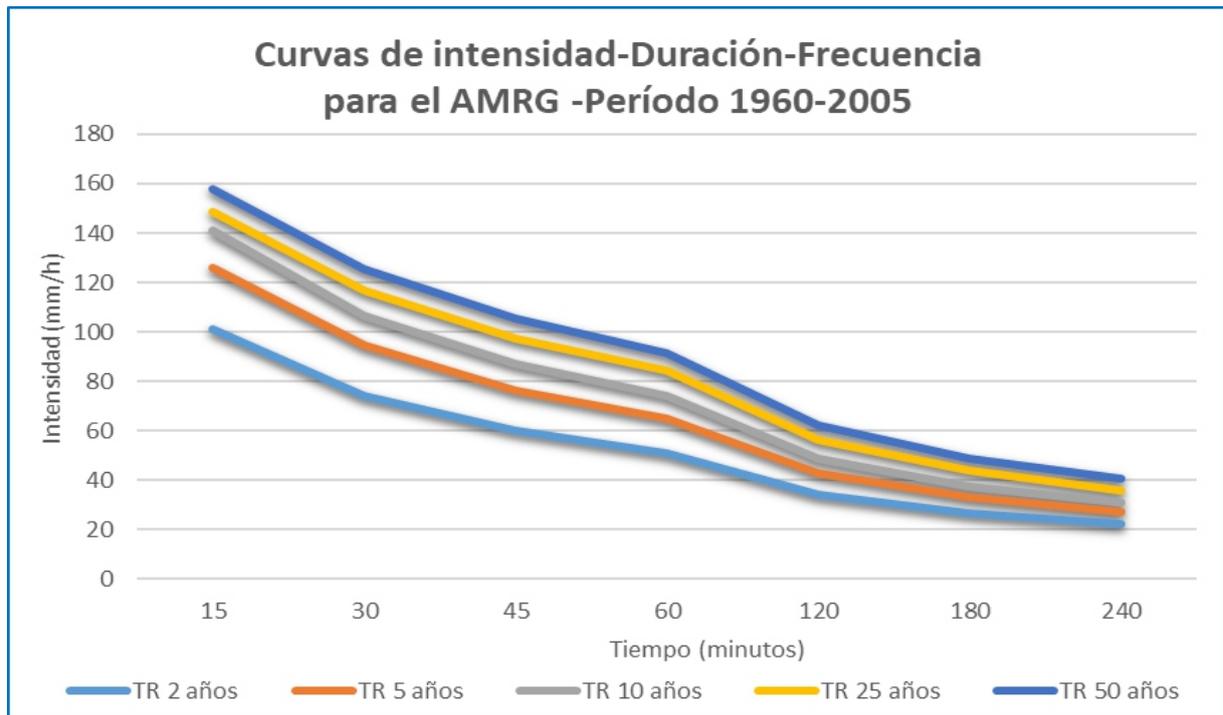


Fig. 8. Curvas de intensidad-duración-frecuencia del Área Metropolitana del Gran Resistencia (fuente: Pilar et al., Congreso Nacional del Agua, 2007, Tucumán).

Hietograma de diseño

Para la distribución temporal del hietograma de diseño se utilizaron las curvas IDF colocando las alturas de lluvias con su máximo valor al minuto de la tormenta, esto se debe al bajo tiempo de concentración de los techos en análisis.

El hietograma de diseño generado, especifica la lámina de lluvia que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración dt respecto de una duración total $D = n \cdot DT$.

Fue adoptado el tiempo de recurrencia de 5 años para el diseño, acorde para los sistemas menores de drenaje urbano y se determinó la intensidad para cada una de las duraciones parciales calculadas; luego se realizaron las diferencias entre los valores acumulados consecutivos de lámina de lluvia y se obtuvo la cantidad de lluvia en cada intervalo de tiempo.

Se presenta el hietograma e hidrograma adoptado para una lluvia de duración de diez minutos (figuras 9 y 10), tiempo de concentración para la vivienda tipo adoptada y la tabla con el cálculo del hietograma e hidrograma de aporte (tabla 3) de cada lote hacia el sistema mayor.

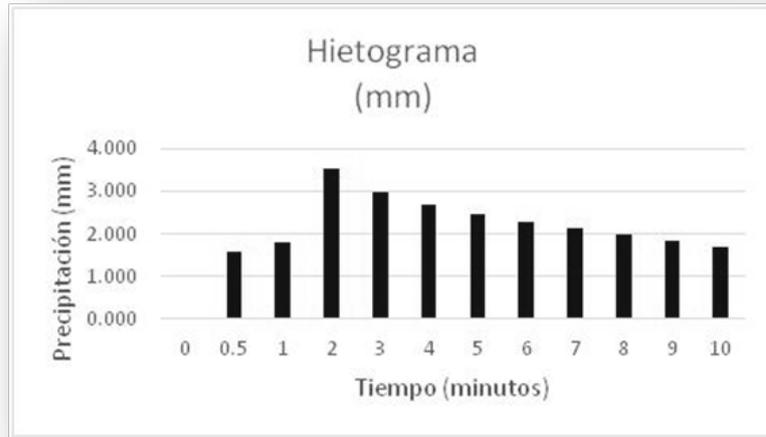


Fig. 9. Hietograma de precipitación.

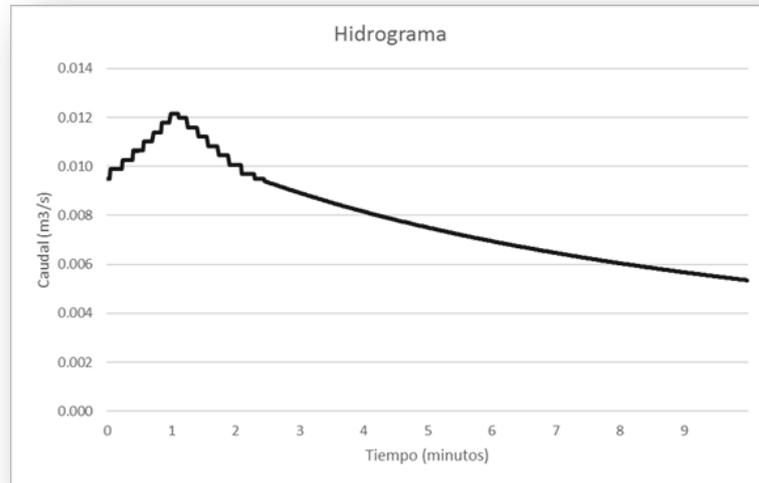


Fig. 10. Hidrograma de entrada.

Tabla 3. Hietograma e hidrograma de aporte de cada lote.

Paso de tiempo		Duración 10 min						
Minutos	Horas	I (mm/h)	Profundidad acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)	Hietograma (mm)	Volumen (m³)	Volumen acumulado (m³)	Q (m³/s)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	0,008	224,716	1,873	0,061	1,598	0,304	0,304	0,011
1	0,017	218,323	3,639	0,057	1,786	0,339	0,643	0,012
2	0,033	206,781	6,893	0,051	3,531	0,671	1,314	0,010
3	0,050	196,634	9,832	0,047	2,971	0,565	1,878	0,009
4	0,067	187,631	12,509	0,043	2,693	0,512	2,390	0,008
5	0,083	179,579	14,965	0,039	2,470	0,469	2,859	0,008

6	0,100	172,327	17,233	0,036	2,280	0,433	3,292	0,007
7	0,117	165,757	19,338	0,034	2,116	0,402	3,694	0,006
8	0,133	159,771	21,303	0,032	1,973	0,375	4,069	0,006
9	0,150	154,290	23,143	0,030	1,849	0,351	4,397	0,006
10	0,167	149,250	24,875	0,028	1,709	0,325	4,751	0,005

Los sistemas retardadores de los lotes presentan un volumen variable relacionado directamente con la superficie de cubierta o superficie impermeable total de cada uno; en este trabajo se tomó un lote promedio de 333,33m² que, aplicando el FOS, da una superficie impermeable de 200m².

Asumiendo así que será necesaria la implementación de tanques con sus correspondientes dispositivos complementarios, para que funcionen como retardadores en cada vivienda.

En la figura 11 se muestra el sistema retardador adoptado y estudiado, compuesto por un tanque tricapa con filtro para tierra y sedimentos, con la salida a la calle, proponiendo que el caño de salida esté ubicado a 70% de la altura y con salida a la red doméstica para poder utilizar el agua almacenada en el mismo.



Fig. 11. Tanque retardador.

Para la elección del volumen del tanque se propusieron cuatro prototipos de distintos volúmenes, adoptando las capacidades comerciales de 850, 1.100, 1.500 y 2.750 litros.

A cada uno se hizo ingresar el hidrograma de entrada adoptado y se evaluó lo siguiente: reducción del caudal pico (tabla 4), el tiempo de retardo del caudal máximo (tabla 5), el volumen retenido (tabla 6), dimensiones (tabla 7), costo y amortización del mismo (tabla 8). Y en las figuras 12, 13, 14 y 15 se representan los hidrogramas de entrada y salida para cada tipo de tanque.

Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 4. Caudal pico de salida.

Tanque (L)	850	1.100	1.500	2.750
Qp entrada(L/s)	12,16	12,16	12,16	12,16
Qp salida(L/s)	8,97	8,51	7,97	5,30
Reducción (%)	26,20	30,02	34,48	56,39

Tabla 5. Tiempo de retardo caudal pico de salida.

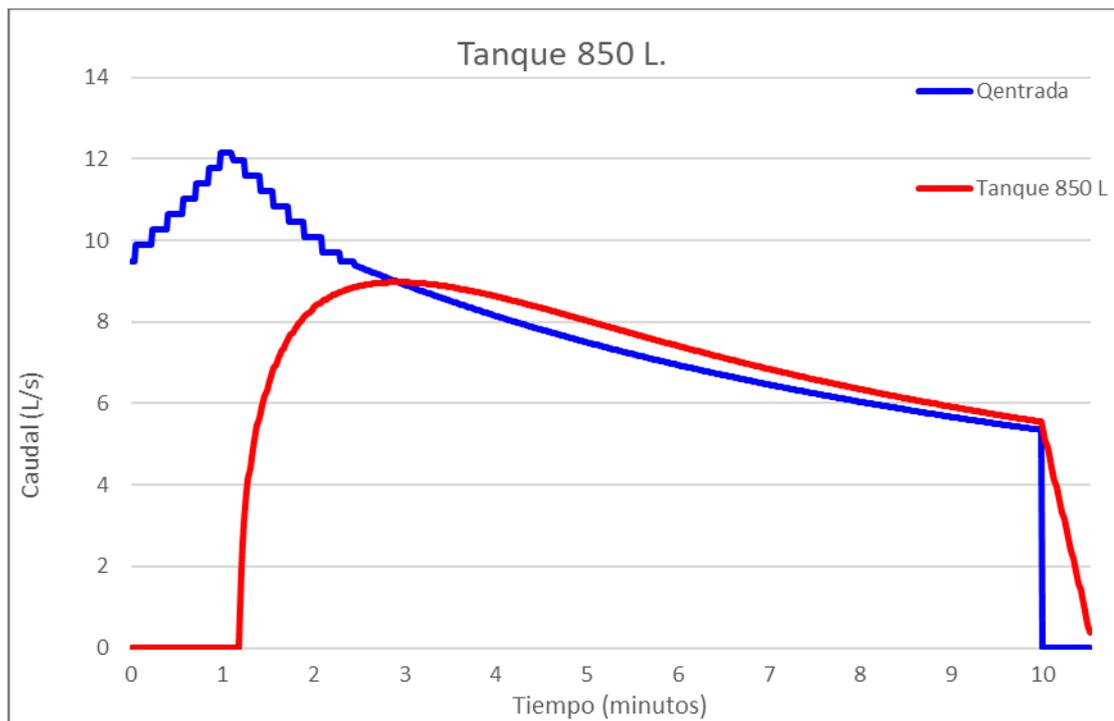
Tanque (L)	850	1.100	1.500	2.750
Tiempo retardo (min)	1'56''	2'38''	3'17''	8'36''

Tabla 6. Volumen retenido.

Tanque (L)	850	1.100	1.500	2.750
Volumen (L)	788	957	1.270	2.226

Tabla 7. Dimensiones de los tanques.

Tanque (L)	850	1.100	1.500	2.750
Altura (m)	1,18	1,44	2,03	1,80
Diámetro (m)	1,10	1,10	1,06	1,50

**Fig. 12.** Caudal de entrada y caudal de salida para 850 litros.

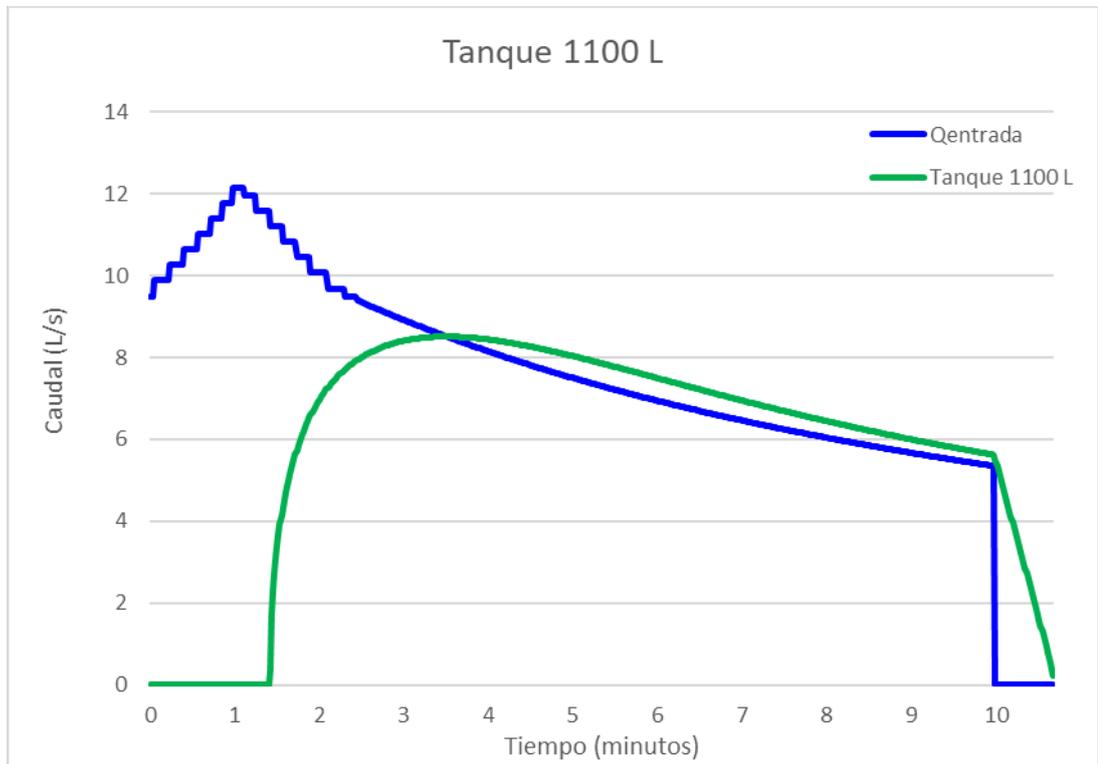


Fig. 13. Caudal de entrada versus caudal de salida para 1.100 litros.

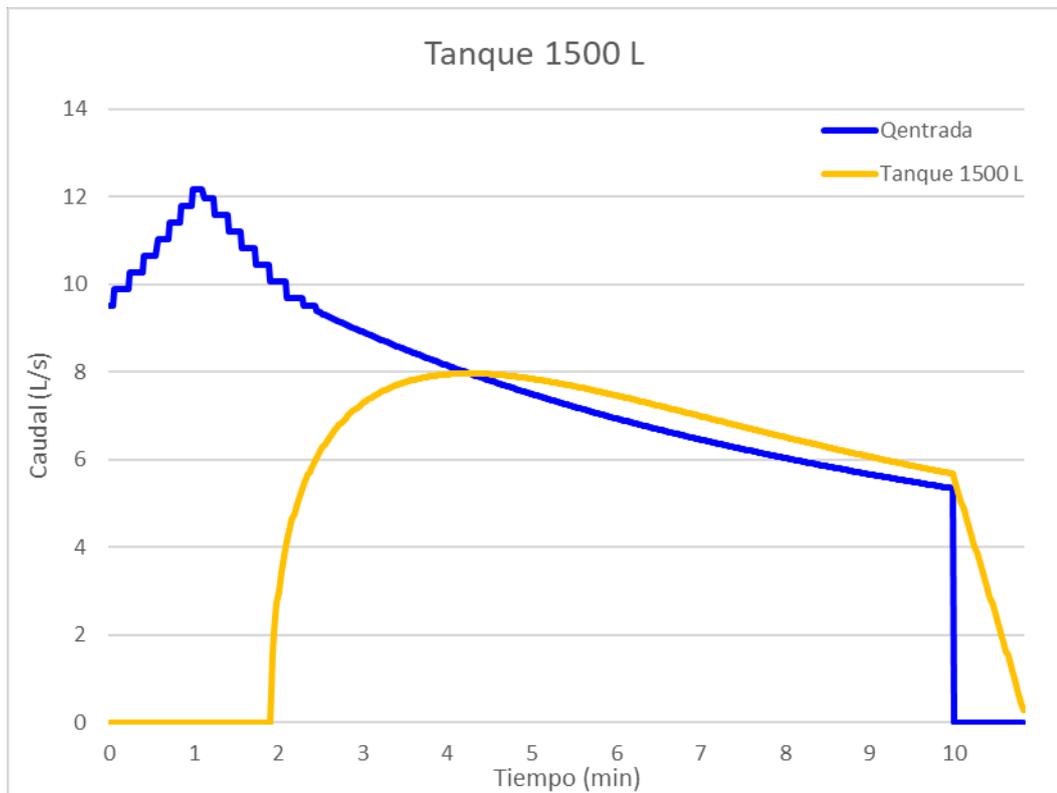


Fig. 14. Caudal de entrada y caudal de salida para 1.500 litros.

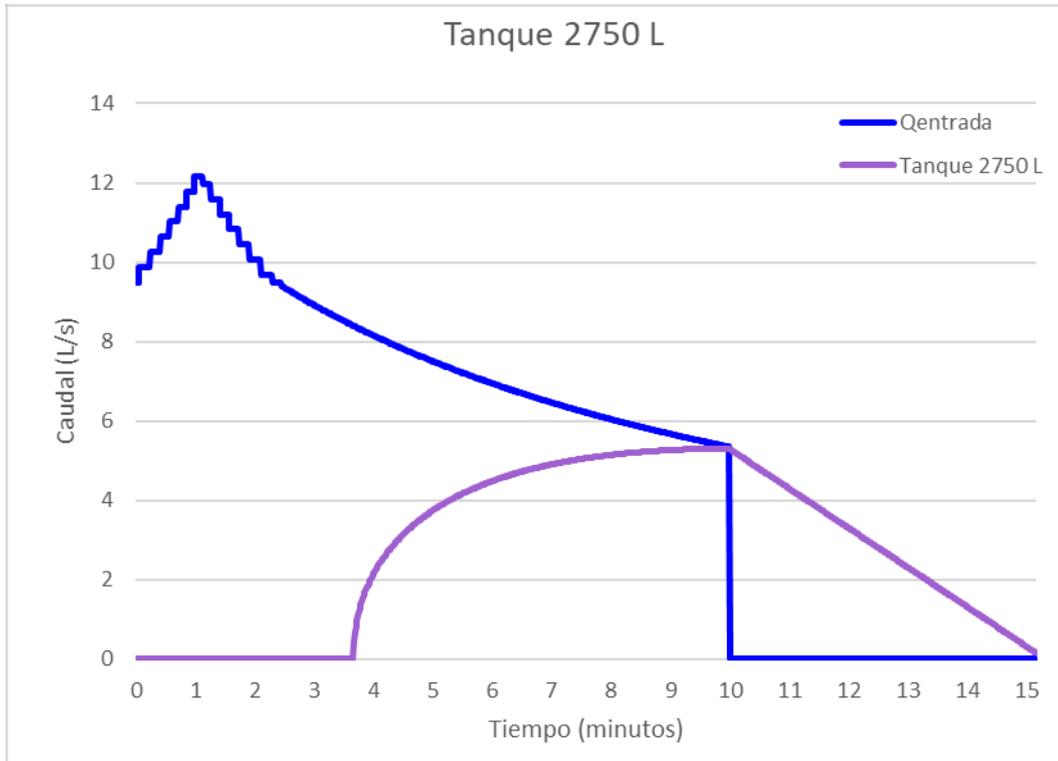


Fig. 15. Caudal de entrada y caudal de salida para 2.750 litros.

Costos y amortización

El costo de los tanques incluye: un tanque tricapa, filtro para sedimentos, estructura para elevar un metro el mismo, revestimiento para “disimular” el tanque dentro del lote, la cañería para reutilizar como riego de un jardín interior y la mano de obra.

Se analizó el costo del retardador considerando beneficiar a los propietarios, estableciendo un sistema de premio a quienes los utilicen, ya que los beneficios serán cargados a la ciudad.

La propuesta consiste en trasladar el pago de la cuota mensual del impuesto inmobiliario al proyecto del retardador hasta recuperar el valor de la inversión, acorde al impuesto inmobiliario dispuesto por el artículo décimo de la ordenanza n° 6.526 de la municipalidad de la ciudad de Corrientes.

El mismo tiene valor actual de \$34.650 por metro cuadrado de construcción, que para inmuebles edificados arroja una alícuota de 0,55%; es decir que en el lote de 200m² edificados se tendrá una cuota anual de \$38.115, equivalente a una cuota mensual de \$3.176,25. Con estos valores fue posible calcular en cuánto tiempo se podría amortizar el costo del tanque retardador según se observa en la tabla 8:

Tabla 8. Costo y amortización de tanque retardadores.

Tanque (L)	850	1.100	1.500	2.750
Costo (\$)	26.089	34.216	37.332	56.199
Amortización (meses)	8	11	12	18

Luego del análisis fue elegido el retardador de capacidad 1.500 litros porque posee un volumen conveniente, costo y amortización plausibles y poder ubicarse apropiadamente dentro de una vivienda tipo.

En la tabla 9 se encuentran todos los datos y resultados obtenidos para este volumen de retardador adoptado.

Tabla 9. Resumen para un tanque de 1.500 litros.

Qp entrada (L/s)	12,16
Qp salida (L/s)	7,97
Reducción (%)	34,48
Tiempo de retardo (min)	3' 17''
Volumen retenido (L)	1.270
Altura del tanque (m)	2,03
Diámetro (m)	1,06
Costo (\$)	37.332
Amortización (meses)	12

El análisis anterior fue realizado para un solo lote del barrio y luego se analizó el porcentaje de variabilidad de incorporar los dentro del distrito. Los porcentajes evaluados fueron de incorporar los en 25, 50, 75 y 100% de lotes con retardadores (resultados en tabla 10 y figura 16).

Se tuvo en cuenta el caudal pico de entrada, de salida, volumen retenido por el total de lotes con retardadores y su costo.

Y luego se analizó lo que costaría en un año al municipio para que la implementación del mismo pueda ser amortizada con el impuesto inmobiliario.

Tabla 10. Análisis del impacto del retardador según el porcentaje de viviendas que lo usen.

	0%	25%	50%	75%	100%
Q _p entrada L/s)	6.481,28	6.481,28	6.481,28	6.481,28	6.481,28
Q _p salida (L/s)	6.481,3	5.919,5	5.361,9	4.804,3	4.246,7
Reducción Q _p (%)	0	8,67	17,27	25,87	34,48
Volumen retenido (L)	0	170.282	339.294	508.305	677.317
Costo (\$)	0	5.002.488	9.967.644	14.932.800	19.897.955
Retardadores (n°)	0	134	267	400	533

Se observa la importancia de que todos los lotes cuenten con retardadores para que cumplan la función de almacenar y amortiguar los excesos. Así el costo para el municipio de que todas las viviendas tengan los retardadores instalados será de \$19.897.955.

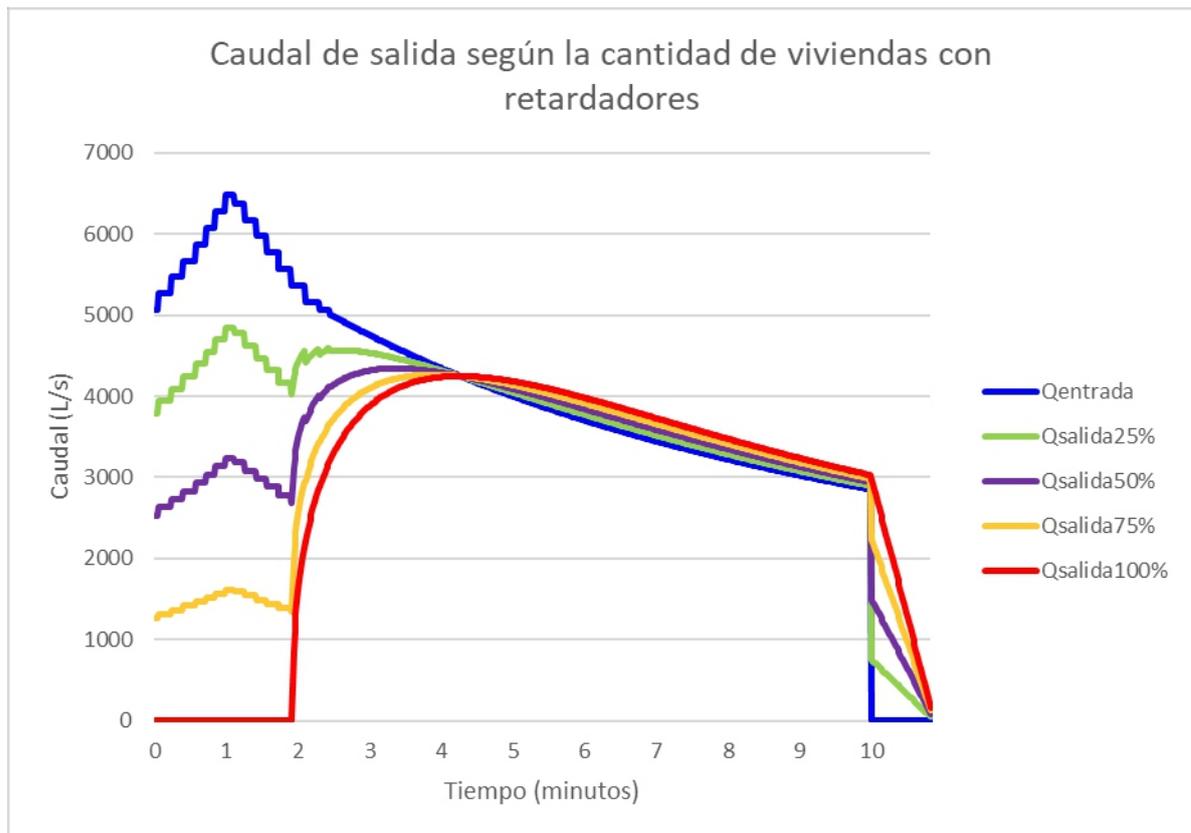


Fig. 16. Caudal de salida según la cantidad de viviendas (en porcentaje) con retardadores en uso.

Otro dato de importancia es que para la duración de 10 minutos que tiene la tormenta de diseño el barrio erogará 2.532m^3 y con los retardadores funcionando se almacenará 677m^3 del volumen aportado que representa 26,7%.

3. Conclusiones

La solución propuesta con tanques de almacenamiento de aguas de lluvia de diferentes capacidades es económica, rápida y eficiente para reducir el impacto de superficies impermeables sobre el sistema mayor de los desagües pluviales urbanos, ya que en el caso que se estudió y adoptó disminuye 34,5% el caudal pico que aporta el lote, retardándolo 3'17'' minutos y almacenando 1.270 litros que se podrían reutilizar para riego de jardines, servicios y otros usos y así disminuir el impacto hidrológico en las calles producto del avance de la urbanización.

El costo que generaría la instalación de los retardadores en el caso en estudio de la ciudad de Corrientes es muy bajo comparado con la ampliación que habría que realizar al sistema mayor de desagües pluviales y tampoco causaría molestias en la vía pública como lo harían las obras para la ampliación del sistema de desagües pluviales.

Otra ventaja es que la ubicación del retardador dentro del lote se la puede adaptar al diseño a proponer por el proyectista.

Resulta de gran importancia que el mayor porcentaje de la población pueda utilizarlos para que sea mayor la eficiencia de los retardadores.

Referencias

- [1] Chow, V.T., Maidment, D. & Mays, L. (1994). "Hidrología aplicada." Santa Fe de Bogotá: Mc Graw-Hill. 584p.
- [2] Cundom, G., Gutiérrez, G. (2000). "Impacto cero en el drenaje pluvial urbano." Trabajo de conclusión. Segundo curso de posgrado en Hidrología Urbana, Facultad de Ingeniería, UNNE, Resistencia.
- [3] Pilar, A. & Biain, R. (2000). "Estudio de la viabilidad técnica de la implantación de retardadores de escurrimiento pluvial en lotes urbanos." In: Tucci, C. E., Goldenfum, J., Depettris, C. & Pilar, J., org., Hidrologia Urbana na Bacia do Prata. Porto Alegre: CAPES-SETCIP/UFRGS-UNNE. pp. 99-107.
- [4] Pilar, J.V.; Ruberto, A.R.; Depettris, C.A.; Gabazza, S.; Kutnich, E.J. (2007). "Actualización y análisis de las curvas en el Área Metropolitana del Gran Resistencia [AMGR]." Congreso Nacional del Agua - CONAGUA 2007. Tucumán, Argentina. Anales.
- [5] Contardi, F. et al. (2014). "Anteproyecto de sistemas retardadores a nivel de lote en el barrio San Miguel, Resistencia, Chaco". Trabajo Final de ingeniería civil, UNNE. 191p.
- [6] Pilar, J. et al. (2007). "Actualización y análisis de las curvas IDF en el área metropolitana del gran Resistencia (AMGR)". XXI Congreso nacional del agua. San Miguel de Tucumán, Tucumán. 11p.
- [7] Municipalidad de la ciudad de Corrientes. (2016). "Código de planeamiento urbano de la ciudad de Corrientes".