

**Plan de drenaje urbano. Ciudad de Arroyito**

**Plano de drenagem urbano. Cidade de Arroyito**

DOI:10.34117/bjdv6n12-144

Recebimento dos originais: 07/11/2020

Aceitação para publicação: 07/12/2020

**Teresa Reyna**

Doctor Ingeniero Civil

Instituição: CEAS sa - Universidad Nacional de Córdoba

Endereço: Gómez Clara 1191. Barrio Rogelio Martinez, CP 5000, Córdoba, Argentina

E-mail: teresa.reyna@unc.edu.ar

**Santiago Reyna**

Doctor Ingeniero Civil

Instituição: CEAS sa - Universidad Nacional de Córdoba

Endereço: Gómez Clara 1191. Barrio Rogelio Martinez, CP 5000, Córdoba, Argentina

E-mail: santiago.reyna@unc.edu.ar

**María Lábaque**

Magister Ingeniera Civil

Instituição: CEAS sa - Universidad Nacional de Córdoba

Endereço: Gómez Clara 1191. Barrio Rogelio Martinez. CP 5000. Córdoba. Argentina

E-mail: maria.labaque@unc.edu.ar

**César Riha**

Ingeniero Civil

Instituição: CEAS sa

Endereço: Gómez Clara 1191. Barrio Rogelio Martinez, CP 5000, Córdoba, Argentina

E-mail: ingriha@gmail.com

**Fabián Fulginiti**

Magister Ingeniero Civil

Instituição: CEAS sa - Universidad Nacional de Córdoba

Endereço: Gómez Clara 1191. Barrio Rogelio Martinez, CP 5000, Córdoba, Argentina

E-mail: fabian.fulginiti@unc.edu.ar

**RESUMEN**

Arroyito es una ciudad del departamento San Justo en la provincia de Córdoba, ubicada sobre la Ruta Nacional 19, a 114 km al este de la capital provincial y a 95 km al oeste de la ciudad de San Francisco. Está ubicada a 31° 23' de latitud sur, 63° 4' de longitud oeste y a 155,7 m de altura sobre el nivel del mar. Esta localidad del este de la provincia de Córdoba hace muchos años que experimenta en forma reiterada durante la época estival inundaciones de distinta intensidad que traen aparejadas cuantiosas pérdidas económicas y dificultan el normal desarrollo de las actividades de sus habitantes. Estos inconvenientes presentan una mayor intensidad en el sector de la ciudad que se encuentra al norte de la Ruta Nacional 19 donde el grado de urbanización mayor respecto del sector sur de la localidad.

Por este motivo la municipalidad de la ciudad de Arroyito decidió encargar el desarrollo de un plan director general de drenajes pluviales para la ciudad que contemplara la totalidad del ejido urbano. El proyecto contempló en una primera etapa el análisis de la red de pluviales que dispone actualmente la ciudad y a partir del mismo se efectuó el desarrollo de una serie de obra complementarias a fin de suplir las deficiencias que se detectaron en la primera etapa del estudio.

**Palabras Claves:** Arroyito, Drenaje, EPA SWMM, Surgencias.

## **RESUMO**

Arroyito é uma cidade do departamento de San Justo na província de Córdoba, localizada na Rota Nacional 19, 114 km a leste da capital provincial e 95 km a oeste da cidade de San Francisco. Está localizada a 31° 23' de latitude sul, 63° 4' de longitude oeste e 155,7 m acima do nível do mar. Esta cidade no leste da província de Córdoba vem experimentando há muitos anos, de forma repetida, durante a temporada de verão, inundações de diferente intensidade que trazem consigo perdas econômicas importantes e dificultam o desenvolvimento normal das atividades de seus habitantes. Estes inconvenientes apresentam uma maior intensidade no setor da cidade que está ao norte da Rota Nacional 19, onde o grau de urbanização é maior em relação ao setor sul da localidade. Por esta razão, o município da cidade de Arroyito decidiu encomendar o desenvolvimento de um plano geral de drenagem de águas pluviais para a cidade, que cobriria toda a área urbana. O projeto contemplou em uma primeira etapa a análise da rede pluvial que a cidade possui no momento e a partir da mesma foi realizado o desenvolvimento de uma série de trabalhos complementares a fim de substituir as deficiências que foram detectadas na primeira etapa do estudo.

**Palavras-Chave:** Arroyito, Drenagem, EPA SWMM, Cirurgias.

## **1 INTRODUCCIÓN**

Arroyito es una ciudad del departamento San Justo en la provincia de Córdoba, ubicada sobre la Ruta Nacional 19, a 114 km al este de la capital provincial y a 95 km al Oeste de la ciudad de San Francisco. Está ubicada a 31° 23' de latitud sur, 63° 4' de longitud oeste y a 155,7 m de altura sobre el nivel del mar. También conocida como "la ciudad dulce" por su fábrica de golosinas Arcor SAIC.

Figura 1. - Ubicación de la localidad de Arroyito. Córdoba.



Un vasto sector de la localidad de Arroyito, Provincia de Córdoba, se ve afectado por las cada vez más recurrentes inundaciones urbanas como consecuencia de las modificaciones en los usos del suelo entre las que se encuentra la creciente urbanización de las cuencas de aporte y las variaciones en los regímenes de precipitación.

La urbanización produce un marcado impacto sobre el ciclo del agua, provocando numerosos efectos (Chocat, 1997): la impermeabilización del suelo, la aceleración de los escurrimientos, la construcción de obstáculos al escurrimiento, la "artificialización" de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas y, la contaminación de los medios receptores. Estos factores tienen una influencia significativa sobre el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los medios urbanos. Se agrega a esto los procesos de modificación de uso del suelo en las cuencas periurbanas.

El área en estudio vio modificado el uso del suelo a lo largo de los años, lo cual afectó en forma directa la magnitud de los volúmenes y caudales que escurrían superficialmente.

En sus comienzos, la principal actividad económica fue la explotación forestal, ya que la región se caracterizaba por la presencia de tupidos bosques de Algarrobo y Espinillo, utilizados en gran escala para producir madera y leña. Con el paso de los años, las áreas de bosques y malezas fueron desapareciendo y el espacio quedó apto para el cultivo, volviendo la zona agrícola-ganadera.

El 25 de mayo de 1950, se firma el contrato para la construcción de la planta de fabricación de golosinas ARCOR. La necesidad de mano de obra provoca un incremento de población muy notable.

Comienzan a construirse barrios, la apertura de escuelas, comercios, entidades bancarias, la formación de cooperativas, la creación de clubes, etc.

Arroyito cuenta con una población de 22 147 habitantes según Censo Nacional 2010.

En esta localidad, a la problemática del proceso de urbanización se le suma la escasa diferencia de nivel entre la localidad y la solera del cauce del Río Xanaes (o Segundo), punto de descarga natural de los excedentes.

Los problemas de inundaciones en la ciudad son el fruto de una combinación de situaciones por un lado el crecimiento de la ciudad sin medidas de regulación de los excedentes hídricos y por otra parte la insuficiencia hidráulica de los conductos troncales actuales junto con la insuficiencia de las obras de captación y sus conductos de vinculación con los troncales.

Esta situación ocasiona entre otras las siguientes consecuencias indeseables: pérdidas materiales para los pobladores, riesgos para la vida de los habitantes, destrucción de la infraestructura existente, interrupción del normal desenvolvimiento de la vida urbana.

El drenaje urbano es el conjunto de medidas que buscan minimizar los riesgo de la población, disminuir los daños producidos por las inundaciones y facilitar el desarrollo urbano armónico, y sustentable. Existen dos tipos básicos de medidas para el control del drenaje pluvial urbano: medidas estructurales y medidas no estructurales.

El drenaje urbano general de la localidad contaba con un sistema de drenaje superficial por calles y algunos conductos de secciones inadecuadas que originan indefectiblemente inundaciones.

Figura 2. - Inundación en el sector urbano de la localidad de Arroyito.



## 2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El estudio tuvo como primer objetivo el análisis hidrológico e hidráulico de la red actual de desagües pluviales de la localidad de Arroyito con el fin de establecer puntos con situaciones críticas

y fijar prioridades y cursos de acción que permitan adecuar el sistema de drenaje actual de la localidad y plantear soluciones factibles al tema de las inundaciones desde el punto de vista técnico económico.

El estudio comenzó con la visita de campo y entrevistas con autoridades locales y vecinos de manera de identificar puntos críticos donde ante tormentas de bajas recurrencia se presentaban anegamientos y surgencia en el sistema de drenaje pluvial actual.

Se contó con información de las condiciones de los conductos y el relevamiento de cotas, tapadas y longitudes del sistema de drenaje el que fue realizado por la Municipalidad de Arroyito.

La modelación hidrológica-hidráulica del sistema actual considerando las condiciones de las cuencas que componen el área de estudio se ejecutó utilizando el programa EPA SWMM (Environmental Protection Agency storm Water Management Model, 2017). Los eventos estudiados se definieron para recurrencia 2 y 5 años

Se valoró la capacidad de conducción de la red vial y la capacidad de captación de las bocas de tormenta y sumideros, así como de conducción del sistema de drenaje actual que dispone la ciudad.

En la instancia final se propusieron obras y modificaciones al sistema de drenaje existente que permitirán mitigar los problemas actuales. Estas propuestas se verificaron mediante nuevas simulaciones con el programa EPA SWMM.

Los proyectos propuestos poseen como premisas de diseño no solo el cubrir la demanda hídrica asociada a una precipitación de 60 mm en 45 minutos, a través de las obras de captación y conducción, sino también garantizar la sustentabilidad del sistema, promoviendo una mejor gestión, más eficiente y más sostenible en diferentes ámbitos: ambiental, social, paisajístico y económico.

### **3 PARAMETROS DE DISEÑO**

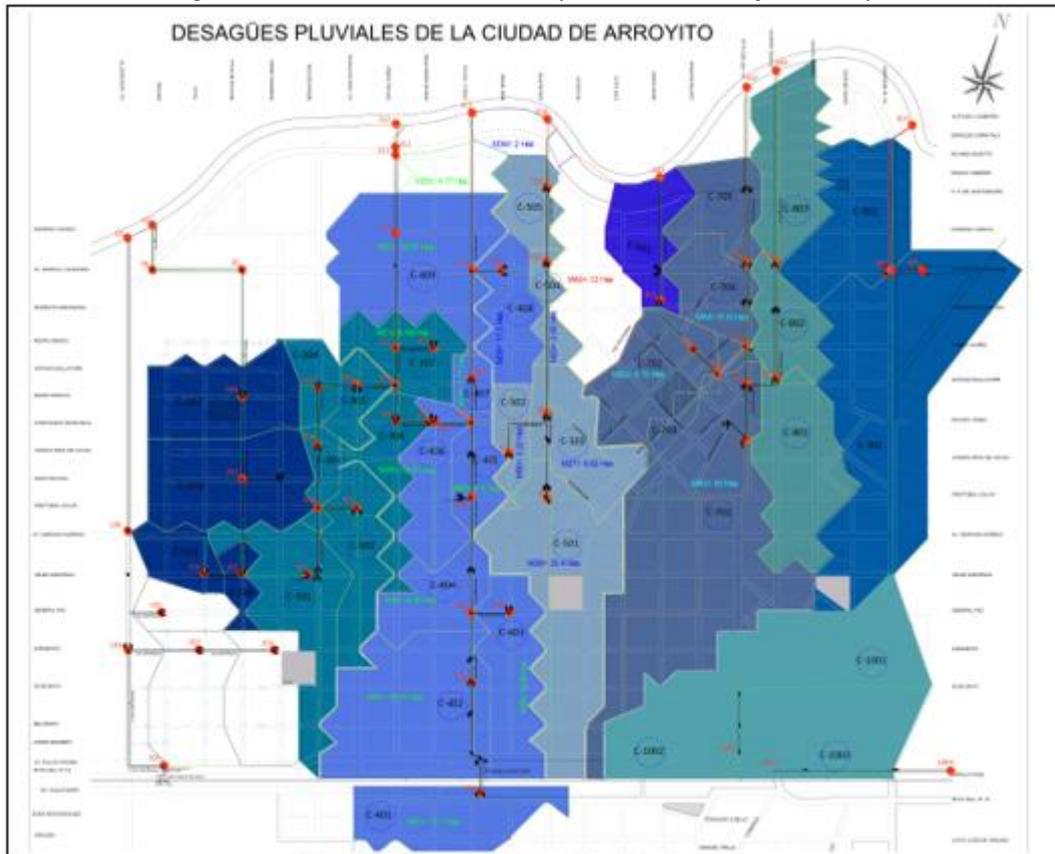
La delimitación de las subcuencas se realizó en base a las cotas de esquina y de puntos singulares que representan dorsales u obstrucciones al escurrimiento (Figura 3). Esta delimitación se contrastó con imágenes satelitales (LANDSAT 5 y 7 e imágenes de Google Earth) y con inspecciones realizadas.

El sistema de drenaje actual se encuentra conformado de 9 sectores drenados independientemente por medio de conductos que desaguan al cauce del río Xanaes y un sector adicional cuyos excedentes son conducidos hacia el esta hasta el arroyo “De Álvarez”. El sector analizado cubre un total de 39 subcuencas las cuales cubren un área urbana aproximada de 380 Ha.

Los principales elementos de conducción del Sistema pluvial de la ciudad se componen de conductos troncales de PEAD en diámetro 800 mm que corren paralelos de sur a norte. La red de aporte a los troncales corre, en general, de este a oeste y en su mayoría son de PEAD diámetro 600 mm.

En la siguiente imagen se puede advertir la discretización del área urbana de la ciudad en las distintas subcuencas que aportan a los conductos pluviales.

Figura 3. - Delimitación de cuencas y sistema de drenaje de Arroyito



Por estar el sistema compuesto de cuencas con puntos de descarga individuales, se los consideró desde el punto de vista hidrológico como elementos independientes. Con el fin de simplificar las modelaciones se determinó un tiempo de concentración representativo de todo el sistema el cual servirá para definir la duración del evento de diseño.

Para la determinación del tiempo de concentración se utilizaron distintas expresiones válidas para el estudio de hidrología urbana (Kirpich, Fórmula del SCS (1973), Fórmula de Pilgrim (1982), etc.), adoptándose un tiempo de concentración para la tormenta de proyecto de 0,70hs.

Para la definición de la tormenta de proyecto se determinó la función IDF para lo cual se aplicó el modelo DIT (Caamaño Nelly y otros 2012), desarrollado por la secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba y luego se contrastaron los resultados con los datos observados en la localidad.

La lámina de diseño fue ajustada a un valor de 60 mm. Este valor fue registrado en eventos ocurridos recientemente frente a los que el sistema de la ciudad se vio colapsado. El mismo se corresponde a un periodo de retorno aproximado de 5 años.

Se adoptó el patrón de distribución temporal de acuerdo al método del bloque alterno ubicando el pico en el tercer sextil. La elección de este método simplificado para la distribución temporal de la precipitación se debe a la ausencia de registros pluviográficos y de estudios internos de las lluvias ocurridas.

No obstante, la distribución utilizada arroja valores de caudal conservadores en relación a los valores observados en zonas con condiciones meteorológicas homólogas.

Figura 4. - Curvas IDF Localidad "Arroyito". Fuente: En base al modelo DIT para la provincia de Córdoba.

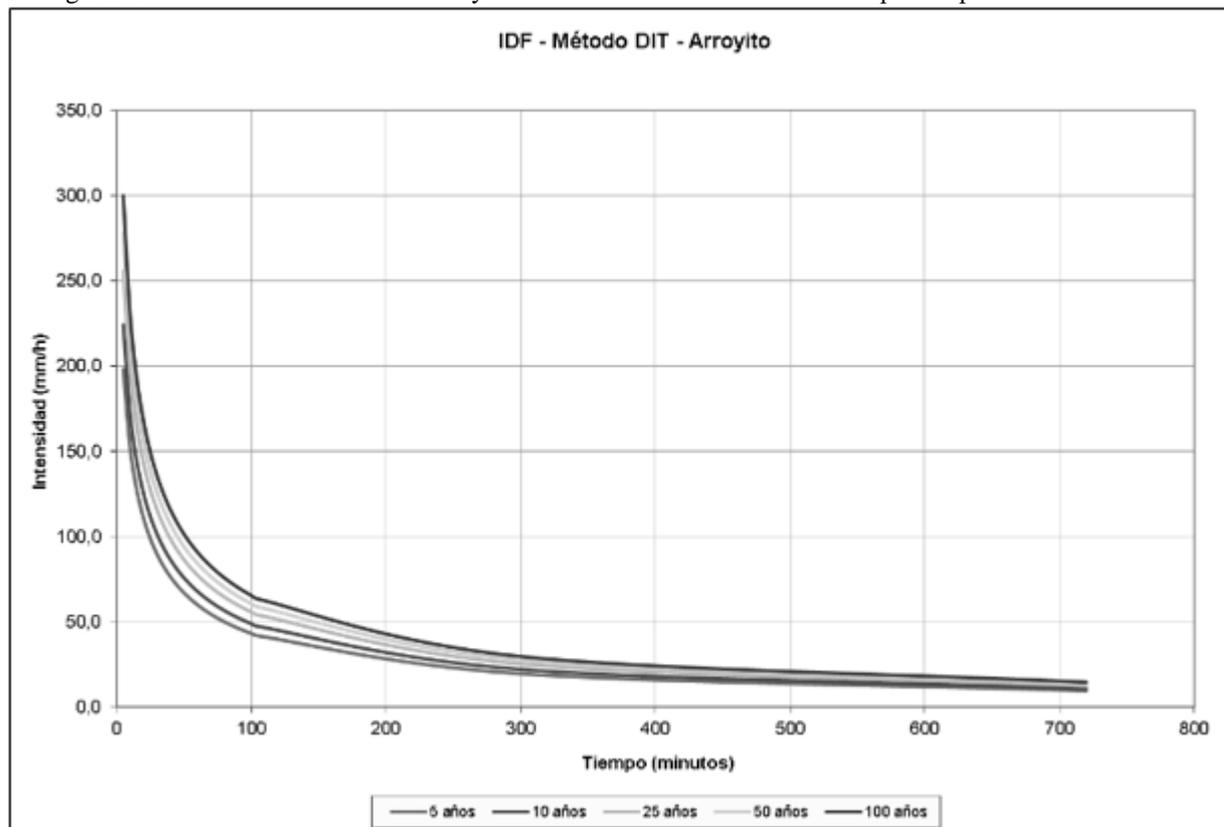
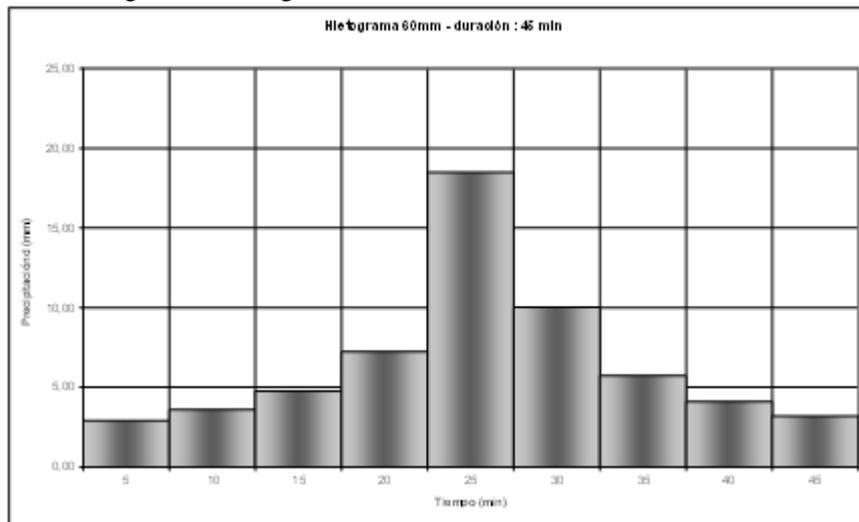


Figura 5. - Hietograma de diseño utilizado en las modelaciones



#### 4 MODELACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Tal como se indicó anteriormente las modelaciones hidrológicas – hidráulicas se efectuaron utilizando el programa EPA SWMM (Environmental Protection Agency Storm Water Management Model), dividiéndose esta modelación en dos etapas principales, la primera consistió en la realización de un modelo de la ciudad considerando la situación actual con los sumideros y conductos presentes a fin de poder calibrar el modelo y verificar si el mismo representa la realidad observada en los distintos sectores de la ciudad durante el acontecimiento de las reiteradas inundaciones. Para ello se utilizó toda la documentación gráfica que dispone el municipio respecto de las distintas obras de drenaje que se han efectuado en la ciudad durante los últimos 40 años.

Con toda esta información se confeccionó el modelo realizando una corrida del mismo con la tormenta de proyecto determinada anteriormente, pudiéndose indicar que los resultados que se obtuvieron se correspondieron con los datos de inundaciones detectados por la Secretaría de Obras Públicas de la Municipalidad de Arroyito.

Los resultados de la modelación general del sistema de desagües actual de la ciudad mostraron problemas de surgencias en distintas bocas en todas las ramas, particularmente en la zona central de la ciudad.

Figura 6. - Tramo de conducción actual por calle Rafael Núñez con problemas de surgencia.

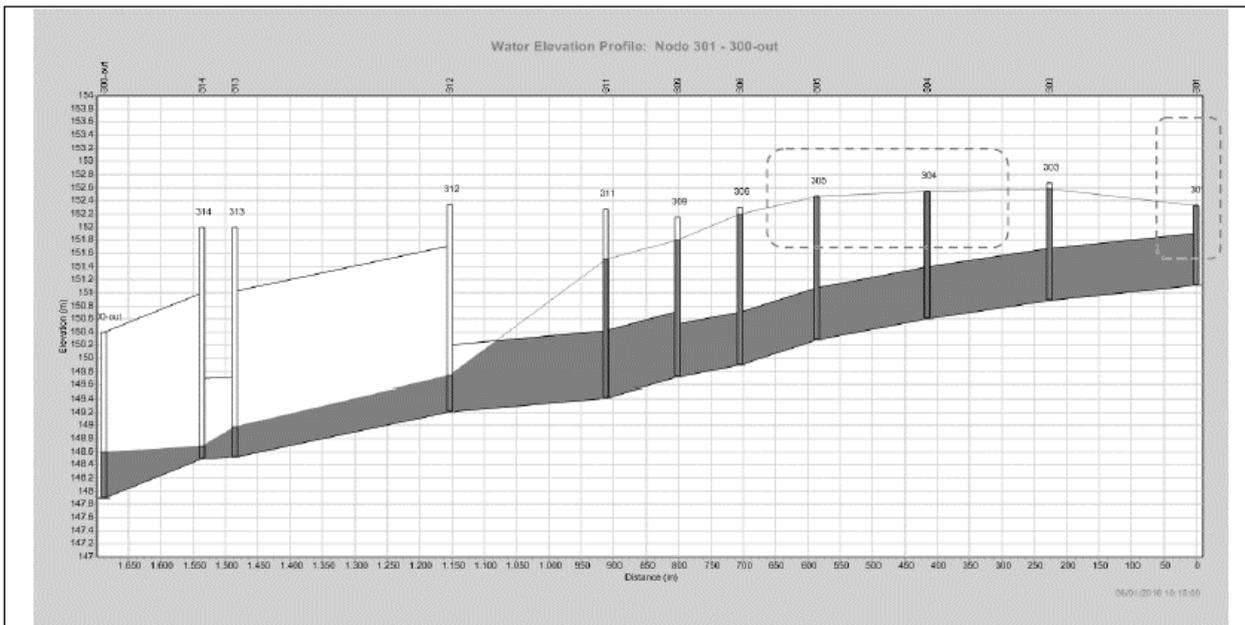
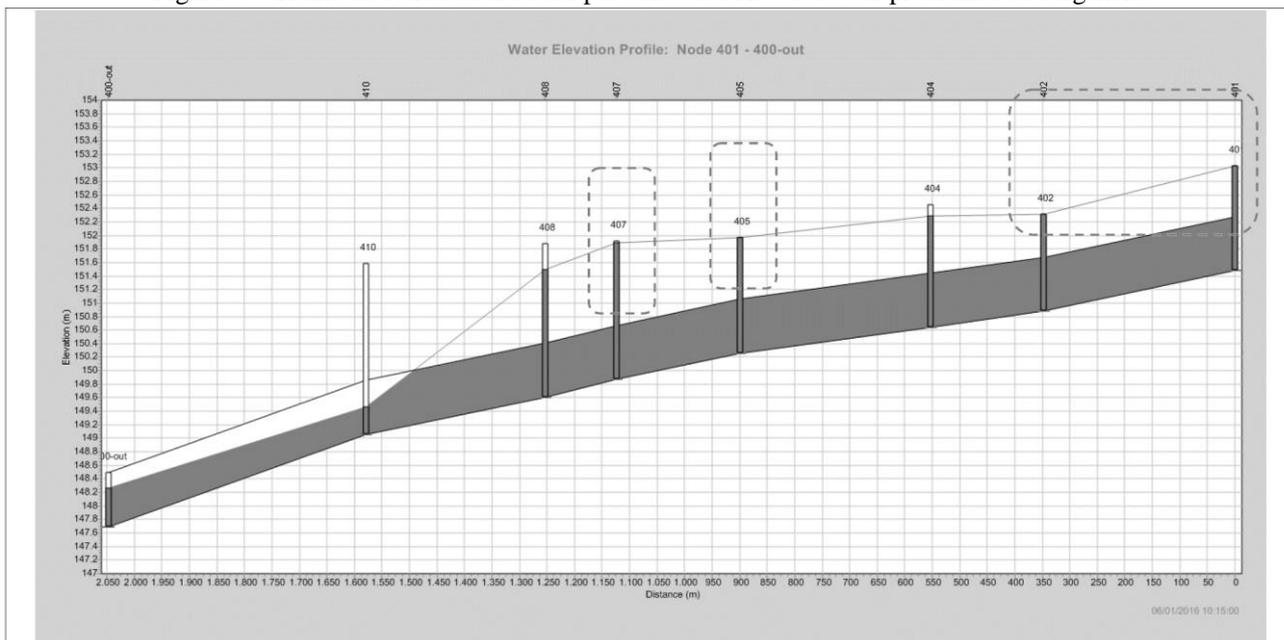


Figura 7. - Tramo de conducción actual por calle José A. Vocos con problemas de surgencia.



Los problemas estructurales detectados provenían de diferentes causas

- 1) La capacidad hidráulica de muchos de los conductos existentes eran insuficientes
- 2) Las obras de captación (sumideros) eran insuficientes en número y en capacidad
- 3) Los conductos de vinculación entre los sumideros y el colector también eran de capacidad insuficiente

## 5 VERIFICACIÓN HIDRÁULICA DE CALZADA Y CONDUCTOS DE VINCULACIÓN

Con el objeto de verificar la capacidad hidráulica de las calzadas de la ciudad y determinar los puntos y dimensiones óptimas para los nuevos sumideros, se consideró un perfil tipo con un ancho de 7,00 m, un cordón de vereda con una altura de 15 cm y una pendiente longitudinal del 0,20 % que resulta un valor característico de las calzadas de la ciudad, arrojando dicha verificación una capacidad de conducción de 0,90 m<sup>3</sup>/s.

Para la determinación de la disposición planimétrica de los sumideros se adoptó el caudal calculado anteriormente a fin de que el tirante no exceda para la tormenta de proyecto, el nivel del cordón de vereda, permitiéndose de esta manera la normal circulación de los peatones por la vereda.

El conducto seleccionado para la vinculación entre los sumideros de todas las tipologías y las conducciones principales resultó de 600 mm, adoptándose una pendiente longitudinal del 1,50%.

## 6 MEDIDAS ESTRUCTURALES PROPUESTAS

Se propusieron obras de distinta importancia y características de diseño, con sistemas a gravedad con el objetivo de optimizar el funcionamiento de la infraestructura existente.

Dentro de las obras proyectadas se puede mencionar a las siguientes como las más importantes:

- Aliviador sobre calle Bartolomé Mitre desde calle 25 de Mayo hasta su desembocadura en el cauce del Río Xanaes. Conformado por medio de conductos de sección rectangular (2,00 x 1,50 m hasta 1,50x1,00), modelo pórtico vial. Estos conductos proveen una gran sección de conducción en relación a los conductos existentes simplificando además el proceso constructivo
- Aliviador sobre calle Rafael Núñez desde calle Vélez Sarsfield hasta la desembocadura en el Río Xanaes (diámetro 1200 mm).
- Aliviador sobre calle Pedro Navarro desde calle Nicasio Yáñez hasta la desembocadura en el Río Xanaes con un conducto rectangular tipo pórtico vial de (2,00 x 0,60 m).
- Aliviador sobre calle Rafael Bianchi desde calle Vicenta Ríos de Vocos hasta la desembocadura en el Río Xanaes (sección rectangular 2,00 x 1,00m).
- Aliviador sobre Avenida Bernardi desde calle Tomás Juárez hasta la desembocadura en el cauce del Río Segundo (diámetro 1200mm)
- En determinados sectores se propone la vinculación de conductos principales que hoy corren paralelos a las nuevas obras, por medio de conductos perpendiculares con el fin de equilibrar los caudales que son conducidos por los mismos.

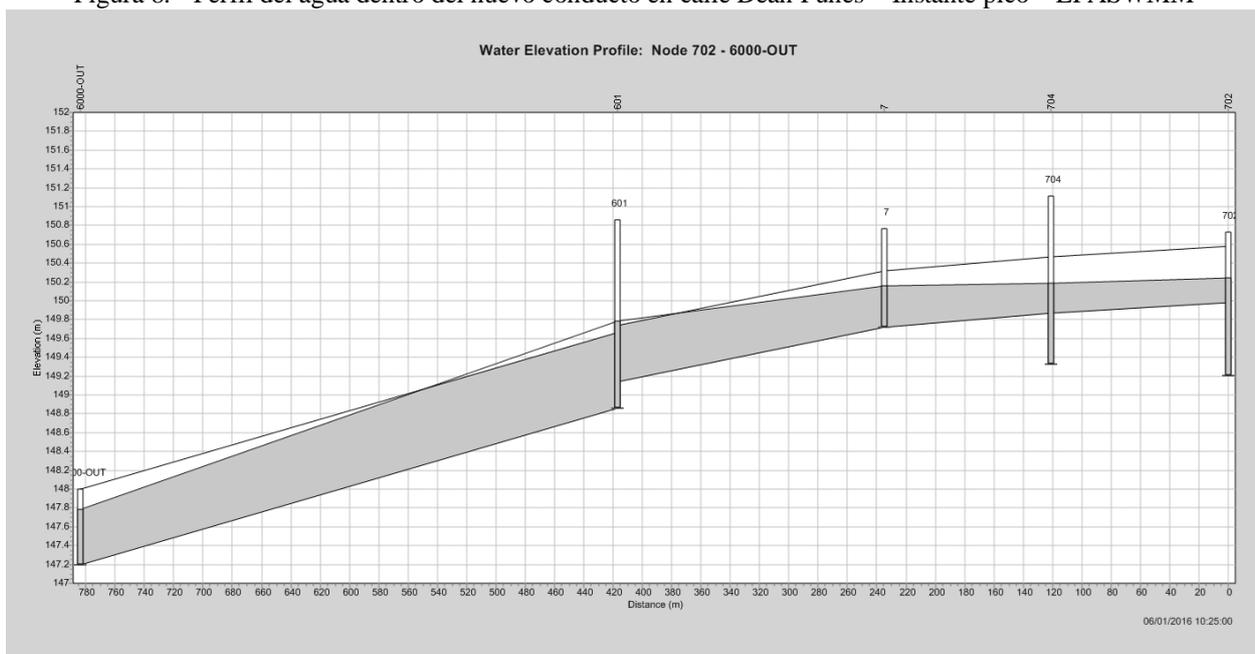
- Se propone una adecuación del diámetro de los conductos de vinculación de los sumideros a los conductos principales para garantizar el ingreso de los caudales al conducto principal y que los mismos no constituyan un cuello de botella a la captación.
- En base al modelo elaborado se determinaron los lugares donde se deben incorporar nuevos sumideros al correlacionar la demanda hídrica con la capacidad de conducción de la red vial.

## 7 MODELACIÓN DE LA SITUACIÓN CON OBRA PROPUESTA

Se procedió luego a incorporar al modelo las obras propuestas. Los resultados obtenidos por la modelación con EPASWIMM con la incorporación de las obras propuestas y la tormenta de proyecto seleccionada, no mostró deficiencias del sistema de desagües, ni surgencias en las bocas de registro y sumideros.

En la figura 8 se presenta la salida obtenida para el conducto de calle Deán Funes en el momento de máximo nivel.

Figura 8. - Perfil del agua dentro del nuevo conducto en calle Deán Funes – Instante pico – EPASWMM



## 8 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

Se definieron también medidas no estructurales para completar la propuesta de solución a los problemas de inundación que enfrenta la localidad.

En la actualidad, es imprescindible acompañar los proyectos estructurales con medidas de este tipo para evitar cambios en las cuencas y el desarrollo futuro de la urbanización generen nuevos impactos que no podrán ser absorbidos por el proyecto planteado.

Entre las medidas no estructurales que se plantearon se prevé la implementación de normativa por parte de la Municipalidad de la ciudad de Arroyito que considere sistemas de regulación de caudales en toda nueva urbanización, a efectos de mantener las condiciones de drenaje preexistentes.

Se pretende, fundamentalmente, controlar desde el punto de vista de los derrames pluviales, los emprendimientos privados o públicos, que sin tratarse de “urbanización”, por sus dimensiones provocan una importante impermeabilización y comprometen la capacidad de la infraestructura existente.

## **9 ETAPAS DE EJECUCIÓN**

En base a los resultados de la modelación precedente se formuló un plan de obras que priorizan los beneficios en los sectores más afectados de la comunidad y permite la planificación de la obra en etapa. Cada una de las etapas llevará alivio a un sector de la localidad que se incrementará a medida en que se avance con el proyecto.

Las obras planteadas se componen de elementos de captación y conducción que permitirán captar y conducir los excedentes hídricos en forma ordenada hacia el cuerpo receptor final de los mismos que en este caso resulta el cauce del Río Xanaes.

Las obras fueron agrupadas en tres etapas de ejecución secuencial, cada una de estas etapas además de conductos principales incluye la incorporación de sumideros cuando la capacidad de las calles es insuficiente.

Atento a la magnitud de las obras y el elevado costo de intervención en el sector urbano, la municipalidad de la ciudad de Arroyito ha dividido el plan director de obras en tres etapas principales

El esquema de obra comienza desde la desembocadura de los conductos en el cauce del Río Xanaes hacia el sur de la ciudad.

### Etapa 1:

- Obra en calle Bartolomé Mitre entre Av. Marcial Vaudagna y el cauce del Río Xanaes.
- Obra en calle Rafael Núñez entre Av. Marcial Vaudagna y calle Constancio Francisca.
- Colocación de nuevos sumideros ventana y remodelación de sumideros ventanas existentes, con sus correspondientes conductos de vinculación.

## Etapa 2:

- Obra en calle Bartolomé Mitre entre Av. Marcial Vaudagna y calle Cristóbal Colón.
- Obra en calle Constancio Francisca entre el pluvial existente de calle San Martín y nuevo pluvial de calle Bartolomé Mitre.
- Obra en calle Cristóbal Colón entre los pluviales existentes de calle San Martín y calle José A. Vocos con nuevo pluvial de calle Bartolomé Mitre.
- Obra en Av. Marcial Vaudagna entre el pluvial existente de calle José A. Vocos y nuevo pluvial de calle Bartolomé Mitre.
- Construcción de nuevos sumideros ventana con sus correspondientes conductos de vinculación al conducto principal y cámaras de empalme.
- Construcción de obras de protección en los puntos de descarga al río.

## Etapa 3:

- Obra en calle Rafael Núñez entre Av. Marcial Vaudagna y la desembocadura en el Río Xanaes.
- Obra en calle Pedro Navarro entre Av. Iliá y calle Modesto Maranzana.
- Obra en calle Deán Funes entre Modesto Maranzana y la desembocadura en el Río Xanaes.

**10 AVANCE DE LA OBRA**

A la fecha, ya se han concluido las obras sobre calle Rafael Núñez correspondiente a la nueva etapa donde se han colocado conductos de hormigón de 1200 mm de diámetro. Conjuntamente con esa obra se ha realizado íntegramente el tramo del conducto de 2,00 x 1,50 sobre calle Bartolomé Mitre entre la calle Marcial Vaudagna y la desembocadura en el Río Xanaes.

Además se han readecuado los sumideros existentes con sus conductos de vinculación y se han agregado nuevos sumideros en los sectores intervenidos.

Figura 9. - Trabajos en calle Bartolomé Mitre y Rafael Núñez



## 11 CONCLUSIONES

El estudio permitió detectar los puntos conflictivos y de capacidad insuficientes que presenta la red de drenaje actual de la localidad de Arroyito. Con esta información fue posible plantear obras de adecuación al sistema. Las obras planteadas se componen de elementos de captación y conducción que permitirán captar y conducir los excedentes hídricos en forma ordenada hacia el cuerpo receptor final de los mismos que en este caso resulta el cauce del Río Xanaes.

Los resultados de la modelación permitieron también la formulación de un plan de obras que permitiera a la Municipalidad de la localidad hacer frente a la misma por etapas.

Se plantearon 3 etapas de ejecución secuencial, cada una de ellas llevará alivio a un sector de la localidad priorizando los sectores más afectados. En cada una de las etapas además de conductos principales se incluyen la incorporación de sumideros cuando la capacidad de las calles es insuficiente.

El esquema de obra comienza desde la desembocadura de los conductos en el cauce del Río Segundo hacia el sur de la ciudad.

Las búsquedas de soluciones integrales permiten a los municipios un desarrollo más organizado de las ciudades. Con este objetivo se plantearon medidas no estructurales complementarias que aseguren el crecimiento sustentable de la localidad sin generar nuevos inconvenientes al sistema de drenaje planteado.

El planteo de medidas no estructurales y la regulación de las nuevas expansiones de la ciudad evitarán que el crecimiento de la ciudad genere mayores inconvenientes en la zona ya consolidada de la ciudad.

**REFERENCIAS**

EPA United States Environmental Protection Agency (2017) *Storm Water Management Model (SWMM)*.

Chocat, B. (1997); *Encyclopedie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Techniques et Documentations, Paris*.

Chow.Ven Te (1993), *Hidráulica de los Canales Abiertos*. McGraw-Hill, 1994 - 667 pag.

La Voz de San Justo (2017), *Desagües: inició la obra en calle Núñez en Arroyito*

Pilgrim, D. e I. Cordery (1975). Rainfall temporal patterns for design floods. *Journal Hydrology Div. ASCE*, 101(HY1): 81-95.

Pilgrim, D.; I. Cordery y R. French (1969). Temporal Patterns of Design Rainfall for Sydney. *Civil Engineering Transactions, Vol. CE 11, N° 1*. The Institution of Engineers. Sydney, Australia.

Caamaño Nelli, G.; A. Rico y C. M. Dasso (2012). El modelo DIT 3p para predicción de lluvias máximas. *III Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas*, pp. 71-82, UNR Editora. 286 pág. ISBN 978- 950-673-953-9.