

NOMBRE: Gabriel Bedogni

PLAN: IC-201/88

MATRICULA: 9020149/3

TITULO DEL TRABAJO: “Proyecto de Drenaje y Vialidad Urbana Interna para el Loteo Macagno, Hernando”

AÑO LECTIVO: 2019

TUTOR EXTERNO: Ing. Gerardo Hillman

TUTOR INTERNO: Ing. Corral Mariano A.

RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO FINAL

El siguiente informe final de practica supervisada se centra en conseguir mediante la aplicación de los conocimientos adquiridos en las materias aplicadas de hidrología los caudales de diseño para el loteo “Macagno” en la localidad de Hernando y el funcionamiento, en diferentes escenarios meteorológicos, con su posterior verificación de las obras de drenaje existentes y las futuras que se requieran para evacuar los volúmenes generados producto de la impermeabilización.

Desde el punto de vista hidrológico, el desarrollo del loteo implica el aumento del grado de impermeabilización de los lotes que finalmente concentran sus excesos hídricos en el Canal de Drenaje Norte, el que se dirige en sentido Sureste hasta las alcantarillas de la Ruta Provincial N°10.

El Loteo Macagno comprende una superficie total de 28,4 Ha a dividir en aproximadamente 400 lotes, con superficies de entre 300 y 1500 m², destinados para la construcción de viviendas unifamiliares.

En este trabajo se han verificado las obras de drenaje existentes de las parcelas a lotear y del sector ubicado aguas abajo. A su vez, se ha determinado el impacto que genera el incremento del grado de impermeabilización de los loteos por su urbanización y su incidencia a la escala de las cuencas.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1: INTRODUCCION.....	1
1.1 MARCO DE REFERENCIA DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA	1
1.2 PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	1
1.3 OBJETIVOS Y ALCANCES.....	1
1.3.1 Objetivos Técnicos.....	1
1.3.2 Objetivos Personales	2
1.4 METODOLOGÍA.....	2
1.4.1 Etapa Preliminar	2
1.4.2 Estudio Hidrológico	3
1.4.3 Proyecto de Obras de Drenaje.....	3
1.4.4 Proyecto Vialidad Interna	3
1.4.5 Elaboración de Documentación	4
CAPITULO 2: PROBLEMÁTICA A ABORDAR	5
2.1 IMPACTO HIDROLOGICO DE LA URBANIZACION	5
2.2 INUMDACIONES URBANAS	7
2.2.1 Generalidades	7
2.2.2 Tipo de Inundaciones.....	8
2.2.3 Medidas para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Urbanas.....	9
2.2.4 Macrodrenaje y Microdrenaje.....	12
CAPITULO 3: ESTUDIO HIDROLOGICO – HIDRAULICO	14
3.1 UBICACIÓN	14
3.2 DELIMITACION DE CUENCAS.....	14
3.2.1 Determinación Cuencas Externas.....	14
3.2.2 Determinación de las Cuencas Internas.....	19
3.3 TORMENTA DE DISEÑO.....	20
3.3.1 Periodo de Retorno (TR).....	21
3.3.2 Duración (d)	21
3.4 METODOS Y MODELOS EMPLEADOS PARA LA ESTIMACION DE CAUDALES	23
3.4.1 Método Racional Clásico	23
3.4.2 Coeficientes de Escorrentía	24
3.4.3 Modelo computacional SWMM.....	24
3.5 RESULTADOS OBTENIDOS	29

3.5.1 Cuencas Internas.....	29
3.5.2 Cuencas Externas.....	30
CAPITULO 4: PROYECTO DE DRENAJE.....	34
4.1 DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA INUNDACIÓN.....	34
4.2 CUNETAS – SECCIÓN TIPO.....	35
4.3 APLICACIÓN DEL MODELO SWMM PARA LAGUNA DE REGULACIÓN.....	38
CAPITULO 5: CONCLUSIONES.....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros físicos de las cuencas externas.	19
Tabla 2: Parámetros físicos de las cuencas internas.	20
Tabla 3: Intensidad (mm/h) para estación Río Cuarto.	20
Tabla 4: Tiempo de concentración de las cuencas rurales externas	23
Tabla 5: Tiempo de concentración de las cuencas internas	23
Tabla 6: Coeficiente de escorrentía ponderado para Loteo.	24
Tabla 7: Caudales en m ³ /s para Loteo.	29
Tabla 8: Períodos de recurrencia para la función complementaria.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relación entre impermeabilización y aumento del escurrimiento superficial	5
Figura 2: Impacto hidrológico de la urbanización	6
Figura 3: Perfil típico y efecto de un reservorio sobre el hidrograma de una cuenca.....	11
Figura 4: Subsistemas asociados al drenaje urbano	12
Figura 5: Ubicación del loteo (blaco) sobre imagen del Google Earth	14
Figura 6: Ubicación de la intersección del Canal Norte con camino excavado	15
Figura 7: Fotografía del camino excavado en sentido Norte – Sur	16
Figura 8: Fotografía del ingreso al Canal Norte en forma de vertedero	16
Figura 9: Cuencas externas sobre cartas del IGN.....	17
Figura 10: Detalle de distribución de caudales sobre Canal Norte.	18
Figura 11: Cuencas internas basadas en proyecto de las calles.....	19
Figura 12: Curvas IDT estación Río Cuarto.	21
Figura 13: Esquema de modelación del modulo	27
Figura 14: Esquema de reservorio no lineal.....	28
Figura 15: Representación conceptual del módulo de transporte.....	29
Figura 16: Esquema de modelación con SWMM de las cuencas.	30
Figura 17: Fotografía de alcantarilla de ingreso al loteo sobre Canal Norte	31
Figura 18: Hidrograma del Canal Norte. Tr = 5 años (función complementaria).....	31
Figura 19: Hidrograma del Canal Norte. Tr = 100 años (función básica).....	32
Figura 20: Perfil longitudinal Canal Norte. Tr = 100 años (función básica).	32
Figura 21. Perfil tipo calle 16 m de ancho	35

Figura 22. Curva tirante – caudal para calle.....	37
Figura 23. Hidrogramas de ingreso y salida para $Tr = 5$ años – duración 30 min	38
Figura 24. Hidrogramas de ingreso y salida para $Tr = 100$ años – duración 30 min	39
Figura 25. Volumen almacenado para $Tr = 100$ años	39
Figura 26. Tirante en laguna para $Tr = 100$ años	40

CAPITULO 1: INTRODUCCION

1.1 MARCO DE REFERENCIA DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

La modalidad de Práctica Supervisada implementada para la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNC), tiene como fin brindar al estudiante una experiencia práctica, complementaria a la formación elegida, para su inserción en el ejercicio de la profesión.

La presente Práctica Supervisada se realizó bajo la modalidad Monotributo bajo la dirección del Ing. Mariano Corral que actuara como entidad receptora conforme al Régimen General para la realización de la Práctica Supervisada de alumnos de la carrera de Ingeniería Civil, oportunamente aprobado por Resolución del Honorable Consejo Directivo de nuestra Facultad.

El alumno decidió enfocarse al Proyecto de Drenaje, el cual constituye el trabajo de la presente Práctica Supervisada.

1.2 PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La ejecución de un loteo en un área rural trae consigo un cambio o alteración en el uso del suelo de ese sector. Este cambio de uso rural hacia un uso residencial implica la modificación de distintas variables, provocando, entre otras, un aumento en el grado de impermeabilización del suelo producto de la urbanización del mismo.

La construcción de viviendas y/o edificios, el trazado de calles internas del loteo y su pavimentación, y la totalidad de áreas verdes en decadencia con relación a las zonas edificadas, traen como consecuencia una modificación del entorno natural y generan superficies poco permeables, con caudales que alcanzan con mayor frecuencia los valores picos, provocando notables daños en el cauce receptor aguas abajo del área antropización.

Así, la urbanización incrementa los volúmenes que escurren superficialmente, debido a la impermeabilidad de las superficies de hormigón y pavimento. Frente a esta problemática, las alternativas se reducen a solo una, lo que nos lleva a la obligación de proyectar, para luego diseñar y posteriormente construir (con mayor capacidad que la que tenían las corrientes naturales) un adecuado sistema de drenaje, en el que se logre un eficiente manejo de los excedentes pluviales generados, buscando así, atenuar los efectos que dicho aumento podría ocasionar hacia aguas debajo de la zona de estudio.

1.3 OBJETIVOS Y ALCANCES

El presente Informe de Práctica Supervisada involucra, dos clases de objetivos.

Por un lado, encontramos aquellos que se dan a nivel técnico y que deberán ser alcanzados con el desarrollo del proyecto; por el otro, los que nos planteamos a nivel personal y que deseamos alcanzar para crecer como persona y como profesional que forma parte y que trabaja para la sociedad en su conjunto.

1.3.1 Objetivos Técnicos

El objetivo técnico planteado para este trabajo es la aplicación de los conocimientos teóricos adquiridos en la carrera con los cuales nos dará la posibilidad de obtener un diagnóstico de la situación actual del lugar de emplazamiento de dicho proyecto, decisiones respecto a las

medidas y acciones necesarias y suficientes a implementar para optimizar el manejo de los excedentes pluviales que se originaran y mitigar los efectos de los mismos.

Así, concluimos que lo que se busca es, por un lado, efectuar un análisis del proyecto de escurrimientos donde se presenta el manejo actual de los excesos pluviales en el sector de estudio, en un contexto de macro y micro drenaje y una propuesta del manejo futuro del drenaje del loteo.

Para lograr lo dicho anteriormente, es necesario a su vez plantear una serie de metas que nos permitan guiarnos y garantizar una correcta performance en la ejecución del trabajo. Podemos resumir dichas metas en:

- Reconocimiento de cada componente físico del área en estudio.
- Determinación del periodo de retorno más conveniente de acuerdo con un equilibrio entre los aspectos técnicos y económicos.
- Análisis de los caudales máximos para la Situación Actual y para la Situación Futura, determinando la utilidad de cada uno y teniendo en cuenta la estimación de algunos de los parámetros intervinientes.
- Dimensionado de las obras de regulación y drenaje necesarias, realizando un balance entre las variables hidrológicas, topográficas y económicas y evaluando distintas alternativas de solución para la selección del tipo de obra a ejecutar.
- Modelación y Análisis de la Situación Futura con las obras propuestas, de manera tal de poder entender la solución propuesta.

1.3.2 Objetivos Personales

El objetivo que se plantea a nivel personal engloba todo lo adquirido a lo largo de la carrera en materia de formación, tanto académica como humana, y establece la integración de estos factores para poder desempeñarse productivamente en el ámbito del ejercicio profesional.

1.4 METODOLOGÍA

La metodología de trabajo es aquella que nos permitirá definir las estrategias sobre las cuales trabajar para poder llevar a cabo las metas y de esta manera alcanzar los objetivos que fueron propuestos en el apartado anterior, logrando así una correcta implementación de las medidas que brinden una solución integral a la problemática planteada.

Las etapas de la metodología de trabajo se presentan a continuación:

1.4.1 Etapa Preliminar

- Recopilación de antecedentes: obras ejecutadas, proyectos y anteproyectos realizados o en desarrollo, planes de obras y de estudios, y toda la documentación necesaria para la ejecución de emprendimientos inmobiliarios (normativas, regulaciones, etc.).
- Inspección de campo: recorridas de la zona donde se emplazará el proyecto, constatando y recompilando la mayor información posible, sobre todo en materia de escurrimientos, para poder ser contrastada con los antecedentes y toda la información existente del lugar de estudio.
- Sistematización de la información: chequeo de los antecedentes recopilados, elaboración de una planimetría general en donde se vuelquen los datos obtenidos.

- Diagnóstico: análisis y evaluación de los antecedentes, elaboración del diagnóstico, destacando los aspectos más importantes.

1.4.2 Estudio Hidrológico

- Caracterización Hidrogeomorfológica de las Cuencas de Aporte Hídrico
 - Definición de la red de escurrimientos
 - Áreas deprimidas anegadas
 - Delimitación de las subcuencas
 - Tipo de suelos y cobertura vegetal en los sectores rurales
 - Uso del suelo y grado de urbanización en las áreas con asentamiento poblacional
 - Infraestructura actual relacionada con los escurrimientos
- Determinación de la Tormenta de Diseño
 - Periodo de retorno
 - Duración
 - Lámina total
 - Distribución temporal
 - Distribución espacial
 - Lluvia neta o efectiva
- Transformación Lluvia – Caudal y Propagación de Caudales
 - Hidrogramas
 - Caudales picos para los distintos períodos de recurrencia
 - Niveles de escurrimiento para los distintos períodos de recurrencia

1.4.3 Proyecto de Obras de Drenaje

- Evaluación del Sistema Proyectado
 - Estructuras de Escurrimiento
- Obras Proyectadas
 - Codón Cuneta
 - Badenes
 - Microembalses

1.4.4 Proyecto Vialidad Interna

- Anteproyecto
 - Relevamiento Topográfico
 - Propuesta de Perfil Geométrico
 - Trazado de Alternativas Planialtimétricas
 - Análisis y Elección de alternativas
- Proyecto Ejecutivo

- Elección de Perfil Tipo Geométrico y Estructural
- Trazado de Planialtimetría definitiva
- Diseño de Intersecciones

1.4.5 Elaboración de Documentación

- Memoria Descriptiva
- Memoria de Ingeniería
- Computo Métrico
- Pliego de Especificaciones Técnicas
- Planos
 - Planialtimetría de Ubicación
 - Planimetría General
 - Planimetría de Drenaje
 - Planos de Detalle de Obras Proyectadas
 - Planialtimetrías de Calles
 - Perfiles Tipo de Calles

CAPITULO 2: PROBLEMÁTICA A ABORDAR

2.1 IMPACTO HIDROLOGICO DE LA URBANIZACION

El cambio de uso de suelo que genera mayores escurrimientos es la urbanización, pues no existen mayores grados de impermeabilización en la vida real, que los de este tipo.

Como dijimos anteriormente las actividades humanas producen una perturbación en el ciclo del agua. El aumento del grado de impermeabilización de una cuenca producto de la urbanización implica modificar dicho ciclo. Chocat (1997), reconoce cinco efectos:

- 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
- La contaminación de los medios receptores

En base a estos efectos planteados por dicho autor, el Ingeniero Juan Carlos Bertoni y Adolfo Maza en su libro “Inundaciones Urbanas en Argentina” establecen, que los tres primeros puntos, tienen una influencia significativa sobre el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los medios urbanos (Figura 1)

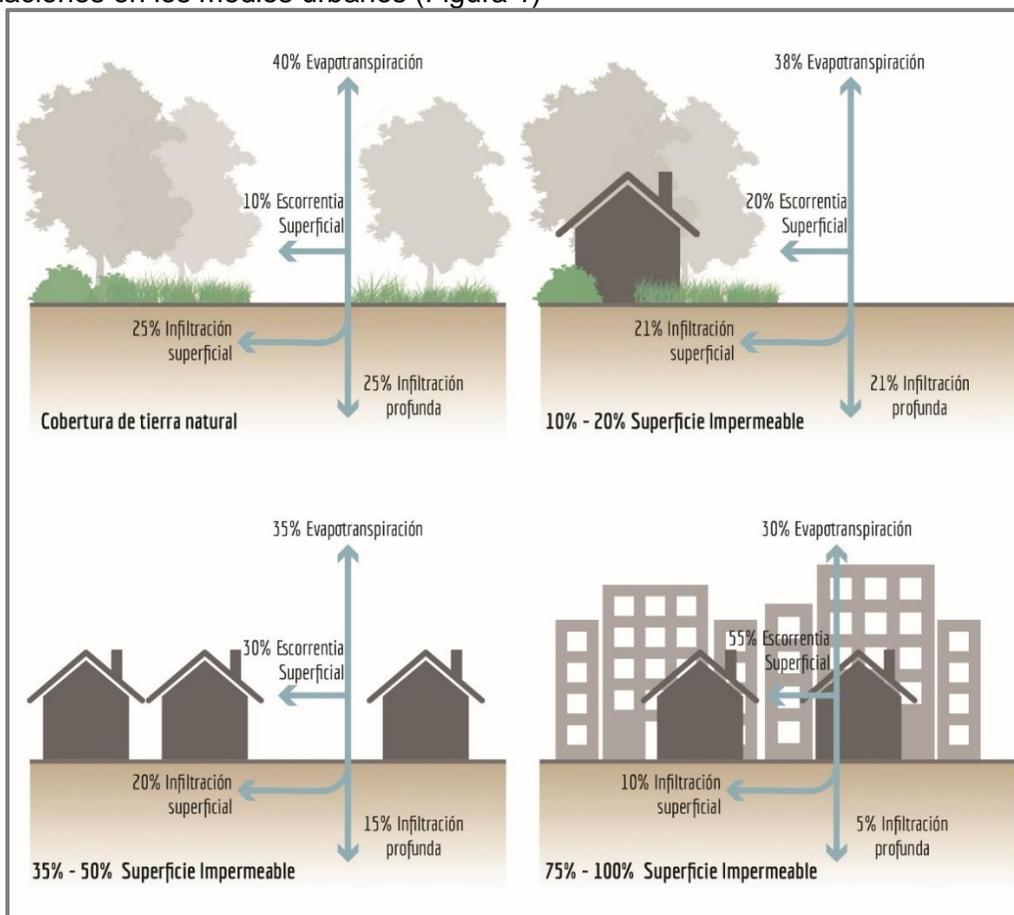


Figura 1: Relación entre impermeabilización y aumento del escurrimiento superficial

El desarrollo urbano, la pavimentación y la proporción cada vez menor de espacios verdes en relación con las zonas edificadas traen como consecuencia un aumento notable de los escurrimientos pluviales en las ciudades.

En las ciudades más chicas con pocas calles pavimentadas, terrenos baldíos intercalados y con casas generalmente provistas de fondos de tierra o jardines, la lluvia encuentra una gran proporción de zonas de infiltración (tierra, jardines) con relación a las zonas impermeables (techos, pavimentos). El agua que escurre como resultado de la lluvia de determinada intensidad sobre un área en esas condiciones es muy inferior a la que se produce sobre una ciudad densamente urbanizada donde prácticamente el 100% de su superficie es impermeable.

La urbanización en una cuenca tiende a llenar las áreas bajas (las cuales en un primer momento proveían almacenamiento) y a pavimentar áreas permeables (que proveían infiltración). La suma de un sistema de alcantarillado pluvial con cordones y cunetas colecta más escurrimiento y lo dirige a cauces, lagos o humedales. Esta acción produce un gran volumen de escurrimiento con altos y frecuentes caudales picos. Esto produce importantes daños a la integridad física y biológica del cauce receptor.

Lo mencionado anteriormente se puede observar en la Figura 2, donde se muestran los hidrogramas en escenario en estado natural y otro luego de que el mismo ha sido urbanizado.

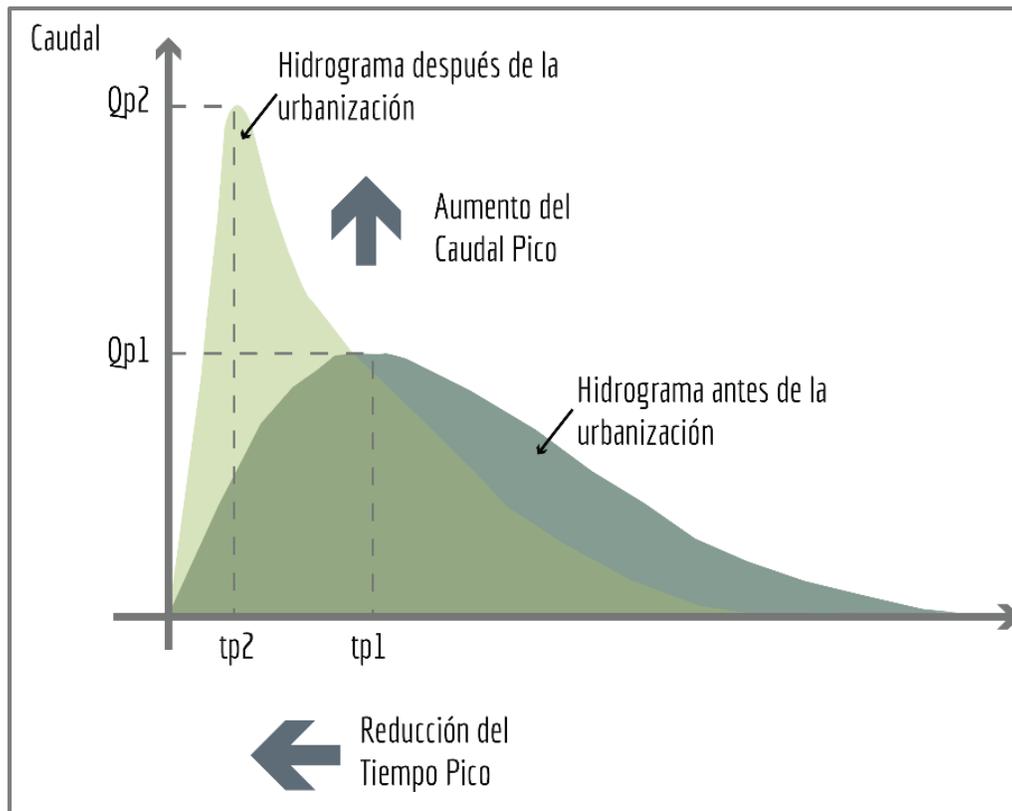


Figura 2: Impacto hidrológico de la urbanización

En EE. UU. se ha recomendado capturar y tratar el escurrimiento que varía de 5,8 mm por hectárea impermeable hasta el correspondiente al tiempo de retorno de 2 años y duración 24 hrs.

UNESCO (1987) ejemplifica a través de algunas situaciones el impacto que la urbanización produce en las áreas urbanizadas:

- Un aumento de la impermeabilidad de 40% produce una disminución del 50% en los tiempos de distribución del escurrimiento y un aumento del 90% del caudal máximo de las crecidas.
- Cuando la densidad poblacional pasa de 0,4 hab./ha. a 50 hab./ha. los tiempos de distribución de los escurrimientos se reducen a la décima parte y los volúmenes escurridos aumentan diez veces.
- La evapotranspiración se reduce en un 38%.
- El escurrimiento superficial aumenta en un 88%.

La literatura especializada cita algunos valores que permiten dimensionar la magnitud de este impacto. Para una cuenca de 260 has. Leopold (1968) estimó que su urbanización total junto a la ejecución de conductos de drenaje puede aumentar el caudal pico hasta seis veces con relación a la situación natural. Cabe consignar que en algunos casos el impacto hidrológico ha superado estos porcentajes. Desbordes (1989) cita que a causa de obras derivadas de la urbanización, algunas cuencas francesas han visto su tiempo de respuesta dividido por un factor del orden de 5 a 15 y, en consecuencia, la multiplicación del caudal de punta específico ha sido afectado por un factor variando entre 5 y 50. Tucci (1994) analizó la variación del coeficiente de escurrimiento entre áreas rurales y urbanas, concluyendo que para sectores con urbanización media esta variación puede llegar a valores del orden del 200 %. Para la ciudad de Rafaela, Santa Fe, Bertoni (2001), determinó, en base a datos hidrológicos y de urbanización, que un crecimiento del 15 % en el porcentaje de urbanización representa 140 % de reducción del tiempo de concentración y 100 % de aumento del caudal de punta específico. Cabe aclarar también, que el remplazo de la cobertura vegetal, por superficies impermeabilizadas también influye de manera directa en el porcentaje evapotranspiración del área disminuyendo su valor, ya que la cobertura vegetal, retiene una gran cantidad de agua para ser absorbida para su crecimiento, efecto que no es capaz de realizar la superficie urbana.

2.2 INUNDACIONES URBANAS

2.2.1 Generalidades

De acuerdo con el Glosario Hidrológico Internacional (WHO-UNESCO, 2012), la inundación se define de la siguiente manera:

- Aumento en el nivel de agua de un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel de agua asciende a menor velocidad;
- Caudal alto de un río o arroyo medido por medio de la altura de nivel o por la descarga;
- Aumento de la marea.

Una inundación puede estar relacionada con precipitaciones intensas o prolongadas, la crecida de un río, la marea de tormenta, el oleaje, o con la falla de alguna estructura hidráulica, todo lo cual provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar. Otros factores que influyen en la ocurrencia de inundaciones son: la capacidad de absorción de los suelos al momento de las lluvias o crecida, la insuficiente capacidad de descarga de los cursos de agua y la pendiente del terreno (zonas de estancamiento). El desborde genera la invasión de agua en sitios en los cuales usualmente no la hay y ocasiona, por lo común, daños sobre la población y los bienes que se distribuyen sobre el territorio afectado. Es importante destacar que, en todos los casos, una inundación es un evento que forma parte de la dinámica propia de los cursos y cuerpos de agua. Por lo tanto, es esperable que ocurra cada cierto período de tiempo (recurrencia). Comprender esta característica es fundamental para llevar a cabo las tareas preventivas.

Las inundaciones urbanas se producen como resultado directo o indirecto de la modificación del ciclo del agua en las ciudades. La superficie pavimentada y las edificaciones producen un aumento del escurrimiento superficial (que también se hace más veloz) y una disminución de la infiltración, concentrándose el agua en calles y avenidas.

2.2.2 Tipo de Inundaciones

➤ *Inundaciones pluviales (anegamientos):*

También conocidas como “de drenaje urbano” (Tucci, 2005), se trata de aquellas inundaciones originadas por lluvias intensas o abundantes que superan la capacidad de conducción del sistema pluvial urbano. También son conocidas como aquellas que el aumento de su frecuencia y magnitud se debe fundamentalmente al proceso de ocupación del suelo con superficies impermeables y redes de conducciones de los escurrimientos.

En las zonas de baja altitud dentro de las ciudades, la formación de reservorios o depósitos de agua se produce no sólo debido a las altas tasas de precipitación, sino también debido a las obstrucciones del drenaje causadas por los escombros y por los bloqueos de alcantarillas y puntos de recolección, a menudo debido a la falta de mantenimiento.

Este tipo de evento tiene las características de una inundación repentina, pues se asocia con frecuencia a tormentas severas con importante desarrollo convectivo, de corta duración y concentrada en un área relativamente pequeña. La calificación de “repentina” refiere a la rapidez de la formación de la corriente debido a la intensidad de las lluvias y a las consiguientes altas velocidades que alcanza el flujo de agua. Esta rapidez las hace particularmente peligrosas para las personas y sus bienes, ya que, dependiendo de la configuración territorial de la ciudad y su entorno, pueden transformarse en flujos de lodo y escombros. En general, estas inundaciones pueden ser constantes u ocasionales. En el caso de inundaciones constantes la causa básica radica en errores en el proyecto o en la ejecución de pavimentos de calles y avenidas, en la modificación local de la rasante de la calle por la acción de árboles o lomadas, en la ubicación inadecuada o insuficiente de bocas de tormenta o en la falta de análisis de las consecuencias de la concentración excesiva del flujo sobre ramales existentes. También puede ser una causa la falta de capacidad del sistema de drenaje en los conductos de aguas abajo. Este tipo de inundaciones se asocia con el sistema de microdrenaje.

➤ *Inundaciones ribereñas o costeras*

Típicas de ciudades ubicadas sobre las márgenes de cursos de agua, mares y sistemas mixtos (como los estuarios), se producen como consecuencia del desborde de ríos y

arroyos o por crecidas del mar. El aumento en el caudal de los ríos y el derrame del agua sobre sus llanuras de inundación afectan las ciudades que allí se desarrollan, muchas veces a pesar de contar con sistemas de defensas o terraplenados artificiales. Así, la decisión de “ganar” terrenos al río y ocupar áreas inundables a través de la construcción de infraestructura como canales, entubamientos y terraplenes suele generar condiciones de vulnerabilidad y exposición de la población frente a las inundaciones (Viand y González, 2012).

En sistemas particulares como los estuarios, las inundaciones se producen en general cuando los efectos de las mareas generadas por los centros de baja presión y los vientos persistentes e intensos se superponen con un período de mareas altas. La forma de embudo característica de muchos estuarios provoca un aumento en los niveles altos de agua en la parte superior, estrechando tramos del río asociado. Estos tipos de inundaciones son experimentados sobre todo en deltas y son más frecuentes y menos graves en términos de profundidad que las inundaciones causadas por las mareas de tormenta. En general, estas inundaciones están asociadas con el sistema de macrodrenaje.

➤ Inundaciones mixtas

Como su nombre lo indica, se trata de inundaciones urbanas donde se combina la crecida de un río con la falta de capacidad del sistema pluvial para la evacuación de los excedentes generados por lluvia.

2.2.3 Medidas para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Urbanas

Los efectos de las inundaciones pueden minimizarse a partir de la implementación de una serie de medidas. Hablamos de minimizar y no de eliminar totalmente estos efectos, debido a que, pese a los esfuerzos del hombre, es inadecuado suponer que se pueden controlar todos los efectos de las inundaciones. Estas medidas se clasifican en estructurales y no estructurales (Bertoni, 2004).

➤ Medidas no estructurales:

Estas se basan en que los perjuicios ocasionados por las inundaciones son reducidos a través de una mejor convivencia de la población con las crecidas del río. Incluimos dentro de estas medidas las acciones de cuño social, económico y administrativo. A veces estas medidas también se las denomina “No Obras”, para distinguirlas de las anteriores.

➤ *Medidas estructurales*

Son aquellas que modifican el sistema de drenaje de una cuenca hidrográfica a través de obras, generalmente de ingeniería civil, para evitar o minimizar los principales inconvenientes y daños que generan las inundaciones. También incluimos en este tipo de obras las de ingeniería forestal y de eco-hidrología (forestación, re-naturalización de laderas y cauces, etc.).

Las medidas estructurales tienen la ventaja de que, generalmente, permiten obtener los resultados deseados de manera inmediata luego de su realización. Sin embargo, usualmente, suponen mayores costos que las medidas no estructurales.

Las medidas estructurales nunca son proyectadas para dar una protección completa y total, ya que ello exigiría construir obras que aseguraran el resguardo aún frente a la mayor

crecida posible, lo cual suele resultar física y económicamente inviable. Por lo tanto, es imprescindible complementar las obras con la adopción de medidas no estructurales. Hasta hace unos años se creía, de manera errónea, que la solución a los problemas de las inundaciones era dada exclusivamente por obras de ingeniería, tales como canales, conductos, alcantarillas, diques laterales de protección y presas. Actualmente ya no existen dudas de que ninguna obra podrá funcionar tal como originalmente fue prevista si junto a la misma no implementamos también un conjunto de medidas no estructurales.

Las medidas estructurales pueden ser:

- Intensivas: cuando se realizan dentro del sistema de drenaje, es decir, dentro del curso del río principal y/o sobre los cursos de agua de menor envergadura (arroyos, quebradas, lagunas, etc.).
- Extensivas: cuando se realizan y actúan en distintas partes de la cuenca hidrográfica. Se trata de medidas que intentan modificar las relaciones entre la precipitación y el escurrimiento superficial, como ser la alteración de la cobertura vegetal del suelo, que reduce y retarda los picos de crecidas y controla la erosión de la cuenca.

Las medidas intensivas, es decir aquellas que se realizan dentro de los cauces de los cursos de agua, pueden ser de tres tipos:

- Obras que aceleran el escurrimiento: construcción de diques y pólderes, el aumento de la capacidad de descarga de los ríos y el corte de “meandros” (curvas naturales de los ríos), hecho que hace que aumente en dicho sector la pendiente del río y se logre así un aumento local de la capacidad de drenaje del río;
- Obras que retardan el escurrimiento: reservorios y lagunas de amortiguación de caudales máximos. Este tipo de obras es ampliamente utilizado en la ejecución de loteos.
- Obras que desvían el escurrimiento: obras como canales de desvíos.

Las medidas intensivas pueden ser realizadas dentro del lecho menor o mayor de un curso de agua. El lecho (o cauce) menor es aquel que es ocupado permanentemente por el flujo de agua. El lecho mayor está formado por terrazas o planicies de inundación laterales a los cursos y es aquel que ocupa el río cuando se producen las crecidas. Tanto el cauce menor como el mayor forman, en conjunto, el cauce completo del curso de agua. En los ríos de montaña el cauce mayor es de reducida (o nula) extensión, mientras que en los cauces de llanura puede ocupar hasta varias decenas de km a cada lado del curso menor.

Cuando la frecuencia de desbordamiento del lecho menor es superior a 2 años, existe la tendencia de la población a ocupar las terrazas o planicies laterales que conforman el lecho mayor. Debido a las crecidas, esta ocupación genera daños importantes a los ocupantes de estas áreas y también a las poblaciones aguas arriba, que son afectadas por las elevaciones de niveles a consecuencia de la obstrucción del escurrimiento natural causado por los primeros ocupantes.

A continuación, se describen las obras que retardan los escurrimientos, ya que las mismas son ampliamente utilizadas en el presente estudio.

Reservorios o Lagunas de Retardo/Laminación

Las lagunas de laminación para el control de crecidas funcionan reteniendo temporariamente parte del volumen de las crecidas, reduciendo así el caudal pico y el impacto aguas abajo de la obra. En la Figura 3 se observa el hidrograma que muestra la variación de los caudales del río en función del tiempo.

Un reservorio capaz de almacenar temporariamente un cierto volumen del hidrograma produce la reducción del caudal máximo y el retraso de la onda de crecida, con los beneficios que ello presupone hacia aguas abajo (hidrograma amortiguado).

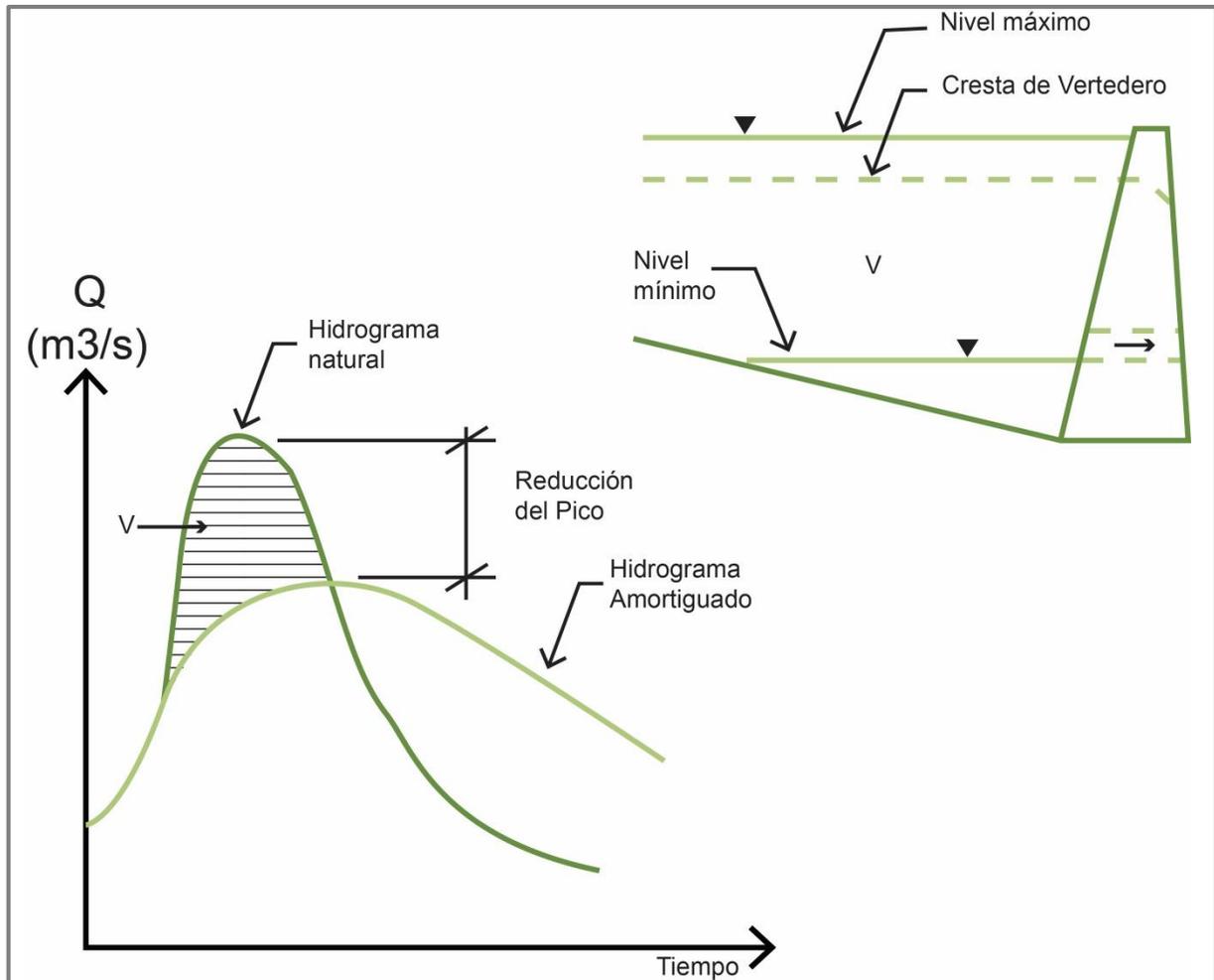


Figura 3: Perfil típico y efecto de un reservorio sobre el hidrograma de una cuenca

Obras de control de escurrimiento urbano

Para lograr un adecuado control de escurrimiento asociado al drenaje urbano es conveniente que se promuevan obras y medidas orientadas a laminar los caudales picos producidos por las lluvias y, de ser posible, a reducir el volumen de escurrimiento. Estas obras de control podrán ser realizadas en tres niveles diferentes:

- En la "fuente" (dentro del lote o bien dentro del loteo).

- En el microdrenaje.
- En el macrodrenaje.

Uno de los criterios a considerar en áreas urbanas con desarrollo futuro es el de promover el control en la “fuente” toda vez que ello sea posible, ya que está comprobado que a medida que aumenta la distancia entre la fuente de producción del escurrimiento y la ubicación de la obra de control, también aumenta de manera considerable el costo necesario para lograr un manejo sustentable del drenaje urbano.

El criterio que generalmente se aplica en la laminación de caudales máximos es el de lograr el “Impacto Hidrológico Cero” (o Nulo). Este importante criterio, sobre el cual se basa el presente estudio, consiste en ejecutar obras de control de modo que el caudal pico producido por el lote urbanizado sea similar a aquel producido en la situación previa a la urbanización, como ya se explicó en secciones anteriores. Este concepto es de aplicación para los tres niveles antes señalados.

En lo que respecta a las obras de control en el microdrenaje y macrodrenaje serán explicados en la siguiente sección.

2.2.4 Macrodrenaje y Microdrenaje

Existe una marcada tendencia respecto a la planificación, proyecto y operación de un sistema de drenaje pluvial urbano a distinguir entre dos componentes o subsistemas para el análisis de los mismos. Estos son el macro y el micro drenaje, como se puede ver en la Figura 4.

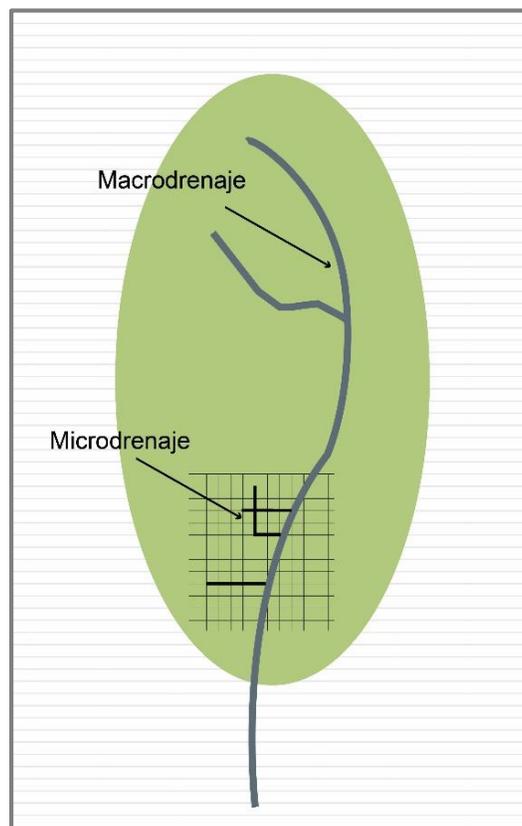


Figura 4: Subsistemas asociados al drenaje urbano

Así, cuando nos referimos al macrodrenaje, estamos hablando de todos aquellos cursos naturales de escurrimiento, sin importar la magnitud que presenten, definidos por las depresiones propias de la topografía de la cuenca. Se encuentra siempre, independientemente si se ejecutan o no obras específicas de drenaje y por lo general, drenan áreas mayores a 5 Km² dependiendo del tamaño de la cuenca y el relieve de la región. Está asociado a lluvias excepcionales, y en relación con el proyecto, debe poder eliminar o reducir al máximo posible los daños provocados por estas, convenientemente aquellas que presenten tiempos de recurrencia de entre 10 y 100 años, con tendencia (cuando sea posible) de concentrarse en períodos de retorno superiores a 25 años.

Las obras de control en el macrodrenaje drenan áreas de aporte superiores a 1 ó 2 km². En este caso, la acción típica para el control del drenaje urbano es la planificación de los espacios urbanos para el desarrollo de áreas de detención y de retención.

Las lagunas de retención sirven para amortiguar el pico de la crecida y se mantienen secas la mayor parte del tiempo; por lo general se trata de que el tiempo de vaciado sea menor a 1 día, aunque ello depende de la frecuencia con que se repitan los eventos severos. A estos reservorios se los emplea para el control cuantitativo del escurrimiento.

Por otro lado, el subsistema de microdrenaje se compone por todas aquellas obras de drenaje urbano realizadas en áreas donde el escurrimiento natural no se encuentra claramente definido, sino que el mismo se determina por la ocupación del suelo, es decir, existe una definición artificial del drenaje. Se encuentra asociado a lluvias frecuentes y debe estar proyectado para un funcionamiento sin inconvenientes ante tormentas con tiempos de retorno entre 2 y 25 años, dependiendo del tipo de ocupación del sector. En las ciudades y demás áreas urbanas, este tipo de subsistemas quedan definidos por componentes tales como: trazado de calles, cordón cuneta, badenes, alcantarillas, los sumideros o bocas de tormentas y los sistemas de conducción subterránea hasta la salida hacia el macrodrenaje.

Las obras de control en el microdrenaje drenan loteos y áreas de aporte de hasta 1 ó 2 km² aproximadamente. Estas medidas se orientan a incrementar la infiltración (paseos, plazas y áreas públicas con el incremento de áreas verdes) y el almacenamiento local (reservorios de amortiguación en paseos, plazas, zonas bajas, bañados, etc.).

Para el proyecto de las obras de amortiguación debemos tener en cuenta aspectos tales como: tipología de la urbanización, tamaño de los lotes urbanos incluidos dentro de la urbanización, grado de impermeabilización de los lotes y pendiente general del sector.

CAPITULO 3: ESTUDIO HIDROLOGICO – HIDRAULICO

3.1 UBICACIÓN

El Loteo Macagno se ubica sobre el sector Norte de la localidad de Hernando (sombreado en color blanco en la siguiente figura) y comprende una superficie total de 28,4 Ha a dividir en aproximadamente 400 lotes, con superficies de entre 300 y 1500 m², destinados para la construcción de viviendas unifamiliares.



Figura 5: Ubicación del loteo (blanco) sobre imagen del Google Earth

3.2 DELIMITACION DE CUENCAS

3.2.1 Determinación Cuencas Externas

En un estudio de estas características es necesario diferenciar dos tipos de cuencas, por un lado, se encuentran las CUENCAS INTERNAS del loteo, las que son definidas por el proyecto de las rasantes y badenes del loteo y permiten manejar los excedentes del loteo. Por otro lado, se encuentran las CUENCAS EXTERNAS que son aquellas que ingresan externamente al loteo y son conducidas por obras de drenaje internas o adyacentes al loteo.

Es importante destacar una situación particular que sucede en este loteo, aguas arriba del mismo se desarrolla un camino en sentido Norte – Sur que se encuentra totalmente erosionado y con una profundidad máxima del orden de 4 m con respecto al terreno natural, por lo que este camino funciona como un canal que traslada el escurrimiento de las cuencas rurales hacia el Sur o Ruta Provincial N°6. Sin embargo, cuando este camino

se encuentra con el Canal Norte, parte del agua ingresa hacia el Canal y otra porción sigue en dirección hacia el Sur.

En las siguientes figuras se presentan la ubicación de las obras de drenaje mencionadas y algunas fotografías que permiten apreciar como en la intersección del camino y el canal parte del agua pasa hacia el canal por un bordo tipo vertedero y otra parte continúa hacia el Sur.

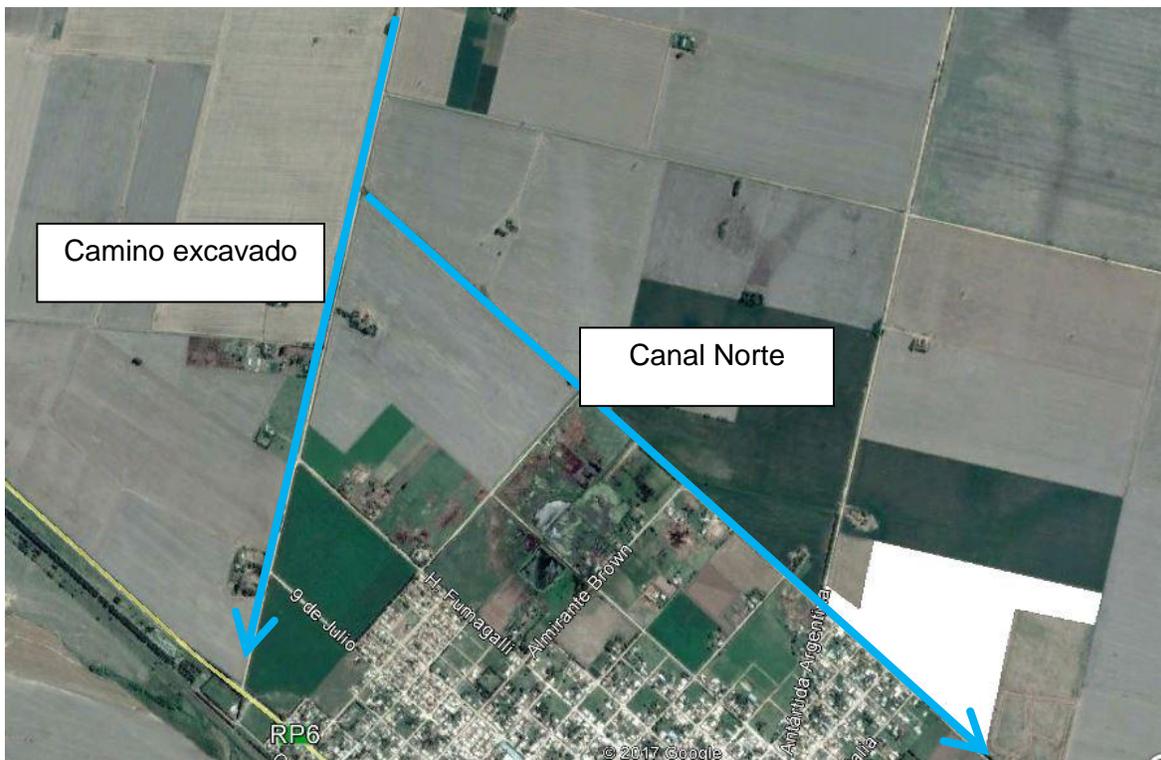


Figura 6: Ubicación de la intersección del Canal Norte con camino excavado



Figura 7: Fotografía del camino excavado en sentido Norte – Sur



Figura 8: Fotografía del ingreso al Canal Norte en forma de vertedero

En una primera instancia, la delimitación de la macro-cuencas y su red de escurrimiento ha sido analizada sobre la base de las cartas topográficas del I.G.N. a escala 1:25.000 del sector (Figura 9). En forma complementaria y para lograr más detalle de los cierres de las subcuencas se tomaron las imágenes y curvas de nivel disponibles en el programa Google Earth, además de un recorrido en detalle por la cuenca relevando las obras de drenaje como alcantarillas, cunetas y bajos naturales existentes.

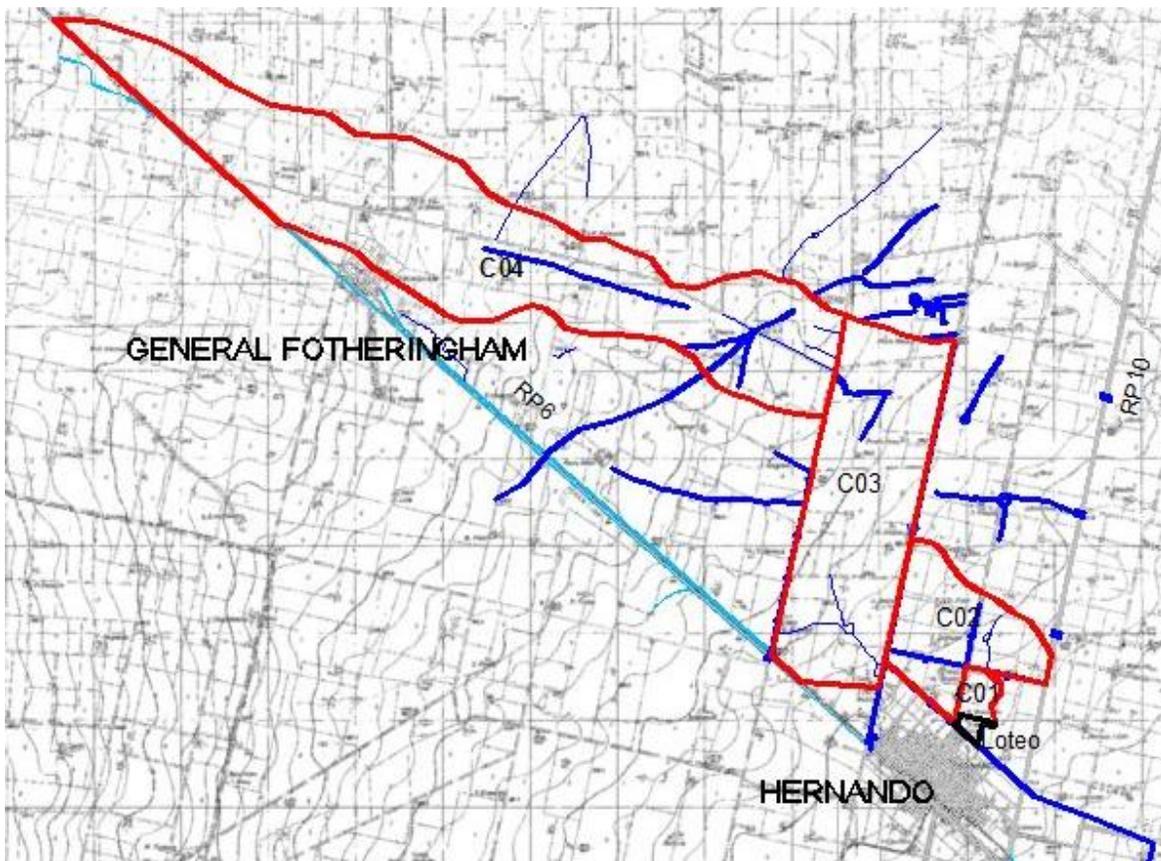


Figura 9: Cuencas externas sobre cartas del IGN.

Como se puede observar, el sentido general de escurrimiento es Noroeste – Sureste, llegando el escurrimiento desde el Norte de la localidad de General Fotheringham y concentrándose sobre el camino que funciona como canal.

En la siguiente figura se presenta un detalle del drenaje en el sector del loteo, en donde se puede apreciar que las cuencas externas C03 y C04 bajan hacia el Sur por el camino excavado y luego se bifurca los excedentes por un lado hacia el Sur y por otro hacia el Canal Norte. Es de interés de este trabajo los caudales que transporta el Canal Norte, ya que estos determinan el tirante que tomará el mismo ante determinadas recurrencias.

Las cuencas externas C02 se concentra en los caminos también erosionados y llegan al Canal Norte por la cuneta de un camino, aguas arriba del loteo. Por otro lado la cuenca

externa C01 ingresa al loteo por el sector Norte y se prevé su conducción por las calles del loteo.

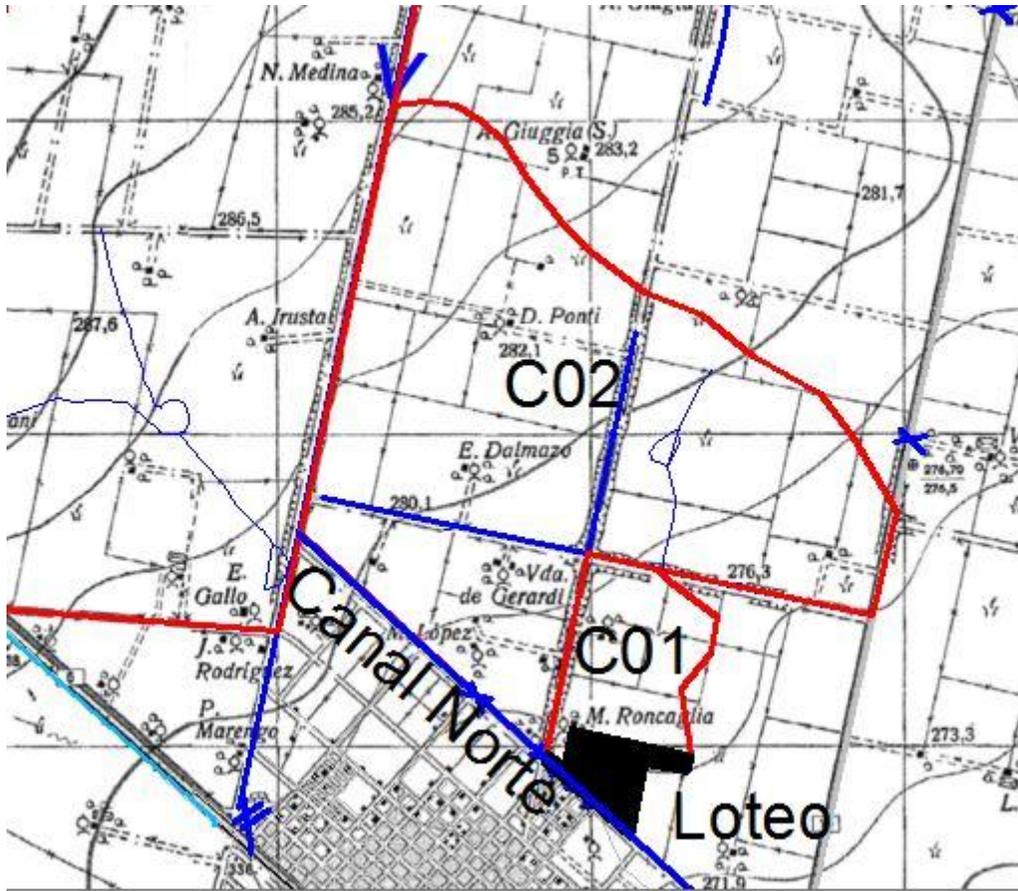


Figura 10: Detalle de distribución de caudales sobre Canal Norte.

Entre la lluvia y el caudal escurrido a la salida de la cuenca ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre ambos y que básicamente están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca y su cobertura. Dichas características se clasifican en dos tipos: las que condicionan el *volumen* de escurrimiento, como el área y tipo de suelo; y las que determinan la *velocidad de respuesta*, como son la pendiente de la cuenca y de los cursos de agua, la cubierta, etc. De las cuencas delimitadas fueron determinados los parámetros físicos más importantes, los cuales se resumen en la Tabla 1.

Cuenca	A (Km2)	L (km)	H (m)	Sc (%)
C01	0.95	1.30	2.50	0.19
C02	8.12	4.95	10.90	0.22

C03	20.82	12.15	16.00	0.13
C04	41.54	22.40	45.00	0.20

Tabla 1: Parámetros físicos de las cuencas externas.

3.2.2 Determinación de las Cuencas Internas

La red de drenaje y las subcuencas internas del loteo están íntimamente relacionadas con la disposición de la red vial interna. Para la determinación de las cuencas internas se han tomado los sentidos de escurrimiento de las calles proyectadas y los diferentes puntos de concentración de caudales. Se presentan en la siguiente figura las cuencas internas del loteo.



Figura 11: Cuencas internas basadas en proyecto de las calles

Como se puede observar todas las cuencas internas se concentran sobre el espacio verde que queda en el sector Sur del Loteo, el que servirá como laguna de regulación para recibir estos aportes y descargarlos en el Canal Norte. En la siguiente tabla se presentan los parámetros físicos más importantes.

Cuenca	A (Ha)	L (km)	H (m)	Sc (%)
CI 01	5	0.44	0.88	0.20
CI 02	16	0.88	1.76	0.20
CI 03	8	0.40	0.80	0.20

Tabla 2: Parámetros físicos de las cuencas internas.

3.3 TORMENTA DE DISEÑO

La *tormenta de diseño* es la secuencia de precipitaciones capaz de provocar la crecida de diseño en la cuenca analizada. Su determinación implica definir la duración de la lluvia, la lámina total precipitada, su distribución temporal y espacial, y la porción de dicha lámina que efectivamente contribuye a la generación de escorrentías.

La provincia de Córdoba cuenta actualmente con valiosos estudios sobre tormentas de diseño realizados por el Centro de Investigaciones de la Región Semiárida (C.I.R.S.A.) perteneciente al Instituto Nacional del Agua. Esta repartición elaboró el trabajo "*Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba*" [] a partir de los registros de 141 estaciones pluviométricas y 7 pluviográficas en toda la provincia.

Según este análisis del C.I.R.S.A., el área en estudio queda comprendida en la Zona Suroeste, la cual tiene como pluviógrafo base la estación Río Cuarto, por lo que se han utilizado los parámetros de esta estación. Los valores de intensidad de la tormenta en función del tiempo de retorno y duración de la lluvia se presentan en la Tabla 3 y Figura 12.

Duración "d" min.	Intensidad de Precipitación "mm/h"					
	Recurrencia "Años"					
	2	5	10	25	50	100
10	86.2	104.1	119.9	144.7	166.8	192.3
20	67.7	81.7	94.1	113.6	130.9	150.9
30	55.9	67.4	77.7	93.8	108.1	124.6
40	47.7	57.5	66.3	80.0	92.3	106.4
50	41.7	50.3	58.0	69.9	80.6	92.9
60	37.0	44.7	51.5	62.2	71.7	82.6
70	33.4	40.3	46.4	56.0	64.6	74.4
80	30.4	36.7	42.3	51.0	58.8	67.8
90	27.9	33.7	38.8	46.9	54.0	62.3
100	25.8	31.2	35.9	43.4	50.0	57.6
110	24.1	29.0	33.5	40.4	46.5	53.6
120	22.5	27.2	31.3	37.8	43.5	50.2
130	21.2	25.5	29.4	35.5	40.9	47.2
140	20.0	24.1	27.8	33.5	38.6	44.5
150	18.9	22.8	26.3	31.7	36.6	42.2
160	18.0	21.7	25.0	30.1	34.7	40.0
170	17.1	20.6	23.8	28.7	33.1	38.1
180	16.3	19.7	22.7	27.4	31.6	36.4

Tabla 3: Intensidad (mm//h) para estación Río Cuarto.

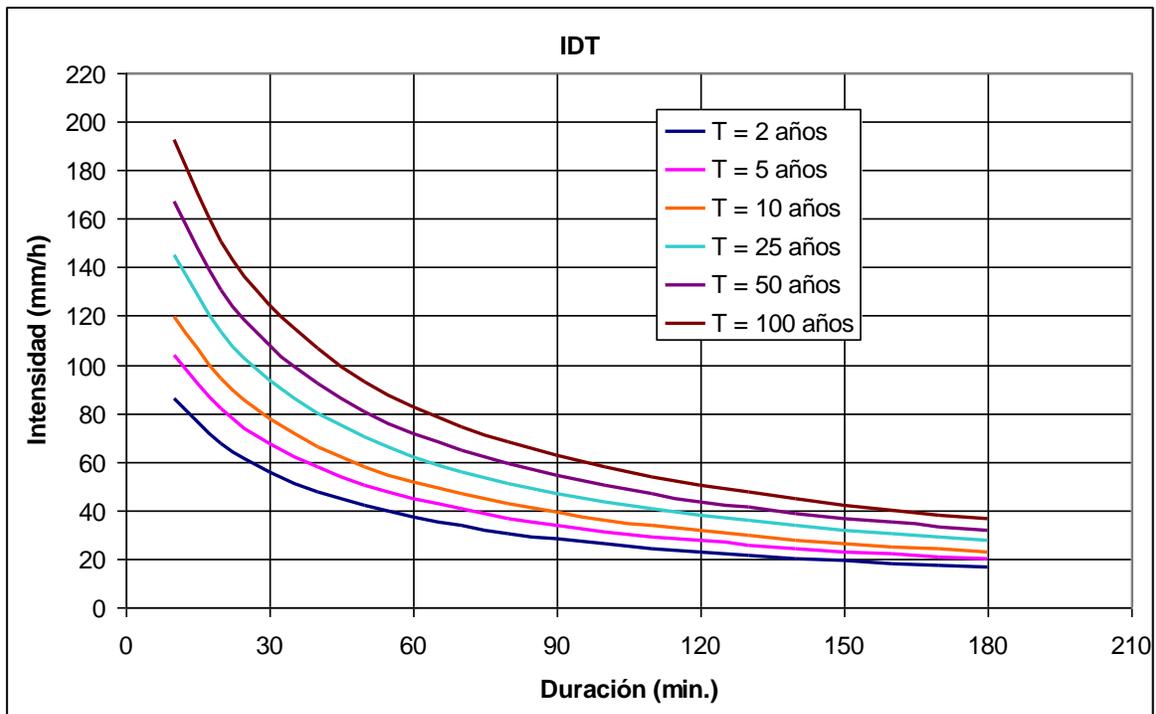


Figura 12: Curvas IDT estación Río Cuarto.

3.3.1 Período de Retorno (TR)

Los sistemas hidrológicos son afectados por eventos extremos, cuya magnitud está inversamente relacionada con la frecuencia de ocurrencia. Por definición, el período de retorno (o de recurrencia) es el tiempo promedio durante el cual se espera que la magnitud analizada sea igualada o superada, al menos, una vez.

En el presente trabajo se han adoptado diferentes períodos de retorno, según las funciones básicas y complementarias de un sistema de drenaje. Para la función básica se ha elegido un período de 100 años, valor utilizado recomendado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba. En el caso de la función complementaria, la recurrencia es función del uso de la tierra y el tipo de vía terrestre, lo cual para lotes con uso residencial sobre calles es de 5 años.

En el presente se han verificado las obras de drenaje como el perfil tipo de las calles para recurrencia de 5 años (función básica) y se ha comprobado que el tirante para 100 años (función básica) no supere el nivel de los futuros umbrales de las viviendas.

3.3.2 Duración (d)

La duración de una tormenta de diseño se adopta igual o levemente superior al *tiempo de concentración* (t_c) de la cuenca. Este criterio permite que el caudal máximo se origine por la contribución de toda el área de aporte. El tiempo de concentración se define como el máximo tiempo de traslado que una gota de lluvia efectiva necesita para poder alcanzar la sección de salida de la cuenca. Para la estimación de dicho tiempo existe un gran número de fórmulas empíricas y cuya aplicabilidad debe ser analizada para cada caso.

Para la estimación del t_c de cada cuenca se evaluaron varias fórmulas empíricas basadas en sus características físicas. La mayoría de dichas fórmulas son descriptas en algunas de las referencias bibliográficas citadas [], de las cuales se destacan algunas de las más usadas: Método Racional Generalizado (MRG), Pilgrim (P), Kirpich (K), Bransby Williams (BW), Cartas de Velocidad Promedio (CVP) entre otras.

Algunas de las fórmulas utilizadas se presentan a continuación:

Método Racional Generalizado (MRG): origen EEUU, adoptado por la ingeniería vial en la Argentina. Se sugiere adoptar $k = 1$. (ASCE, 1992)

$$T_c = \frac{60 \cdot K \cdot L}{H^{0,3}}$$

Donde:

L = longitud del cauce principal [m]

H = Diferencia de nivel de la cuenca [m]

k = Rugosidad relativa del cauce

Kirpich (K): Desarrollada para cuencas urbanas.

$$T_c = 0,0195 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Donde:

L = longitud del cauce principal [m]

H = Diferencia de nivel de la cuenca [m]

Pilgrim (P): Desarrollada para cuencas rurales de Australia (Pilgrim & Cordery, 1993)

$$T_c = 0,76 \cdot A^{0,38}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración [hs]

A = Área de la cuenca [Km2]

En la siguiente tabla se presentan los valores determinados con las expresiones anteriores, los cuales resultan del mismo orden. Para adoptar el tiempo de concentración de cada cuenca se ha computado el promedio de las fórmulas, considerando que todas son aplicables al caso de estudio.

Cuenca	MRG (min)	K (min)	P (min)	BW	CVP	Promedio (min)
C01	74	54	45	67	99	68
C02	181	144	101	199	352	195
C03	397	350	145	492	1116	500
C04	536	477	188	778	1666	729

Tabla 4: Tiempo de concentración de las cuencas rurales externas

Los tiempos de concentración adoptados abarcaron para la cuenca más pequeña C01 del orden de 1 hora, mientras que para la mayor cuenca C04 de 12 horas.

Cuenca	MRG (min)	K (min)	P (min)	BW (min)	CVP (min)	Promedio (min)
CI 01	30	23	14	30	16	23
CI 02	49	39	23	53	33	39
CI 03	28	22	17	26	15	22

Tabla 5: Tiempo de concentración de las cuencas internas

Para el caso de las cuencas internas, en general el tiempo de concentración prácticamente para todas estuvo en el orden de los 30 minutos.

3.4 METODOS Y MODELOS EMPLEADOS PARA LA ESTIMACION DE CAUDALES

Desde el punto de vista hidrológico el presente trabajo tiene dos objetivos, por un lado, cuantificar el impacto de la urbanización en la generación de caudales de las cuencas y proyectar las correspondientes lagunas de regulación. Para esto y considerando que las cuencas internas son hidrológicamente “pequeñas” se ha utilizado el método racional clásico, dado que permite de una manera sencilla estimar el aumento de caudales por la urbanización del loteo y requiere de poca información de entrada.

3.4.1 Método Racional Clásico

Para la estimación de caudales se ha utilizado el método racional, debido a que desde el punto de vista hidrológico las cuencas en estudio son pequeñas y la intensidad de la lluvia puede ser asumida uniforme en el tiempo y el espacio. El método racional es aplicable a cuencas urbanas y rurales con superficies máximas de hasta 5 Km².

La expresión del método racional es:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360}$$

Donde:

Q: caudal en m³/s.

C: coeficiente de escorrentía.

i: intensidad de la lluvia en mm/h.

A: área de la cuenca en Ha.

3.4.2 Coeficientes de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía (C) representa el porcentaje de lluvia que escurre superficialmente. En este caso se han utilizado los siguientes coeficientes:

- C natural = 0,20
- C calles = 0,60
- C lotes = 0,50

A los fines de evaluar los caudales generados por cada una de las cuencas en los distintos escenarios se calcularon los valores bajo las hipótesis de “situación actual” (estado sin obras) y de “situación futura” (estado con urbanización), es decir con lotes con viviendas edificadas.

Para considerar el efecto de la urbanización, se efectuó un promedio ponderado de las áreas con distinto uso, asignándole a cada una el valor del Coeficiente de Escorrentía “C” correspondiente a sus características, tipo de suelo, cubierta vegetal, grado de impermeabilización, entre otros.

Para la situación actual se ha considerado que el loteo se encuentra en estado natural (coeficiente de escorrentía C = 0,20).

Para la situación futura se estimaron los tipos de superficies, distinguiendo entre cubiertas con casas (C = 1), superficies de calzadas (C = 0,60) y superficie de parques (C = 0,25). El coeficiente de escorrentía ponderado para las cuencas de interés tipo del loteo se presenta en la siguiente tabla.

Tipo	Sup (m2)	Porc (%)	C
Calzadas	90138	32%	0.60
Lotes	171496	60%	0.50
Permeable	22843	8%	0.20
Total	284477	100%	0.45

Tabla 6: Coeficiente de escorrentía ponderado para Loteo.

3.4.3 Modelo computacional SWMM

El programa SWMM (Storm Water Management Model) fue elaborado por la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Este modelo ha sido especialmente desarrollado para

la simulación de sistemas de desagües pluviales y cloacales en forma combinada o separada.

Permite interpretar el comportamiento hidrológico de las cuencas de aportes y la respuesta hidrodinámica del sistema de desagüe. Esta es la principal diferencia respecto de los modelos hidrológicos – hidráulicos estándares, los cuales no consideran las perturbaciones de aguas abajo hacia aguas arriba.

El SWMM utiliza para el tránsito de los hidrogramas métodos hidrológicos e hidráulicos, estos últimos consideran las ecuaciones de Saint-Venant en su forma completa. La posibilidad de modelar el tránsito hidráulico resulta fundamental en la simulación de desagües donde las condiciones de aguas abajo influyan sobre el escurrimiento en el sistema, como por ejemplo en tramos de baja pendiente o aguas arriba de conductos de escasa capacidad.

Así, el SWMM representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una serie de flujos de agua y materia entre los principales módulos que componen un análisis medioambiental. Estos módulos y sus correspondientes objetos de SWMM son los siguientes:

- El Módulo Atmosférico, desde la cual la lluvia caída y los contaminantes depositados sobre la superficie del suelo, que se analiza en el Módulo de Superficie del Suelo. SWMM utiliza el objeto Pluviómetro para representar las entradas de lluvia en el sistema.
- El Módulo de Superficie del Suelo, que se representa a través de uno o más objetos cuenca. Estos objetos reciben la precipitación del Módulo Atmosférico en forma de lluvia o nieve; y generan flujos de salida en forma de infiltración para el Módulo de Aguas Subterráneas y también como escorrentía superficial y cargas de contaminantes para el Módulo de Transporte.
- El Módulo de Aguas Subterráneas recibe la infiltración del Módulo de Superficie del Suelo y transfiere una parte de la misma como flujo de entrada para el Módulo de Transporte. Este módulo permite la simulación utilizando los objetos Acuíferos.
- El Módulo de Transporte contiene una red con elementos de transporte (canales, tuberías, bombas y elementos de regulación), unidades de almacenamiento y tratamiento que transportan el agua hacia los Nudos de Vertido o salidas del sistema. Los flujos de entrada de este Módulo pueden provenir de la escorrentía superficial, de la interacción con el flujo subterráneo, de los caudales sanitarios correspondientes a periodos sin lluvia, o de hidrogramas de entrada definidos por el usuario. Los componentes del Módulo de Transporte se modelan con los objetos Nudos y Conducciones.

De los distintos módulos que componen el modelo SWMM fueron empleados en el presente estudio los denominados Atmosférico, Superficie del Suelo y Transporte, los cuales se describen a continuación.

I. Módulo Atmosférico

Las entradas al sistema son dados por los datos de lluvias que ocurren sobre una o varias de las cuencas definidas en el área de estudio. Los datos de lluvia pueden ser definidos por el usuario mediante series temporales de datos o provenir de un archivo externo al programa. En la actualidad SWMM dispone de diferentes formatos de archivos de datos de lluvia, así como un formato estándar definido por el usuario.

II. Modulo Superficie del Suelo

Las cuencas son unidades hidrológicas de terreno cuya topografía y elementos del sistema de drenaje conducen la escorrentía directamente hacia un punto de descarga. El usuario del programa es el encargado de dividir el área de estudio en el número adecuado de cuencas e identificar el punto de salida de cada una de ellas. Los puntos de salida de cada una de las cuencas pueden ser bien nudos del sistema de drenaje o bien otras cuencas.

Las cuencas pueden dividirse en subáreas permeables (A2) y subáreas impermeables (A1+A3), ver Figura 27. La escorrentía superficial puede infiltrarse en la parte superior del terreno de las subáreas permeables, pero no a través de las subáreas impermeables. Las áreas impermeables pueden dividirse a su vez en dos subáreas: una que contiene el almacenamiento en depresión (A1) y otra que no lo contempla (A3). El flujo de escorrentía desde una subárea de la cuenca puede fluir hacia otra subárea o por el contrario dos subáreas pueden drenar directamente hacia la salida de la cuenca.

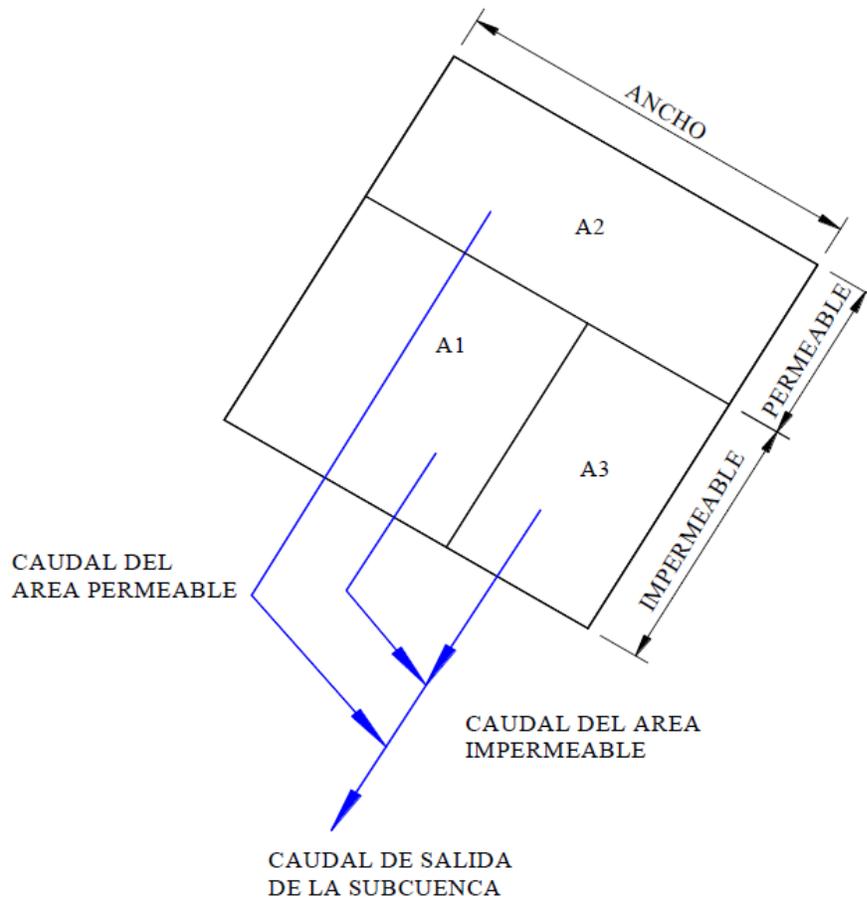


Figura 13: Esquema de modelación del modulo

La infiltración de lluvia de las zonas permeables de una determinada cuenca sobre la parte superior del suelo no saturado puede describirse utilizando tres modelos diferentes:

- El modelo de infiltración de Horton.
- El modelo de infiltración de Green-Ampt.
- El modelo de infiltración basado en el Número de Curva del SCS.

La visión conceptual del fenómeno de la escorrentía utilizado por SWMM se ilustra en la Figura 28. Cada una de las cuencas se trata como un depósito no lineal. Los aportes de caudal provienen de los diferentes tipos de precipitación (lluvia, nieve) y de cualquier otra cuenca situada aguas arriba. Existen diferentes caudales de salida tales como la infiltración, la evaporación y la escorrentía superficial.

La capacidad de este —depósito— es el valor máximo de un parámetro denominado almacenamiento en depresión, que corresponde con el máximo almacenamiento en superficie debido a la inundación del terreno, el mojado superficial de la superficie del suelo y los caudales interceptados en la escorrentía superficial por las irregularidades del terreno.

La escorrentía superficial por unidad de área, Q , se produce únicamente cuando la profundidad del agua en este depósito excede el valor del máximo almacenamiento en

depresión, dp , en cuyo caso el caudal de salida se obtiene por aplicación de la ecuación de Manning. La profundidad o calado de agua en la cuenca (d expresado en pies) se actualiza continuamente en cada uno de los instantes de cálculo (con el tiempo expresado en segundos) mediante la resolución numérica del balance de caudales en la cuenca.

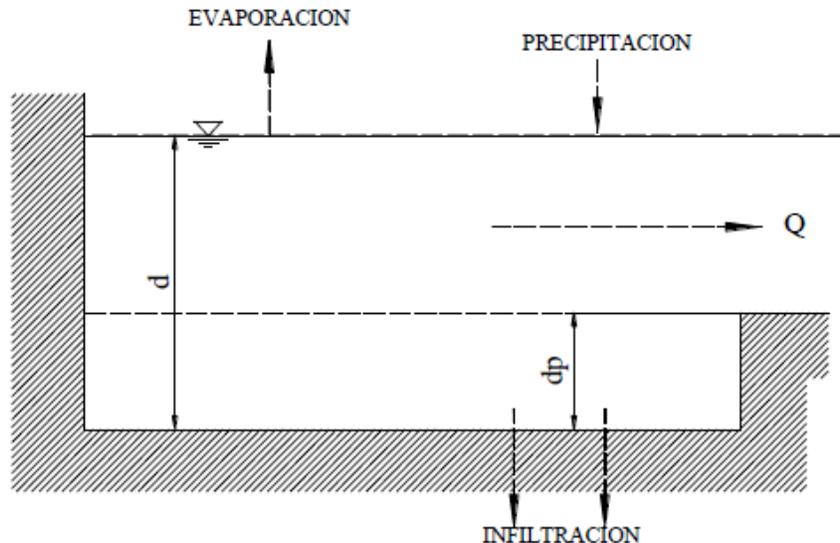


Figura 14: Esquema de reservorio no lineal

III. Módulo de transporte

Las conexiones son nudos del sistema de drenaje donde se conectan diferentes líneas entre sí. Físicamente pueden representar la confluencia de canales superficiales naturales, pozos de registro del sistema de drenaje, o elementos de conexión de tuberías.

Los aportes externos de caudal entran en el sistema a través de las conexiones. El exceso de agua en un nudo se traduce en un flujo parcialmente presurizado mientras las conducciones conectadas se encuentren en carga. Este exceso de agua puede perderse completamente del sistema o por el contrario estancarse en la parte superior para posteriormente volver a entrar de nuevo en la conexión.

Los conductos son tuberías o canales por los que se desplaza el agua desde un nudo a otro del sistema de transporte. Es posible seleccionar la sección transversal las distintas variedades de geometrías abiertas y cerradas definidas en el programa.

Asimismo, el programa permite también definir áreas de sección transversal irregular permitiendo representar con ello cauces naturales. La Figura 29 muestra un sistema de desagüe idealizado como una serie de arcos o conductos conectados a nodos o uniones.

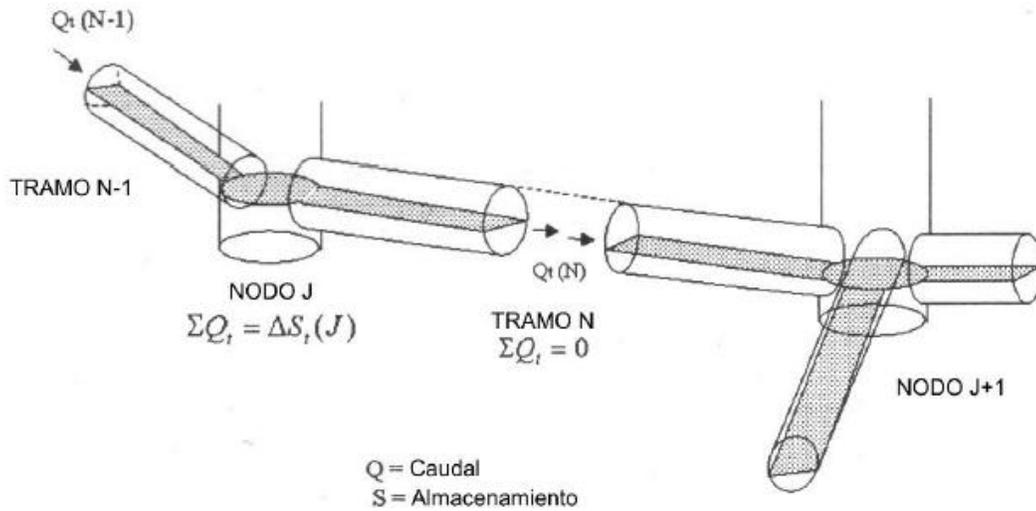


Figura 15: Representación conceptual del módulo de transporte

SWMM emplea la ecuación de Manning para establecer la relación entre el caudal que circula por el conducto (Q), la sección del mismo (A), su radio hidráulico (Rh) y la pendiente (S) tanto para canales abiertos como para conductos cerrados parcialmente llenos.

Para los casos de Flujo Uniforme y para el Análisis mediante la Onda Cinemática las pérdidas se interpretan como la pendiente de la conducción. En el caso de emplear el Modelo de la Onda Dinámica se interpreta como la pendiente hidráulica del flujo (es decir, la pérdida por unidad de longitud).

3.5 RESULTADOS OBTENIDOS

3.5.1 Cuencas Internas

En primera instancia se presentará los resultados obtenidos para las cuencas ubicadas dentro del predio a lotear, estas serán las que sufrirán la transformación antrópica de su superficie. Para evaluarlas se aplicó el método racional clásico explicado anteriormente en el apartado 3.4.1 obteniendo los resultados presentados en la tabla siguiente (Tabla 7).

TR [años]	d [mm]	i [mm/h]	Q _{ACT} [m ³ /s]	Q _{FUT} [m ³ /s]
2	41	47.2	0.75	1.67
5	41	57.0	0.90	2.01
10	41	65.7	1.04	2.32
25	41	79.3	1.25	2.80
100	41	105.3	1.66	3.72

Tabla 7: Caudales en m³/s para Loteo.

Se puede observar que la impermeabilización del **Loteo** produce un aumento de los caudales del orden del **124 %** con respecto a la situación actual.

3.5.2 Cuencas Externas

Tanto para las cuencas externas del loteo, ya descritas, como así las obras de drenaje existentes (canal, alcantarillas, etc.) para estudiar el comportamiento bajo diferentes situaciones, entendiéndose situaciones como eventos meteorológicos de diferentes características en cuanto a duraciones e intensidades asociadas a recurrencias diferentes, fue necesario la modelación computacional de cada uno de estos elementos hidrológicos e hidráulicos. Se ha aplicado para este trabajo el modelo computacional SWMM explicado en el apartado 3.4.3.

Como elementos hidráulicos fueron cargados en el modelo todo el sistema superficial de drenaje, el cual se compone de cuencas, canales, uniones, con sus parámetros correspondientes (longitud, pendiente, rugosidad, etc.) en función de los relevamientos realizados. La Figura 16 muestra el esquema de las obras ingresadas al modelo, así como también los nodos hidrológicos de las dos cuencas.

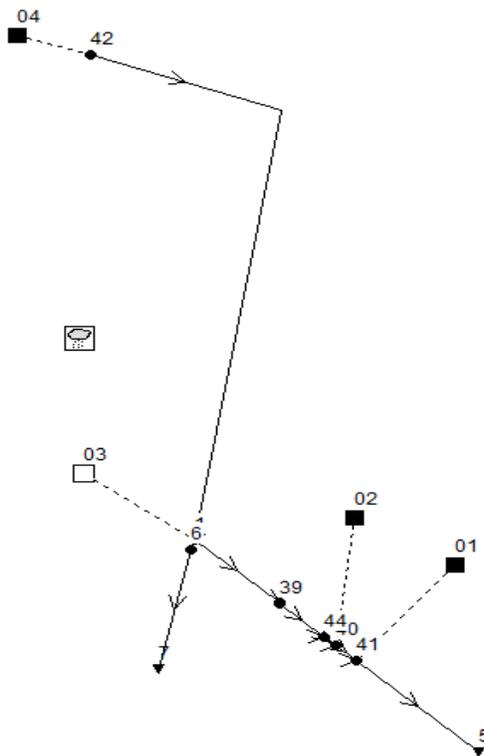


Figura 16: Esquema de modelación con SWMM de las cuencas.

Es importante mencionar que el objetivo de esta modelación es determinar el caudal que conduce el Canal Norte y que tirante se produce, para verificar los niveles de inundación de las obras de descarga del loteo. En particular se desea estimar los niveles de

inundabilidad en la alcantarilla de ingreso al loteo, la que se presenta en la siguiente figura.



Figura 17: Fotografía de alcantarilla de ingreso al loteo sobre Canal Norte

A continuación, se muestran los hidrogramas en el Canal Norte considerando diferentes recurrencias.

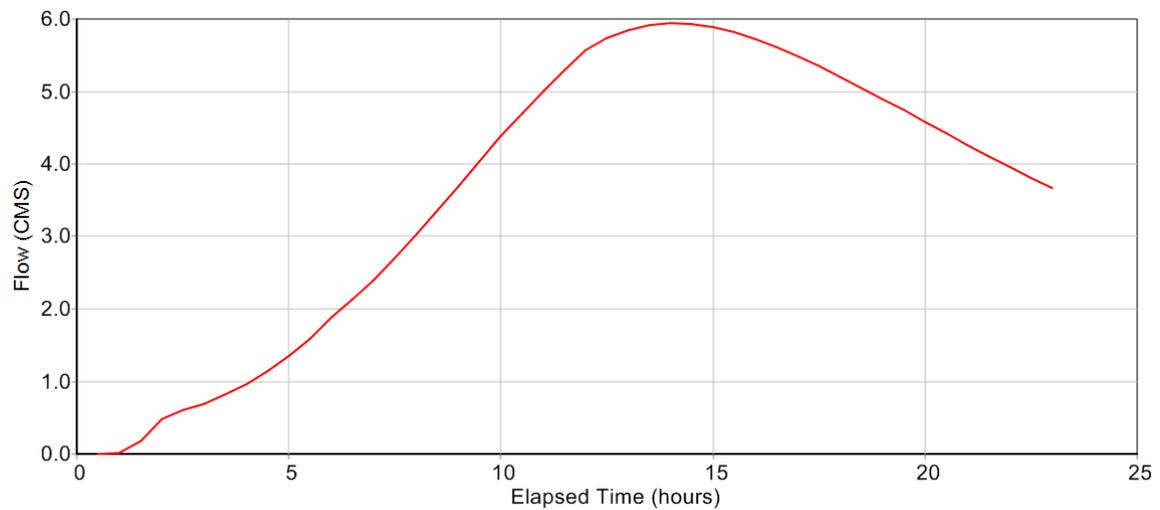


Figura 18: Hidrograma del Canal Norte. Tr = 5 años (función complementaria).

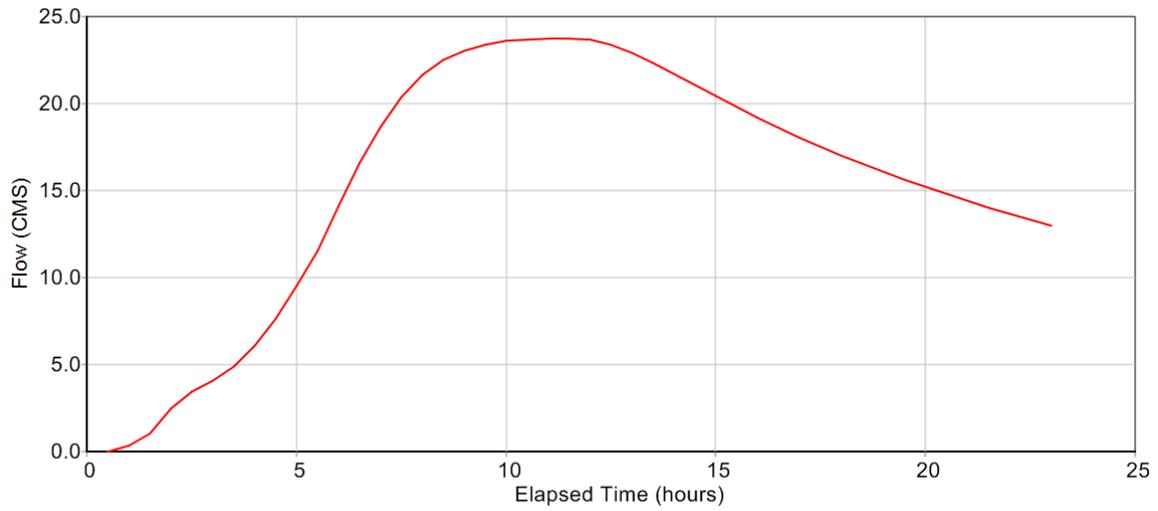


Figura 19: Hidrograma del Canal Norte. Tr = 100 años (función básica).

En la siguiente figura se presenta el perfil longitudinal del Canal Norte y los nodos 2, 43, 40 y 4 son las diferentes alcantarillas en su recorrido. En particular la alcantarilla numerada como 4 es la de ingreso al loteo en estudio.

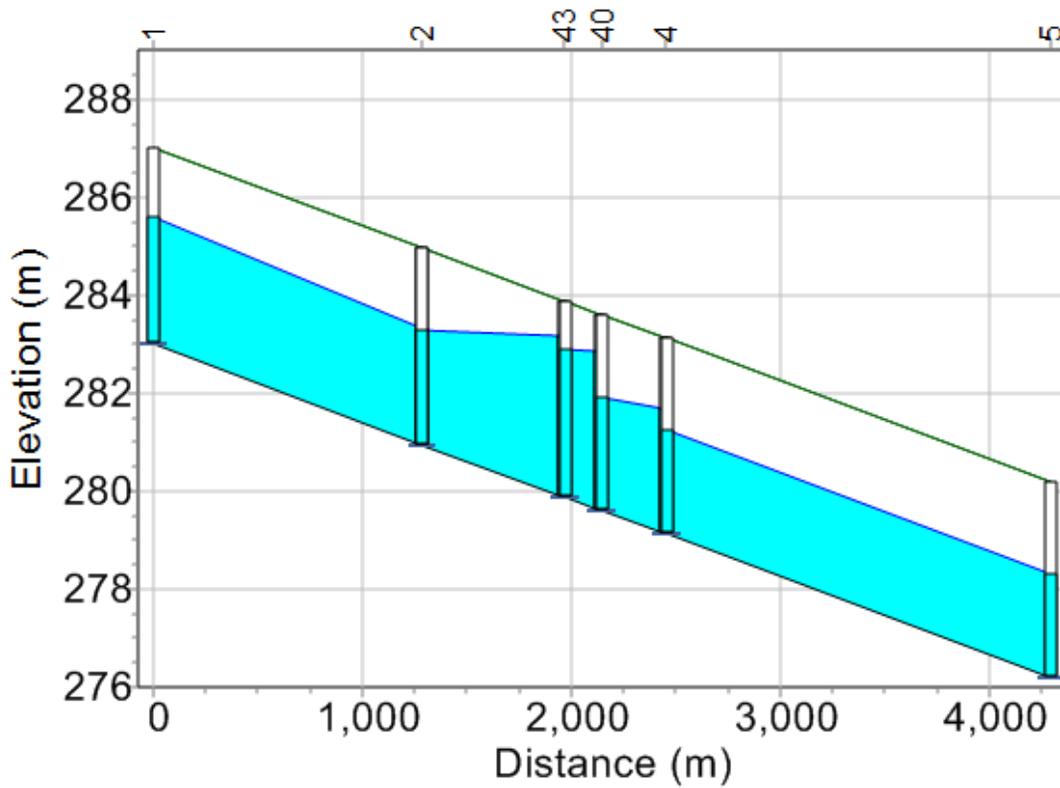


Figura 20: Perfil longitudinal Canal Norte. Tr = 100 años (función básica).

Como se puede observar el tirante máximo se produce aguas arriba de la alcantarilla de ingreso llegando a un valor máximo de 2,5 m, valor que se encuentra muy por debajo de la profundidad del canal, la que en general es de 4,0 m en todo su recorrido o dejando una revancha de 1,50 m. Es decir, el drenaje de las cuencas rurales aguas arriba del loteo no producen tirantes en el Canal que puedan ingresar hacia el loteo en estudio, debido a que parte del agua en la derivación aguas arriba sigue rumbo hacia el Sur o Ruta Provincial N° 6 y a la importante capacidad del Canal Norte existente del orden de 30 m³/s.

CAPITULO 4: PROYECTO DE DRENAJE

4.1 DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA INUNDACIÓN

Las obras de drenaje urbano persiguen dos objetivos (Bolinaga, 1979):

- **Objetivo Básico:** evitar al máximo posible los daños que las aguas de lluvias puedan ocasionar a las personas y a las propiedades en el medio urbano.
- **Objetivo Complementario:** garantizar el normal desenvolvimiento de la vida diaria en las poblaciones, permitiendo un apropiado tráfico de personas y vehículos durante la ocurrencia de precipitaciones.

La función básica de un sistema de drenaje se define como el conjunto de acciones preventivas y correctivas asociadas al logro del objetivo básico de un sistema de drenaje. De igual forma, la función complementaria es el conjunto de acciones preventivas y correctivas encaminadas a satisfacer el objetivo complementario de un sistema de drenaje.

Para la función básica es conveniente elegir un **período de retorno** entre 50 y 100 años, pero teniendo en cuenta el criterio de utilizar períodos menores para las acciones preventivas, disminuyendo así el costo de las acciones correctivas. Por ejemplo, en la ciudad de Córdoba el período de retorno adoptado para la función básica es de 100 años.

En el caso de la función complementaria los conceptos son los mismos que para la función básica, pero se puede admitir un riesgo mayor. En la Tabla 8 se recomiendan los períodos de retorno en función del uso de la tierra y el tipo de vía terrestre

TIPO DE USO DE LA TIERRA	TR (años)
Zona de actividad comercial, edificios públicos y sanitarios.	25
Zona de actividad industrial.	25
Zona residencial de alta densidad (mayor 150 hab/Ha).	10
Zona residencial de baja densidad (menor 150 hab/Ha).	5
Zona recreativa de alto valor e intenso uso por el público.	3
Otras áreas recreativas y/o rurales.	2
TIPO DE VIA TERRESTRE	TR (años)
Avenidas de circulación arterial y accesos a instalaciones especiales y de seguridad.	25
Avenidas de circulación.	10
Vías colectoras de la circulación local o que la alimenta.	5
Vías locales cuya importancia no traspasa la zona servida.	3 a 5

Tabla 8: Períodos de recurrencia para la función complementaria.

En resumen, para la función básica se ha elegido un período de 100 años, valor recomendado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba. En el caso de la función complementaria, la recurrencia es función del uso de la tierra y el

tipo de vía terrestre, lo cual para lotes con uso residencial sobre calles es de 5 años y sobre avenidas de 10 años.

Los **límites de inundación** son los máximos niveles aceptables en los diferentes sitios de la ciudad, cuyas magnitudes dependen de la función que cumpla el sistema.

Para la función básica, si se quieren evitar daños a las propiedades, no debe permitirse que el agua pase por encima de las veredas. Por ejemplo, la altura máxima en las calles y avenidas pavimentadas puede ser de 15 o 20 cm según la categoría o importancia de la misma.

Para la función complementaria, es importante fijar algunas dimensiones, tales como profundidades o anchos de inundación máximos, para que el escurrimiento no moleste significativamente el tránsito de personas o vehículos.

En el caso de estudio y de acuerdo al perfil tipo de las calles se han fijado los siguientes niveles de inundación:

- **Función Básica:** $Tr = 100$ años y tirante a la altura del umbral de las edificaciones, fijado en 0,30 m.
- **Función Complementaria:** $Tr = 5$ años y tirante máximo a la altura del cordón cuneta, fijado en 0,15 m.

4.2 CUNETAS – SECCIÓN TIPO

El sistema de drenaje proyectado para el barrio forma parte de la sección tipo de las calles, la cual se compone de cordones cunetas laterales a ambos lados de la calzada, materializados en hormigón (ver perfil tipo en Figura 21).

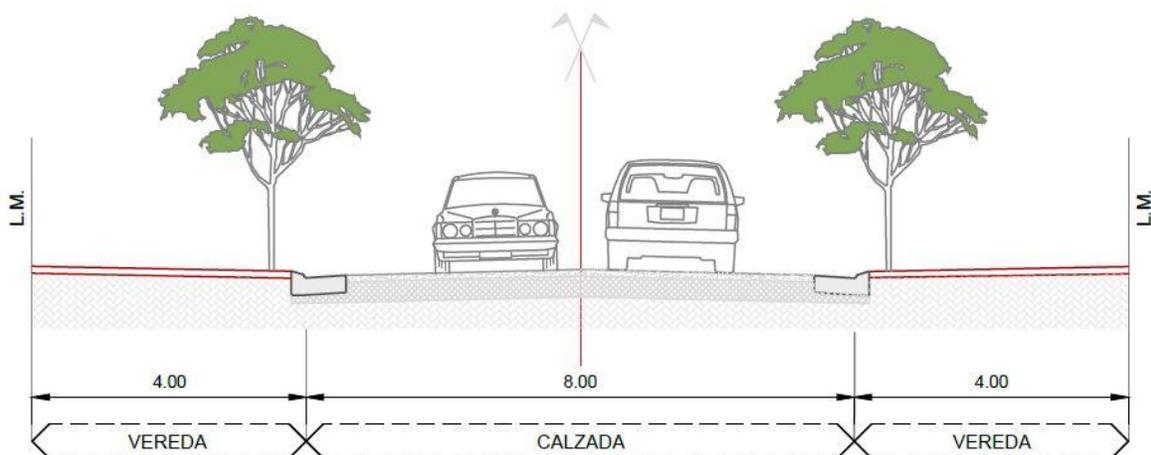


Figura 21. Perfil tipo calle 16 m de ancho

Las cunetas fueron consideradas, para su verificación, como canales a cielo abierto. Para el cálculo fue adoptada la ecuación de Manning para canales en régimen permanente, asumiendo el valor del coeficiente de rugosidad según las recomendaciones de la bibliografía específica (Chow []) y de antecedentes de obras similares.

La expresión de Manning se detalla a continuación:

$$Q = \frac{A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n}$$

Donde:

Q: caudal en m³/s.

A: área en m².

R: radio hidráulico (igual a la relación A/P) en m.

P: perímetro mojado en m.

S: pendiente longitudinal en m/m.

n: coeficiente de rugosidad de Manning.

El coeficiente de Manning fue adoptado con un valor de 0,015 para cordón cuneta, 0,025 para calzada y vereda. En la siguiente figura se presenta la curva tirante – caudal para la **calle Este**, la que resulta la más comprometida del loteo por el aporte de la **Cuenca Interna Norte**.

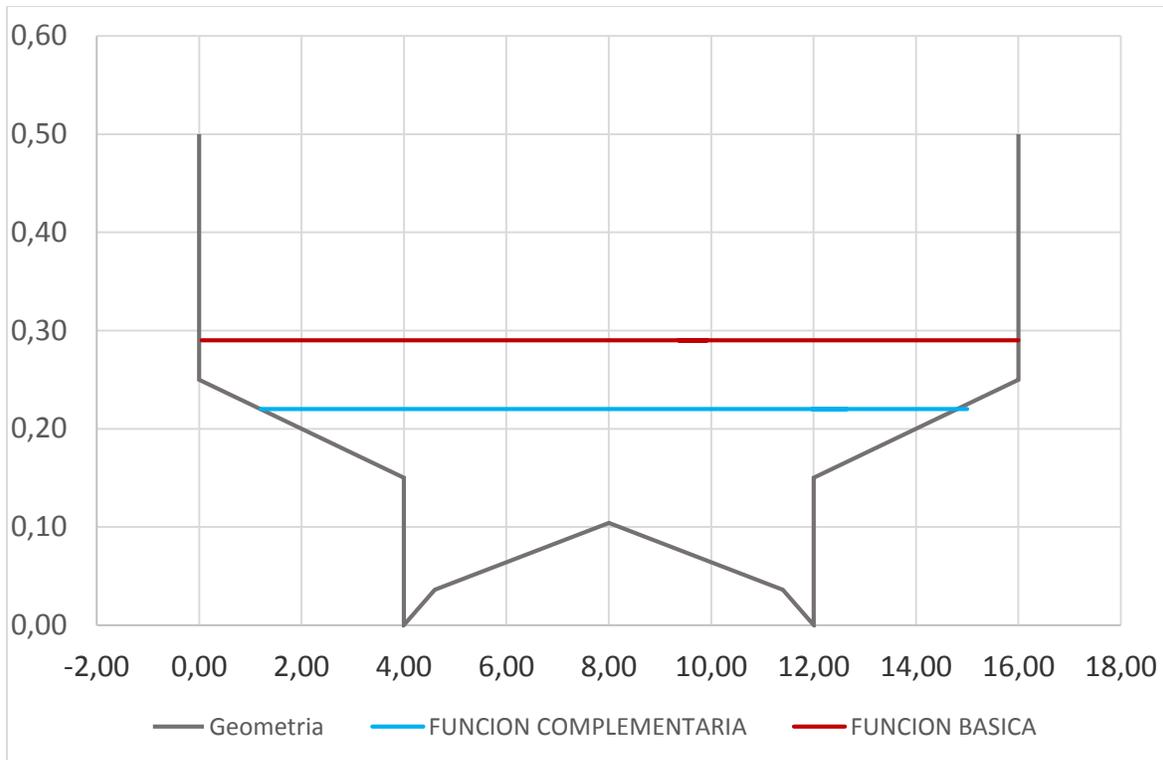


Figura 22. Curva tirante – caudal para calle

Del gráfico presentado se pueden extraer los siguientes resultados

- **Función Básica:** $Tr = 100$ años
 - Caudal $Q = 2,09 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Tirante $h = 0,29 \text{ m} < 0,30 \text{ m}$ **VERIFICA**
- **Función Complementaria** $Tr = 5$ años
 - Caudal $Q = 1,13 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Tirante $h = 0,22 \text{ m} > 0,15 \text{ m}$ **NO VERIFICA**
 -

En resumen, se ha verificado la calle más comprometida del loteo cumple con tirante admisible la función básica del sistema de drenaje, y en el caso de la función complementaria se encuentra levemente por la cota del cordón cuneta.

4.3 APLICACIÓN DEL MODELO SWMM PARA LAGUNA DE REGULACIÓN

A partir de un pre-dimensionado inicial y luego de sucesivas iteraciones con el modelo SWMM se propone para el Loteo la siguiente laguna de regulación

Laguna de Regulación

Superficie: 6.000 m²

Profundidad máxima: 1,00 m

Taludes: 1V: 3H

Cota Coronamiento: 1,00 m con respecto al fondo

Volumen mínimo: 5.200 m³

Descargador de fondo

Forma: rectangular o circular equivalente

Superficie: 1,00 m²

Con clapeta para evitar ingreso de agua desde Canal Norte

En los siguientes gráficos se presentan los resultados de las modelaciones, considerando todas las dimensiones geométricas establecidas anteriormente.

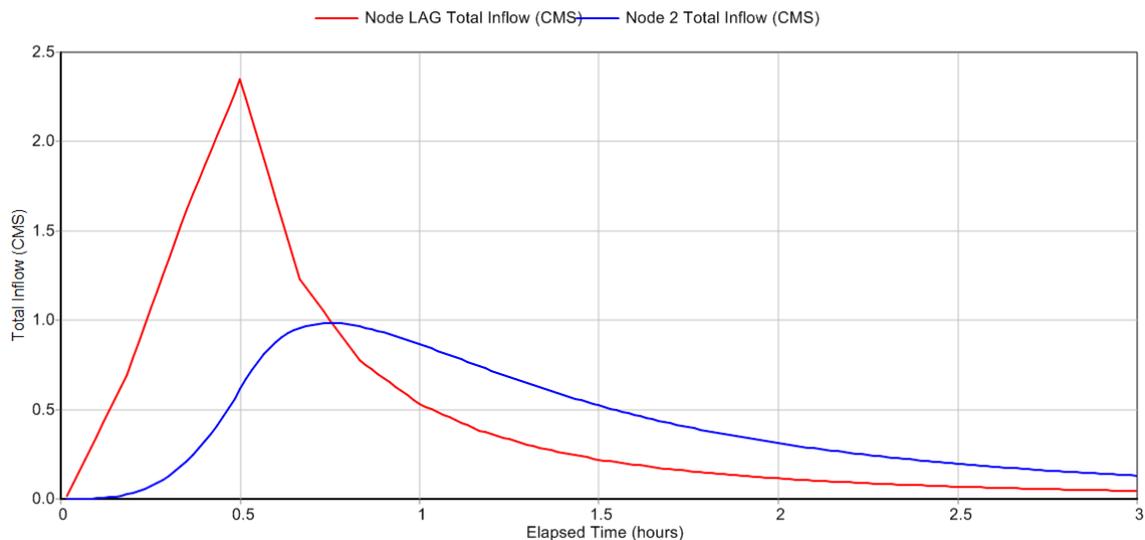


Figura 23. Hidrogramas de ingreso y salida para Tr = 5 años – duración 30 min

Como se puede observar en el gráfico anterior, la descarga para recurrencia de 5 años es de 1,00 m³/s valor inferior a los 1,31 m³/s que descarga la cuenca en estado natural.

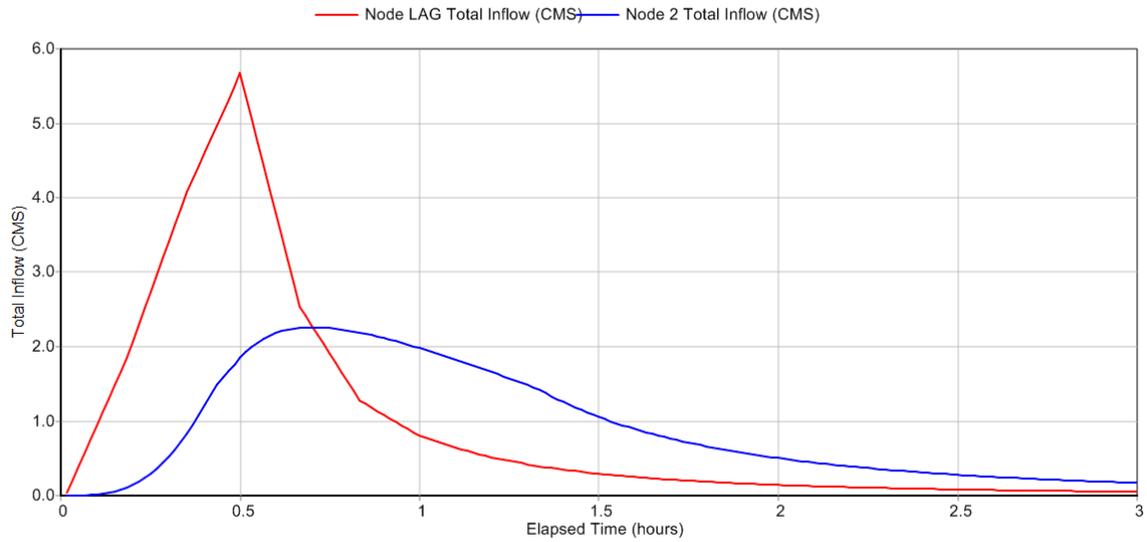


Figura 24. Hidrogramas de ingreso y salida para $T_r = 100$ años – duración 30 min

Como se puede observar en el gráfico anterior, la descarga para recurrencia de 100 años es de 2,20 m3/s valor inferior a los 2,24 m3/s que descarga la cuenca en estado natural para esta recurrencia.

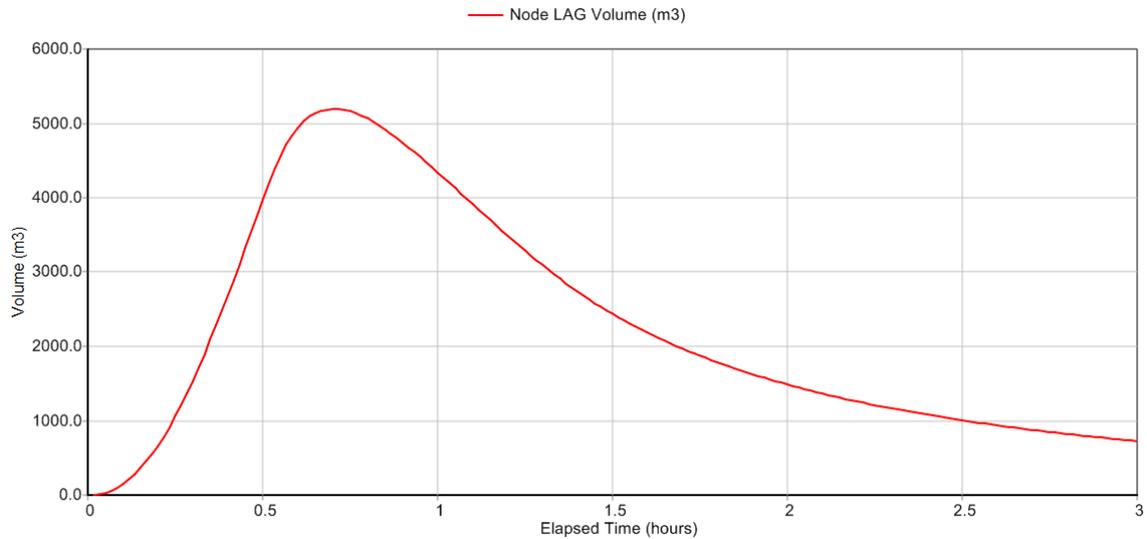


Figura 25. Volumen almacenado para $T_r = 100$ años

En resumen, las dimensiones establecidas para la laguna producen una regulación que permiten descargar hacia aguas abajo caudales del mismo orden que la cuenca en estado natural, por lo que no se espera aguas abajo problemas adicionales por la impermeabilización que produce el loteo.

En la siguiente figura se presenta el tirante en la laguna para recurrencia de 100 años.

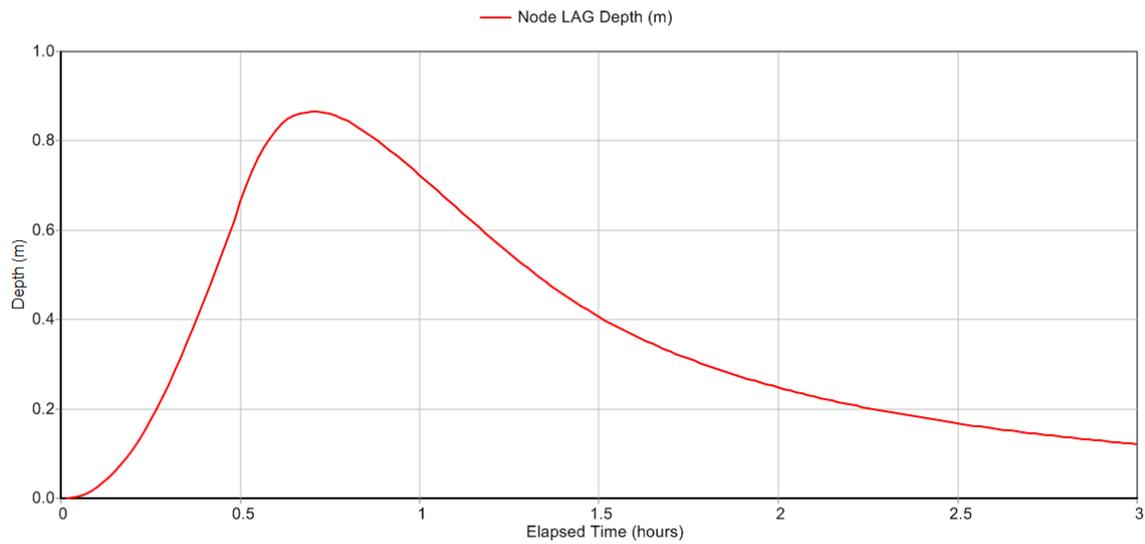


Figura 26. Tirante en laguna para $T_r = 100$ años

Como se puede observar el tirante máximo que alcanza la laguna es de 0,85 m y tomando una revancha de 0,15 m se propone una altura total del terraplén de la laguna de 1,00 m en su punto más alto.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES

Al finalizar el estudio, luego de haber recorrido un largo camino para alcanzar las soluciones más satisfactorias a la problemática planteada para la presente Práctica Profesional Supervisada, y de acuerdo con los objetivos propuestos mencionados en las primeras páginas de este escrito, arribamos a las conclusiones finales de este proyecto que serán expuestas en los siguientes párrafos.

La Ingeniería Civil es una disciplina que busca satisfacer las necesidades de la sociedad mediante la ejecución de obras de distintas magnitudes que se desarrollan dentro del medio natural circundante. Es por ello que como ingenieros debemos dar respuestas a dichas necesidades, pero también garantizar en forma comprometida y consistente un desarrollo armonioso con el medio ambiente, tratando de mitigar al máximo los efectos sobre éste.

Para el caso del presente podemos decir que las obras proyectadas permitirán un manejo eficiente de los excedentes pluviales generados producto de la impermeabilización de la superficie que el cambio de uso de suelo acarrea. En este sentido el diseño planialtimétrico de calles desarrollado para la vialidad interna, así como también el diseño de bocacalles y la elección del perfil tipo, permitirán conducir en forma superficial los excedentes anteriormente mencionados hacia las obras de regulación propuestas. Como se pudo ver en los resultados obtenidos, dichos micro-embalses logran regular los volúmenes necesarios para restituir de la mejor manera posible los caudales que escurrirían si persistiera el escenario actual o dicho de otra manera, si el terreno no fuese antropizado.

Por último, cabe destacar que, sin dudas se han alcanzado los objetivos planteados a nivel personal y técnico, habiendo incrementado nuevos conocimientos y reforzado los ya existentes, aprendiendo a desenvolverse de manera óptima y eficaz en el ámbito del ejercicio profesional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bertoni, J. C. (2004): Material de capacitación del Curso sobre Gestión de Inundaciones en Áreas Urbanas. GWP-SAMTAC.
- [2] Bolinaga I. J.J. (1979): *Drenaje Urbano*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Instituto Nacional de Obras Sanitarias, Caracas, Venezuela.
- [3] Caamaño Nelli G, (2000): *Hidrología Avanzada*. Apuntes de Clases, Maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil – Mención en Recursos Hídricos, FCEFyN, UN de Córdoba.
- [4] Caamaño Nelli G, et. Al. (1993): *Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba*. INCYTH, CIHRSA, CONICET, SMN, DPH, CONICOR.
- [5] Chow V., T. (1994): *Hidráulica de Canales Abiertos*. Ed, McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafe de Bogotá, Colombia.
- [6] Chow V., T., Maidment D, R. y Mays L. W. (1994): *Hidrología Aplicada*. Ed. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafe de Bogotá, Colombia.
- [7] Dirección Nacional de Vialidad (1966): *Gráficos Hidráulicos para el Diseño de Alcantarillas*. Preparados por la sección hidráulica, división puentes, oficina de ingeniería y operaciones del Bureau of Public Roads, U.S.
- [8] UNESCO (1987): Manual on drainage in urbanizing areas. Vol. I. Planning and design of drainage systems. Studies and reports in hydrology. Nº 43.