

AGRADECIMIENTOS

Antes de comenzar con el desarrollo de este trabajo me tomare unos muy importantes párrafos para dejar por escrito mis eternos agradecimientos a todas aquellas personas que estuvieron presentes en mis años de estudio, tanto física como emocionalmente, y me empujaron cada día a seguir avanzando en este camino que tanto crecimiento personal me dio.

Antes que nadie más, agradecer a mis amados padres *Liliana y Miguel*, sin ellos difícilmente estaría en este momento redactando estas líneas, ellos fueron lo que siempre me han empujado a seguir avanzando y fueron los que más creyeron en mí desde un principio. A mi hermano *Gabriel* que siempre estuvo dispuesto a dar su más sincera opinión y su ayuda cuando lo necesite (lo más reciente las caratulas de este trabajo). Estuvieron presentes en cada etapa de este desafío con su cariño, interés y apoyo incondicional.

A mi tío *Eduardo* que se preocupó, me motivó con esas visitas a obra y tareas de agrimensura. Para toda mi familia muchas gracias por su constante interés, preocupación, gran apoyo y confianza en todo este tiempo.

A mis compañeros de estudio, cómo no dejar de agradecer los incontables chalecos salvavidas que me tiraron cuando ya parecía ahogarme. Pero lo más importante que me dieron fue su amistad llena de tan buenos momentos, compartiendo tantas horas en las aulas, pasillos y charlas en el patio de la facultad. Sería imposible nombrarlos a todos pero bien saben que les doy las gracias

A mis amigos de tantos años, agradecerles su gran amistad que siempre me centró en los momentos de angustia. No hay palabras para agradecerles todas esas charlas, salidas, incontables anécdotas, bromas, viajes, nuestra gran cultura en birras artesanales imposible de adquirir sin ustedes. Bien saben cuánto los quiero y aprecio.

A mis compañeros de trabajo en esta última etapa de la carrera, que tuve la suerte de cruzarme a un gran grupo de personas siempre dispuestas a ayudar y en despejar mis infinitas dudas, enseñarme miles de cosas, y hacer tan gratas todas esas horas en la oficina llenas de risas y buenos momentos. Por eso gracias por el aguante del día a día sepan que los aprecio



NOMBRE: FRANCHI, Alejandro Eduardo

PLAN: 2005

MATRICULA: 37.524.358

TITULO DEL TRABAJO: “Proyecto de Mejoramiento de Desagües Pluviales Ciudad de Río Segundo”

AÑO LECTIVO: 2018

TUTOR INTERNO: Ing. Corral Mariano A.

TUTOR EXTERNO: Ing. Aiassa Bruno.

RESUMEN

El presente informe técnico para la práctica supervisada de Ingeniería Civil consiste en la presentación del proyecto ejecutivo para el mejoramiento del sistema de desagüe de escurrimientos externos e internos de la localidad de Río Segundo, comprende un estudio y análisis integral del sistema actual de desagüe, de manera que se permita la elaboración de un diagnóstico técnicamente fundamentado y, posteriormente, plantear la mejor solución técnica y económica a esta problemática.

La localidad se hallaba en una situación poco satisfactoria para la calidad de vida de sus habitantes en cuanto ocurrían lluvias moderadas, las cuales generaban anegamientos urbanos por la poca capacidad de la infraestructura existente de captar, transportar y verter los volúmenes generados por las tormentas recurrentes.

Esto ha provocado incumplimiento de las funciones básicas y complementarias de las calles públicas, generando erosiones entre otros problemas.

La solución en este proyecto consistió en una serie de medidas estructurales materializada en obras de captación, conducción y descarga de vertidos, alcantarillas sobre la ruta, re perfilado de calles, entre otras que se detallaran más adelante. Complementando además con medidas no estructurales de mitigación de escorrentías en planes urbanos, usos de suelo, limpieza, cuidado de cuencas, entre otras.

INDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCION.....	10
1.1. MARCO DE REFERENCIA DE LA PRACTICA PROFECIONAL SUPERVISADA.....	10
1.2. PLANTEO DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL	10
1.3. OBJETIVOS.....	11
1.3.1. Objetivos Técnicos	11
1.3.2. Objetivos Personales.....	12
1.4. METODOLOGIA DE TRABAJO	12
1.4.1. Etapa Preliminar	12
1.4.2. Estudio Situación Actual	12
1.4.3. Propuesta y Evaluación de Soluciones.....	13
CAPITULO 2: CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.....	14
2.1. UBICACIÓN	14
2.2. MEDIO NATURAL - GEOMORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA	15
2.3. CLIMA.....	16
2.3.1. Régimen Hídrico.....	17
2.3.2. Régimen Térmico	18
CAPITULO 3: PROBLEMÁTICA DE DESAGUES URBANOS.....	19
3.1. INUNDACIONES EN AREAS URBANAS.....	19
3.2. SUBSISTEMAS DE DRENAJE URBANO – MACRO Y MICRO DRENAJE	19
3.3. IMPACTO HIDROLOGICO DE LA URBANIZACION.....	20
3.4. DEFINICION DE FUNCION BASICA Y COMPLEMENTARIA.....	23
3.5. NIVELES DE INUNDABILIDAD.....	23
CAPÍTULO 4: DESCRIPCION DEL SISTEMA DE DRENAJE EXISTENTE	25
4.1. GENEREALIDADES	25
4.1.1. Tareas de Campo.....	25
4.1.2. Tareas de Gabinete	25
4.2. DESCRIPCION SISTEMA DE DRENAJE ACTUAL	26
4.2.1. Generalidades	26
4.2.2. Sub – Sistema Julio A Roca	26

4.2.3.	Sub – Sistema Sobremonte	29
4.2.4.	Sub – Sistema San Luis	32
4.2.4.1.	Sub – Sistema Médano Verde	34
CAPITULO 5: ESTUDIO HIDROLOGICO – HIDRAULICO (ESCENARIO ACTUAL)		39
<hr/>		
5.1.	CARACTERIZACION CUENCAS DE APORTE	39
5.1.1.	Delimitación de Cuencas	39
5.1.1.1.	Sub – Sistema Julio A Roca	43
5.1.1.2.	Sub – Sistema Sobremonte	43
5.1.1.3.	Sub – Sistema San Luis	44
5.1.1.4.	Sub – Sistema Medano Verde	44
5.1.2.	Parámetros Físicos	44
5.1.2.1.	Uso de Suelo	44
5.1.2.2.	Calles Pavimentadas	46
5.1.2.3.	Tiempo de Concentración	47
5.2.	TORMENTA DE DISEÑO	49
5.2.1.	Periodo de Retorno	50
5.2.2.	Duración	51
5.2.3.	Precipitación Neta	51
5.2.4.	Distribución Temporal	52
5.2.5.	Distribución Espacial	53
5.3.	ESTIMACION DE CAUDALES E HIDROGRAMAS	53
5.3.1.	Métodos Matemáticos	54
5.3.1.1.	Método Racional	54
5.3.1.2.	Formula de Manning	54
5.3.1.3.	Ecuación de Vertedero Pared Gruesa	55
5.3.2.	Modelos Computacionales	55
5.3.2.1.	Modelo Empleado (EPA SWMM v5.0)	56
i.	Módulo Atmosférico	57
ii.	Módulo Superficie del Suelo	57
iii.	Módulo de Transporte	59
5.3.2.2.	Componentes Hidrológicos e Hidráulicos del sistema de drenaje ...	60
5.3.3.	Resultados de la Modelación	62
5.3.3.1.	Sub - Sistema Julio A Roca	62

5.3.3.2. Sub – Sistema Sobremonte	63
5.3.3.3. Sub – Sistema San Luis	63
5.3.3.4. Sub – Sistema Medano Verde	64
CAPITULO 6: DIAGNOSTICO SITUACION ACTUAL.....	66
<hr/>	
6.1. GENERALIDADES.....	66
6.2. SUB – SISTEMA JULIO A ROCA	66
6.2.1. Área de Inundación	67
6.2.2. Niveles en Esquina.....	67
6.2.3. Hidrogramas.....	68
6.2.4. Perfiles Hidráulicos.....	69
6.3. SUB – SISTEMA SOBREMONTE.....	70
6.3.1. Área de Inundación	70
6.3.2. Niveles en Esquina.....	71
6.4. SUB – SISTEMA SAN LUIS.....	71
6.4.1. Área de Inundación	72
6.4.2. Niveles en Esquina.....	73
6.4.3. Hidrogramas.....	75
6.4.4. Perfiles Hidráulicos.....	75
6.5. SUB – SISTEMA MEDANO VERDE	77
CAPITULO 7: PLANTEO Y DISEÑO DE SOLUCIONES	79
<hr/>	
7.1. TIPO DE SOLUCIONES	79
7.1.1. Medidas Estructurales	79
7.1.2. Medidas No Estructurales.....	79
7.2. MEDIDAS PROPUESTAS	81
7.2.1. Sub – Sistema Julio A Roca	81
7.2.2. Sub- Sistema Sobremonte.....	82
7.2.3. Sub – Sistema San Luis	85
7.2.4. Sub – Sistema Medano Verde	87
CAPITULO 8: ESTUDIO HIDROLOGICO - HIDRAULICO DE PROPUETAS..	91
<hr/>	
8.1. GENERALIDADES.....	91
8.2. ESTIMACION DE CAUDALES E HIDROGRAMAS.....	91
8.3. RESULTADOS DE MODELACION	91
8.3.1. Sub – Sistema Julio A. Roca	91

8.3.1.1. Niveles en las Esquinas.....	92
8.3.1.2. Perfiles Hidráulicos.....	93
8.3.2. Sub – Sistema San Luis	95
8.3.2.1. Nivel en Esquinas.....	96
8.3.2.2. Perfiles Hidraulicos.....	98
8.3.2.3. Alcantarilla de Cruce	100
CAPITULO 9: CONCLUSIONES.....	102
9.1. RESUMEN DE OBRAS.....	102
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	104
ANEXOS	106

Índice de Figuras

Figura 1: Ubicación de la localidad de Río Segundo (Plan Maestro de Desagües Pluviales, 1995)	14
Figura 2: Mapa Geomorfológico de la Provincia de Córdoba (ACASE – INTA, 2003)	15
Figura 3: Precipitación media anual de la Provincia de Córdoba (ACASE – INTA, 2003)	17
Figura 4: Régimen térmico y precipitaciones mensuales área de estudio (ACASE – INTA, 2003)	18
Figura 5: Representación del Macro y Micro drenaje	20
Figura 6: Representación de la relación urbanización – aumento de escorrentías.....	21
Figura 7: Impacto hidrológico de la urbanización (Bertoni 2004)	22
Figura 8: Delimitación Sub – Sistema Julio A Roca	27
Figura 9: Sub – Sistema Sobremonte	30
Figura 10: Sub – Sistema San Luis.....	32
Figura 11: Sub – Sistema Médano Verde	35
Figura 12: Subcuencas y escurrimientos cuenca Q	37
Figura 13: Subcuencas y escurrimientos en cuenca R.....	38
Figura 14: Esquema de distribución de cuencas.....	40
Figura 15: Delimitación de distintos sectores en el área de estudio	40
Figura 16: Esquema de distribución de cuencas por sector	41
Figura 17: Delimitación de cuencas en la trama urbana.....	42
Figura 18: Subcuencas subsistema Julio A Roca	43
Figura 19: Subcuencas en subsistema Sobremonte	43

Figura 20: Subcuencas subsistema San Luis	44
Figura 21: Subcuencas subsistema Médano Verde	44
Figura 22: Uso de suelo en la localidad	45
Figura 23: Distribución de calles según su grado de impermeabilización, pavimentadas (gris) y ripio (marrón)	46
Figura 24: Regiones pluviograficas de la Provincia de Córdoba	50
Figura 25: Distribución temporal de lluvia con ubicación del pico en el 1º sextil.....	52
Figura 26: Distribución temporal de lluvia con ubicación en el 2º sextil	53
Figura 27: Esquema de modelación del módulo	58
Figura 28: Esquema de reservorio No Lineal	59
Figura 29: Representación conceptual del módulo de transporte.....	60
Figura 30: Esquema de modelación de grupo de subcuencas y calles	61
Figura 31: Problemas existentes subsistema Julio A Roca	67
Figura 32: Nivel de agua esquina Catamarca y Julio Roca para una recurrencia de 100 años.....	68
Figura 33: Tirante esquina La Rioja y Julio A Roca.....	68
Figura 34: Hidrograma en esquina calle Catamarca y Av Julio Roca	69
Figura 35: Tirante aguas arriba del conducto existente, de Catamarca hasta Republica de Siria	70
Figura 36: Zonas de conflictos y calles principales cuenca M	71
Figura 37: Zonas sufren anegamientos (azul) en cuenca I.....	72
Figura 38: Nivel tirante en esquina San Luis y Sobremonte TR 100 años.....	73
Figura 39: Tirante en esquina Las Heras y San Luis TR 100 años.....	73
Figura 40: Tirante en intersección calle San Luis con Ruta 9 TR 100 años.....	74
Figura 41: Tirante intersección calle Catamarca y Sobremonte TR 100 años	74
Figura 42: Hidrograma de salida de la cuenca I	75
Figura 43: Perfil hidráulico entre calle Sobremonte y Ruta 9 a los 45' de empezada la lluvia.	75
Figura 44: Perfil hidráulico entre calle Sobremonte y Ruta 9 pasadas las 2 horas de lluvia.	76
Figura 45: Perfil hidráulico entre San Luis y Catamarca a los 30' comenzada la lluvia	76
Figura 46: Perfil hidráulico entre San Luis y Catamarca a los 90 minutos iniciada la lluvia	77
Figura 47: Zonas de anegamientos (azul) y calles cuenca R	78
Figura 48: Localización de grupo de obras N°1 en cuenca D.....	81
Figura 49: Secciones propuestas para conductos cuenca D.....	82
Figura 50: Localización de obras N°4 en cuenca M	83
Figura 51: Sección propuesta conducto sobre calle Sobremonte.....	84

Figura 52: Sección propuesta conducto sobre Bv Belgrano	84
Figura 53: Localización de obras N°3 en cuenca I	85
Figura 54: Sección del conducto por calle San Luis	86
Figura 55: Sección del conducto por calle Sobremonte en cuenca I	86
Figura 56: Secciones propuesta de los conductos sobre la calle Las Heras.	87
Figura 57: Detalle de protección en el canal en intersecciones con las calles afluentes.	88
Figura 58: Calle canal propuesta por Av. Intendente Granja	89
Figura 59: Localización de obras N°2 en cuenca R.....	89
Figura 60: Modelo hidrológico – hidráulico en SWMM para grupo de obras en subsistema Julio A Roca.....	92
Figura 61: Situación futura nivel de agua esquina Catamarca	92
Figura 62: Situación futura tirante de agua esquina calle La Rioja.....	93
Figura 63: Perfil hidráulico situación futura desde calle Republica de Siria hasta Mendoza.....	93
Figura 64: Perfil hidráulico situación futura luego de transcurrir una hora	94
Figura 65: Perfil hidráulico del conducto propuesto debajo de la avenida	94
Figura 66: Perfil hidráulico en toda la longitud del conducto hasta la descarga existente	95
Figura 67: Modelo hidrológico – hidráulico en SWMM para grupo de obras en subsistema San Luis.....	96
Figura 68: Situación futura nivel San Luis y Sobremonte	97
<i>Figura 69: Situación futura tirante esquina Las Heras y San Luis</i>	<i>97</i>
Figura 70: Situación futura tirante intersección San Luis y Ruta 9.....	98
Figura 71: Perfil hidráulico calle Sobremonte entre Catamarca y San Luis	98
Figura 72: Perfil hidráulico de situación futura sobre la calle San Luis	99
Figura 73: Perfil hidráulico de conductos proyectados	99
Figura 74: Características de la alcantarilla cargadas en el programa	100
Figura 75: Comportamiento en servicio alcantarilla propuesta	101

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación de usos del suelo adoptado.....	45
Tabla 2: Parámetros Físicos Sub – Sistema Julio A Roca	47
Tabla 3: Parámetros Físicos Sub – Sistema Sobremonte	48
Tabla 4: Parámetros Físicos Sub – Sistema San Luis.....	48
Tabla 5: Parámetros Físicos Sub – Sistema Médano Verde	49
Tabla 6: Caudales proyectados por la modelación.....	62

Tabla 7: Caudales obtenidos de la modelación para la cuenca D	63
Tabla 8: Caudales obtenidos de la modelación cuenca M	63
Tabla 9: Caudales obtenidos de la moderación cuenca I	64
Tabla 10: Caudales obtenidos de la modelación cuenca Q.....	64
Tabla 11: Caudales obtenidos de la modelación cuenca R	65
Tabla 14: Cálculo de dimensiones de conducto con Manning.....	82
Tabla 15: Capacidad del conducto propuesto por calle Sobremonte.....	83
Tabla 16: Capacidad del conducto propuesto por Av. Belgrano.....	83
Tabla 17: Capacidad del conducto propuesto por calle San Luis.	85
Tabla 18: Capacidad del conducto propuesto por calle Sobremonte.....	86
Tabla 19: Capacidad del conducto propuesto por calle Las Heras, al Norte de la calle San Luis.....	87
Tabla 20: Capacidad del conducto propuesto por calle Las Heras, al Sur de la calle San Luis.....	87
Tabla 21: Canal Existente sobre Av. Argentina.....	90
Tabla 22: Capacidad de Av. Intendente Granja y canal hasta Av. Argentina.....	90
Tabla 23: Caudales vs Tirante en la entrada de la alcantarilla, resultados del modelo	101

CAPITULO 1: INTRODUCCION

Este informe se encuentra dividido en varios capítulos, abarcando desde un planteo de la problemática actual en que se haya la localidad de Rio Segundo motivo por lo cual se encargó el proyecto de mejoramientos de desagüe pluviales a la consultora enmarcado en los objetivos personales y técnicos requeridos para un informe final de práctica profesional.

Luego se propone un desarrollo metodológico típico para estudios de estas características y una descripción general del área de estudio, destacando los rasgos hidrológicos y fisiográficos a escala regional.

Posteriormente, y particularizando hacia la problemática de las inundaciones de Rio Segundo, se realiza un estudio exhaustivo del sistema de drenaje actual, desde la ocupación del suelo y calles que actúan como vías de escurrimiento superficial, hasta el sistema de captación, conductos subterráneos y canales periféricos.

Con los datos del sistema físico, se analizan las tormentas de diseño y se lleva a cabo la aplicación del modelo hidrológico-hidráulico. Con los resultados de la simulación, con sus correspondientes verificaciones in-situ, se lleva a cabo el diagnóstico para los diferentes sectores afectados de la ciudad.

Con los modelos implementados se plantean y evalúan las obras necesarias para la corrección o mitigación de la problemática de las inundaciones.

Es importante aclarar que este trabajo se realizó en base a ya un anterior Plan Director de Drenaje elaborado por la empresa.

1.1. MARCO DE REFERENCIA DE LA PRACTICA PROFECIONAL 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 se realizó en la modalidad de Práctica Supervisada Pasante No Rentado (PSPNR) y fue llevada a cabo en la firma "Vanoli y Asociados Ingeniería S.R.L.", bajo la supervisión del Ing. Civil Bruno Aiassa en carácter de supervisor externo y del Mag. Ing. Civil Mariano A. Corral en condición de tutor académico.

En lo que respecta a esta Práctica Profesional Supervisada específicamente, la temática de la misma surge a partir de un proyecto que comenzaba a tener curso dentro de la consultora.

1.2. PLANTEO DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL

El proyecto surge como necesidad al problema recurrente de los habitantes de ciertas áreas de la localidad de Rio Segundo en cuanto se presentaban lluvias de moderada intensidad trayendo consigo problemas de inundaciones urbanas.

El área de estudio se dividió en cuatro sub – sistemas en los cuales se centró el trabajo por ser estos los que mayor urgencia de solución tenían y por la gravedad de la situación. Estos son:

1. Sub – Sistema Julio A Roca
2. Sub – Sistema San Luis
3. Sub – Sistema Médano Verde
4. Sub – Sistema Sobremonte

Los problemas registrados son netamente producto de los procesos de consolidación trayendo consigo un mayor grado de impermeabilización y por consiguiente mayores caudales y velocidades de las escorrentías como se detallara más adelante en el apartado 3.1.

1.3. OBJETIVOS

El presente Informe de Practica Supervisada involucra, de acuerdo con la importancia del desarrollo de un trabajo, 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 el “*Estudio, Modelación Hidrológica e Hidráulica y Proyecto de obras necesarias de Drenaje para la Localidad de Río Segundo*”, el cual nos dará la posibilidad de tomar, luego de obtener un diagnóstico de la situación actual, 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 por otro lado el planteo y desarrollo de las propuestas necesarias para solucionar los problemas existentes.

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.

1.4. METODOLOGIA DE TRABAJO

El desarrollo metodológico, en el que se incluye la recopilación, clasificación y análisis de antecedentes, comprende las siguientes etapas y las implicancias de cada una de ellas, la mayoría de las cuales se encuentran intrínsecamente relacionadas.

Estas etapas para el caso de Río Segundo, pueden ser contempladas en tres grandes capítulos tales como el “Etapa Preliminar”, la “Estudio Situación Actual” y la “Propuesta y Evaluación de Soluciones”.

1.4.1. Etapa Preliminar

- Recopilación de antecedentes: obras ejecutadas, proyectos y anteproyectos realizados o en desarrollo, planes de obras y de estudios.
- Inspección de campo: recorridas de la zona donde se emplazará el proyecto, constatando y recopilando 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 Situación Actual

De acuerdo a los antecedentes disponibles, en esta etapa se deberán realizar las siguientes tareas para cada una de las obras:

- Caracterización de las Cuencas de Aporte
 - Tipo de suelos y cobertura
 - Infraestructura actual relacionada con los escurrimientos
 - Uso del suelo
 - Obras del sistema de drenaje superficial
 - Obras del sistema de drenaje subterráneo
 - Emisarios finales
- Determinación de las Tormentas de Diseño
 - Periodo de retorno
 - Duración

- Lámina total
- Distribución temporal
- Distribución espacial

- Modelación Hidrológica – Hidráulica
 - Aportes al sistema de drenaje
 - Componentes hidrológicos e hidráulicos sistema de drenaje
 - Niveles y caudales en calles y conductos

- Diagnóstico de la Situación Actual
 - Definición de niveles admisibles
 - Confección de las manchas de inundación
 - Determinación de la capacidad del sistema actual

1.4.3. Propuesta y Evaluación de Soluciones

Para este estudio en particular estaba prevista la definición de las obras necesarias, pero se debería contemplar el siguiente conjunto de soluciones:

- Medidas Estructurales:
 - Planteo de alternativas
 - Predimensionado
 - Modelación Hidrológica – Hidráulica de alternativas
 - Evaluación del comportamiento de propuestas

- Medidas No Estructurales:
 - Identificación de posibles medidas a incorporar
 - Recomendaciones y fundamentación.

CAPITULO 2: CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

2.1. UBICACIÓN

Río Segundo es un municipio de la provincia de Córdoba, Argentina. Se encuentra ubicada en la pedanía Pilar, al noroeste del departamento con el mismo nombre, Río Segundo, situada en el centro de la provincia a 51 kilómetros al sureste de la ciudad capital, sus coordenadas geográficas son: 31° 39' 6" de Latitud Sur y 63° 54' 47" de longitud O, respecto al Meridiano de Greenwich. Se encuentra en el límite de la región pampeana y de la región serrana central de la República Argentina. Posicionada a 340 metros sobre nivel del mar, con una topografía que podría definirse como regular, con una pendiente continua, predominantemente hacia el Este.

La localidad de Río Segundo se asienta sobre el margen norte del río Xanaes (anteriormente denominado "Río Segundo"). Dicho curso de agua separa la localidad de Río segundo de la localidad de Pilar; con la que conforma una conurbación. La escasa distancia a la ciudad de Córdoba —a la que se encuentra conectada mediante ruta nacional N° 9 Sur y autopista Córdoba-Rosario— determina que forme parte del Área Metropolitana o de influencia de la gran metrópoli, con gran interdependencia con la misma.



Figura 1: Ubicación de la localidad de Río Segundo (Plan Maestro de Desagües Pluviales, 1995)

2.2. MEDIO NATURAL - GEOMORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA

El área de estudio se sitúa entre la Pampa loésica plana por el Este y la Depresión periférica y la Pendiente oriental por el Oeste. Se trata de un plano alto, llamado Pampa Loésica Alta (*Región F en Figura 2*), la cual posee pendiente regional hacia el Este bastante uniforme y que disminuye en el mismo sentido. Sobre el límite occidental los valores de las pendientes varían entre 2 a 0,5% siendo este último valor el dominante de la porción oriental

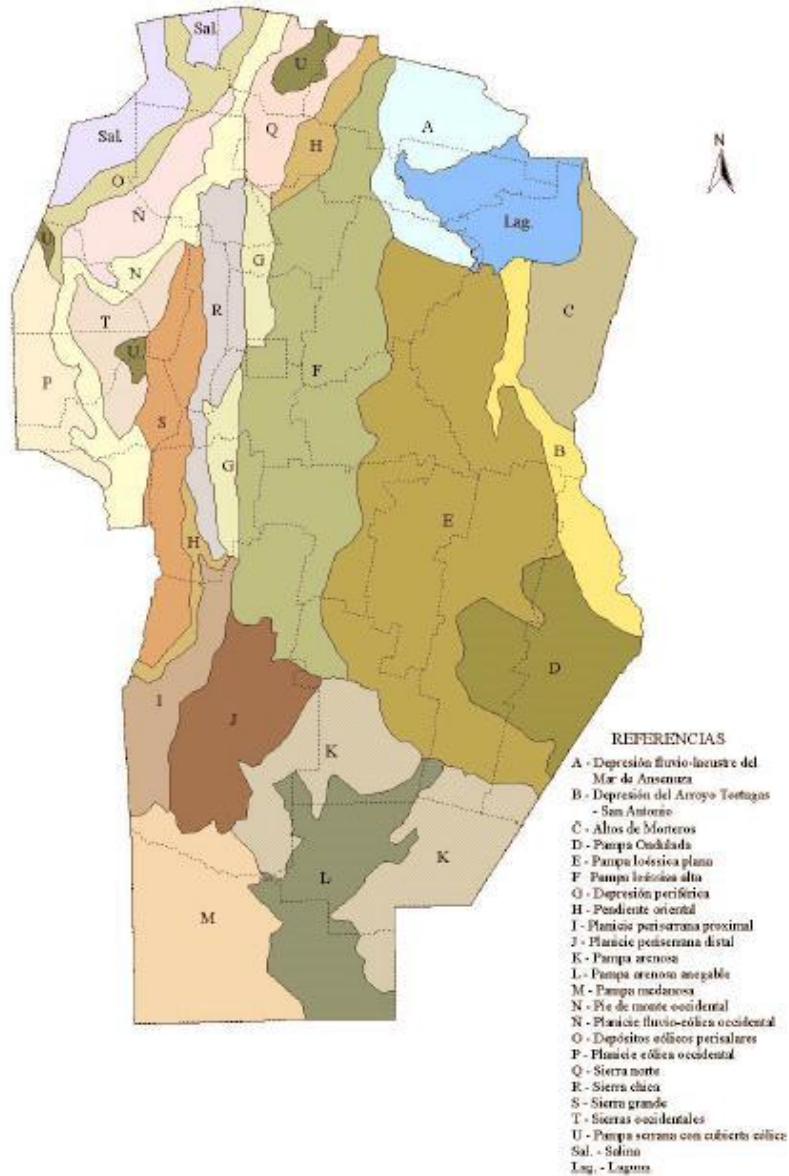


Figura 2: Mapa Geomorfológico de la Provincia de Córdoba (ACASE – INTA, 2003)

Conforma un bloque elevado o basculado hacia el Este debido a fallas geológicas del basamento, cubierto en parte por depósitos de piedemonte o una potente acumulación de sedimentos eólicos, franco limoso. Hacia el borde occidental, más ondulado, se presentan fenómenos erosivos, con presencia de "mallines" vinculados, en la mayoría de los casos, a lineamientos estructurales. La capa de agua freática, muy profunda sobre el borde occidental, se hace más cercana a la superficie hacia el Este.

La región está surcada por ríos y arroyos que nacen en la región serrana, la mayoría de los cuales exhiben importantes procesos de erosión vertical y lateral y una consecuente sedimentación en las áreas de derrame que se suceden hacia el Este. Las vías de desagüe generalmente presentan un diseño condicionado por líneas estructurales (subparalelo o subrectangular).

Hidrológicamente, en esta región encontramos: el río Suquía que nace en el paredón del Dique San Roque y corre hacia La Calera a lo largo de un trazo tortuoso y escarpado. Aguas abajo del Dique Mal Paso parten los dos canales maestros de distribución de agua de riego para el cinturón verde de la ciudad de Córdoba, recoge por la margen izquierda el arroyo Saldán. Muy pronto entra en la llanura y recorre unos 4 km en la ciudad de Córdoba. En pleno centro urbano incorpora, por el sur, el arroyo de La Cañada que desagua el área de La Lagunilla. Posteriormente corre hacia el Noreste con un caudal que disminuye progresivamente y a la altura de la localidad de Capilla de los Remedios el río restringe su cauce a unos 50 m con escasa profundidad.

El río Xanaes atraviesa la depresión periférica por una incisión excavada en las areniscas y conglomerados rojos. Entra en la plataforma basculada con un cauce divagante que disminuye de altura a medida que avanza hacia el Este.

El río Ctalamochita, nace en el Embalse del Río Tercero, corre hacia el Este, con un cauce encajonado, irregular y con una suave pendiente. Por el Norte recibe las aguas del arroyo Monsalvo y a la altura de la localidad de El Salto el arroyo Soconcho.

Por el Sur se incorporan las aguas de los arroyos Quebracho y Los Cóndores. Paulatinamente adquiere el aspecto de un río de llanura, disminuyendo la altura de los barrancos y la pendiente general, destacándose la formación de meandros y playas.

Coincidiendo con el límite Sur de la Región, corre con orientación hacia el Sudeste el río Chocancharagua, formado por la unión de los ríos de las Barrancas y Piedra Blanca. Unos treinta y cinco kilómetros aguas abajo cruza por el Norte de la Ciudad de Río Cuarto. Presenta un cauce de más de 300 m de amplitud y barrancas de 5 m a 10 m de altura que disminuyen paulatinamente hacia el Este.

2.3. CLIMA

Para *Koeppe* (1931), se trata de un clima templado con estación seca en invierno (Cw) y para *Thornthwaite* y *Hare* (1955), se trata de un clima de pradera baja con una eficiencia térmica de 1.050 mm y un índice hídrico de -15. En esta región se destacan las amplitudes térmicas elevadas considerando las máximas 45°C y mínimas -8°C absolutas observadas.

El período lluvioso se extiende de octubre a marzo (580 mm), el cual representa el 80 % de las precipitaciones anuales. La evapotranspiración potencial supera los 850 mm anuales, causando la existencia de períodos con deficiencia de agua edáfica cuyos valores se incrementan hacia occidente. Las heladas ocurren entre los meses de mayo y septiembre.

2.3.1. Régimen Hídrico

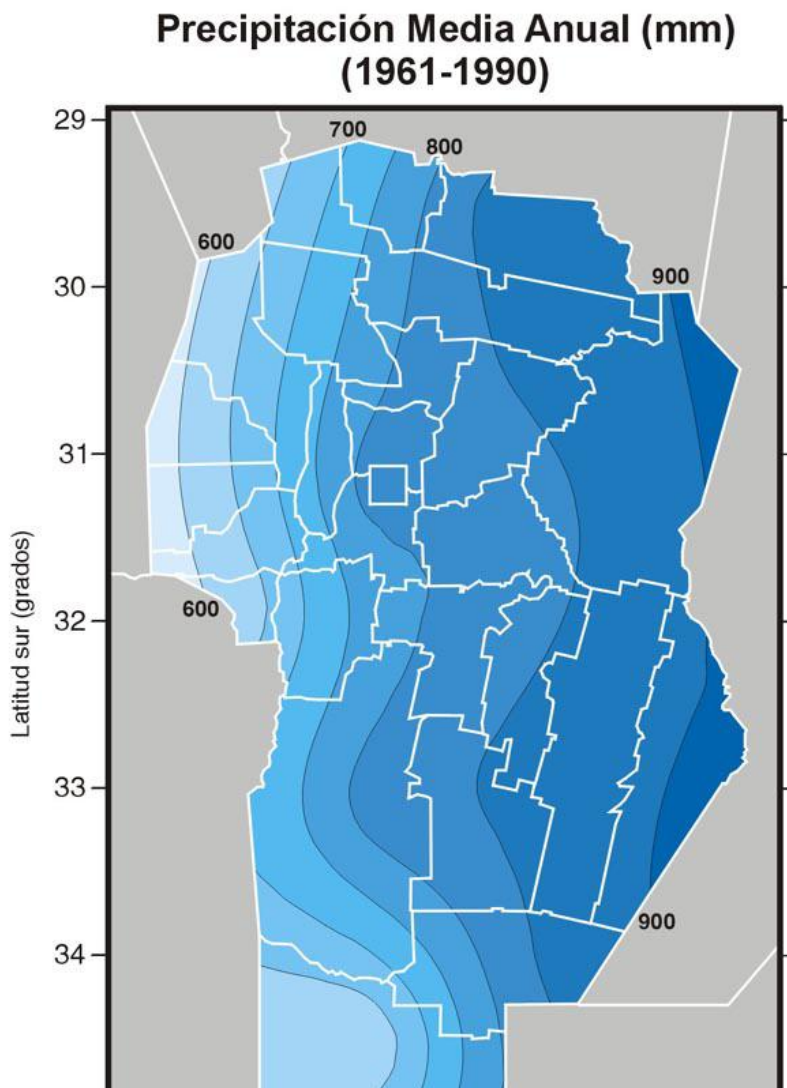


Figura 3: Precipitación media anual de la Provincia de Córdoba (ACASE – INTA, 2003)

Los montos medios anuales de precipitación para la provincia de Córdoba se presentan en la Figura 3. Puede apreciarse un gradiente Este - Oeste desde más de 900 milímetros en la porción oriental del territorio a menos de 600 milímetros en los límites con La Rioja.

Nuestra área de estudio se haya en una posición de unos 800 mm promedios de lluvia al año.

2.3.2. Régimen Térmico

En la Figura 4 se presentan las temperaturas y las precipitaciones medias mensuales. La temperatura estival, representada por el valor térmico de enero es de 29,7°C y la temperatura invernal (julio) posee un valor de 10,8°C. Dichos valores térmicos y la amplitud anual (18,9°C) son característicos de una localidad con clima templado.

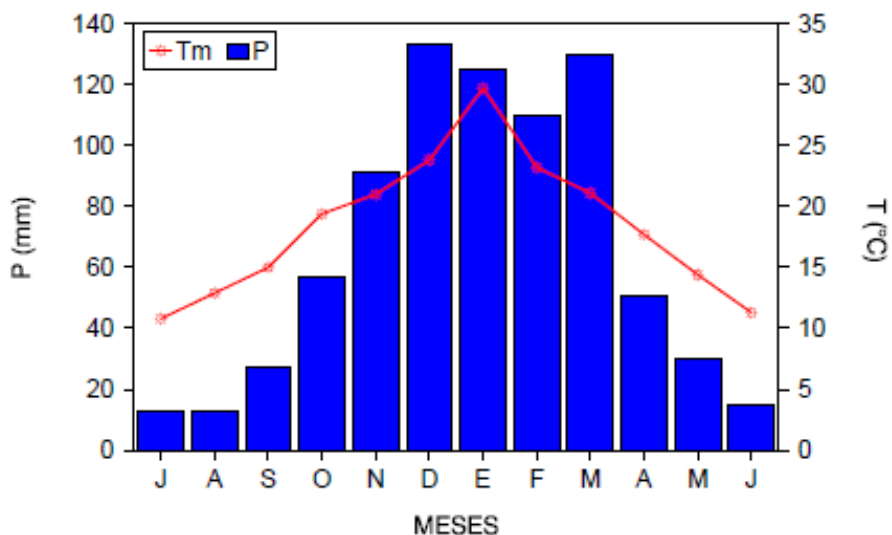


Figura 4: Régimen térmico y precipitaciones mensuales área de estudio (ACASE – INTA, 2003)

CAPITULO 3: PROBLEMÁTICA DE DESAGUES URBANOS

3.1. INUNDACIONES EN AREAS URBANAS

Aunque las inundaciones urbanas parezcan todas similares, para su análisis es necesario distinguir dos tipos básicos, asociados a procesos que ocurren en forma aislada o integrada. En efecto, en un área urbana pueden ocurrir:

- Inundaciones provocadas por el crecimiento urbano tradicional y/o
- Inundaciones ribereñas

Las inundaciones debido a la urbanización son aquellas en las cuales 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.

Ocurren en áreas localizadas en proximidades de los sectores más bajos de calles y/o avenidas. 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.

Igualmente probables son las obstrucciones debido a residuos, sedimentos u otros elementos, aunque en estos casos las inundaciones no son repetitivas y deberían desaparecer con el mantenimiento del sistema.

En cambio, las inundaciones ribereñas se asocian a la urbanización indebida de áreas inundables aledañas a los cursos de agua. En general estas inundaciones se asocian a eventos severos.

Una de las etapas importantes en la planificación del drenaje urbano es determinar la causa por la cual una localidad se encuentra sujeta a inundaciones (Reyna y Chini, 1995). Esta tarea se debe realizar con el apoyo de herramientas numéricas que permitan representar el comportamiento hidráulico del sistema en forma integral, en forma complementaria a mediciones y observaciones en el lugar.

3.2. SUBSISTEMAS DE DRENAJE URBANO – MACRO Y MICRO DRENAJE

De acuerdo a una tendencia cada vez más marcada en la literatura especializada, para la planificación, proyecto y operación de un sistema de drenaje urbano corresponde distinguir dos niveles o subsistemas diferentes: el macro y el micro drenaje

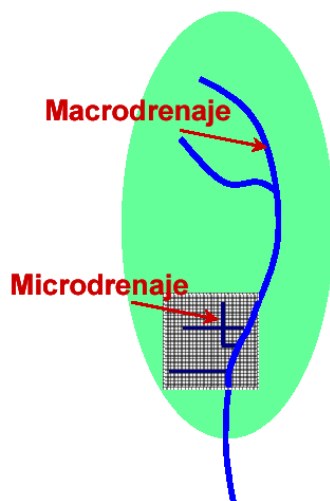


Figura 5: Representación del Macro y Micro drenaje

El subsistema de macro drenaje incluye todos los cursos del escurrimiento definidos por las depresiones topográficas naturales de la cuenca, aun siendo efímeros. Por lo general drena áreas mayores a 5 km², dependiendo del tamaño de la ciudad y relieve de la región.

Una característica fundamental de este componente es que siempre existe, aun cuando no se ejecuten obras específicas de drenaje. A los fines del proyecto este subsistema debe ser capaz de eliminar o reducir los daños provocados por lluvias excepcionales, convenientemente entre 25 y 100 años de tiempo de recurrencia.

Por su parte, el subsistema de micro drenaje abarca todas las obras de drenaje realizadas en áreas donde el escurrimiento natural suele no estar bien definido, siendo determinado por la ocupación del suelo. En un área urbana el subsistema de micro drenaje típicamente incluye al trazado de las calles, los sistemas de cordón cuneta y/o alcantarillas, los sumideros o bocas de tormentas y los sistemas de conducción subterránea hasta el macro drenaje. Este subsistema debe estar proyectado para operar sin inconvenientes ante tormentas con períodos de retorno entre 2 y 25 años.

3.3. IMPACTO HIDROLOGICO DE LA URBANIZACION

La urbanización produce un marcado impacto sobre el ciclo del agua, provocando numerosos efectos. Entre ellos Chocat (1997) destaca cinco:

- a) la impermeabilización del suelo,
- b) la aceleración de los escurrimientos,
- c) la construcción de obstáculos al escurrimiento,
- d) la "artificialización" de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas y,
- e) la contaminación de los medios receptores.

Los tres primeros tienen una influencia significativa sobre el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los medios urbanos (Figura 6).

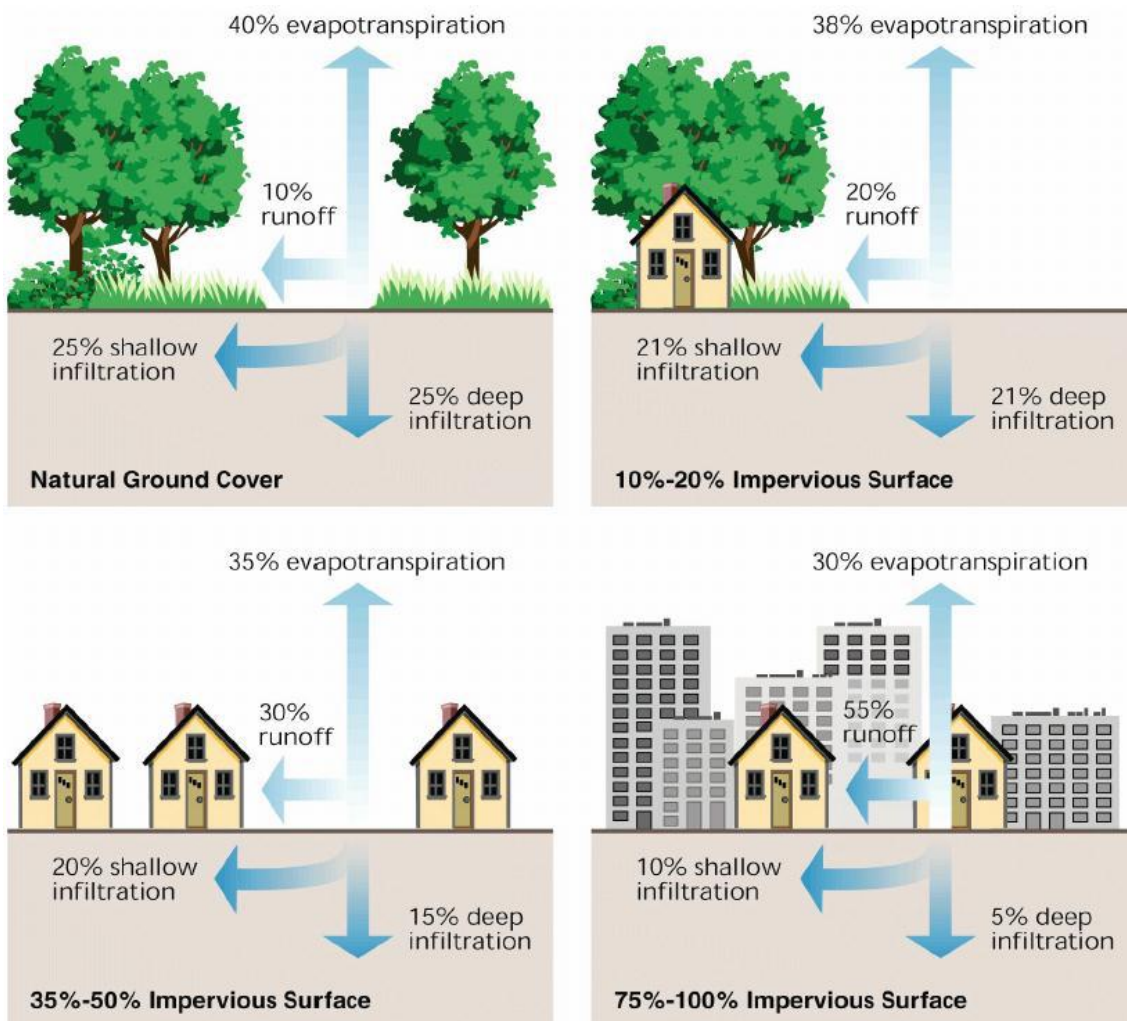


Figura 6: Representación de la relación urbanización – aumento de escorrentías.

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 previamente 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 (Figura 7).

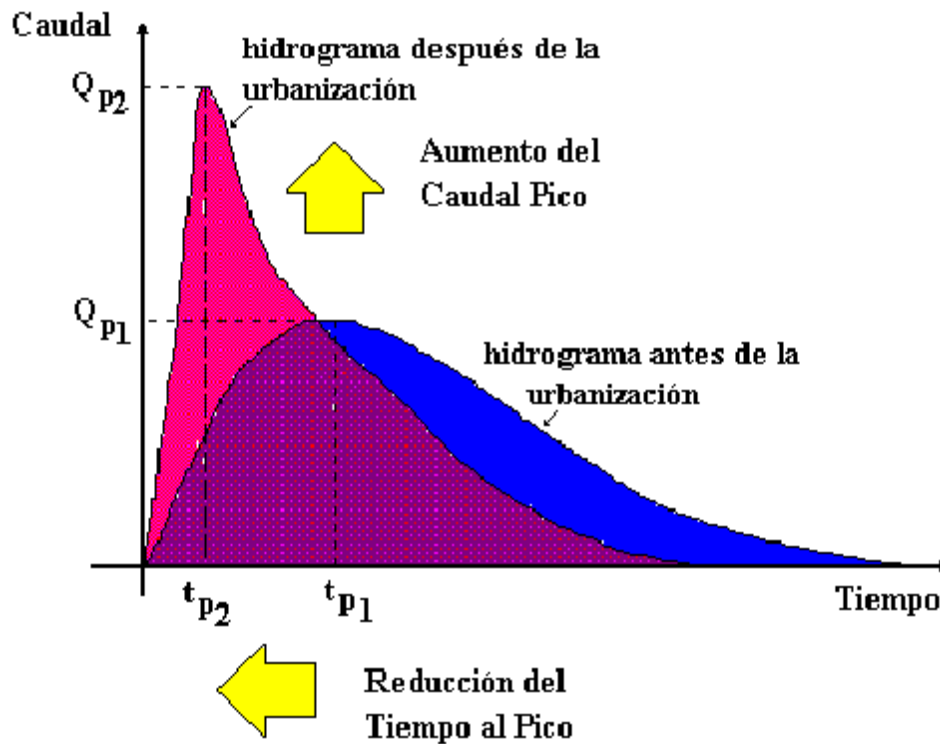


Figura 7: Impacto hidrológico de la urbanización (Bertoni 2004)

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

- 0,1 ha de área rural se convierte en urbana per cápita de incremento poblacional;
- 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 (Figura 4). Cabe consignar que en algunos casos el impacto hidrológico ha superado estos porcentajes.

3.4. DEFINICION DE FUNCION BASICA Y COMPLEMENTARIA

En el contexto del drenaje urbano se definen dos objetivos:

- **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.

Las dos funciones anteriores conforman conjuntamente un sistema de drenaje urbano, ya que permiten alcanzar los dos objetivos establecidos. De las definiciones anteriores se desprende que pueden existir acciones comunes o de una función que contribuya a la otra. En el primer caso se encuentra, por ejemplo, la prohibición del uso para cualquier fin de un área determinada, y en el segundo, la construcción de un sumidero con su correspondiente colector. Debido a que este último contribuye a retirar las aguas de las calles y al mejoramiento del tráfico de vehículos y personas, colabora por la misma razón, a evitar daños a éstas y a sus propiedades.

Además se define como grado de protección al nivel aceptable de riesgo de ocurrencia de daños o molestias. En consecuencia, existirán dos grados de protección, uno asociado a la función básica cuyo riesgo será menor que el asociado a la función complementaria, siendo entonces más importante la protección a las personas y sus propiedades, antes que garantizar el tráfico de vehículos y personas. Para poder llevar a cabo esto se fijan los grados de protección en función de la probabilidad de ocurrencia de los caudales de proyecto y se establecen los niveles de inundación aceptable, siendo estos últimos las alturas de agua máxima en las calles y avenidas, así como en las otras superficies urbanas dependiendo si el objetivo es básico o complementario.

3.5. NIVELES DE INUNDABILIDAD

Como ya se mencionó con anterioridad, 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 puede ser de 15 o 20 cm según la categoría o importancia de la misma.

En un espacio verde (plazas, parques, etc.), la altura puede ser mayor sin que esto afecte a alguna propiedad, dependiendo de cada caso. Un límite superior importante a tener en cuenta es la necesidad de que acceda una ambulancia, por lo cual la altura máxima no debería superar los 50 cm aproximadamente.

En el caso de calles de mucha pendiente, la altura máxima puede estar limitada por la velocidad de las aguas (1 m/seg), sin poner en peligro la vida de personas o la seguridad de los vehículos.

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.

Algunos factores que influyen en la elección de tales dimensiones son la pendiente longitudinal, categoría de la vía, intensidad del tránsito, etc. Por ejemplo, para un ancho de calzada de 3,50 m, correspondiente a una calzada normal, y con una pendiente transversal del 2%, una altura máxima de 6 cm no crea inconvenientes al tránsito (períodos de retorno bajos).

Algunas recomendaciones generales a tener en cuenta son:

a. Flujo Transversal: Cuando exista flujo superficial normal o casi normal al eje de la vía, el cual se presenta por lo general en vías con secciones transversales sin coronamiento, la altura de flujo no debe exceder los 5 cm en calles locales.

b. Aguas en depresiones: Se pueden admitir alturas hasta de 15 cm en calles locales, pero nunca más que la altura del sumidero, porque de lo contrario se afectaría a la función básica.

c. Aguas en parques y zonas recreativas: La altura de inundación permitida no debe fijarse de una manera numérica, sino en función de cada situación en particular de manera de no afectar a las personas ni las propiedades de sus alrededores.

d. Estacionamientos y jardines de edificaciones y viviendas: En estacionamientos se pueden admitir hasta 10 cm siempre y cuando existan caminos altos de acceso a los automóviles, y 5 cm cuando no. En los jardines de edificaciones y viviendas, resulta apropiado un valor máximo de 10 cm siempre que la elevación de la edificación lo permita.

CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE EXISTENTE

4.1. GENERALIDADES

Para la ejecución de informes técnicos es necesario consultar bibliografía pertinente vinculada a la temática que se analiza para poder tener el respaldo teórico pertinente; pero también es menester recurrir a estudios diversos realizados dentro del área de influencia, que se suman a la documentación específica sobre el tema a abordar.

Como en todo trabajo de ingeniería, y según se ha ido estudiando a lo largo de la carrera, resulta necesaria la recopilación de antecedentes cartográficos disponibles a distintas escalas, así como también imágenes satelitales, fotografías aéreas del área en cuestión, publicaciones y antecedentes bibliográficos.

Todo este material reunido para el inicio del estudio es clasificado, procesado y posteriormente analizado para pasar a formar parte de la base de datos del área, la cual incluye toda la información geológica, geomorfológica, de suelos, hidrológica e hidráulica disponible. Con la información expuesta anteriormente se confeccionan cartas de cuencas y subcuencas, donde se detectan y marcan los escurrimientos principales, infraestructuras, obras de artes existentes, etc. y toda la información que se considere relevante, para que luego sea verificada en el campo y de esta manera, corresponderla con la realidad de lo observado.

4.1.1. Tareas de Campo

Previa ejecución de la documentación pertinente, explicada en el apartado anterior, se procede a la verificación de la misma in-situ realizando las siguientes tareas en campaña:

- Recorrida del área afectada.
- Reconocimiento y verificación de las principales líneas de escurrimiento hídrico.
- Relevamiento de Obras Viales (Calles, Caminos Rurales, Rutas)
- Existencia o no de obras Hidráulicas en el área de estudio.
- Captura de imágenes fotográficas de las zonas más relevantes y de potencial interés.

4.1.2. Tareas de Gabinete

Una vez obtenida toda la información recompilada en campaña y junto con la información de antecedentes, se procede a la ejecución de las siguientes tareas de gabinete:

- Análisis de la información bibliográfica antecedente y elaboración de diagnósticos preliminares.
- Se correlaciona y se analizó la mutación de la zona de estudio, con el paso del tiempo a través de la observación de fotografías aéreas e imágenes satelitales de diferentes fechas.
- Confección de la planimetría pertinente, con la conjunción de los siguientes tópicos:
 - Unidades geomorfológicas
 - Red de Drenaje
 - Cuencas Hídricas

- Cursos de Agua permanente
 - Espejos de Agua
 - Uso del Suelo
-
- Adopción de las precipitaciones publicadas en los trabajos del INA-CIRSA (Instituto Nacional del Agua – Centro de la Región Semiárida)
 - Aplicación del modelo computacional SWMM (Storm Water Management Model) para la transformación lluvia – caudal, con el objetivo de determinar los caudales picos o máximos que se generan en las distintas cuencas.
 - Aplicación de la ecuación de Manning y los nomogramas de la DNV para el Cálculo Hidráulico de Alcantarillas, En secciones de paso conocidas y verificadas (canales y alcantarillas).
 - Interpretación de la información obtenida de la aplicación de los diversos Modelos ya citados y de las recorridas a campo.
 - Elaboración de informes parciales de cada aspecto involucrado en el estudio.

4.2. DESCRIPCION SISTEMA DE DRENAJE ACTUAL

4.2.1. Generalidades

El área que comprende las cuencas en estudio se encuentra casi en su totalidad ocupada por la antropización urbana o periurbana y en áreas marginales por el uso del suelo destinado a la agricultura y la ganadería. Estas características determinan que, en gran medida, los procesos geomorfológicos estén vinculados a la problemática antrópica y en particular se relacionen con los excedentes hídricos que se generan en las áreas urbanas impermeabilizadas.

La delimitación de cuencas en la cual se ira presentando en los distintos sub – sistemas de drenaje que se analizaran salen de un Plan Director de drenaje anterior año que se tuvo como antecedentes para la elaboración de este trabajo. Por ello se presenta estas cuencas antes de realizar el análisis correspondiente.

Si bien la localidad de Rio Segundo presenta varios sub - sistemas de drenaje, en este trabajo se focalizó el análisis en 4 subsistemas de drenaje, en un previo acuerdo con la Municipalidad de la localidad, por considerarlas las regiones con mayores necesidades de saneamiento en materia de drenajes urbanos requerían. Estos se describen a continuación:

4.2.2. Sub – Sistema Julio A Roca

Este sector está localizado al Suroeste de la localidad y las vías del FF.CC, sobre la cuenca delimitada en un anterior plan de drenaje llamada D, representada en la Figura 8. El nombre del mismo sale de la calle homónima localizada en esta área, la más importante del sector y donde se localizan los escurrimientos del sub – sistema.

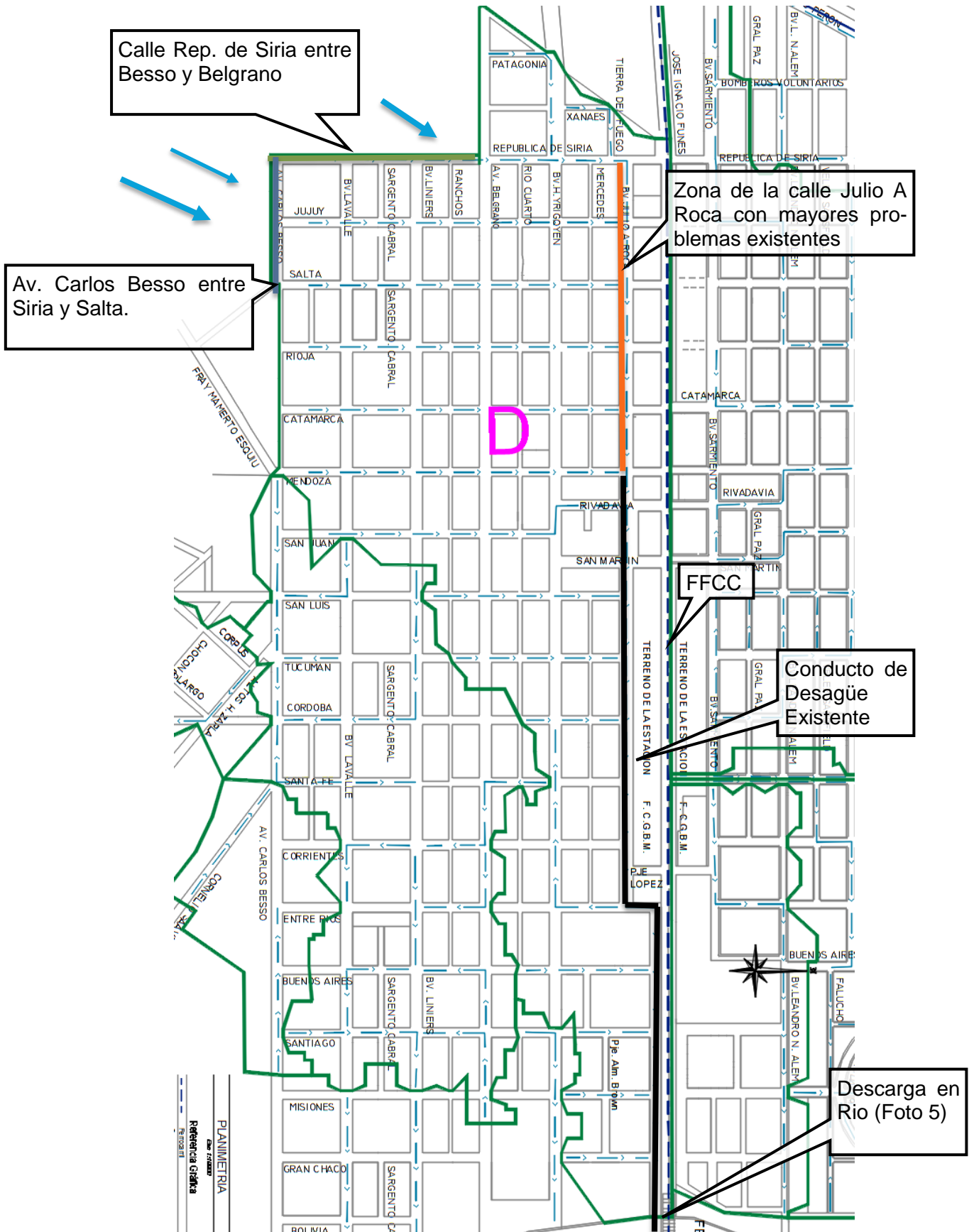


Figura 8: Delimitación Sub – Sistema Julio A Roca

La cuenca D, la que delimita el sub – sistema, tiene una superficie urbanizada de 117.6 Ha. Recibe los aportes de la cuenca rural, cuyos excesos ingresan por el extremo Noroeste a la misma siendo tomados por las calles República de Siria a la altura de la Av. Belgrano y por la Av. Carlos Besso entre R. de Siria y Salta.

A partir de allí los escurrimientos viajan hacia el Este por las cunetas de calles hasta el Bv. Julio A. Roca (Foto 1). En general todas las subcuencas que se pueden definir dentro de esta tienen los excesos que llegan a este boulevard, y desde allí se dirigen hacia el Sureste por este y paralelamente a las vías.

Dada esta situación y con el objeto de reducir las inundaciones en el sector, se encuentra un conducto de desagüe que inicia en la intersección con la calle Mendoza (Foto 2) y corre paralelo a la calle Roca hasta desembocar en el Río Xanaes, según se mostraba en la Figura 8. Sin embargo, previamente a la ejecución de este conducto, el tratamiento de los flujos era superficial por calle por lo que para darle salida a los escurrimientos se mantuvo la pendiente hacia el Sureste del Bv. Roca lo que llevó a cortar los altos del terreno quedando en algunos sectores poco más de 2 m de diferencia entre calle y lotes (Foto 3).



Foto 1: Boulevard Roca



Foto 2: Sumidero en Bv. Roca – Inicio de conducto

La Foto 4 muestra un sumidero en la calle Bv. Roca y Entre Ríos donde el conducto hace una curva y contracurva, y la Foto 5 muestra el conducto de desagüe en el punto de descarga. Las dimensiones del mismo varían a lo largo de su recorrido, inicia de sección rectangular de 2.90 m de ancho por 1.60 m de alto hasta la intersección con la calle Entre Ríos donde hace la curva y continua en sección rectangular pero de 2.95 m de ancho por 1.80 m de alto.



Foto 3: Profundización del Bv Roca.



Foto 4: Bv Roca y Entre Ríos

Finalmente descarga en la proximidad de la zona del río Xanaes, la cual está protegida en gaviones sin embargo unos metros aguas abajo se evidencian procesos erosivos retrogradantes (Foto 6).



Foto 5: Erosión en la descarga



Foto 6: Erosión del canal hacia el Río

4.2.3. Sub – Sistema Sobremonte

El sub – sistema Sobremonte está compuesto y delimitado por la cuenca M ilustrada en la Figura 9.

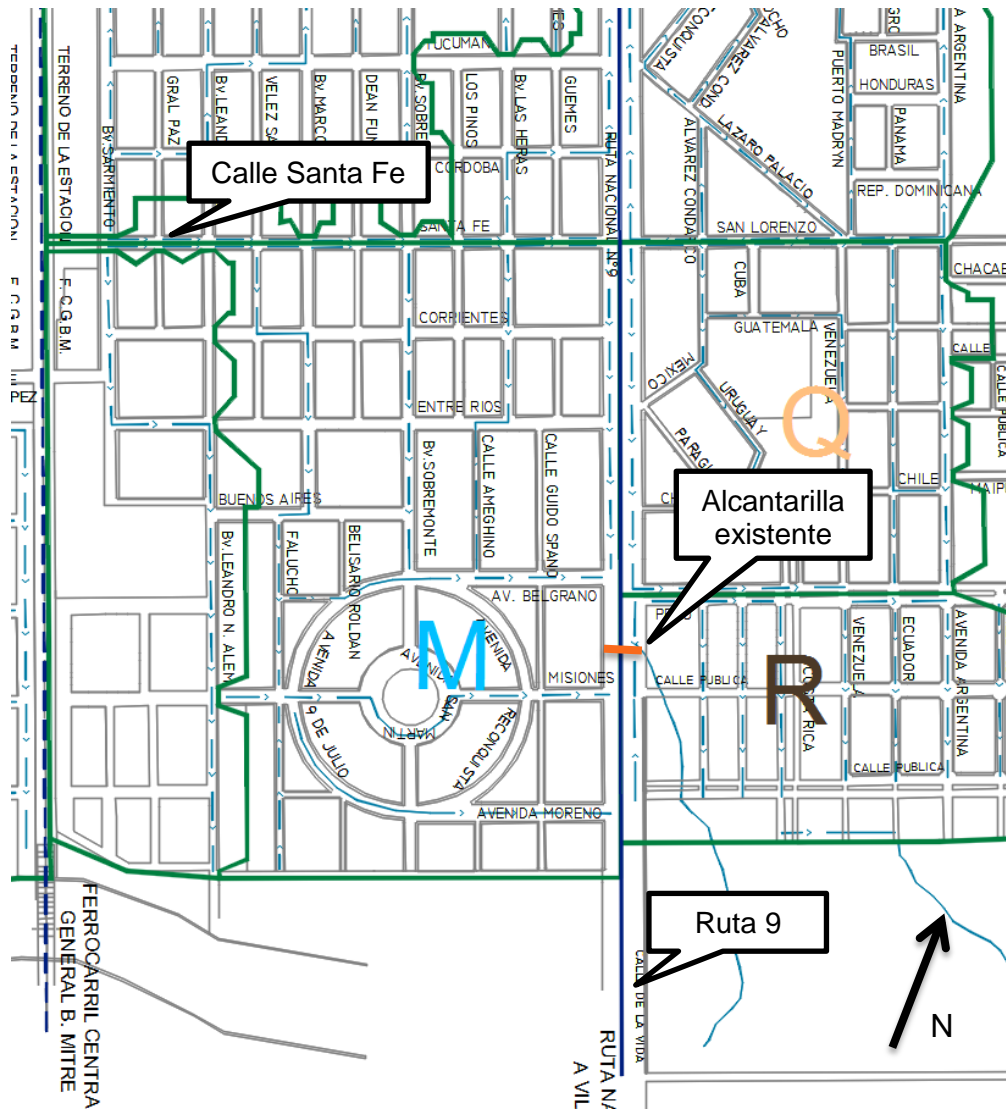


Figura 9: Sub – Sistema Sobremonte

La cuenca M está ubicada al Sureste de la localidad con 50.6 Ha, delimitada por la Ruta 9 en dirección Este, la calle Santa Fe hacia el norte, la misma cumple una función de divisora de aguas en este sector de la ciudad. La cuenca L y el espacio rural en dirección sur yendo hacia el río terminan por delimitar este sub – sistema.

El espacio de esta cuenca existente tiene un uso residencial, mayormente Alto, aunque también sectores de Medio, Bajo y Muy Bajo en proceso de consolidación. Posee algunas calles pavimentadas pero la mayoría en tierra.

En cuanto a los escurrimientos, la mayoría de estos llegan superficialmente por las calles a la cuneta Oeste de la RN N°9 siendo captados por un canal (Foto 7: Canal en cuenca M.) que los toma y conduce hasta una alcantarilla que los cruza a través de dicha vía (Foto 8, Foto 9); una menor porción de los excesos constituidos por los de las últimas dos cuadras del Sureste de la cuenca (desde Misiones hacia el Sur) llegan a la ruta desde donde se los dirige rumbo al río.

A partir de cuándo cruzan los escurrimientos la alcantarilla sobre la Ruta 9 ingresan a la cuenca R siendo conducidos por medio de un canal (Foto 9) hacia el Sureste hasta una laguna ubicada en las afuera de la ciudad en la zona de un meandro abandonado del río (Foto 10). En dicha laguna el agua se evacúa por infiltración fundamentalmente.



Foto 7: Canal en cuenca M.



Foto 8: Alcantarilla de cruce RN N°9.



Foto 9: Canal salida de alcantarilla.

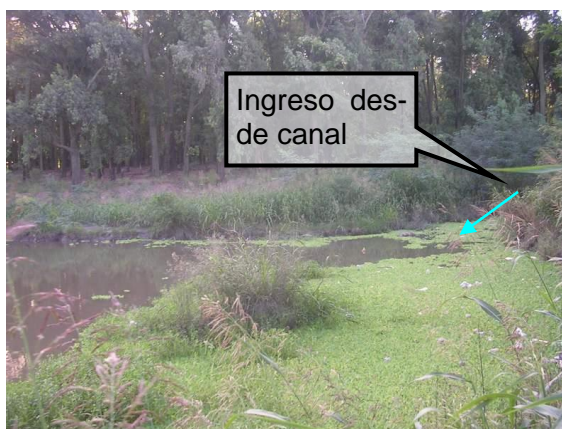


Foto 10: Laguna - zona de meandro.

Esta laguna por donde se infiltran los excesos pluviales del sistema, no podrá seguir funcionando para esta finalidad por decisión de la Secretaria de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba por lo que se necesitara encontrar otro medio para sanear el sector.

4.2.4. Sub – Sistema San Luis

El Sub – Sistema San Luis está comprendido en el sector más desarrollado de la localidad, está integrado por la cuenca I, J y K que se representa en la Figura 10.

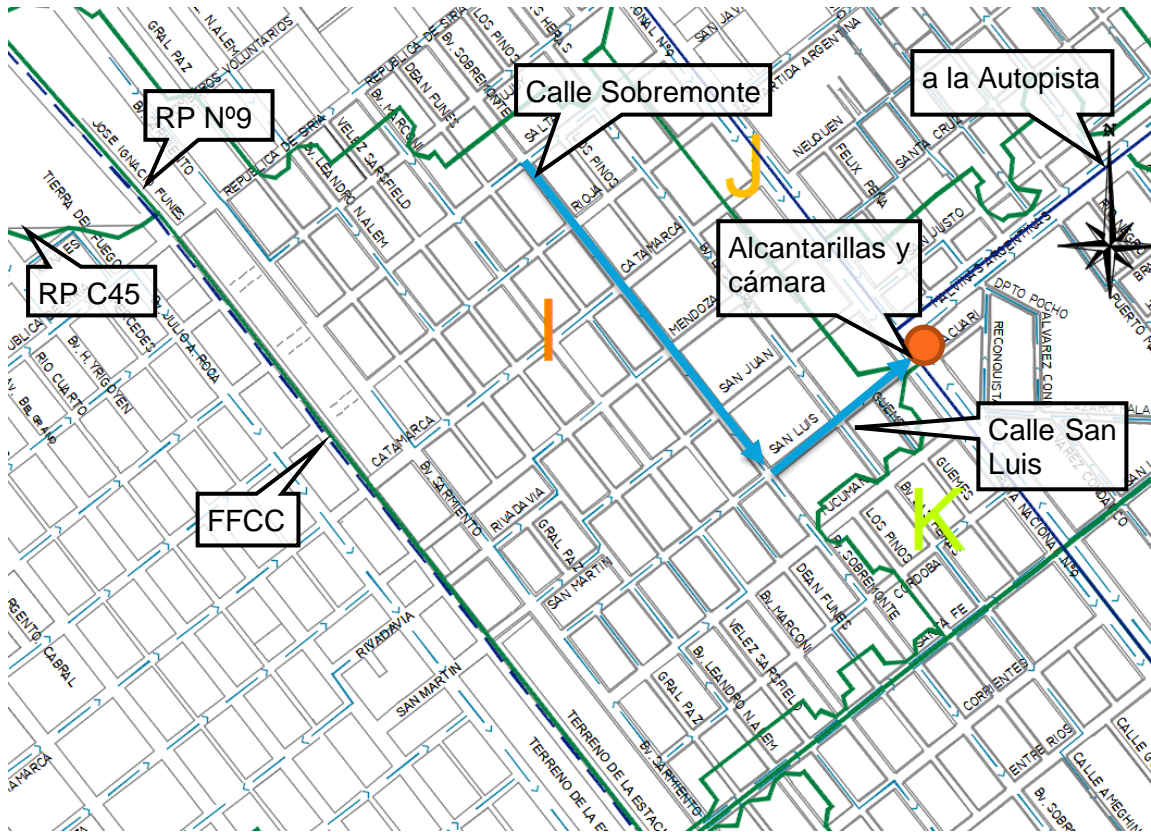


Figura 10: Sub – Sistema San Luis

La cuenca I es grande e importante con 88.5 Ha e involucra prácticamente la totalidad del centro comercial donde además la urbanización está más consolidada. Está limitada al Oeste y Suroeste por el FFCC, al Este por la cuenca J y al Sur y Sureste por la cuenca K.

La mayoría de las cuencas aportan al Bv. Sobremonte conduciéndolos con sentido Sureste hasta la calle San Luis desde donde se derivan hacia la RN N°9. Dicha calle San Luis se encuentra profundizada alrededor de 1,5 m (Foto 11) y presenta graves problemas de inundación que se acrecientan a medida que se aproxima a la ruta. Allí el cruce de los excesos se realiza mediante alcantarillas (Foto 12).



Foto 11: Calle San Luis.



Foto 12: Alcantarillas en RN N°9.

Estas alcantarillas se emplazan a cada lado de la calle San Luis, del lado Norte hay una batería de tres alcantarillas de diámetro 1000 mm (Foto 13) y del lado Sur se compone de dos conductos rectangulares de 1.00 m de base por 1.00 m de alto. Estos descargan a una cámara abierta (Foto 14) desde donde se derivan también mediante alcantarillas a la cuneta Norte (Foto 15) de la ruta de enlace entre la RN N°9 y la autopista. Esta alcantarilla se constituye de dos vanos de 2.10 m por 1.00 m (Foto 16).



Foto 13: Descarga de alcantarillas circulares en cámara.



Foto 14: Cámara de descarga de alcantarillas.



Foto 15: Cuneta Norte de ruta de enlace.



Foto 16: Alcantarillas desde cámara a cuneta.

Esta misma cuenca presenta un uso del suelo de tipo Residencial Alto mayoritariamente y en menor medida residencial Medio, Bajo y Muy Bajo. Es la cuenca con mayor superficie de calles pavimentadas.

4.2.4.1. Sub – Sistema Médano Verde

El Sub – Sistema Médano Verde está comprendido en el sector con desarrollo más reciente, iniciado a partir de la ejecución de la RN N°9 y la de enlace entre esta y la autopista. Las cuencas delimitadas son dos, designadas como Q y R, y se muestran en la Figura 11.

Los escurrimientos son superficiales por calles (Foto 17) y no se concentran en una única calle sino hasta la última que constituye el límite de cuenca, la cual los colecta e induce hacia un canal excavado (Foto 18) que toma las aguas generadas en esta cuenca más las provenientes de la cuenca Q. El canal conduce los escurrimientos hacia el Sur depositándolos en un préstamo de suelo municipal, ubicado también en la zona del meandro abandonado.



Foto 17: Calle profundizada.

Foto 18: Canal de desagüe.

La cuenca Q tiene pendiente general hacia el Sureste, por lo que las calles los conducen en este sentido hasta el Boulevard Perú, donde se concentran los escurrimientos en la mano Norte del mismo.

Los excesos que llegan al boulevard proveniente de las subcuencas se juntan en la intersección con la calle Belice y luego por allí cruzan el Bv. para continuar al Sureste ingresando a la cuenca R.

Por otro lado, los excesos de las subcuencas S2Q, S6Q, S7Q, S8Q y S9Q al llegar al Bv. viajan también al Este hasta la intersección con la Av. Argentina donde, al igual que los anteriores, ingresan a la cuenca R (Figura 12).

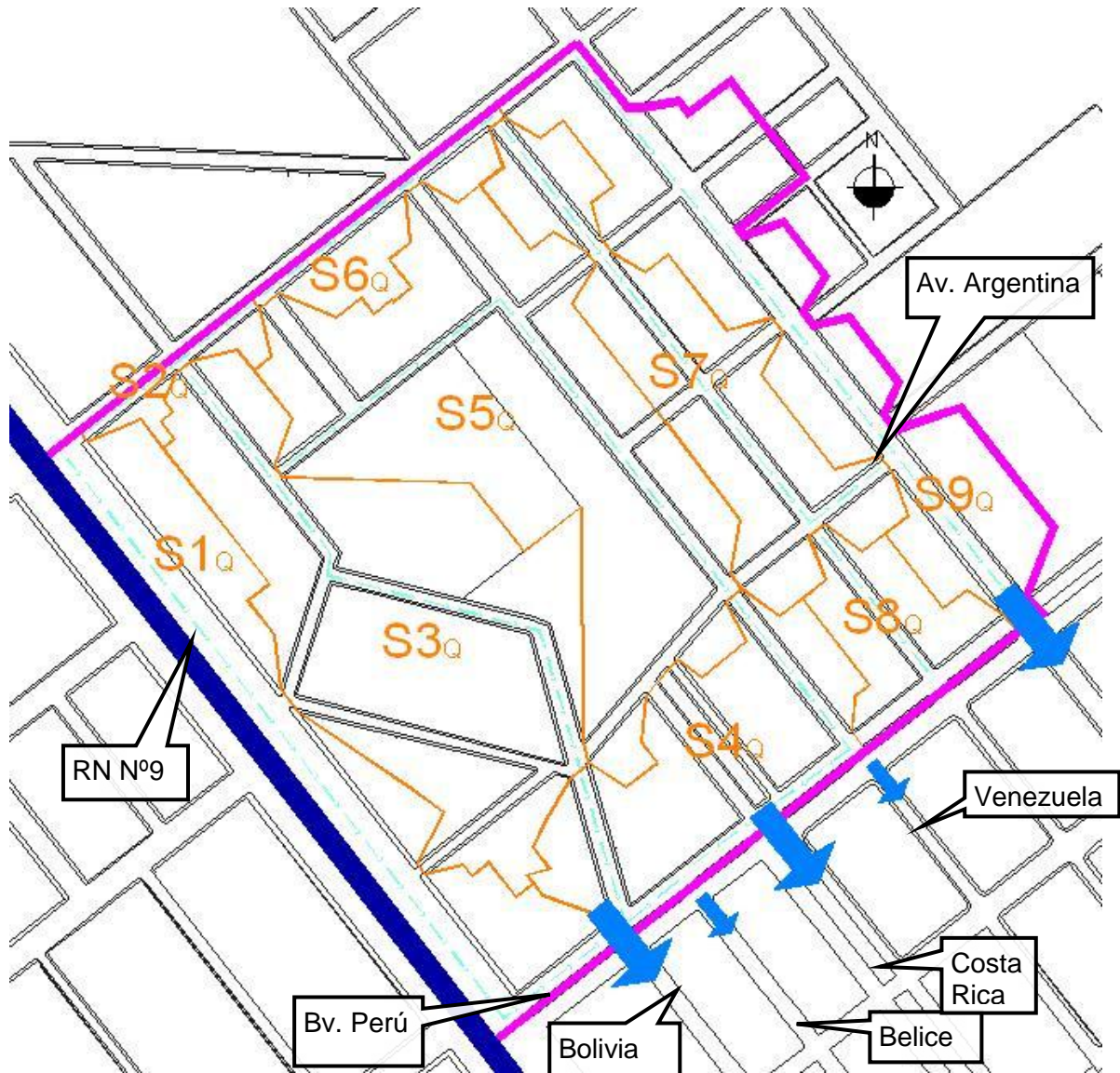


Figura 12: Subcuencas y escurrimientos cuenca Q

Finalmente, la cuenca R que se ubica al Sur del sector, se comporta de manera similar a la cuenca anterior donde las subcuencas se definen de forma alargada alrededor de cada calle y cuya pendiente es hacia el Sureste según se muestra en la Figura 13.

Los flujos se concentran en la Av. Intendente Granja paralela a la calle Perú donde actualmente se los conduce hasta el ingreso a los canales existentes, que los alejan de la zona. Estos canales sirven de desagüe a la zona, uno de ellos a la cuenca M y las subcuencas S1_R, S2_R, S3_R, S4_R y S5_R; el otro a las cuencas S6_R, S7_R, S8_R, S9_R y S10_R, más los provenientes de las subcuencas correspondientes a la cuenca Q.

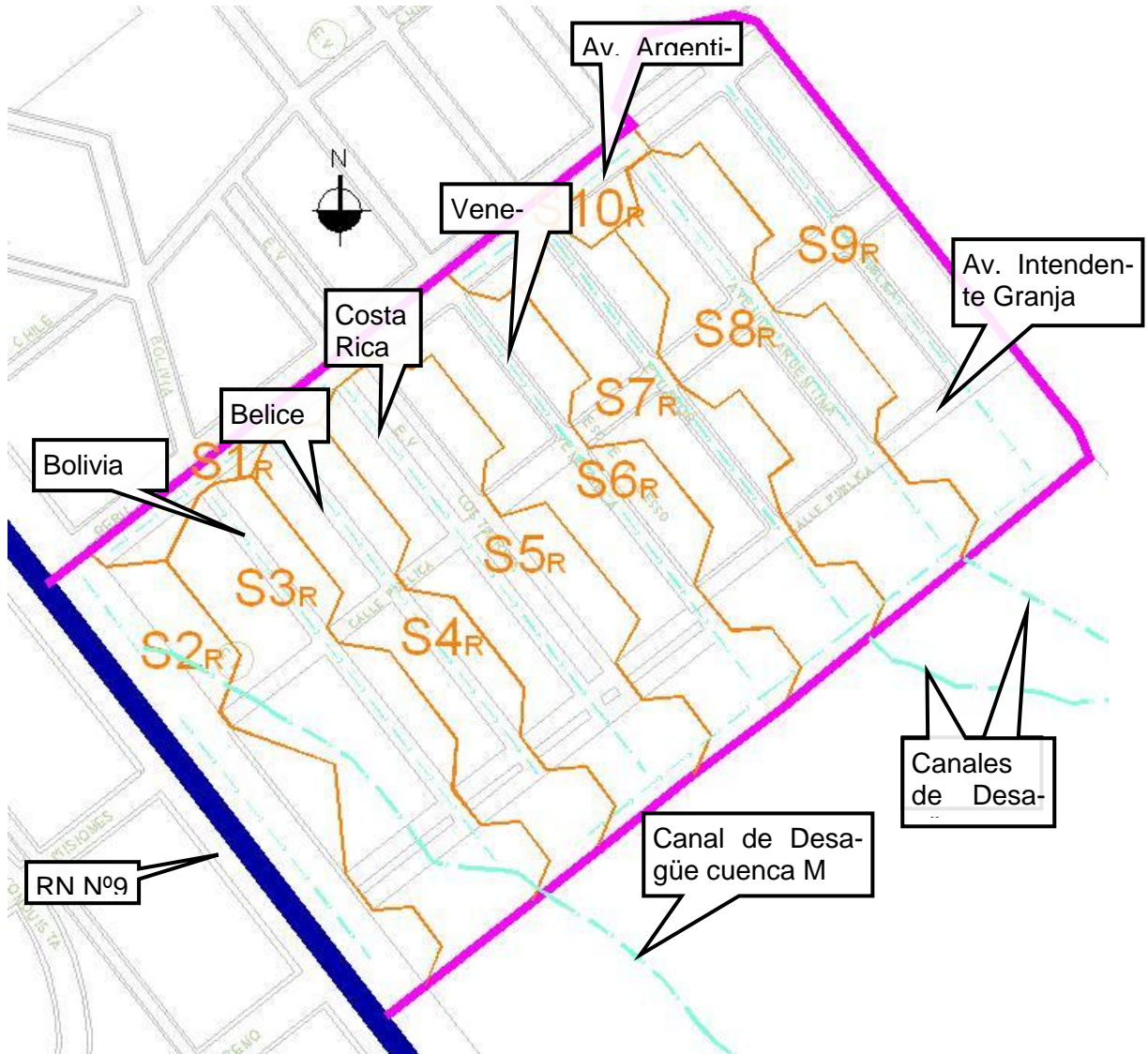


Figura 13: Subcuencas y escurrimientos en cuenca R

CAPITULO 5: ESTUDIO HIDROLOGICO – HIDRAULICO (ESCENARIO ACTUAL)

5.1. CARACTERIZACION CUENCAS DE APORTE

Con el objeto de caracterizar y tratar las cuencas, rápidamente se puede diferenciar sectores de carácter rural y de carácter urbano en el uso del suelo de las mismas; en base a esto y para una mejor interpretación se las tratará en forma separada para luego relacionarlas.

El drenaje, básicamente, está vinculado al tipo de suelo y características morfológicas del área. Prescindiendo del Río Xanaes propiamente dicho, que es de carácter permanente y que influye relativamente poco en el drenaje de la ciudad, no existen cuencas alóctonas de importancia.

La red de drenaje y las subcuencas hídricas están íntimamente relacionadas con la disposición de la red vial y ferroviaria, es decir que muchos cierres de subcuencas están dados artificialmente por caminos o rutas, que funcionan como divisorias de agua o virtualmente se comportan como vías de escurrimiento, modificando de manera local la red hídrica natural.

En una primera instancia y a una escala macro regional, la delimitación de las cuencas y su red de escurrimiento fue analizada sobre la base de las cartas topográficas del I.G.M. 1:50.000. A esta escala se destaca el terraplén del FFCC Gral. Bartolomé Mitre y de la Ruta Nacional N° 9, los cuales interrumpen las líneas de escurrimiento de las cuencas que llegan a la ciudad. Hacia las afueras de la misma, ambas vías son paralelas y aledañas pero dentro de la mancha urbana la ruta se desplaza al Noreste, resultando dos barreras a los escurrimientos, los cuales tienen sentido general hacia el Este. Además, se distingue la RP C45 y la ruta de enlace entre la RN N°9 y la Autopista Córdoba-Rosario, las cuales definen también cierres de cuenca.

5.1.1. Delimitación de Cuencas

En el área rural o extraurbana pueden definirse tres cuencas que se denominaron A, B y C, mientras que en el área urbana es posible distinguir tres sectores divididos estos por el FFCC y la RN N°9, y que se llamaron Suroeste, Centro y Noreste, dentro de estos sectores se localizan nuestros 4 sub – sistemas en los cuales focalizaremos el estudio.

El siguiente cuadro (Figura 14) resume lo antedicho y la Figura 15 muestra tales sectores.

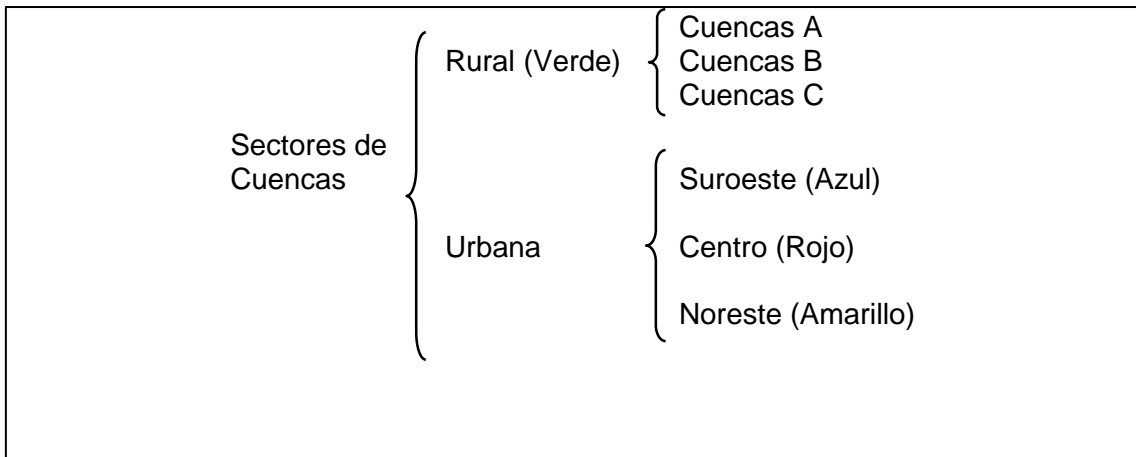


Figura 14: Esquema de distribución de cuencas

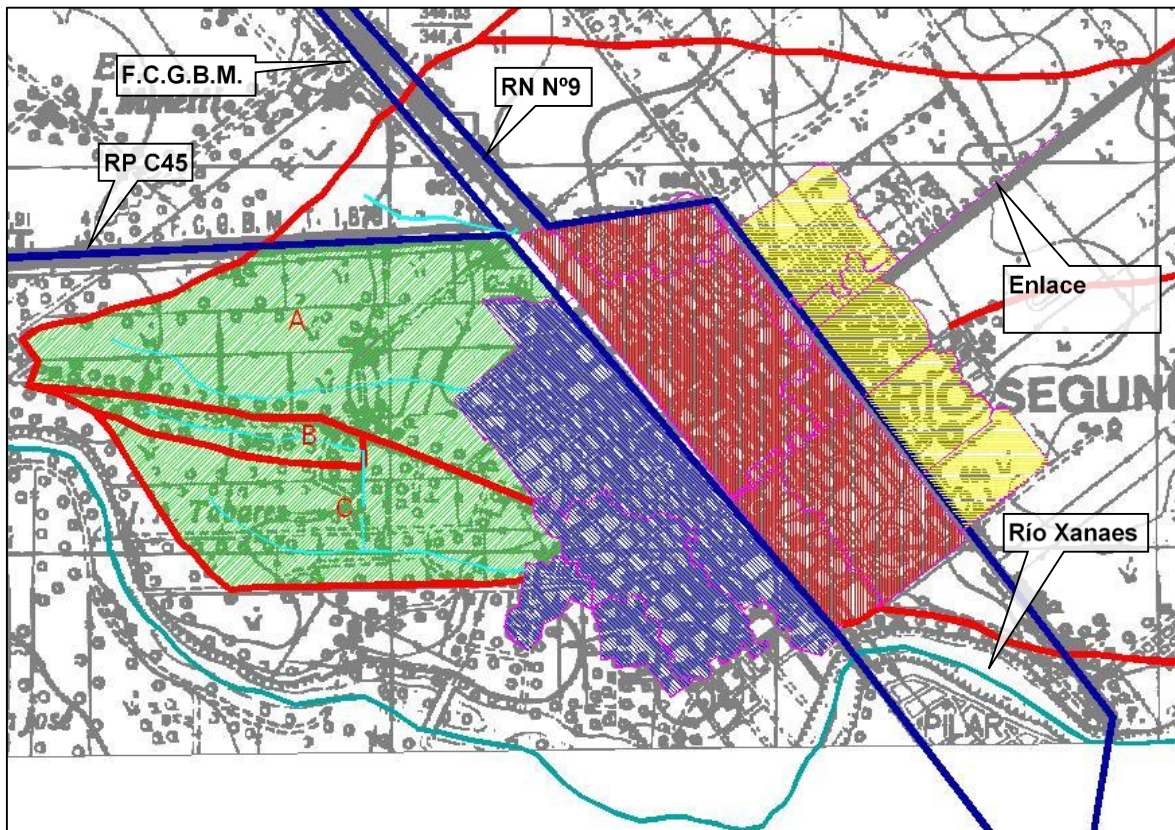


Figura 15: Delimitación de distintos sectores en el área de estudio

Siguiendo con el análisis a macro escala y con el objeto de tener un diagnóstico rápido del comportamiento de la zona ante los escurrimientos de las cuencas, se verifica que los excesos son principalmente hacia el Este produciéndose la acumulación de agua e inundación del área urbana en la proximidad de las vías mencionadas como consecuencia del cierre que suponen. De esa forma, se puede inferir rápidamente que el

sector Suroeste presente inconvenientes de inundación dado que al mismo llegan los escurrimientos de las cuencas externas a la ciudad de carácter rural y los generados en la propia superficie. En cuanto al sector Centro y de la misma manera, es posible pensar que en algún punto próximo a la ruta existan inconvenientes como resultado de los excesos que se generan en él. Finalmente y a diferencia de los casos anteriores, el sector Noreste parece no tener interferencias que puedan ocasionar inconvenientes similares.

Si en cambio ahora el análisis se realiza a menor escala y ya dentro del ejido urbano propiamente, utilizando las cotas de cloacas y verificando mediante las sucesivas recorridas de campo fue posible delimitar una serie de cuencas en cada uno de los sectores Suroeste, Centro y Noreste, las que se muestran en la Figura 17. En el siguiente cuadro de la Figura 16 se resume la discriminación por sector.

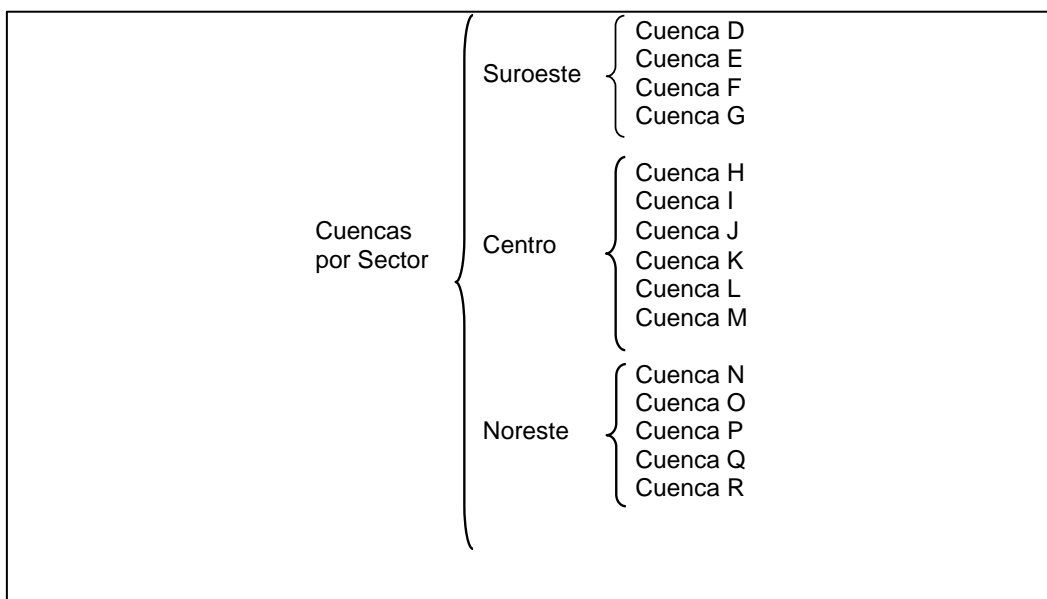


Figura 16: Esquema de distribución de cuencas por sector

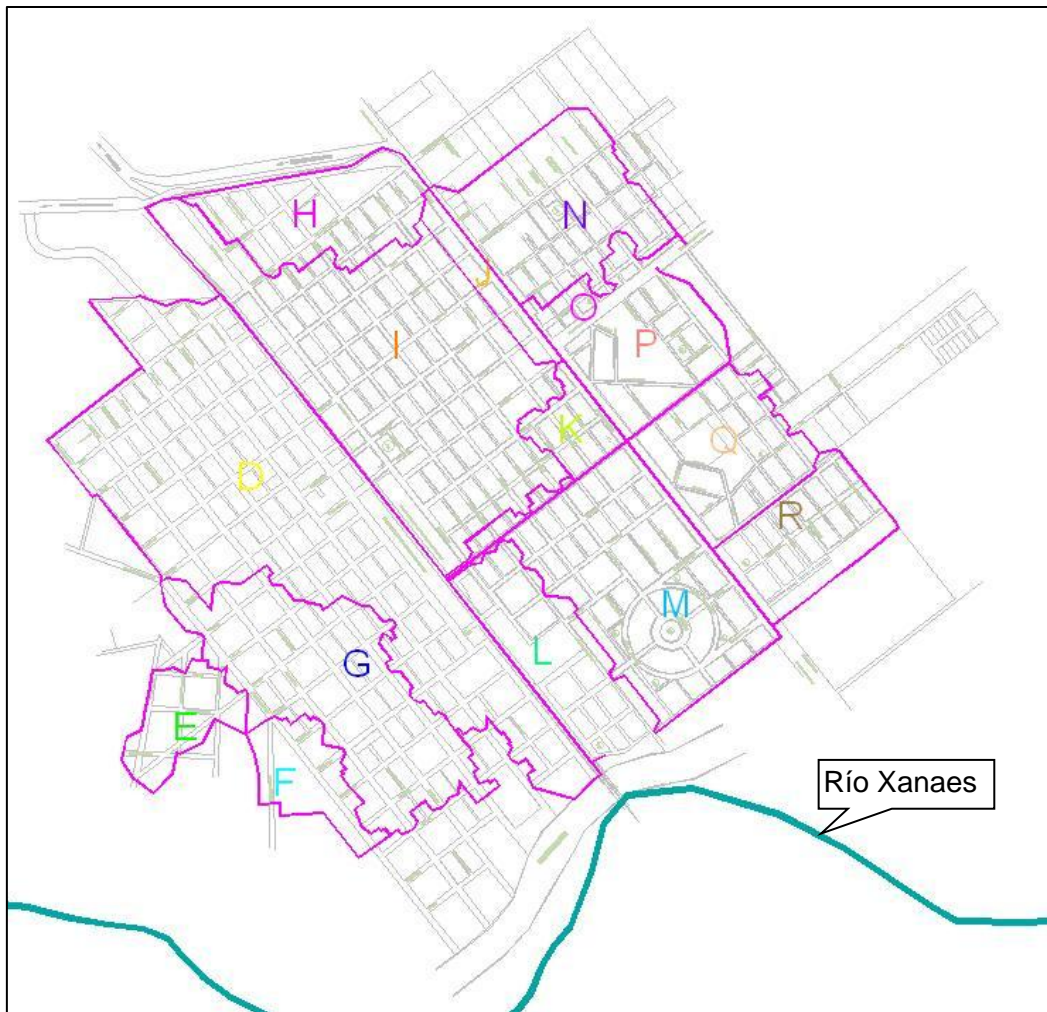


Figura 17: Delimitación de cuencas en la trama urbana

Además, para lograr una discretización acorde para el trabajo que se requiere, se delimitaron las subcuencas en cada sub – sistema bajo análisis.

Se presentan a continuación:

5.1.1.1. Sub – Sistema Julio A Roca

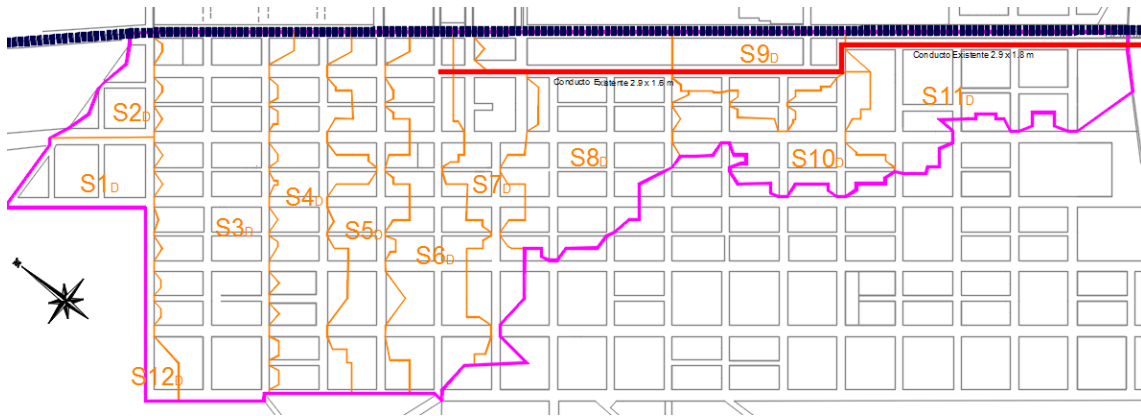


Figura 18: Subcuencas subsistema Julio A Roca

5.1.1.2. Sub – Sistema Sobremonte

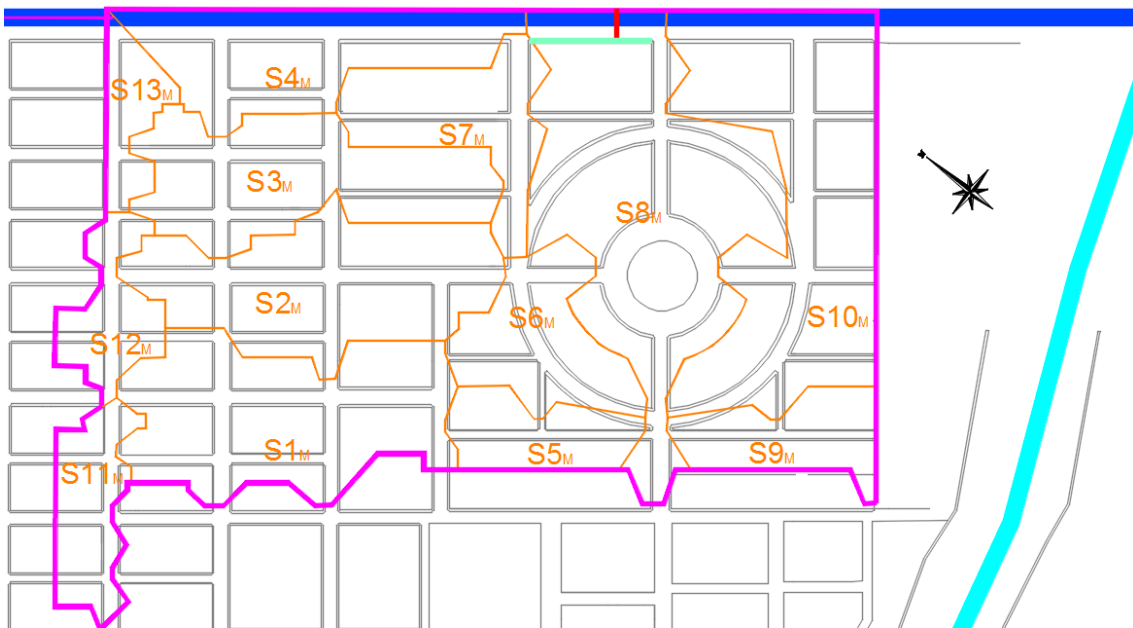


Figura 19: Subcuencas en subsistema Sobremonte

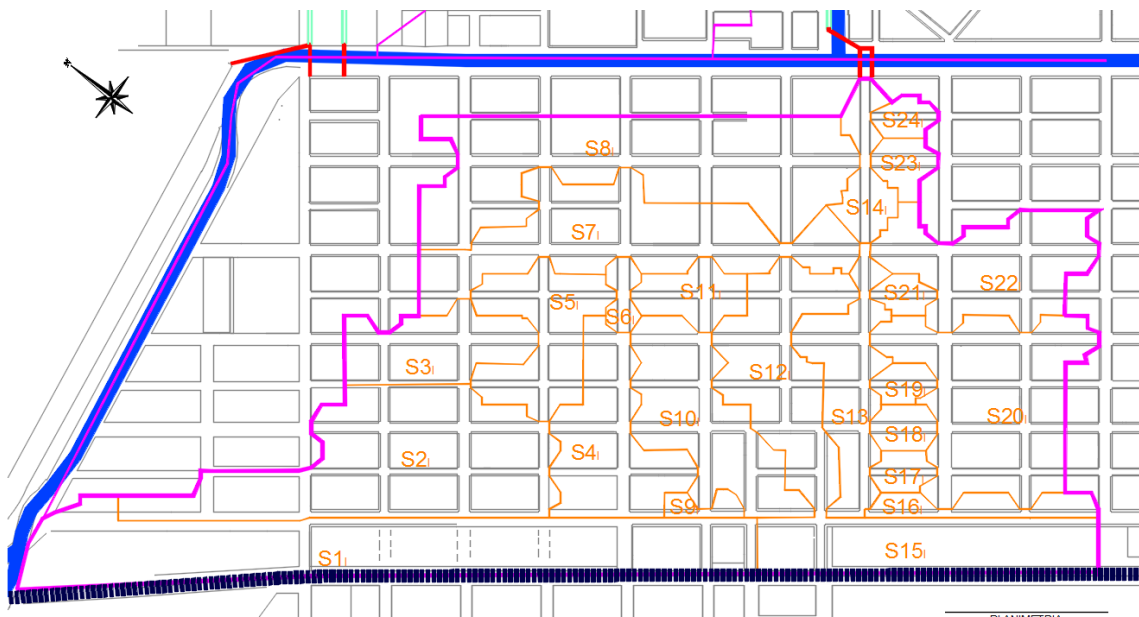
5.1.1.3. Sub – Sistema San Luis


Figura 20: Subcuencas subsistema San Luis

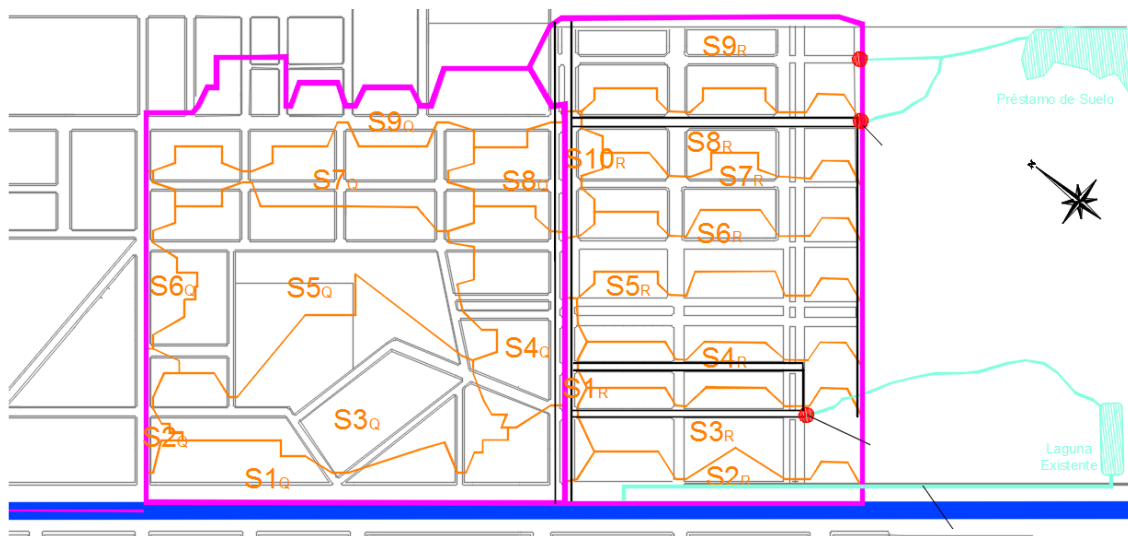
5.1.1.4. Sub – Sistema Médano Verde


Figura 21: Subcuencas subsistema Médano Verde

5.1.2. Parámetros Físicos
5.1.2.1. Uso de Suelo

Se han recopilado diversos antecedentes con respecto al uso de suelo, sin embargo, se ha hecho un análisis con imágenes satelitales actualizadas y de alta resolución

(Google Earth), de modo de tener un panorama actualizado del grado de impermeabilización en las manzanas.

La metodología empleada para el análisis ha sido la diferenciación de diferentes usos del suelo, básicamente se discriminaron en uso del suelo rural, industrial, espacios verdes y residencial, y para este último diferenciando entre intensidad y patrones de uso, los cuales se presentan en la siguiente tabla junto a los colores adoptados para la identificación de cada uno.




Uso del Suelo		Densidad Fundaría [Lote Ocupado/Lote Existente]	Color
Residencial (Tipo)	Residencial Alto	0,90/1,00	
	Residencial Medio	0,50/0,90	
	Residencial Bajo	0,20/0,50	
	Residencial Muy Bajo	0/0,20	
Industrial			
Espacio Verde			

Tabla 1: Clasificación de usos del suelo adoptado

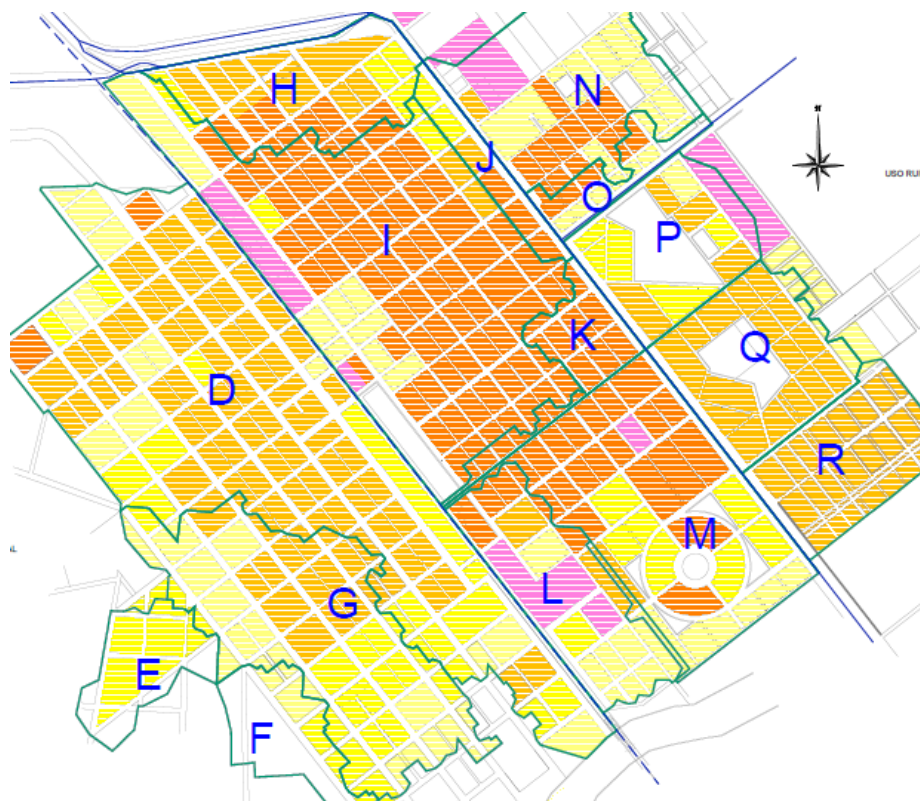


Figura 22: Uso de suelo en la localidad

Adjunto se presenta un plano con la estructura de la ciudad donde se señalan los usos del suelo asignados para cada manzana.

5.1.2.2. Calles Pavimentadas

Al analizar el micro drenaje, otro de los aspectos a considerar es el trazado de las calles y las características de las mismas, diferenciables entre pavimentadas (de hormigón, de asfalto), rípiadas o de tierra.



Figura 23: Distribución de calles según su grado de impermeabilización, pavimentadas (gris) y ripio (marrón)

Como se puede apreciar en la Figura 23 el mayor grado de pavimentación de la ciudad se encuentra en el sector centro, siendo la mayor cantidad de calles en el resto de la ciudad de ripio.

Este diferente revestimiento de las calles impacta en forma distinta en la respuesta hidrológica del sistema debido a la rugosidad de las mismas. Por ejemplo, para una misma sección de calle, la calzada pavimentada permite evacuar prácticamente el doble de caudal que una de tierra y desarrolla el doble de velocidad.

En general, las calles de la ciudad poseen poca pendiente longitudinal (1,5 al 5 ‰) debido al relieve regional y en varios sectores de la planta urbana las calles drenan hacia una misma esquina generando puntos bajos.

5.1.2.3. Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración es una característica propia de la cuenca, el cual nos permite conocer un poco más del comportamiento de la cuenca en el momento de una precipitación.

Se puede definir al tiempo de concentración como la distancia temporal que le lleva a una cuenca bajo lluvia a aportar el caudal máximo. Siendo en otras palabras el tiempo mínimo que tiene que transcurrir para que toda la cuenca este aportando escorrentía a la salida de la misma.

Se define en base a parámetros físicos como son la longitud del cauce a transitar, la diferencia de cotas entre el punto más alejado de la salida (en tiempo) y la salida por donde escurre la cuenca con lo que se puede calcular la pendiente media del cauce y el área de la cuenca.

A continuación se presentara estos parámetros físicos junto con el tiempo de concentración en tablas para cada uno de nuestros sub – sistemas analizados, discretizado las sub cuencas correspondientes para cada caso.

i. Sub – Sistema Julio A Roca:

Subcuenca D	Parámetros Físicos				TIEMPO DE CONCENTRACION (min)
	A (Ha)	L (km)	ΔH (m)	Sc (%)	
S1	4.5	0.33	1.52	0.5	16
S2	2.9	0.19	0.91	0.5	10
S3	21.5	0.65	3.37	0.5	24
S4	12.4	0.65	3.05	0.5	24
S5	10.1	0.65	2.81	0.4	25
S6	12.3	0.65	3.81	0.6	23
S7	8.4	0.66	3.36	0.5	24
S8	16.0	0.39	2.50	0.6	16
S9	6.1	0.42	2.56	0.6	17
S10	7.7	0.50	2.90	0.6	19
S11	14.1	0.25	1.06	0.4	13
S12	1.7	0.33	1.87	0.6	15

Tabla 2: Parámetros Físicos Sub – Sistema Julio A Roca

ii. Sub – Sistema Sobremonte

Subcuenca M	Parámetros Físicos				Tiempo de Concentración (min)
	A (Ha)	L (km)	ΔH (m)	Sc (%)	
S1	6.0	0.49	2.95	0.6	20
S2	5.6	0.45	4.20	0.9	17
S3	5.2	0.50	4.25	0.9	19
S4	4.4	0.47	3.23	0.7	19
S5	1.7	0.23	0.96	0.4	14
S6	2.8	0.20	1.26	0.6	11

S7	2.9	0.28	2.25	0.8	13
S8	9.4	0.62	1.54	0.3	31
S9	1.9	0.12	0.42	0.3	10
S10	8.5	0.53	0.76	0.1	33
S11	0.7	0.28	1.11	0.4	16
S12	0.8	0.14	0.22	0.2	13
S13	0.8	0.19	0.44	0.2	15

Tabla 3: Parámetros Físicos Sub – Sistema Sobremonte

 iii. Sub – Sistema San Luis

Subcuenca I	Parámetros Físicos				Tiempo de Con- centración (min)
	A (Ha)	L (km)	ΔH (m)	Sc (%)	
S1	11.8	0.54	1.42	0.3	28
S2	9.6	0.82	2.50	0.3	35
S3	3.0	0.30	1.17	0.4	17
S4	4.3	0.40	1.21	0.3	22
S5	3.4	0.25	0.70	0.3	17
S6	0.5	0.10	0.49	0.5	8
S7	7.3	0.70	1.99	0.3	33
S8	10.0	0.77	2.03	0.3	35
S9	0.4	0.12	0.14	0.1	13
S10	4.8	0.44	1.08	0.2	25
S11	1.5	0.17	0.39	0.2	14
S12	5.0	0.46	1.94	0.4	22
S13	3.3	0.41	1.74	0.4	20
S14	1.5	0.26	0.50	0.2	19
S15	5.2	0.37	1.11	0.3	21
S16	1.2	0.36	1.11	0.3	21
S17	0.6	0.10	0.65	0.6	7
S18	0.7	0.10	0.61	0.6	7
S19	0.6	0.10	0.66	0.6	7
S20	7.2	0.51	2.18	0.4	24
S21	0.5	0.10	0.70	0.7	7
S22	4.7	0.38	1.24	0.3	21
S23	0.8	0.10	1.18	1.2	6
S24	0.6	0.10	1.20	1.2	6

Tabla 4: Parámetros Físicos Sub – Sistema San Luis

 iv. Sub – Sistema Médano Verde

Subcuenca Q	Parámetros Físicos				Tiempo de Con- centración (min)
	A (Ha)	L (km)	ΔH (m)	Sc (%)	
S1	3.4	0.58	3.30	0.6	24
S3	5.3	0.42	3.94	0.9	16
S4	2.3	0.16	0.31	0.2	14
S5	5.7	0.44	2.39	0.5	20

S7	2.7	0.40	4.14	1.0	15
S8	1.7	0.16	0.27	0.2	14
S9	3.7	0.43	4.00	0.9	17
Subcuenca R	Parámetros Físicos				Tiempo de Con- centración (min)
	A (Ha)	L (km)	ΔH (m)	Sc (%)	
S1	0.47	0.17	0.18	0.1	17
S2	1.67	0.14	0.36	0.3	12
S3	1.67	0.27	0.13	0.0	29
S4	2.31	0.27	0.23	0.1	25
S5	1.54	0.24	0.21	0.1	23
S6	2.27	0.24	0.34	0.1	20
S7	2.03	0.23	0.34	0.1	19
S8	1.94	0.24	0.04	0.0	37
S9	2.60	0.25	0.10	0.0	30
S10	0.50	0.14	0.36	0.3	11

Tabla 5: Parámetros Físicos Sub – Sistema Médano Verde

5.2. 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 la Región Semiárida del Instituto Nacional de Agua (INA-CRSA). 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 CRSA, la localidad de Río Segundo queda comprendida en la Zona Centro delimitada para la estación pluviográfica base Córdoba Observatorio (Figura 24), por lo tanto serán empleados los parámetros de esta estación verificando todas las condiciones de aplicabilidad establecidas por el CRSA que se enuncian a continuación:

- a) La distancia entre la región de análisis y la estación no debe superar los 150 Km;
- b) La diferencia de lluvia media anual entre ambas zonas no supere los 100 mm;
- c) La diferencia de cota sea inferior a 200 m;
- d) Las características fisiográficas deben ser similares;
- e) En la distancia mencionada en a) no se atravesase ningún cordón montañoso.

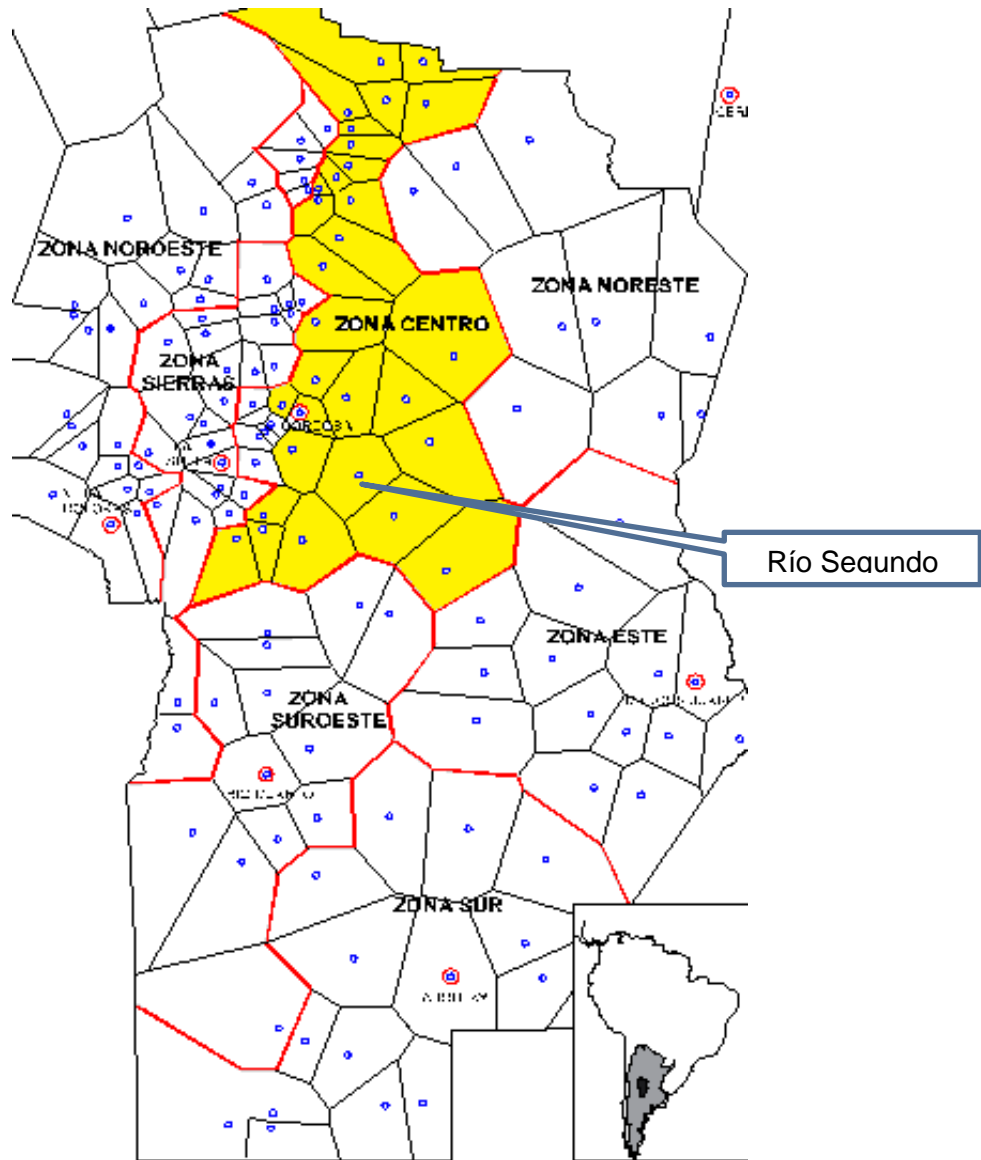


Figura 24: Regiones pluviográficas de la Provincia de Córdoba

5.2.1. Periodo de Retorno

Los sistemas hidrológicos son afectados por eventos extremos, cuya magnitud está inversamente relacionada con la frecuencia de ocurrencia. Por definición, el periodo 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, al tratarse de una obra de desagüe pluvial urbano puede asociarse a recurrencias de diseño del orden de 5 a 10 años, según el grado de riesgo aceptable, medidos en términos de frecuencia versus nivel de inundación, daños o riesgos asociados.

De acuerdo al objeto del presente fueron planteadas recurrencias de análisis de 2, 5 y 10 años para el diseño, asociados a una probabilidad de ocurrencia del 50, 20 y 10%,

respectivamente. Los caudales asociados a recurrencias mayores 25 y 100 años fueron estimados para la etapa de verificación de las obras.

5.2.2. Duración

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.

En este trabajo se evaluaron varias de dichas fórmulas empíricas basadas en las características físicas para la estimación del t_c de las subcuencas. La mayoría de dichas fórmulas son descritas en algunas de las referencias bibliográficas citadas, de las cuales se destacan algunas de las más usadas: Kirpich, Método Racional Generalizado, Pilgrim.

Por otro lado, en los estudios realizados por el CRSA (1994) se establecieron distintas características en las precipitaciones de la Zona Centro, a partir del análisis de los eventos registrados en la estación pluviográfica Córdoba observatorio. De las conclusiones de dicho estudio se desprende que las duraciones de tormentas *más frecuentes* no superan las 3 horas.

En síntesis, considerando que el principal objetivo es la estimación de caudales de diseño, para las modelaciones hidráulicas fueron adoptadas duraciones de 0,5; 1; 2 y 3 horas, para determinar en cada caso la situación más desfavorable.

5.2.3. Precipitación Neta

Para la estimación de los hidrogramas de proyecto es necesario considerar que existe una porción de la lluvia precipitada que no contribuye a la formación del escurrimiento superficial inmediato. Esta porción es definida por procesos de intercepción vegetal, almacenamiento superficial e infiltración, entre otros, y es referida como pérdidas al escurrimiento. La diferencia entre la lluvia total precipitada y las pérdidas define la lámina neta o efectiva.

Existen diversos métodos para estimar estas pérdidas a lo largo de una tormenta, en general están basados en índices simplificados (α , Φ , W), relaciones funcionales

(Método del Número de Curva – CN del SCS) y ecuaciones de infiltración (Horton, Philip, etc.). En el presente trabajo fue adoptado para la estimación de pérdidas el método del Número de Curva – CN del US Soil Conservation Service. Este método es descrito en un amplio número de bibliografías.

CN es el parámetro básico del método y se encuentra relacionado en forma empírica con el tipo de suelo, la cubierta vegetal y el estado de humedad del mismo. Dicho parámetro varía de 0 a 100 para suelos infinitamente permeables a totalmente impermeables respectivamente, proporcionando una idea de la potencialidad del suelo de generar escurrimiento superficial.

La valoración del parámetro CN para las cuencas y subcuencas analizadas fue realizada en función de los distintos tipos de suelo y su cobertura, tanto para la situación actual, como para la prevista en un futuro, entendiéndose como tal al loteo totalmente urbanizado.

5.2.4. Distribución Temporal

La distribución temporal es el fraccionamiento en el tiempo de la lámina total precipitada (P). Existen diversos métodos para estimar la distribución temporal de la tormenta de proyecto. Para el presente trabajo fue adoptado el criterio de patrones probables por periodos del mismo estudio, mencionado precedentemente.

En dicho análisis se establecen los porcentajes de lámina precipitada dividiendo la duración de la tormenta en 6 intervalos, de los cuales uno contiene el pico (de mayor intensidad) y los restantes disminuyen en forma progresiva. La frecuencia de aparición de la posición del pico disminuye a medida que el patrón de tormenta se retrasa, es decir, que el patrón de lluvia con pico ubicado en el primer intervalo posee la mayor probabilidad de ocurrencia. Esta probabilidad decrece cuando el pico se ubica hacia los últimos sextiles o intervalos.

En la estación Córdoba Observatorio, el INA-CRSA ha determinado la posición del pico en función de la duración de la tormenta, clasificándolas en tormentas cortas (duración menor o igual a 2 horas) y largas (duración mayor a 2 horas).

La mayor frecuencia relativa se presenta en tormentas con pico en el 1º sextil, con 28% de cortas y 48% de las largas, mientras que le siguen las de 2º sextil con 22% de las tormentas cortas y 19% de las largas, la Figura 25 y Figura 26 representan los distintos tipos de distribución. Para la modelación se ha adoptado patrones temporales de picos de lluvias en el primer sextil.

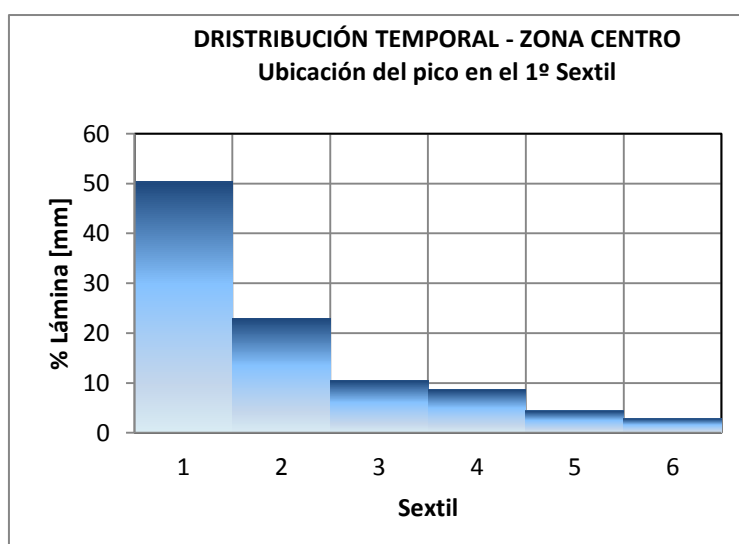


Figura 25: Distribución temporal de lluvia con ubicación del pico en el 1º sextil

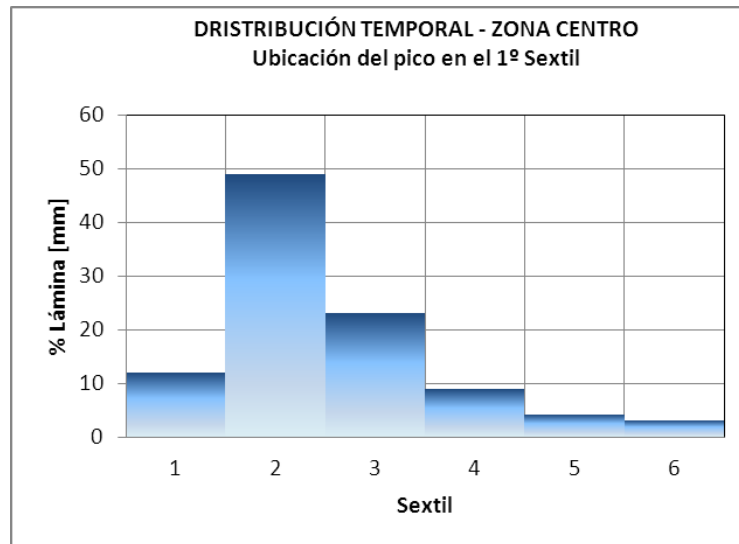


Figura 26: Distribución temporal de lluvia con ubicación en el 2º sextil

5.2.5. Distribución Espacial

Uno de los aspectos más importantes y dificultosos de contemplar cuando se estiman los caudales generados por cuencas intermedias y grandes, es su distribución espacial. A través del tratamiento de información pluviográfica es posible establecer una relación entre la Lámina Precipitada, el Área abarcada y la Duración de la Tormenta (Curvas A-A-D, Altura - Área - Duración), que permiten definir límites espaciales asociados a cada duración de tormenta.

Generalmente, son consideradas como cuencas intermedias y grandes cuando el área de la misma supera los 20 o 25 Km² (2.000 o 2.500 Ha). En estos casos es posible reducir los valores puntuales en función del área considerada. Las cuencas en estudio, se clasifican dentro de pequeñas a medianas por lo que no será necesario aplicar coeficientes de reducción areal a la lámina de diseño.

5.3. ESTIMACION DE CAUDALES E HIDROGRAMAS

A continuación se describirán los métodos empleados para la obtención de caudales y verificación de obras hidráulicas.

Para realizar la transformación lluvia caudal, primeramente se obtuvo mediante un método matemático muy sencillo y difundido como es el método racional usado solo en un carácter preliminar. Luego para una determinación más precisa se requirió de la modelación computacional.

Primero se explicara los métodos matemáticos utilizados en la verificación de obras y obtención de caudales de forma preliminar. Luego los modelos computacionales con la correspondiente descripción.

5.3.1. Métodos Simplificados

A continuación, se describen las formulaciones utilizadas para el estudio. La conversión de lluvia a caudal en una etapa preliminar se realizó con el método racional y mediante la formulación de Manning se realizó el cálculo de la hidráulica de las conducciones: calles, cunetas, canales y conductos. Además para la capacidad de los sumideros se requirió el empleo de la ecuación de vertedero de pared gruesa.

5.3.1.1. Método Racional

El método racional supone que desde el punto de vista hidrológico la cuenca es pequeña (superficie menor a 2,5 Km² o 250 Has) y la intensidad de la lluvia puede ser asumida uniforme en el tiempo y el espacio. 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,

El coeficiente C presenta las mayores dificultades para su estimación. Es la relación entre el escurrimiento directo y el total precipitado. Su valor varía entre 0 y 1 para cuencas totalmente permeables y cuencas infinitamente impermeables, respectivamente.

5.3.1.2. Formula de Manning

Para determinar la capacidad hidráulica de las conducciones: calles, cunetas, canales y conductos, se utilizó la fórmula de Manning.

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

Dónde:

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.

Esta ecuación fue desarrollada a partir de siete ecuaciones diferentes, basada en datos experimentales y además verificada mediante 170 observaciones. Debido a la simplicidad de su forma y a los resultados satisfactorios que arroja en aplicaciones prácticas, la ecuación de Manning se ha convertido en la más utilizada de todas las ecuaciones de flujo uniforme para cálculos de flujos de canales abiertos.

5.3.1.3. Ecuación de Vertedero Pared Gruesa

Para el cálculo de los sumideros se empleó la ecuación de vertedero de pared gruesa

$$Q_s = C_d b \sqrt{g} H^{3/2}$$

Dónde:

Q_s es la capacidad del sumidero (m^3/s)

C_d es un coeficiente de reducción de descarga

b es el ancho del sumidero (m)

g es la gravedad (m/s^2)

H es el tirante, la elevación de agua. (m)

5.3.2. Modelos Computacionales

Debido a que en Río Segundo se producen problemas de inundaciones derivados del macro y micro drenaje superficial, se han realizado modelaciones computacionales que contemplan estos aspectos y permiten visualizar fácilmente los factores que influyen de manera significativa en las inundaciones. En particular y para facilitar el análisis y diagnóstico, y en función del sistema de drenaje existente (canales/conductos) se han realizado las siguientes tareas:

- Modelación Hidrológica
- Modelación Hidrológica - Hidráulica
- Modelación Hidráulica

La modelación hidrológica comprende los procesos de transformación lluvia – caudal (función de producción y transferencia en cuencas) y de caudal – caudal (tránsitos en cauces/canales/conductos). Existen diversos modelos numéricos que realizan estas rutinas, pero su aplicabilidad es función del objetivo de la simulación y del tamaño y complejidad de la cuenca.

La modelación hidrológica – hidráulica comprende también los procesos de transformación lluvia–caudal pero para la propagación de caudales se pueden utilizar métodos hidrodinámicos que permiten tener en cuenta las condiciones de aguas abajo del sis-

tema de drenaje. Entre los modelos más difundidos se encuentra SWMM (Storm Water Management Model).

La modelación hidráulica comprende la determinación de las condiciones de flujo gradualmente variado en sistemas de drenaje a pelo libre, por ejemplo, en cunetas, canales, etc. Existen obras existentes o proyectadas que requieren de cierto detalle en la interpretación del funcionamiento hidráulico con situaciones de flujo rápidamente variado, alcantarillas, puentes, vertederos, etc. y las curvas de remanso producidas por estas singularidades.

En función del objetivo y del detalle necesario de cada etapa del presente estudio fueron aplicados diferentes metodologías y modelos, los cuales se describen las principales características de cada uno.

5.3.2.1. Modelo Empleado (EPA SWMM v5.0)

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 cae 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. Módulo 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.

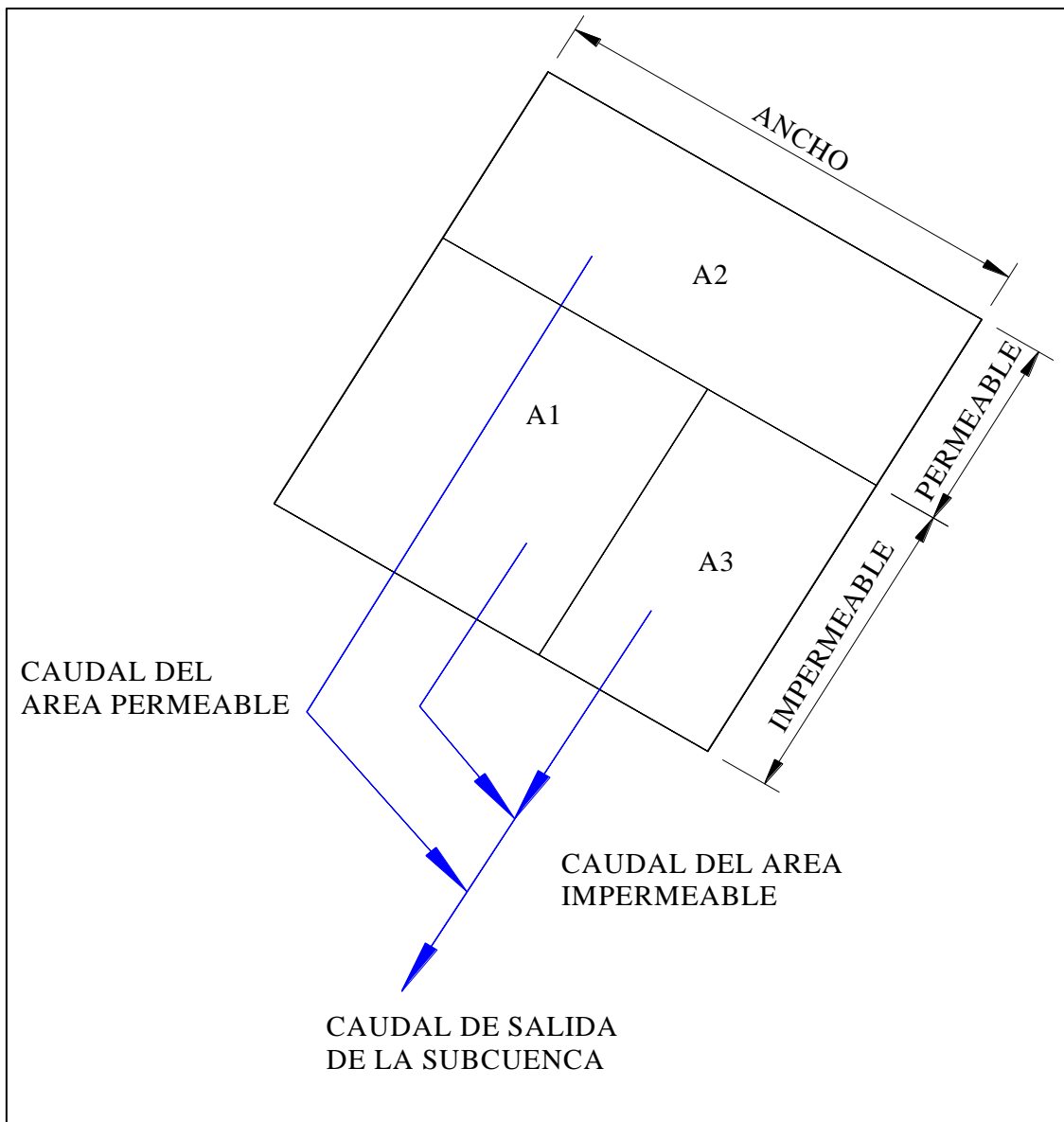


Figura 27: Esquema de modelación del módulo

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.

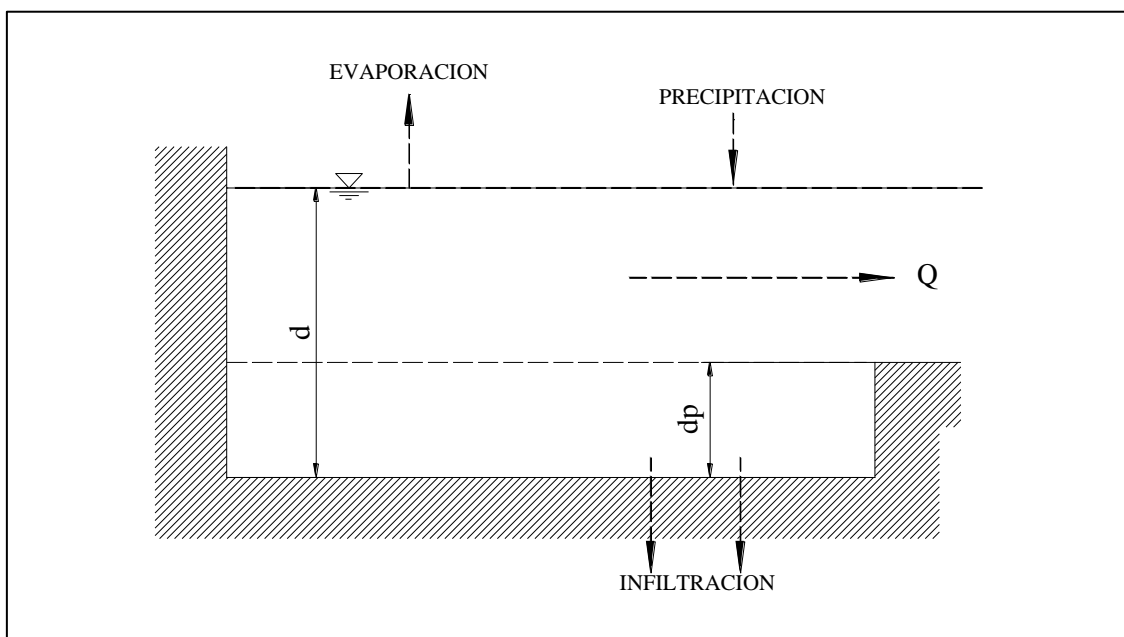


Figura 28: Esquema de reservorio No Lineal

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 dis-

tintas 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.

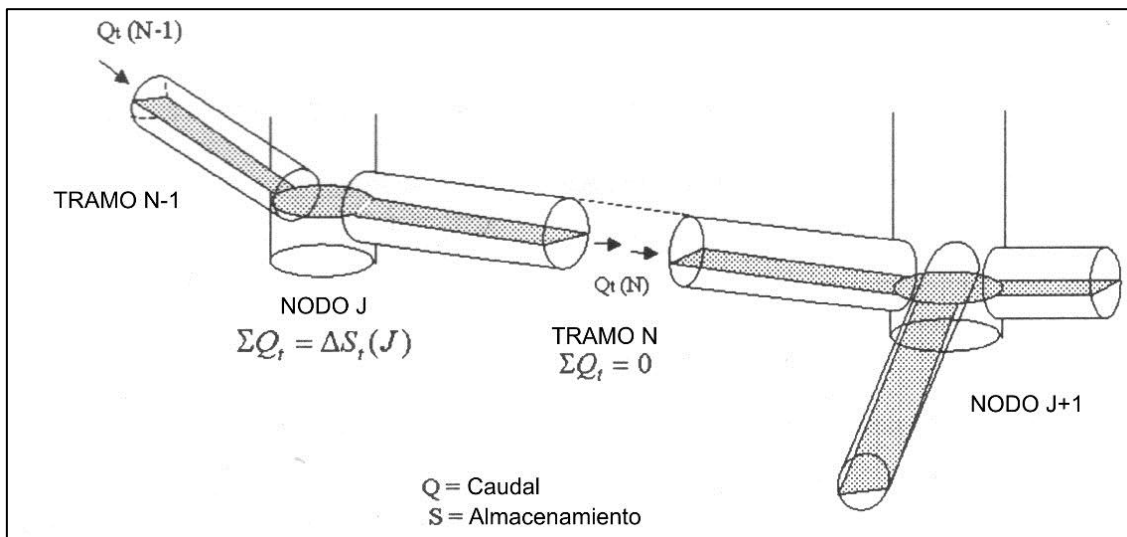


Figura 29: Representación conceptual del módulo de transporte

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 (R_h) 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).

5.3.2.2. Componentes Hidrológicos e Hidráulicos del sistema de drenaje

Debido a las prestaciones de este modelo hidrológico e hidrodinámico, la discretización de las subcuencas de aporte y del sistema de conducción fue realizado de acuerdo a las necesidades del proyecto.

De esta manera para la evaluación de los flujos erogados por una cuenca se modelaron las subcuencas o grupos de subcuencas que aportan a las calles de escurrimiento principal, se modeló dicha calle y las obras de drenaje existentes. Por ejemplo en el caso de la cuenca I, se modelaron unas cuadras de la calle Sobremonte y San Luis (principales vías de escurrimiento) y a las distintas esquinas de estas calles ingresan los caudales provenientes de las subcuencas o grupo de subcuencas componentes de la cuenca I.

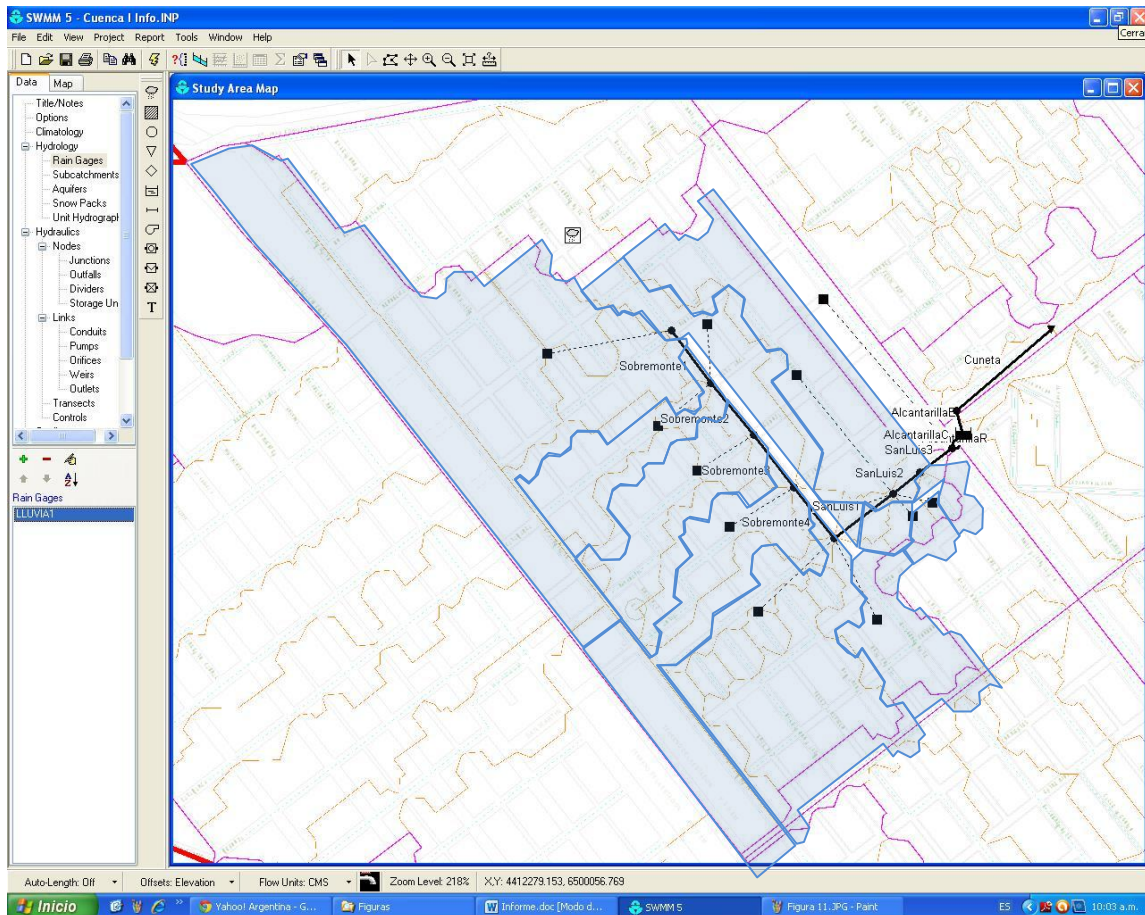


Figura 30: Esquema de modelación de grupo de subcuencas y calles

El sistema de conducción (superior por calles o inferior por alcantarillas y conductos) fueron cargados en el modelo según la necesidad de la información para el diseño o análisis del sistema. En algunos casos, los elementos hidráulicos fueron introducidos en el modelo separando el sistema superior de calles, y el sistema inferior que contempla todos los conductos y canales existentes. Tanto el sistema superior como el inferior fueron modelados con la geometría transversal y los parámetros de rugosidad correspondiente.

Para el sistema de calles, la geometría transversal y la rugosidad, fueron adoptadas de acuerdo a los planos de la Municipalidad. En los casos que las calzadas se encuentran pavimentadas, se adoptó un coeficiente de rugosidad ("n" de Manning) de 0.015. Las calles de tierra producen mayor resistencia al escurrimiento del agua, el que fue considerado en la simulación hidráulica a través del coeficiente de rugosidad "n" de Manning de 0.025.

También fue cargado el sistema completo de conductos, canales y alcantarillas existentes de cada sector analizado. Este sistema inferior fue vinculado al sistema de calles mediante conductos de acuerdo a los sumideros relevados.

5.3.3. Resultados de la Modelación

A continuación se presentan los caudales obtenidos como resultado de la modelación para los 4 sub sistemas analizados. Primero una tabla resumen que se explica más adelante y luego las tablas de caudales detalladas para cada cuenca.

Recordando que la cuenca D pertenece al sub sistema Julio A Roca, la I para el sub sistema San Luis, la M al Sobremonte y finalmente Q y R para el sub sistema Médano Verde.

Estos valores no son los totales de las cuencas sino los valores de caudales que llegan al lugar donde se presentan problemas y será necesario diseñar las obras, por ejemplo para la cuenca D los valores que figuran en la Tabla 6 son para las sub cuencas (1, 12, 2, 3, 4, 5 y 6).

Cuenca de aporte	Área (has)	Derrame Máximo (m3/seg)				
		T _R = 5	T_R = 10	T _R = 25	T _R = 50	T_R = 100
D	65.3	4.4	5.3	6.1	7.1	8.9
I	88.5	4.0	4.6	5.5	6.3	8.0
M	39.9	2.6	3.1	3.7	4.2	5.3
Q	40	3.3	3.8	4.6	5.3	6.6
R	17.1	1.3	1.5	1.7	2.0	2.5

Tabla 6: Caudales proyectados por la modelación

Y con mayor discretización en el análisis, se presenta los caudales a nivel de sub-cuencas para cada uno de los sub sistemas.

Para mayor utilidad y rápida comprensión se presentan para recurrencias de 10 y 100 años que van a ser con las que se realicen los diseños y verificaciones en las etapas siguientes.

Se debe comprender que la simple suma de los valores de los caudales de las sub cuencas no da como resultado el caudal total de la cuenca.

5.3.3.1. Sub - Sistema Julio A Roca

CUENCA - D			Tr 10 años		Tr 100 años	
SUBCUENCAS	A (Ha)	tc (min)	i (mm/h)	Q [m3/s]	i (mm/h)	Q [m3/s]
S1	4,53	15,62	116,18	0,64	182,44	1,12
S2	2,87	10,37	137,61	0,57	216,10	0,99
S3	21,45	23,69	94,12	2,66	147,80	4,61
S4	12,35	24,38	92,64	1,34	145,47	2,36
S5	10,10	24,96	91,42	1,37	143,57	2,35
S6	12,32	22,87	95,95	1,33	150,67	2,35

S7	8,39	24,29	92,82	1,16	145,77	1,98
S8	16,04	15,65	116,07	2,31	182,27	4,03
S9	6,07	16,99	111,69	0,84	175,39	1,47
S10	7,75	19,27	104,97	1,16	164,84	2,01
S11	14,06	13,28	124,80	2,36	195,98	4,09
S12	1,69	14,74	119,27	0,32	187,29	0,55

Tabla 7: Caudales obtenidos de la modelación para la cuenca D

5.3.3.2. Sub – Sistema Sobremonte

CUENCA - M			Tr 10 años		Tr 100 años	
SUBCUENCAS	A (Ha)	tc (min)	i (mm/h)	Q [m3/s]	i (mm/h)	Q [m3/s]
S1	5,99	20,46	101,78	0,79	159,84	1,38
S2	5,60	17,26	110,84	0,79	174,06	[m3/s]
S3	5,18	18,90	105,99	0,59	166,44	1,05
S4	4,39	19,31	104,86	0,66	164,67	1,13
S5	1,67	13,85	122,58	0,20	192,49	0,37
S6	2,82	11,39	132,79	0,44	208,54	0,77
S7	2,89	13,25	124,91	0,44	196,16	0,76
S8	9,37	31,11	80,37	1,09	126,20	1,88
S9	1,89	9,71	140,91	0,30	221,29	0,53
S10	8,55	33,11	77,35	0,94	121,47	1,62
S11	0,65	15,83	115,45	0,13	181,30	0,22
S12	0,85	13,38	124,39	0,15	195,34	0,26
S13	0,76	14,68	119,49	0,10	187,64	0,18

Tabla 8: Caudales obtenidos de la modelación cuenca M

5.3.3.3. Sub – Sistema San Luis

CUENCA - I			Tr 10 años		Tr 100 años	
SUBCUENCAS	A (Ha)	tc (min)	i (mm/h)	Q [m3/s]	i (mm/h)	Q [m3/s]
S1	11,83	28,20	85,22	1,51	133,83	2,59
S2	9,65	35,46	74,10	0,89	116,37	1,55
S3	3,04	16,90	111,95	0,40	175,81	0,70
S4	4,30	22,11	97,72	0,51	153,46	0,89
S5	3,44	16,64	112,80	0,41	177,13	0,73



S6	0,52	7,96	150,55	0,09	236,42	0,17
S7	7,29	32,61	78,09	0,72	122,62	1,25
S8	10,01	35,47	74,09	0,90	116,35	1,57
S9	0,42	13,43	124,20	0,06	195,04	0,11
S10	4,78	25,19	90,94	0,60	142,81	1,04
S11	1,45	13,57	123,63	0,23	194,15	0,40
S12	4,96	21,74	98,61	0,72	154,85	1,24
S13	3,32	20,08	102,80	0,45	161,43	0,78
S14	1,46	18,97	105,80	0,25	166,14	0,42
S15	5,17	21,14	100,06	0,53	157,13	0,94
S16	1,24	20,66	101,28	0,17	159,05	0,30
S17	0,58	7,09	155,88	0,09	244,79	0,17
S18	0,70	7,22	155,03	0,14	243,45	0,24
S19	0,56	7,23	154,97	0,09	243,35	0,17
S20	7,16	23,57	94,37	0,96	148,19	1,66
S21	0,52	7,09	155,82	0,12	244,70	0,20
S22	4,74	20,84	100,83	0,70	158,34	1,20
S23	0,77	5,94	163,57	0,16	256,86	0,27
S24	0,56	5,93	163,62	0,10	256,94	0,18

Tabla 9: Caudales obtenidos de la moderación cuenca I

5.3.3.4. Sub – Sistema Médano Verde

CUENCA - Q			Tr 10 años		Tr 100 años	
SUBCUENCAS	A (Ha)	tc (min)	i (mm/h)	Q [m3/s]	i (mm/h)	Q [m3/s]
S1	3,37	23,51	94,51	0,47	148,41	0,80
S3	5,30	16,38	113,64	0,88	178,46	1,52
S4	2,30	13,88	122,44	0,42	192,28	0,73
S5	5,70	19,80	103,54	0,87	162,59	1,49
S7	2,71	15,41	116,90	0,46	183,58	0,80
S8	1,70	14,29	120,89	0,33	189,84	0,56
S9	3,70	16,79	112,31	0,54	176,37	0,94

Tabla 10: Caudales obtenidos de la modelación cuenca Q

CUENCA - R			Tr 10 años		Tr 100 años	
SUBCUENCAS	A (Ha)	tc (min)	i (mm/h)	Q [m3/s]	i (mm/h)	Q [m3/s]
S1	0,47	17,49	110,14	0,09	172,97	0,16
S2	1,67	11,55	132,07	0,38	207,39	0,64
S3	1,67	29,39	83,16	0,16	130,59	0,29
S4	2,31	24,75	91,85	0,32	144,24	0,55
S5	1,54	22,72	96,30	0,18	151,22	0,31
S6	2,27	19,67	103,89	0,30	163,15	0,53
S7	2,03	18,88	106,06	0,30	166,55	0,52
S8	1,94	36,82	72,35	0,20	113,61	0,34
S9	2,60	29,55	82,89	0,31	130,16	0,54
S10	0,50	0,00	220,80	0,17	346,74	0,29

Tabla 11: Caudales obtenidos de la modelación cuenca R

CAPITULO 6: DIAGNOSTICO SITUACION ACTUAL

En este apartado se ha elaborado un diagnóstico de la situación actual basado en las características del sistema micro y macro drenaje y en los resultados de la simulación hidrológica e hidráulica enunciados anteriormente.

Se realizará un diagnóstico completo con modelación de la situación actual, con hidrogramas, perfiles hidráulicos y niveles de esquila vs tiempo, solamente para los sub sistemas Julio A Roca y San Luis por ser estos los de situación más crítica por su importancia relativa en cuanto a daños y población afectada y donde se presentan las obras de drenaje de mayor complejidad considerando que para los restantes sistemas un análisis menor es suficiente para comprender y diagnosticar la situación.

6.1. GENERALIDADES

En una primera instancia, de la evaluación general de la ciudad a partir del estudio de las cuencas, se puede concluir que la localidad de Río Segundo carece de un adecuado sistema de desagües pluviales que satisfaga las necesidades planteadas por una ciudad de esta envergadura.

Uno de los factores preocupantes de la problemática en la localidad es la tendencia en aumento de la impermeabilización. Ante esta situación, además de efectuar medidas estructurales para mitigar la problemática, se requiere de manera urgente un control de caudales en la fuente (la impermeabilización que realiza el privado). Esto es de fundamental importancia porque reduce notablemente los costos de inversión en la infraestructura asociada al drenaje, y mantiene los excedentes en valores admisibles con los sistemas de desagüe existentes y proyectados, y también compatibles con la capacidad de los emisarios finales.

De acuerdo a ello, el presente trabajo además de brindar una guía para la planificación de los desagües contribuirá a la orientación para el diseño y cálculo de las obras de drenaje que se deban ejecutar en la ciudad.

6.2. SUB – SISTEMA JULIO A ROCA

La cuenca D posee como obra de desagüe principal el conducto paralelo a la Av. J. A. Roca, el mismo resulta suficiente para evacuar los excesos de toda esta cuenca más los provenientes de la cuenca rural A, generados para tormentas de diseño de hasta TR 100 años. Sin embargo, el mismo inicia en la intersección de las calles Roca y Mendoza por lo que hacia aguas arriba los caudales se manejan de forma superficial por calle.

Es desde allí hacia aguas arriba por calle Roca hasta República de Siria donde se evidencian inconvenientes, debido a los aportes de las subcuencas S1_D, S2_D, S3_D, S4_D, S5_D, S6_D, S12_D y la cuenca rural A. Estos caudales producen niveles importantes sobre calzada que pueden alterar el normal funcionamiento de las mismas e incluso causar inconvenientes en las viviendas.

De acuerdo con estos resultados, se concluye que en los tramos de calle Julio A Roca aguas arriba del inicio del conducto, desde la Calle Mendoza, hasta la calle República de Siria, pueden verse superadas en cuanto a capacidad, no cumpliendo con los criterios de drenaje.

6.2.1. Área de Inundación

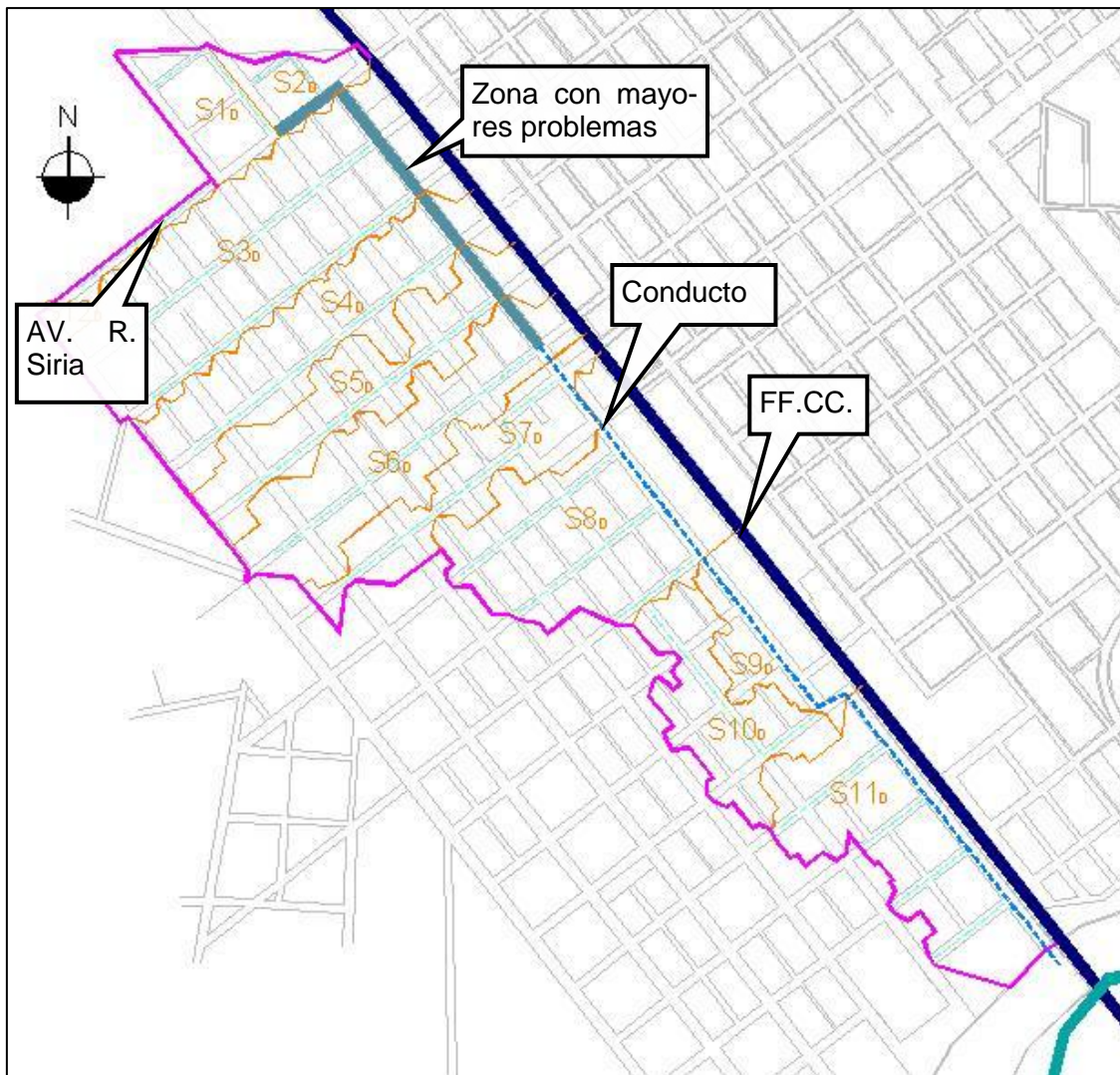


Figura 31: Problemas existentes subsistema Julio A Roca

6.2.2. Niveles en Esquina

Los niveles más altos en las esquinas que arrojó el modelo se registraron en la Av. Julio A Roca entre las calles Mendoza hasta Republica de Siria, siendo este un resultado lógico por la realidad de la localidad que al perfilar las calles para conducir los escurrimientos al ingreso del conducto en la intersección con la calle Mendoza dejó una zona baja topográfica donde se acumulan los excedentes, y al no contar a esa altura con las captaciones y conducción, estas áreas quedan anegadas. Llegando a tener tirantes cercanos de 50 cm para periodos de retorno de 100 años, un valor inadmisibles aun si no llegara al umbral de las viviendas.

A continuación se presentan un gráfico que representa la variación del tirante de agua en dos esquinas más comprometidas, la esquina de Catamarca y La Rioja (Figura 32 y Figura 33)

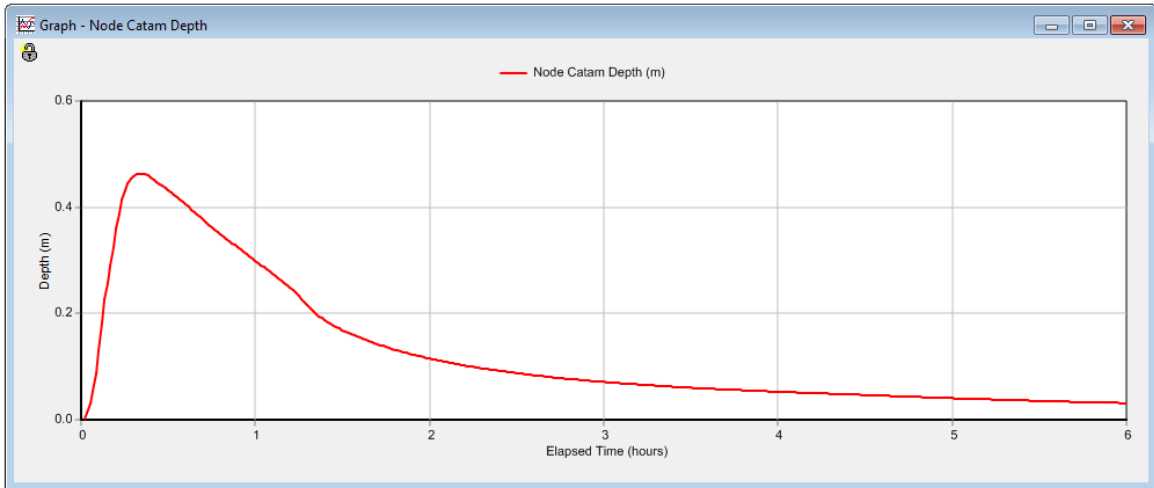


Figura 32: Nivel de agua esquina Catamarca y Julio Roca para una recurrencia de 100 años

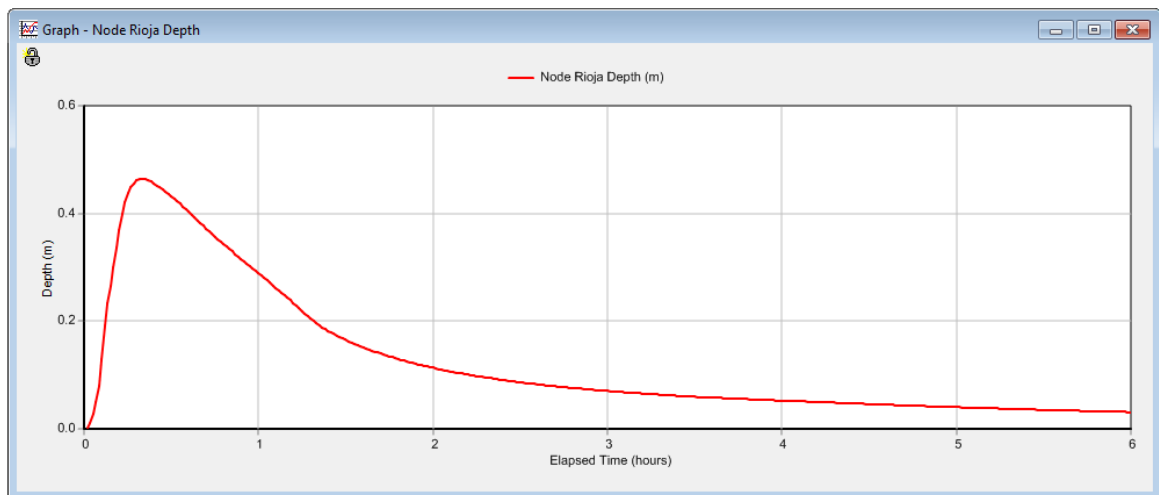


Figura 33: Tirante esquina La Rioja y Julio A Roca

6.2.3. Hidrogramas

Se presenta a continuación el hidrograma de los caudales transportados por la Av. Julio A Roca hasta la calle Catamarca.

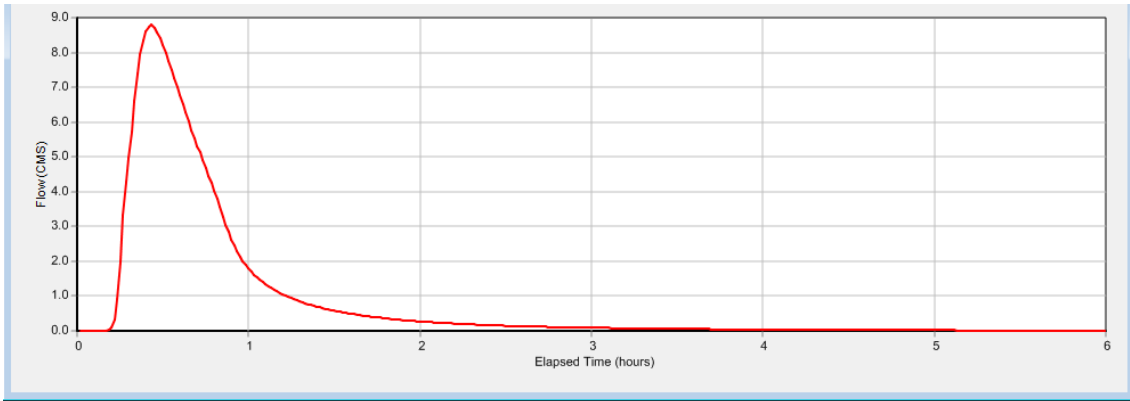


Figura 34: Hidrograma en esquina calle Catamarca y Av Julio Roca

Se puede apreciar un pico antes de los 30' del inicio de la lluvia, registrando el caudal máximo anteriormente calculado. Seguidamente en los 40' inicia el declive de los caudales exponencialmente que ya para la hora luego de inicio de la lluvia eroga 3 metros cúbicos por segundo la calle.

6.2.4. Perfiles Hidráulicos

A continuación se presenta el perfil hidráulico de la Avenida en el tramo más problemático anteriormente descrito.

En la Figura 35 se representa el tirante de la calle Julio A Roca, en color celeste, la línea paralela inmediatamente por encima representa una referencia de 50 cm de tirante de agua, donde se considera inaceptable aun si no llegara al umbral de las viviendas adyacentes.

Los nodos de izquierda a derecha representan las intersecciones con las calles Rep. De Siria, Salta, La Rioja, Catamarca y por ultimo Mendoza, en ese orden.

Esto nos permite visualizar de una manera más amena el problema en esta zona de la localidad, viendo fácilmente los grandes tirantes de agua que produce una lluvia de estas características.

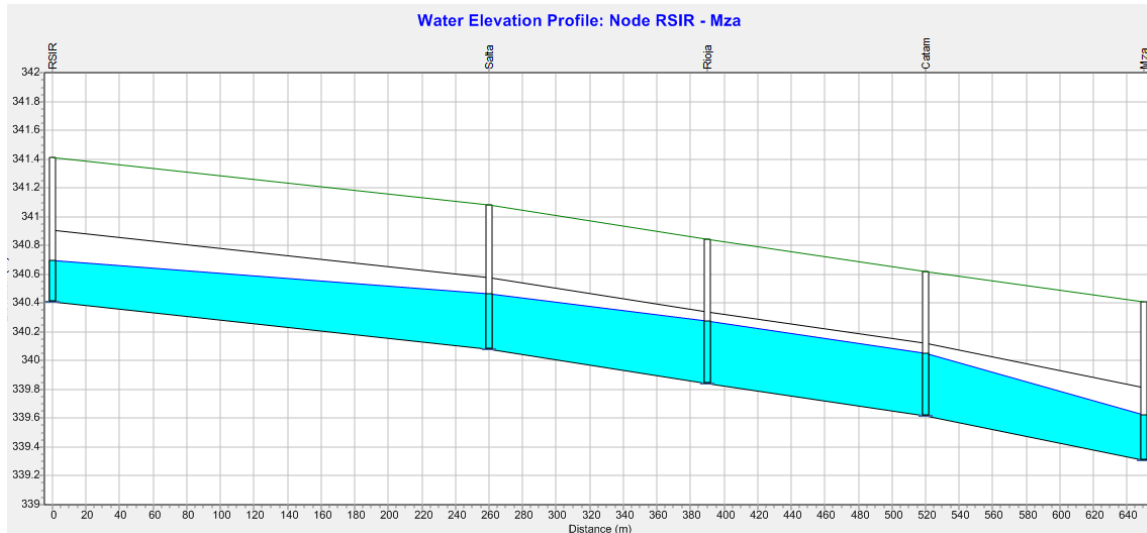


Figura 35: Tirante aguas arriba del conducto existente, de Catamarca hasta Republica de Siria

6.3. SUB – SISTEMA SOBREMONTA

Si bien las alcantarillas poseen una capacidad adecuada para periodos de recurrencia de 10 años el inconveniente que surge aquí es la anulación de la laguna donde funciona de emisario final de este sistema por lo que se necesita una readecuación del sistema para poder evacuar estos excesos hídricos.

Se planteara en los apartados siguientes una salida de estos excedentes directamente hacia el Río Segundo, con sus correspondientes diseños y verificaciones.

Sin embargo de manera complementaria a este planteo se analizaron las calles que acumulan los mayores caudales de la cuenca ya que por esos puntos serán necesarias las nuevas obras.

6.3.1. Área de Inundación

Para este sistema no se registra grandes problemas de inundación, el sector más comprometido está comprendido en la Av. Belgrano desde Sobremonte hasta la Ruta 9, un resultado lógico siendo precisamente esta calle la encargada de evacuar los mayores excedentes de la cuenca (SC1, SC2, SC3, SC4, SC6, y SC7) hacia el canal para luego cruzar la alcantarilla.

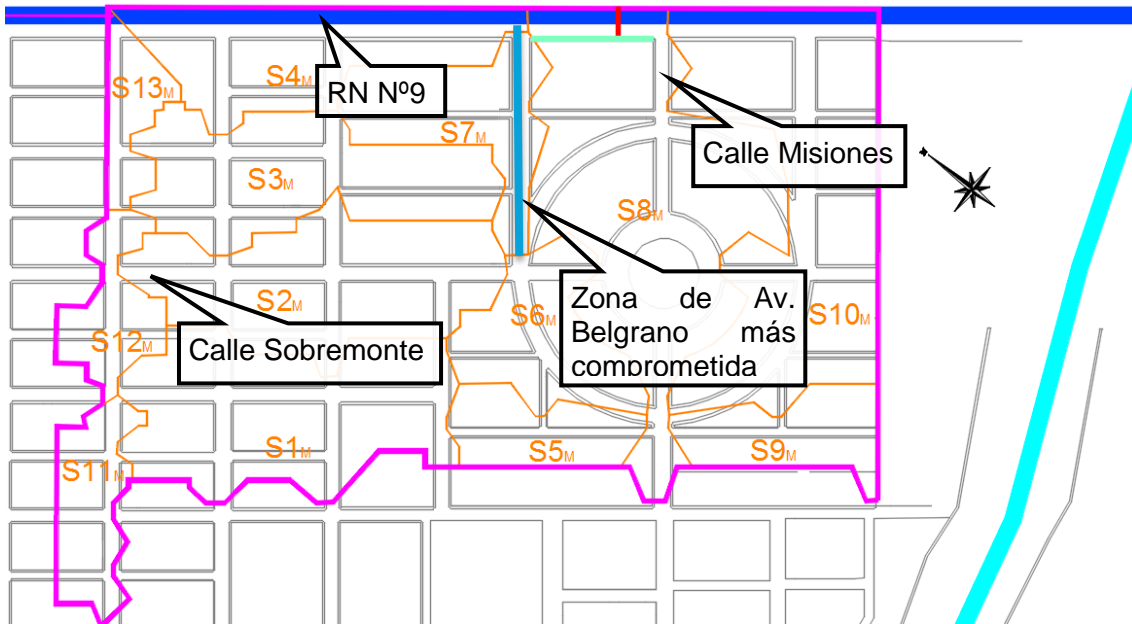


Figura 36: Zonas de conflictos y calles principales cuenca M

6.3.2. Niveles en Esquina

Las calles principales de desagüe, la Av. Belgrano y la calle Misiones, que terminan por conducir los escurrimientos hasta el canal actualmente se ven condicionadas en su capacidad.

Para periodos de retorno de 5 años, en la Av. Belgrano, los flujos son de $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ y los niveles en calle alcanzan los 0.20 m , de la misma forma para TR 100 años se tienen caudales de aproximadamente $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ con niveles de casi 0.40 m .

Si bien las calles principales de desagüe de la cuenca son la Av. Belgrano y la calle Misiones, esta última no presenta inconvenientes considerables.

6.4. SUB – SISTEMA SAN LUIS

Este es el sector más comprometido de los tres no solo por los inconvenientes que se presentan en las cuencas que lo integran, sino por su importancia y las dificultades que presenta al momento de proyectar obras de desagüe.

La cuenca I, es la más grande del sector y con mayor impermeabilización de su superficie. La modelación de la cuenca y su sistema de desagüe pone a la vista los inconvenientes que presenta.

Los escurrimientos generados por la cuenca ponen en capacidad a las alcantarillas de cruce de la RN N°9, las mismas no alcanzan a desaguar los flujos de la cuenca generando el enlagueamiento aguas arriba que alcanza a varias calles, esto es la calle San Luis desde la ruta hacia aguas arriba hasta la calle Sobremonte y luego gran parte de ésta tanto al Sureste como Noroeste de la calle San Luis y aledañas.

6.4.1. Área de Inundación

Se presenta una vista en planta del subsistema San Luis con las áreas que presentan problemas de anegamiento urbano en azul. Esta zona comprende la calle San Luis desde Ruta 9 hasta la calle Sobremonte, la calle Sobremonte misma desde Catamarca hasta Córdoba y la calle Las Heras desde Catamarca hasta Tucumán.

Un resultado coherente con la descripción del comportamiento actual de la cuenca, la que concentra todos los caudales para ser evacuados por la calle Sobremonte y por la San Luis siendo esta ultima la que termina en la Ruta 9 donde se localizan las alcantarillas de cruce. Por lo que los mayores niveles en la esquina registrados son desde San Luis y Sobremonte aguas abajo.

Todas estas calles son de ripio como consecuencia de la necesidad de profundizar las calles para llevar mayor caudal y salvar los umbrales de las viviendas colindantes.

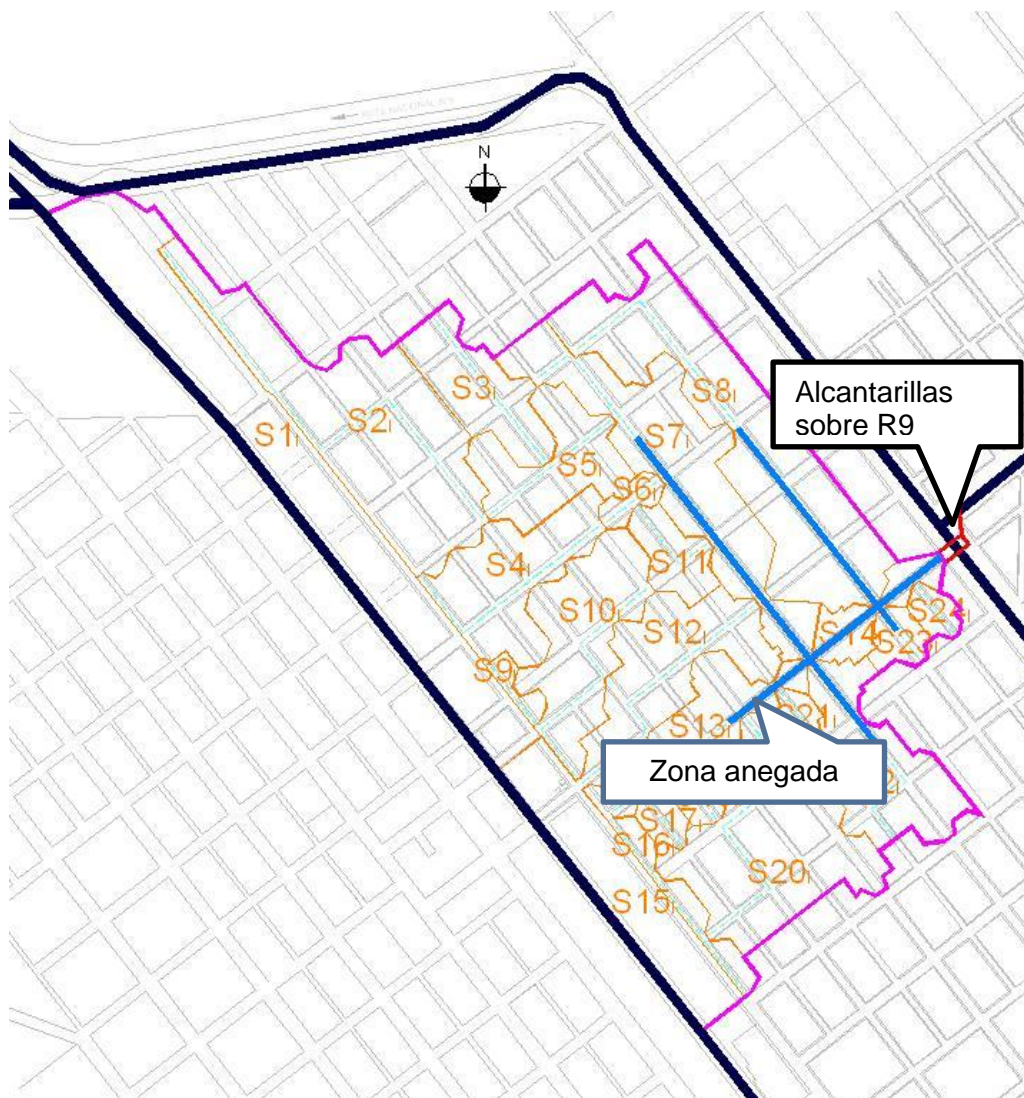


Figura 37: Zonas sufren anegamientos (azul) en cuenca I

6.4.2. Niveles en Esquina

A continuación se presentan los resultados de la modelación que arrojaron los niveles en las esquinas más críticas, empezado por la intersección Sobremonte y San Luis que como se explicó anteriormente, aquí se dan una gran concentración de caudales.

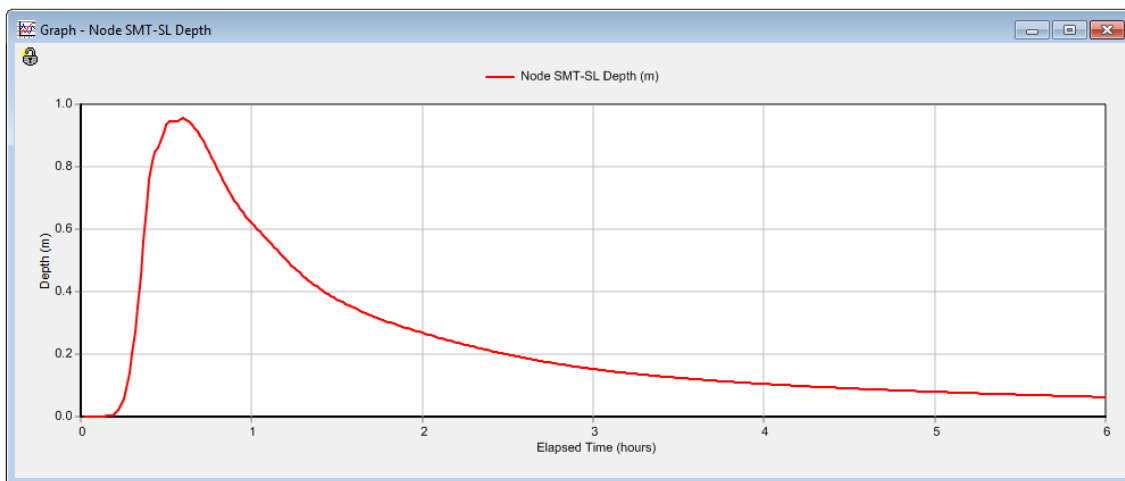


Figura 38: Nivel tirante en esquina San Luis y Sobremonte TR 100 años

Como se ilustra apenas pasada la media hora desde el comienzo de la lluvia ya se obtiene el pico de tirante en esta esquina superior a los 0.90 m, un valor totalmente inaceptable. Y recién a las dos horas llega a tener un valor de 25 cm que permite el normal desarrollo de las actividades.

Otra esquina que presenta serios problemas es en la intersección con la calle Las Heras siendo esta última que aporta caudal hacia la calle San Luis.

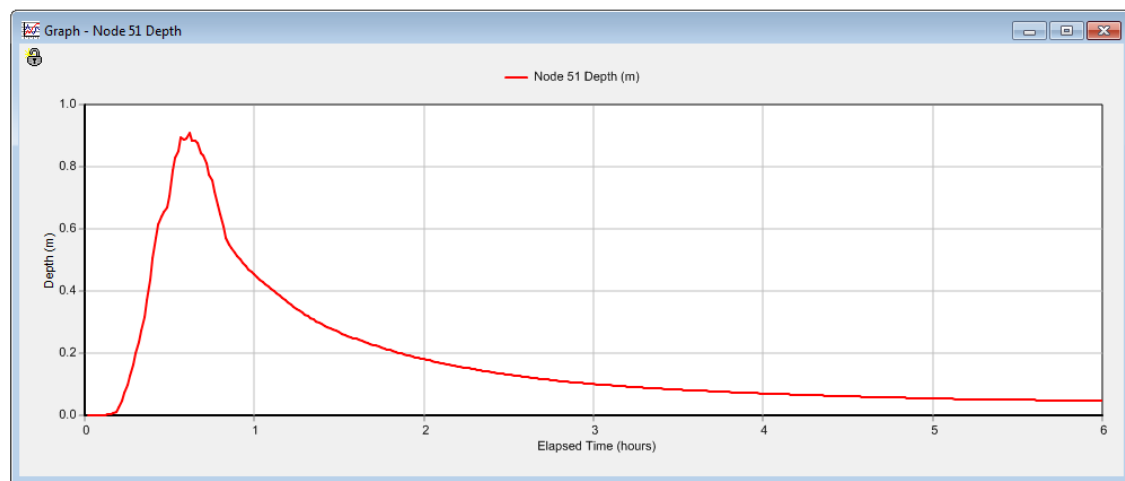


Figura 39: Tirante en esquina Las Heras y San Luis TR 100 años

Al frente de las alcantarilla alcanza el mayor tirante teniendo valores superiores del 1.00 m. Producto que la única manera que saquen mayor caudal las alcantarillas existentes es teniendo un mayor tirante aguas arriba.

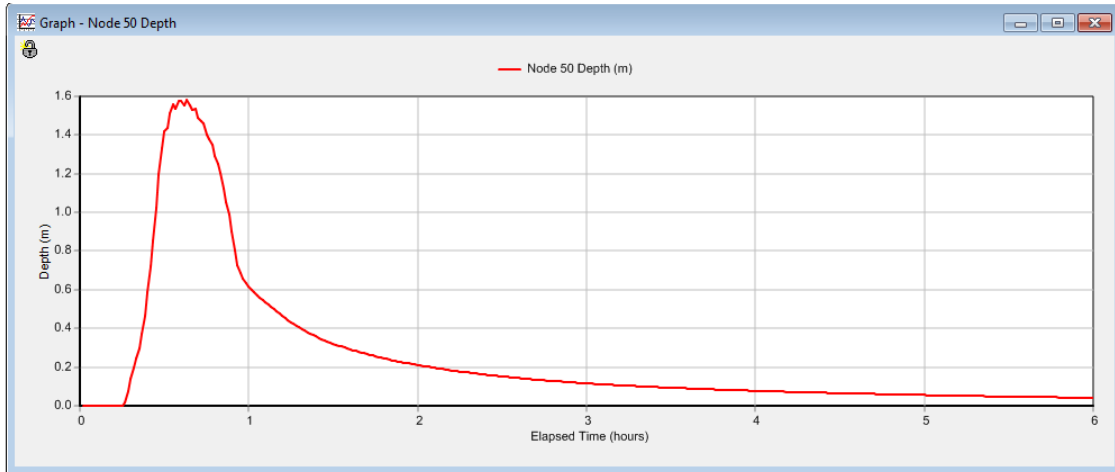


Figura 40: Tirante en intersección calle San Luis con Ruta 9 TR 100 años

Yendo en dirección Norte por la calle Sobremonte hasta donde inicia la pavimentación de la misma en la intersección con la calle Catamarca se obtuvieron tirantes superiores a los 50 cm. Por lo que sería conveniente extender las obras hasta esta esquina por contar con estos tirantes y no estar aún pavimentada los que abarata costos de construcción de conductos enterrados.

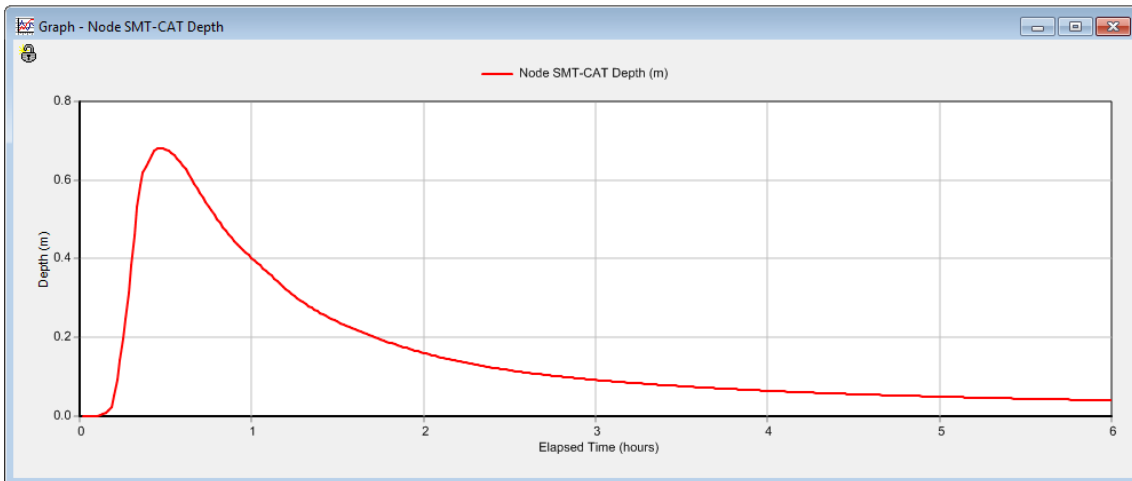


Figura 41: Tirante intersección calle Catamarca y Sobremonte TR 100 años

Aunque no llegara estos tirantes al umbral de las viviendas claramente estos resultados no cumplen con la función complementaria, están entorpeciendo el normal funcionamiento de la calle e incluso no permiten salir de sus casas a los habitantes de las parcelas frentistas a esta calle los días de lluvia.

En cuanto a la función básica, si bien no se produce la inundación de las propiedades con lo que se verificaría tal condición, dichos niveles son inadmisibles.

6.4.3. Hidrogramas

Los hidrogramas de salida de esta cuenca se presentan a continuación.

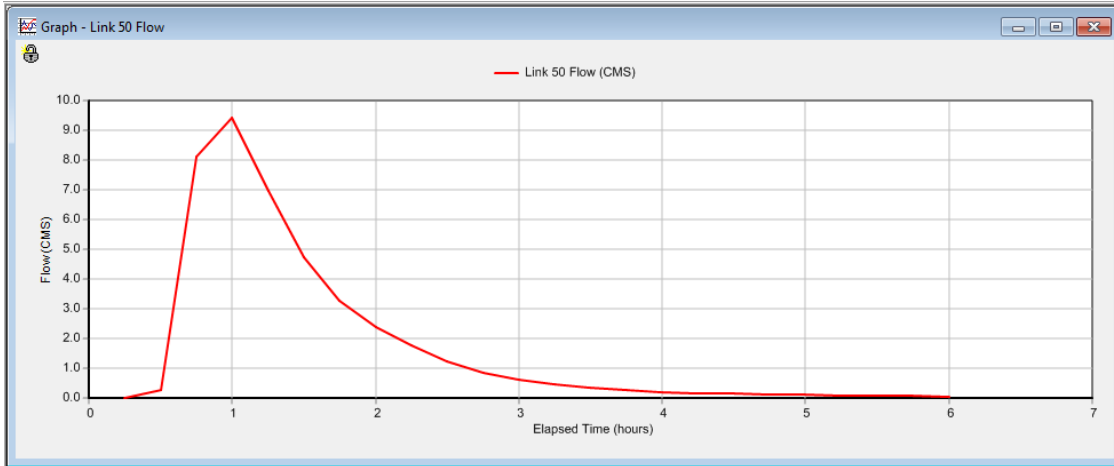


Figura 42: Hidrograma de salida de la cuenca I

6.4.4. Perfiles Hidráulicos

Si realizamos un perfil hidráulico para visualizar mejor lo explicado anteriormente obtenemos para el tramo entre la Ruta 9 y la calle Sobremonte el siguiente perfil.

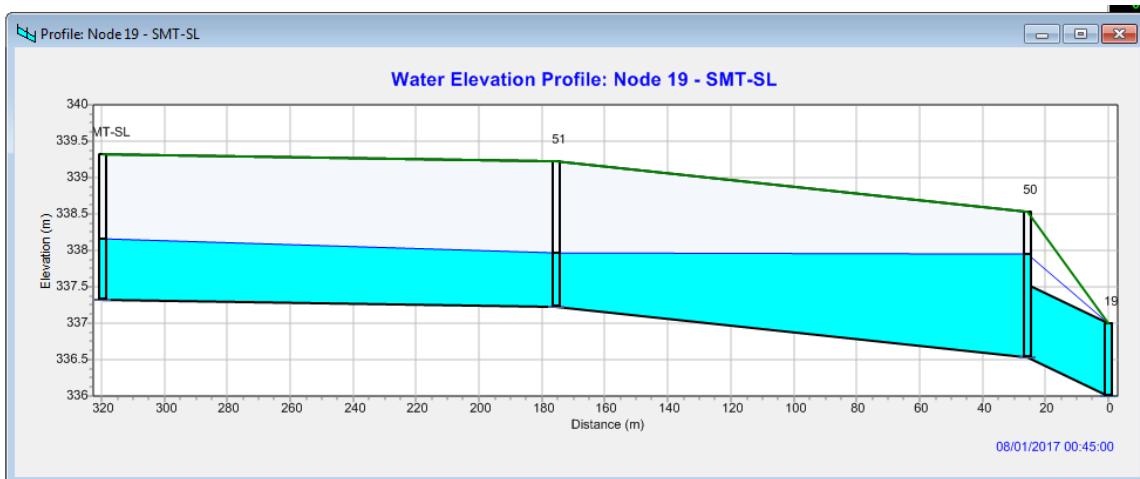


Figura 43: Perfil hidráulico entre calle Sobremonte y Ruta 9 a los 45' de empezada la lluvia.

Se presenta de izquierda a derecha los siguientes nodos, esquina calle Sobremonte, esquina calle Las Heras y intersección con Ruta 9. Este es el perfil hidráulico a los 45 minutos desde que inicio la lluvia, el cual el tirante de agua se representa en color azul claro.

Se aprecia tirantes de agua superiores al metro antes de ingresar a las alcantarillas de cruce. Seran necesarias dos horas desde que inicio la lluvia para volver a tener niveles aceptables de tirante de agua.

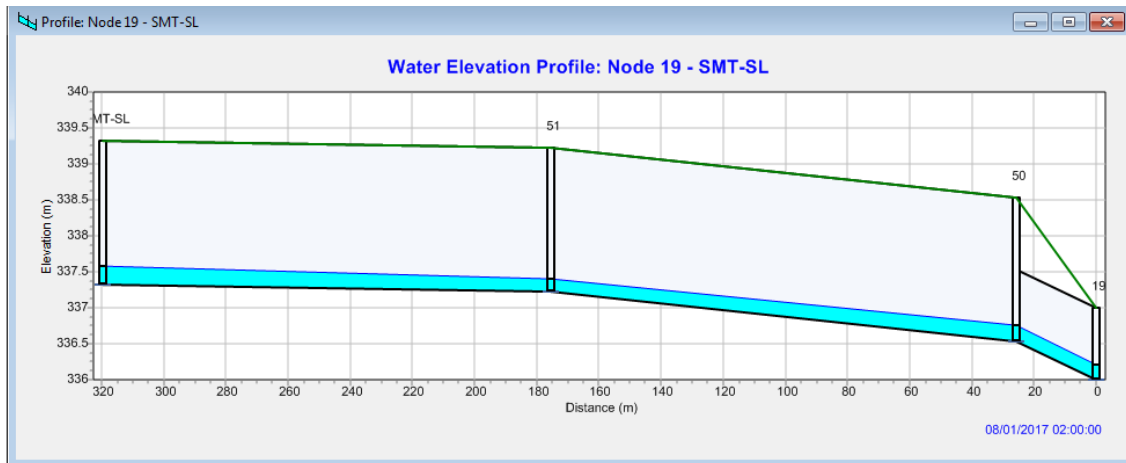


Figura 44: Perfil hidráulico entre calle Sobremonte y Ruta 9 pasadas las 2 horas de lluvia.

Por último, el tramo entre la San Luis y la Catamarca en la calle Sobremonte.

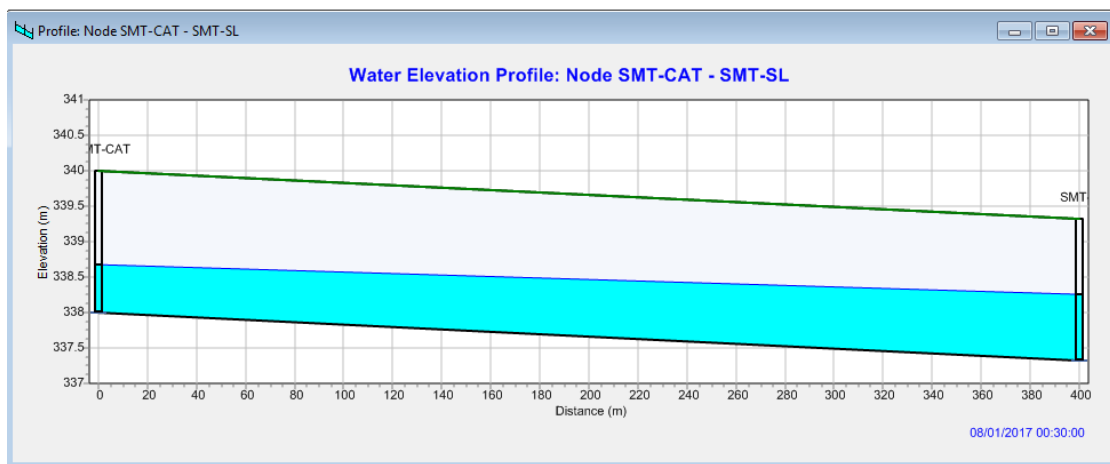


Figura 45: Perfil hidráulico entre San Luis y Catamarca a los 30' comenzada la lluvia

Recién a la hora y media recupera valores admisibles de 20 cm de tirante. Un tiempo de recuperación levemente mejor que el tramo anterior.

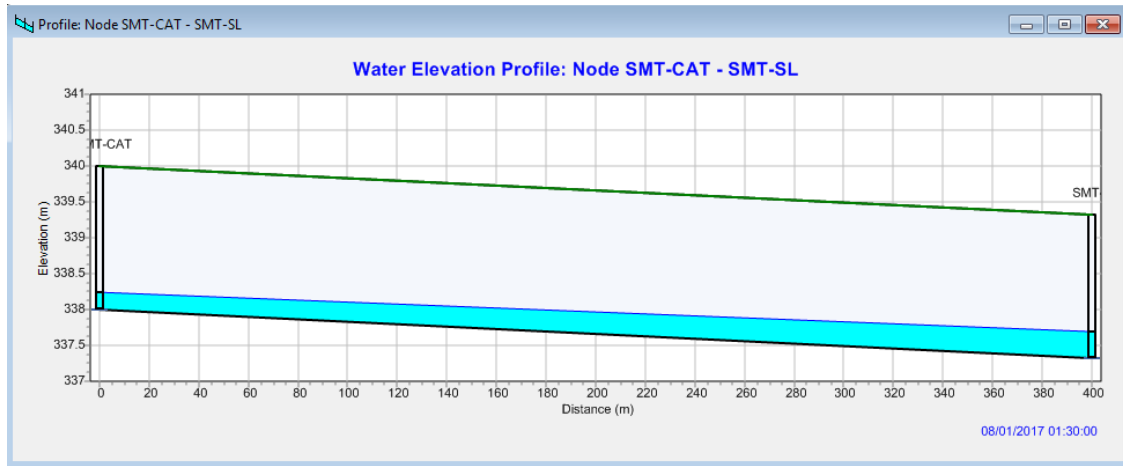


Figura 46: Perfil hidráulico entre San Luis y Catamarca a los 90 minutos iniciada la lluvia

6.5. SUB – SISTEMA MEDANO VERDE

Los inconvenientes más importantes en esta cuenca, se registran entre las calles Belice y Av. Argentina sobre la Av. Intendente Granja en las inmediaciones de los canales, siendo aquí producto de la topografía de la cuenca de este sistema donde se acumulan los excedentes pluviales con rumbo hacia el canal ubicado en la calle Av. Argentina para este terminar en las lagunas ubicadas pasando un bosque de eucaliptus antiguos.

Los escurrimientos son importantes, no solo por los generados en la propia superficie de la cuenca sino porque además llegan a esta los provenientes de la cuenca Q.

Se requiere una solución en este tramo de la Av. Granja no porque sea una zona crítica para la localidad, ya que es la reciente construcción y está en vías de consolidación, sino que se pretende por parte de la Municipalidad dar solución rápida por proyectos futuros en esta área, y mejorar la calidad de las personas que se encuentran actualmente aledañas a este tramo.

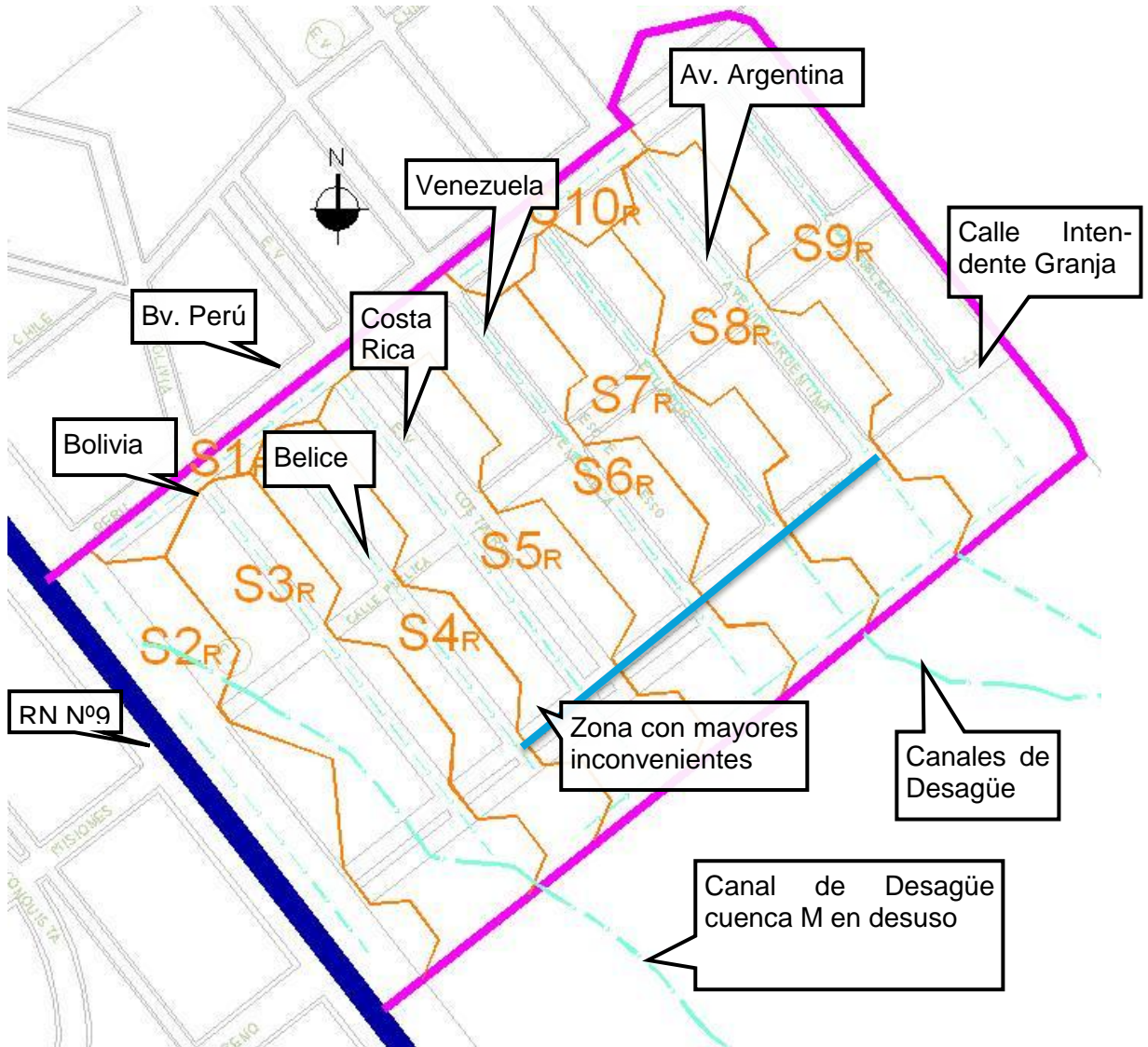


Figura 47: Zonas de anegamientos (azul) y calles cuenca R

CAPITULO 7: PLANTEO Y DISEÑO DE SOLUCIONES

7.1. TIPO DE SOLUCIONES

7.1.1. Medidas Estructurales

Es importante destacar que los desagües pluviales requieren espacio, dado que una vez que la precipitación ha alcanzado el suelo la misma escurrirá o se almacenará, exista o no un sistema de drenaje adecuado. La eliminación del almacenamiento natural sin que se adopten las medidas compensatorias generará que el volumen eliminado sea ocupado en otro lugar (calles).

En resumen el drenaje urbano es básicamente un problema de asignación de espacios, por lo que es indispensable preservar áreas o sectores para la conducción, pero principalmente para el almacenamiento de las aguas.

Las medidas estructurales están relacionadas con la definición de un espacio para las aguas de lluvias, y en general, se traducen en la ejecución de obras de almacenamiento (para regular los caudales) y conducción (para alejar las aguas).

Una alternativa puede ser almacenar cerca de los sectores inundados, y posteriormente conducir los excedentes ya regulados hacia la periferia o puntos de evacuación (emisario final). Esta opción tiene la ventaja que puede permitir el uso de conductos existentes; pero tiene el inconveniente que se debe disponer de lugares para el almacenamiento de las aguas.

La segunda alternativa consiste en alejar las aguas rápidamente y después regular. Esta combinación de almacenamiento y conducción propone la construcción de nuevos conductos, ya que los existentes son insuficientes, y la ejecución de micro embalses en la periferia de la ciudad, de manera que no se trasladen los problemas de inundación hacia aguas abajo.

7.1.2. Medidas No Estructurales

Generalmente las medidas estructurales no son proyectadas para dar una protección completa contra las inundaciones, ya que esta protección es físicamente y económicamente inviable en la mayoría de las situaciones. Las medidas no estructurales, en conjunto con las anteriores o sin éstas, pueden minimizar significativamente los perjuicios derivados de las inundaciones con un costo menor y apuntan a una convivencia razonable con el problema.

Las principales medidas no estructurales son del tipo preventivo como la zonificación de las áreas de riesgo de inundación, la provisión de seguros contra inundaciones y la reglamentación en el uso del suelo.

La zonificación de las áreas de inundación engloba las siguientes etapas: a) determinación del riesgo; b) mapa de áreas de inundación; c) zonificación. La zonificación propiamente dicha es la definición de un conjunto de reglas para la ocupación de las áreas de mayor riesgo de inundación, previendo la minimización futura de las pérdidas materiales.

Para que la reglamentación sea utilizada debe ser integrada a la legislación municipal sobre nuevos loteos y construcciones. Esto quiere decir que será función del municipio

proceder a la zonificación de las áreas sujetas a riesgos de inundaciones y establecer restricciones y prohibiciones al uso, parcelamiento y la edificación, en las áreas impropias o críticas de manera de preservar la seguridad pública.

La reglamentación de la ocupación de áreas urbanas es un proceso iterativo, que pasa por una propuesta técnica que es discutida por la comunidad antes de ser incorporada al Plan Director de la ciudad. Por lo tanto, no existen criterios rígidos aplicables a todas las ciudades, pero existen recomendaciones básicas que pueden ser seguidas de acuerdo con cada caso.

Con la implementación de un Plan Director, la municipalidad podrá permitir las construcciones en áreas inundables, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- a. establecimiento de los niveles o cotas mínimos en la edificación;
- b. uso de materiales resistentes a la sumersión o contacto con el agua;
- c. prever los efectos de las crecidas en los proyectos internos de sistema pluvial y cloacal;
- d. estructuralmente, las construcciones deben ser proyectadas para resistir la presión hidrostática
- e. cierre de aperturas como puertas, ventanas y dispositivos de ventilación;
- f. estanqueidad y refuerzo de las paredes de los sótanos.

La decisión sobre la obligatoriedad de protección de las nuevas construcciones en la zona de inundación es un proceso que debe pasar por una discusión amplia de la comunidad involucrada.

Algunas acciones públicas son esenciales para el proceso de ordenamiento en el uso de suelo, pueden ser:

- a. evitar construcción de cualquier obra pública en las áreas de riesgo como escuelas, hospitales y edificios en general. Las existentes deben poseer un plan de remoción a ser ejecutado a lo largo del tiempo;
- b. planificar la ciudad para gradualmente desplazar su eje principal para los lugares de bajo riesgo;
- c. las entidades financieras deberían evitar financiar obras en áreas de riesgo;
- d. utilizar mecanismos económicos para el proceso de incentivo y control de las áreas de riesgo: (1) retirar el impuesto a los propietarios que mantengan sin construcción las áreas de riesgo; (2) intentar crear un mercado para las áreas de riesgo de tal manera que las mismas se vuelvan públicas con el pasar del tiempo;
- e. prever la inmediata ocupación de las áreas públicas de riesgo cuando éstas sean desocupadas con algún plan que demarque la presencia del municipio o del Estado.

Otras acciones públicas características de medidas no estructurales son:

- f. Programas periódicos de limpieza, mantenimiento y control de obras de captación y conducción de excedentes pluviales (sumideros, calzadas, conductos, canales)
- g. Implementación de políticas de planeamiento urbano con énfasis:
 - En cambios de uso de suelo
 - Patrones de asentamiento
 - Cambio de pendientes en las calles o trazado de nuevas

- Trasvaso de cuencas
 - Demarcación de zonas propensas sufrir anegamientos y/o inundaciones ribereñas
 - Regulación de escorrentías generadas por nuevos asentamientos y grandes construcciones
- h. Respetar sistema de drenaje actual
- i. Dar autorizaciones a nuevos planes de urbanización en cuencas que no estén comprometidas en cuanto a su capacidad de captar y evacuar los mayores caudales generados. A menos que se tenga previsto nuevas medidas estructurales a implementar.

7.2. MEDIDAS PROPUESTAS

7.2.1. Sub – Sistema Julio A Roca

Este grupo se ejecutará sobre el Bv. Julio A. Roca, entre las calles República de Siria y Mendoza, rematando con la conexión en el conducto de hormigón rectangular existente. Se compone de obras de captación (sumideros tipo ventana) y obras de conducción (conductos de hormigón, hormigonado in situ), cámaras de inspección y obras de protección de descarga del conducto.

En la Figura 48 se observa la cuenca D dividida en subcuencas, cuyo escurrimiento será garantizado por el grupo de obras N°1.

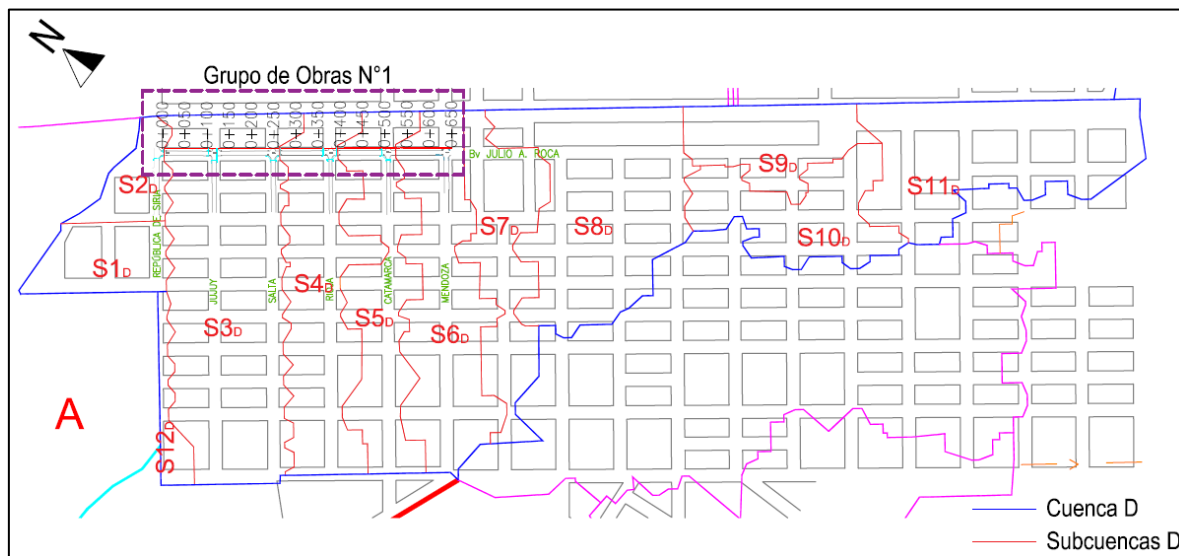


Figura 48: Localización de grupo de obras N°1 en cuenca D

El caudal obtenido de la hidrología debe ser transportado por las conducciones cuya capacidad se calcula con la fórmula de Manning variando la geometría.

Para la hidrología se tomaron dos escenarios, uno de 10 años de tiempo de retorno para el dimensionado de sumideros y funciones complementarias y otro de 100 años para la sección del conducto.

Los caudales obtenidos para el diseño surgen como resultado de la modelación Hidrológica descrita en el apartado “Modelos Computacionales” los caudales para el diseño de la sección de hormigón figuran en la última columna de la Tabla 12. Se verificó para una duración del evento de 60 minutos y un tiempo de retorno de 100 años.

Para el dimensionado del conducto se priorizó mantener la altura constante e ir variando el ancho, garantizando la tapada mínima con una pendiente del 0,3% en toda su longitud, fue usada para el cálculo de la capacidad de transporte la fórmula de Manning descrita en el apartado “Métodos”.

La obra se divide en tres tramos, el primero evacúa el agua de las subcuencas 1,2, 3 y 12 más el aporte de las cuencas rurales, el segundo incorpora la subcuenca 4 y el tercero las subcuencas 5 y 6.

	Tirante	Ancho	Pendiente	Coef. de	Caudal	Caudal
	fondo			Manning	Hidráulica	Hidrología
	m	m		s/m ³	s/m ^{1/3}	m ³ /s
Mendoza a Rioja	1,60	2,10	0,0030	0,015	9,054	8,94
Rioja a Salta	1,60	1,80	0,0030	0,015	7,280	6,94
Salta hasta Siria	1,60	1,50	0,0030	0,015	5,623	5,62

Tabla 12: Cálculo de dimensiones de conducto con Manning.

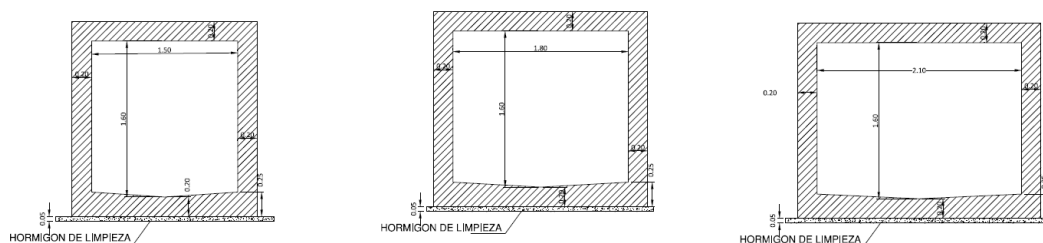


Figura 49: Secciones propuestas para conductos cuenca D

7.2.2. Sub- Sistema Sobremonte

Como se comentó en el apartado “Descripción” ante la necesidad de constituir otro medio de desagüe para este sector se diseñó con previa acuerdo de la Municipalidad, un conducto de hormigón debajo de la calle Sobremonte desde la intersección con la Av. Belgrano hasta la desembocadura en el Río Xanas en línea recta atravesando la zona rural. Y de manera complementaria otra conducción sobre la misma Av. Belgrano desde la Ruta 9 hasta empalmar en el inicio de la calle Sobremonte.

En la Figura 50 se representan el sistema delimitando con las subcuencas, cada una de ellas aportando los excedentes hídricos hacia el grupo de obras N°4.

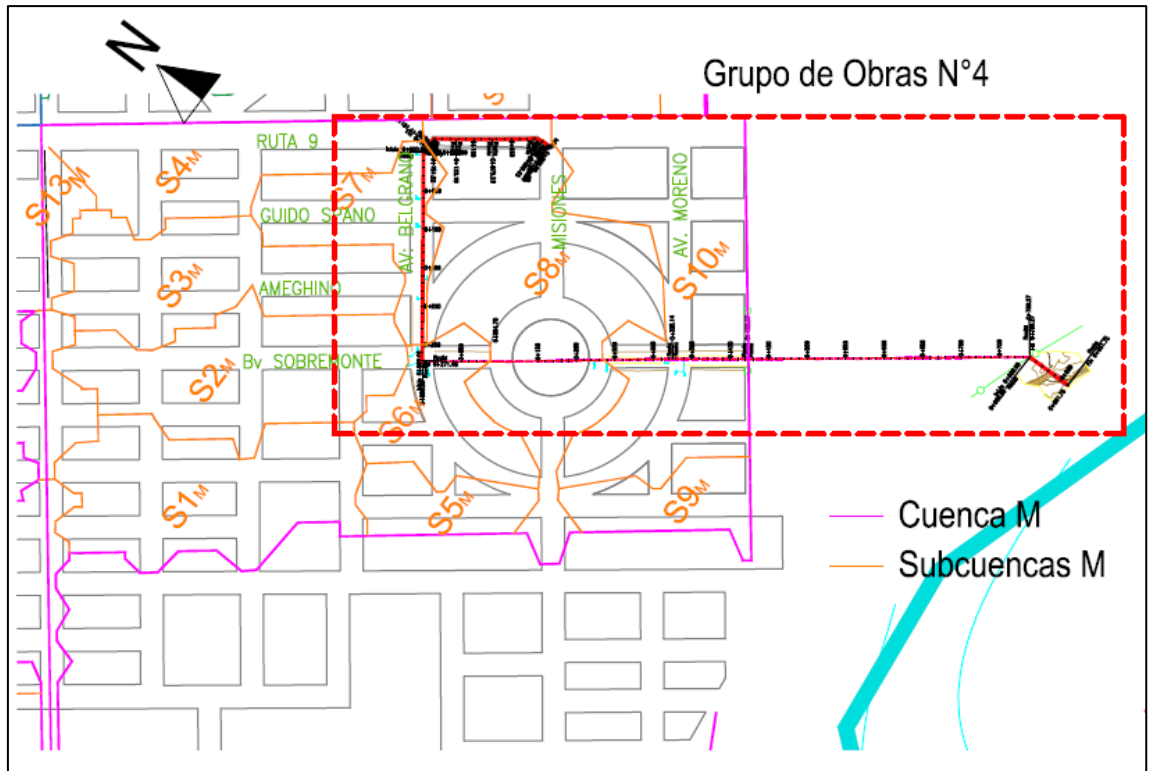


Figura 50: Localización de obras N°4 en cuenca M

En la Tabla 13 se detallan las dimensiones necesarias según la fórmula de Manning para dotar de la capacidad de conducción requerida para evacuar el caudal inferido en la modelación, y la Tabla 14 la capacidad de conducción del conducto propuesto por la Av. Belgrano nuevamente mediante la fórmula de Manning.

Tirante	Ancho	Pendiente	Coef. de	Caudal	Caudal
	fondo		Manning	Hidráulica	Cálculo Hidrología
m	m		$s/m^{1/3}$	m^3/s	m^3/s
1,20	2,50	0,001	0,015	4,560	5,30

Tabla 13: Capacidad del conducto propuesto por calle Sobremonte

Tirante	Ancho	Pendiente	Coef. de	Caudal	Caudal
	fondo		Manning	Hidráulica	Cálculo Hidrología
m	m		$s/m^{1/3}$	m^3/s	m^3/s
1,00	1,20	0,001	0,015	1,316	1,50

Tabla 14: Capacidad del conducto propuesto por Av. Belgrano.

Por último se muestra en un corte transversal con las medidas del conducto propuesto en la calle Sobremonte y la Av. Belgrano.

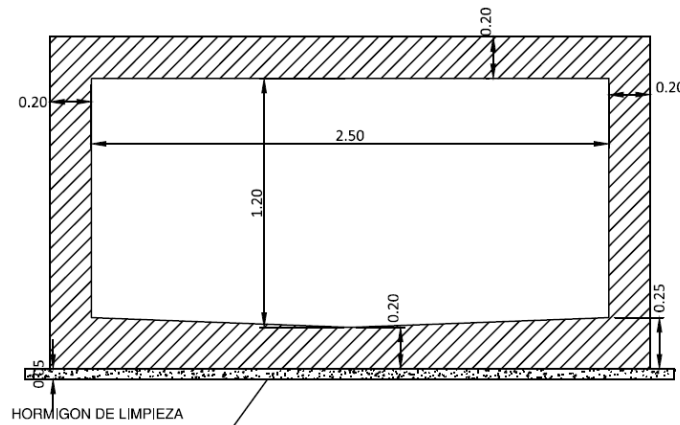


Figura 51: Sección propuesta conducto sobre calle Sobremonte

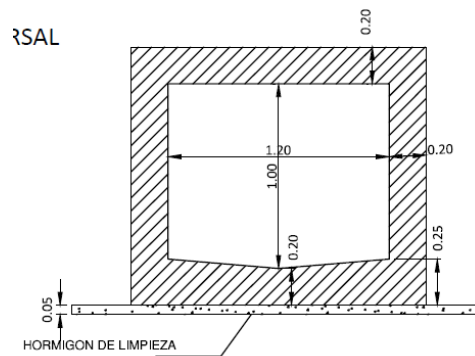


Figura 52: Sección propuesta conducto sobre Bv Belgrano

Obras Complementarias

De manera de lograr un funcionamiento integrado de todo el sistema con las nuevas obras será necesario re acondicionar las pendientes de las calles y canal, que anteriormente fueron planificadas para que aporten caudal hacia la alcantarilla sobre la Ruta 9, para que en el futuro funcionen con el nuevo paradigma de drenaje por los conductos, llevando la escorrentía hacia las calles donde estarán emplazados estos.

A continuación, se presentan los re perfilados necesarios para lograr los objetivos

Se realizarán perfilados sobre:

1. Calle Amegino desde calle Entre Rios hasta calle Av. Belgrano con pendiente negativa.
2. Calle Spano desde Entre Rios hasta Av. Belgrano.
3. Avenida Belgrano entre Bv. Sobremonte y RN N°9 se cambiara el sentido de la pendiente actual, llevando el caudal superficial hacia la Calle Sobremonte.

4. Canal en RN N°9 entre calles Misiones y Av. Belgrano para invertir pendiente y llevar la escorrentía hacia el conducto debajo de la Av. Belgrano.

7.2.3. Sub – Sistema San Luis

Este grupo de obras se ejecutará por la calle San Luis, entre la calle Dean Funes y la RN N°9, por calle Sobremonte, desde la calle Catamarca desembocando en la calle San Luis, por Calle Las Heras, desde Calle Tucumán desembocando en San Luis y de San Juan también desembocando en calle San Luis.

En la Figura 53 se observan las subcuencas de la cuenca I cuyos excedentes hídricos serán captados y evacuados el grupo de obras N°3.

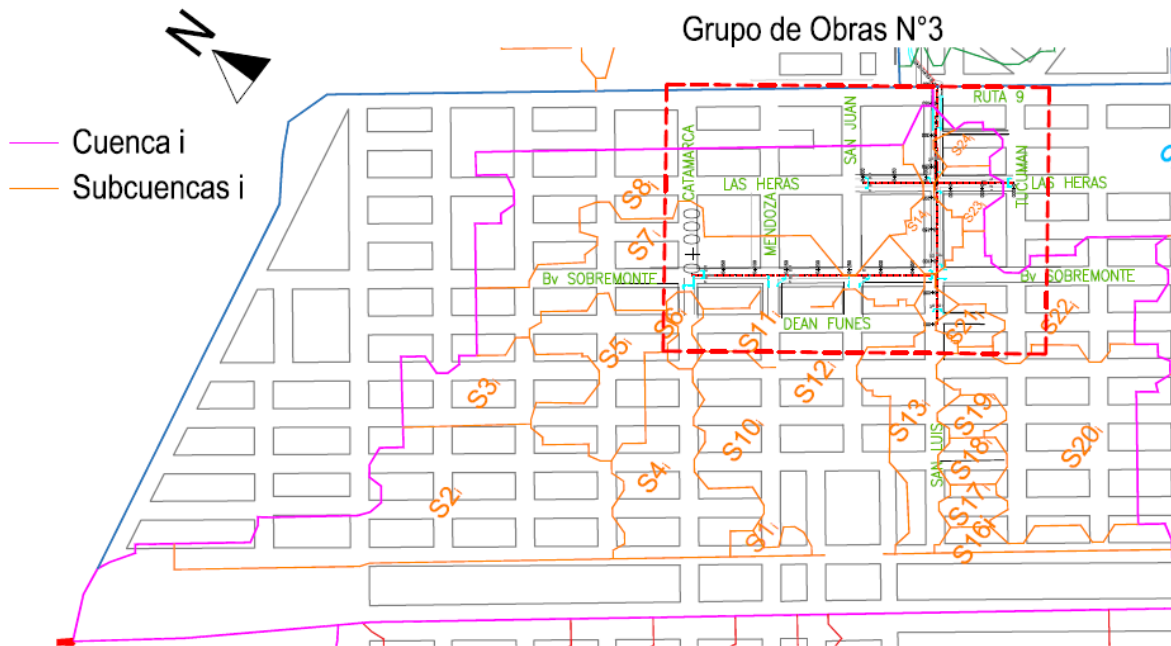


Figura 53: Localización de obras N°3 en cuenca I

La capacidad de las calles para una pendiente del 0.3% para una función complementaria evacua un caudal de 1.20m³/s y una función básica de conducción de agua hasta el umbral de hogares como máximo 3 m³/s, que junto a la capacidad del conducto propuesto de 6.36 m³/s (Tabla 15: Capacidad del conducto propuesto por calle San Luis.) nos permitira evacual el total de excedentes pluviales.

Tirante	Ancho	Pendiente	Coef. de	Caudal
	fondo		Manning	Hidráulica
m	m		s/m ^{1/3}	m ³ /s
0,90	4,50	0,0010	0,015	6,36

Tabla 15: Capacidad del conducto propuesto por calle San Luis.

A continuación se presenta una imagen esquemática de la sección transversal del conducto de hormigón diseñado para ir debajo de la Calle San Luis hasta terminar en la cámara sobre la Ruta 9, con lo que saneara la situación de este sector.

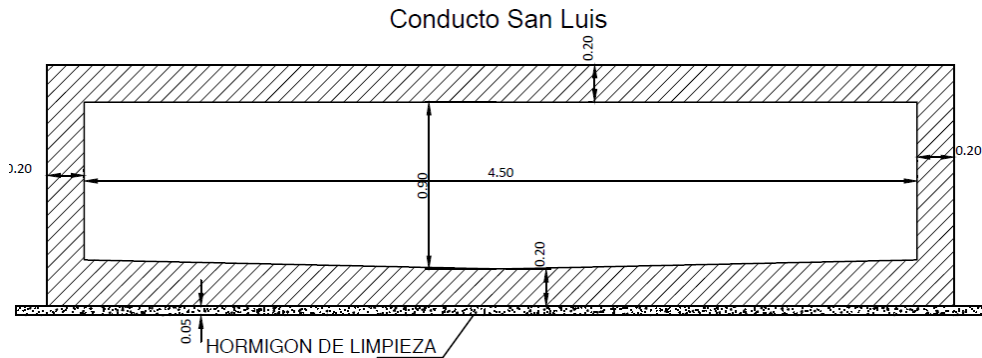


Figura 54: Sección del conducto por calle San Luis

De manera complementaria la calle Sobremonte requiere evacuar un caudal de 2.72 m³/s para lo cual se propone una sección cajón de 2.20 m de ancho por 0.80 m de alto, lo cual verifica la capacidad como se ve en la Tabla 16.

Empalmado con el anterior conducto que vemos debajo la calle San Luis, el lugar de unión será en la intersección de las dos calles.

Tirante	Ancho	Pendiente	Coef. de	Caudal
	fondo		Manning	Hidráulica
m	m		s/m ^{1/3}	m ³ /s
0,80	2,20	0,0015	0,015	2,720

Tabla 16: Capacidad del conducto propuesto por calle Sobremonte.

Y de manera análoga se presenta el detalle de la sección propuesta para conducir estos caudales en la Figura 40.

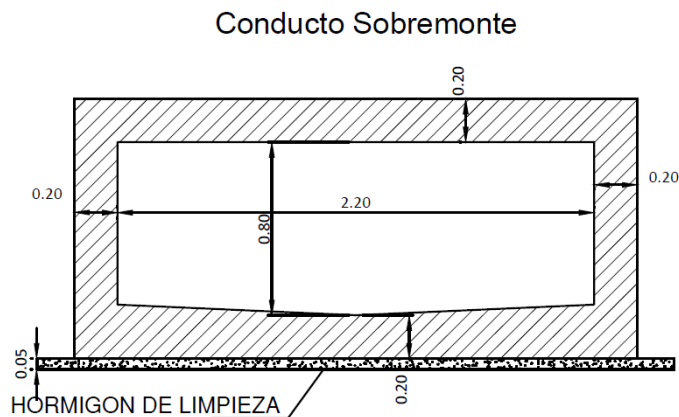


Figura 55: Sección del conducto por calle Sobremonte en cuenca I

Continuando con este grupo de obras, para la calle Las Heras al Norte y Sur de la calle San Luis se propusieron conductos tipo cajón para transportar los caudales originados por las lluvias, las secciones verificadas se muestran en la Tabla 17 y Tabla 18.

Tirante	Ancho	Pendiente	Coef. de	Caudal
	fondo		Manning	Hidráulica
m	m		s/m ^{1/3}	m ³ /s
0,80	1,20	0,0020	0,015	1,402

Tabla 17: Capacidad del conducto propuesto por calle Las Heras, al Norte de la calle San Luis.

Tirante	Ancho	Pendiente	Coef. de	Caudal
	fondo		Manning	Hidráulica
m	m		s/m ^{1/3}	m ³ /s
0,80	0,80	0,0075	0,015	1,531

Tabla 18: Capacidad del conducto propuesto por calle Las Heras, al Sur de la calle San Luis.

Las secciones propuestas para estos conductos se ilustran a continuación, es importante aclarar que se le dio una pendiente de bombeo a todos los conductos de este proyecto en el fondo para lograr una función de auto limpieza.

Las verificaciones pertinentes para cada una de las secciones se realizaran en el apartado siguiente.

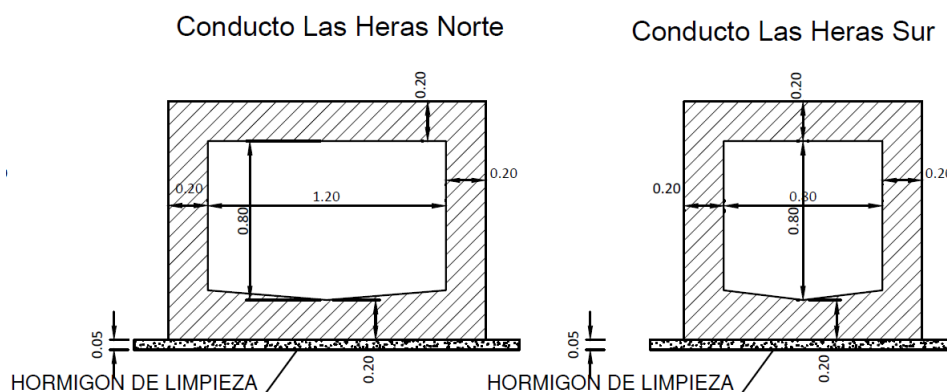


Figura 56: Secciones propuesta de los conductos sobre la calle Las Heras.

7.2.4. Sub – Sistema Médano Verde

Este grupo de obras se ejecutará sobre la Av Intendente Granja, entre las calles Bolivia y Av. Argentina como se dio a conocer en el apartado “Resultados de la Modelación” es donde mayores problemas y por ende necesidades de obras para solucionar demandaba. Este canal propuesto continúa hasta empalmar con un canal existente en la intersección con Av. Argentina, este último terminando en lagunas de detención.

A continuación se detallan las características de este canal proyectado en la isleta central de la avenida.

El canal proyectado es excavado de sección trapezoidal, con base de 1 m, talud de 1:2 y pendiente del 0,3%. Contará con protección contra la erosión en los encuentros del canal con las calzadas de vado pavimentado, dados de hormigón, geotextil y gaviones.

De manera complementaria para asegurar la evacuación de la escorrentía y por el deterioro del actual canal que termina en la zona de préstamo para lagunas, se realizará un perfilado del canal existente.

En las intersecciones de cada una de las calles que vierten hacia la Av. Granja se proyectó de manera de asegurar el ingreso del caudal de manera controlada para la erosión unos badenes de hormigón en la calle misma y una protección de colchón de gavión con geotextil en el canal propiamente dicho en una longitud de la calle intersectada para luego seguir continuando con el recubrimiento normal de empastado.

Se puede ver en la siguiente figura el detalle de esta protección incorporando datos de hormigón como un elemento de protección para los transeúntes.

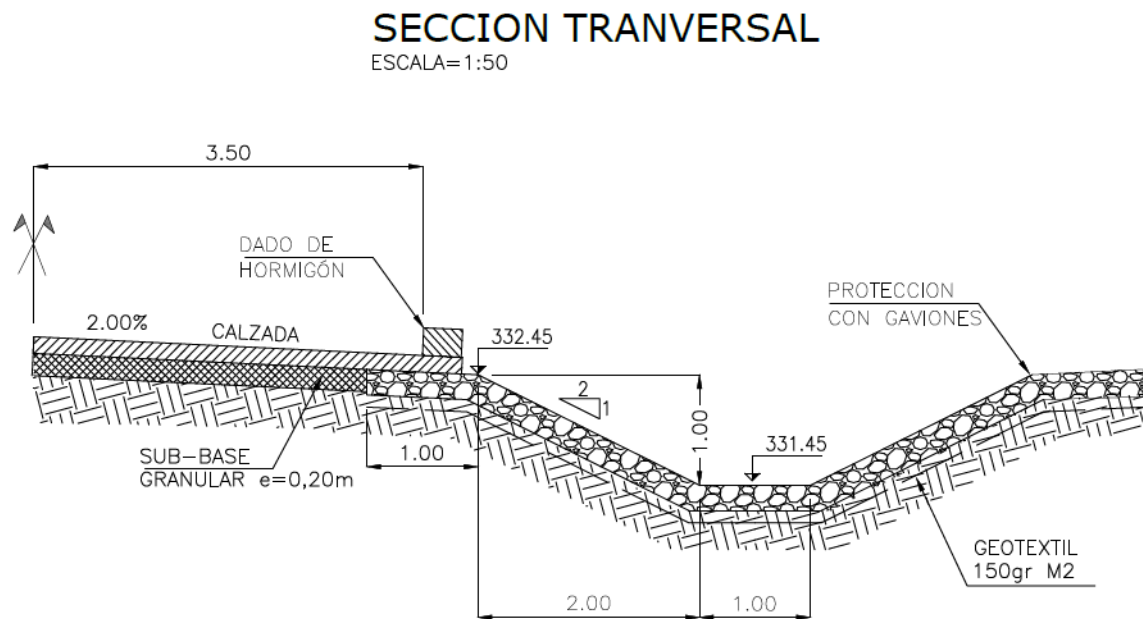


Figura 57: Detalle de protección en el canal en intersecciones con las calles afluentes.

Continuando con la descripción, para una mayor claridad de lo que se está contando se presenta un esquema transversal de cómo se materializara el canal emplazado en la avenida en el recorrido ya citado.

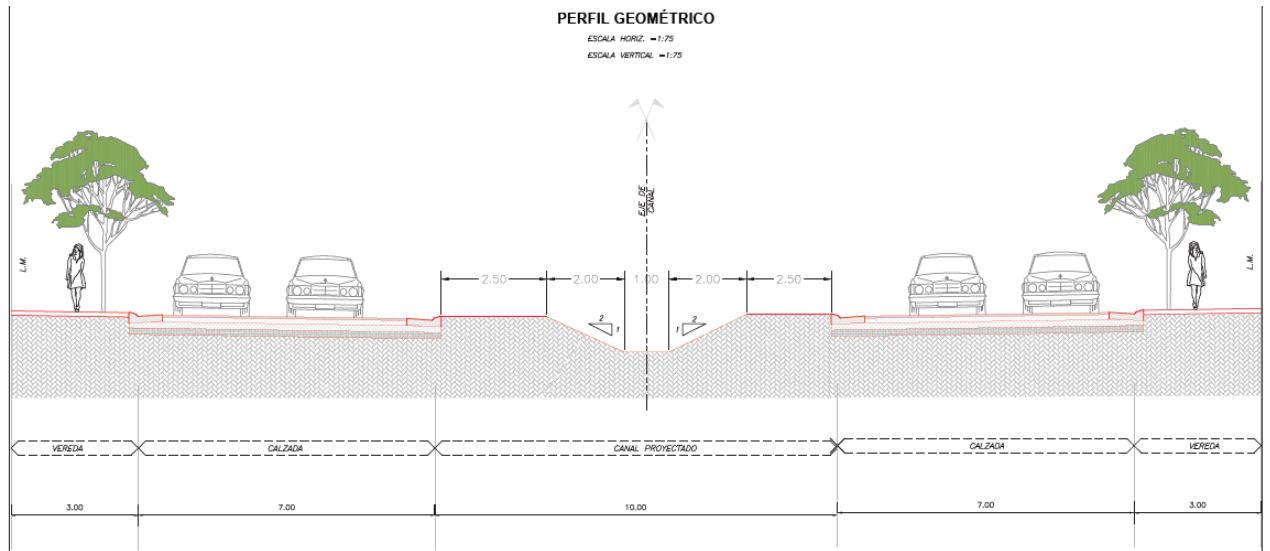


Figura 58: Calle canal propuesta por Av. Intendente Granja

Todos los planos correspondientes para lograr una acabada comprension estaran adjuntos en la seccion de ANEXOS del informe.

Se presenta una vista de planta donde se puede apreciar la ubicacion de la obra con respecto a las cuencas Q y R y la disposicion final en las lagunas, con lo que se puede comprender como se van captando los escurrimientos, pudiendo remitirse en el apartado "Descripcion sistema de drenaje actual".

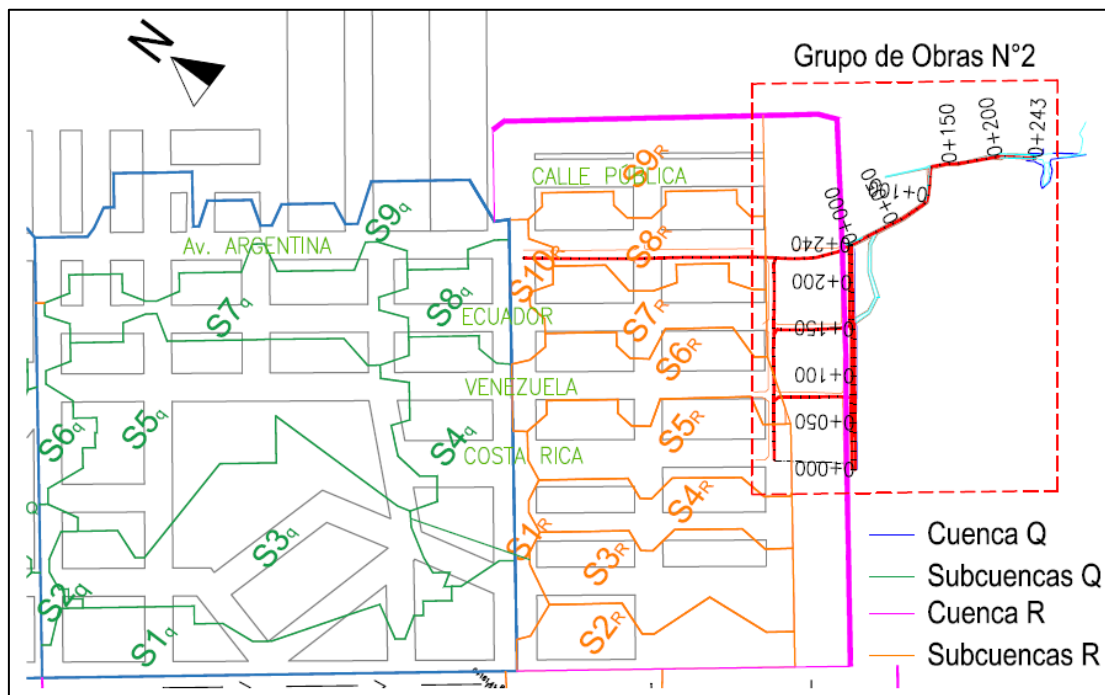


Figura 59: Localización de obras N°2 en cuenca R

En la Tabla 19 se muestra la verificacion de la capacidad del canal ya existente que inicia en la Av. Argentina y termina en las lagunas, con solo una limpieza y rectificacion

este es capaz de transportar un caudal de 12 metros cúbicos el doble de lo necesario para nuestros objetivos, por lo que verifica ampliamente y no sería un inconveniente con la limpieza acorde.

Tirante	Ancho	Talud	Coef. de	Caudal	Caudal
	fondo	izq.	Manning	Hidráulica	Cálculo Hidrología
m	m		s/m ³	s/m ^{1/3}	m ³ /s
1,60	1,80	0,9	0,030	12,002	6,62

Tabla 19: Canal Existente sobre Av. Argentina.

En Tabla 20 tenemos la capacidad calculada con la fórmula de Manning para nuestro canal proyectado.

Este canal empastado es capaz de evacuar 4.40 metros cúbicos de excedentes pluviales que junto a la capacidad de la calle misma, permitiendo un tirante de 20 cm que es totalmente admisible para una lluvia de recurrencia de 100 años como es la que se está trabajando para este diseño, verifica la capacidad que necesitamos, necesidad cuantificada en la modelación hidrológica.

Tirante	Ancho	Pendiente	Coef. de	Caudal	Caudal
	fondo		Manning	Hidráulica	Cálculo Hidrología
m	m		s/m ³	s/m ^{1/3}	m ³ /s
0,20	0,00	0,003	0,020	2,076	
1,00	1,00	0,003	0,025	4,403	6,00

Tabla 20: Capacidad de Av. Intendente Granja y canal hasta Av. Argentina.

CAPITULO 8: ESTUDIO HIDROLOGICO - HIDRAULICO DE PROPUETAS

8.1. GENERALIDADES

Siguiendo con un orden lógico de la metodología para este proyecto, una vez analizada la situación actual y tendencial, ubicación de las zonas más críticas en materia de necesidad de mejoramiento de desagües pluviales en esta localidad, modelado de los sectores analizados con la situación actual y las lluvias de diseño, cuantificación de caudales y daños potenciales a causar la lluvia, formuladas las propuestas para eliminar o mitigar estos problemas con un diseño fundamentado y racional para los requerimientos, lo que sigue ahora es modelar nuevamente estos sistemas pero ahora con una situación futura hipotética en la cual ya fueron concretadas las obras.

Esta modelación nos permitirá estudiar el comportamiento del sistema de desagües pluvial en estos sectores críticos con los que se trabajó desde el inicio, con la implementación de estas obras y verificar el cumplimiento de nuestros objetivos planteados como premisa en el inicio de este proyecto y a su vez comparar las dos situaciones actual y futura.

Se decidió por la envergadura, y complejidad de obras estructurales, y por ser los sectores con mayor potencial de daños y población a afectar el modelado de los sub sistemas Julio A Roca y San Luis.

Los restantes sectores no se consideró necesario el modelo de la situación futura por ser situaciones más simples de sanear y menor importancia relativa que las primeras.

8.2. ESTIMACION DE CAUDALES E HIDROGRAMAS

La estimación de los caudales e hidrógrafas en la situación futura se calculó únicamente variando la situación física del drenaje con la hipotética materialización de las medidas estructurales.

No se consideró una diferencia en el grado de impermeabilización de las cuencas por tener estas para el caso del sub sistema San Luis un nivel de consolidación totalmente desarrollado; y lo que podría consolidarse en la cuenca D no tendría en fines prácticos una incidencia significativa en los hidrogramas.

8.3. RESULTADOS DE MODELACION

A continuación se presenta los resultados que se obtuvieron de la modelación con las consideraciones anteriores y una breve descripción.

8.3.1. Sub – Sistema Julio A. Roca

Se verificaron las secciones proyectadas con el programa SWMM ya explicado en apartados anteriores.

La Figura 60 muestra el sistema modelado en la cual se puede apreciar en la interfaz los elementos que componen hidrológicos e hidráulicos, en lo que se destaca ahora la longitud completa del conducto de la avenida, abarcando desde la calle Rep. de Siria en el extremo noroeste hasta la desembocadura en el río en el sureste, incluyendo tanto el conducto ya existente como la prolongación futura

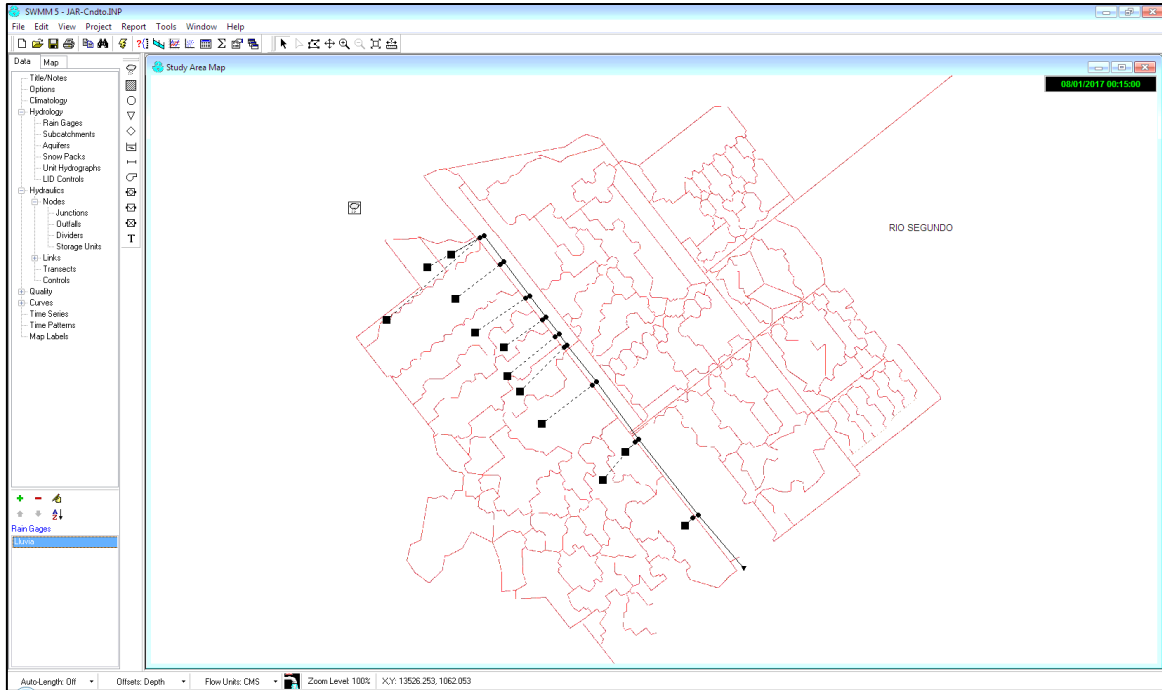


Figura 60: Modelo hidrológico – hidráulico en SWMM para grupo de obras en subsistema Julio A Roca

8.3.1.1. Niveles en las Esquinas

Se evaluó de qué manera impactara esta obra en la solución de los grandes niveles de agua que presentaba la calle Julio A Roca en determinadas esquinas que afectaba la calidad de vida de los vecinos. Y se podrá comparar con la situación actual para evaluar la contundencia de esta solución.

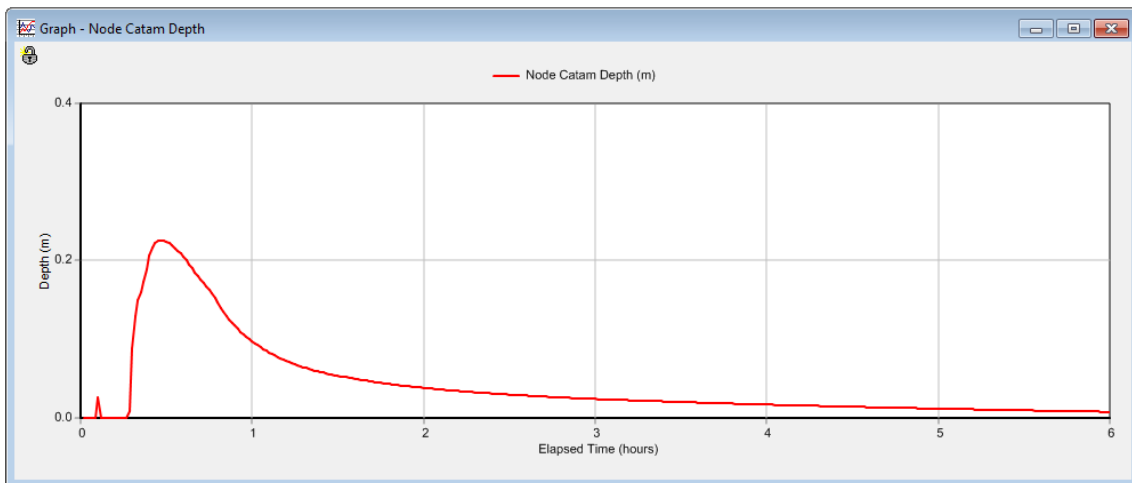


Figura 61: Situación futura nivel de agua esquina Catamarca

Como se puede visualizar en el gráfico de la Figura 61 el nivel de agua en la esquina de Catamarca y Julio A. Roca es significativamente menor, llegando en el pico de la tormenta a un tirante de 21 cm.

Lo mismo sucede con la esquina calle La Rioja

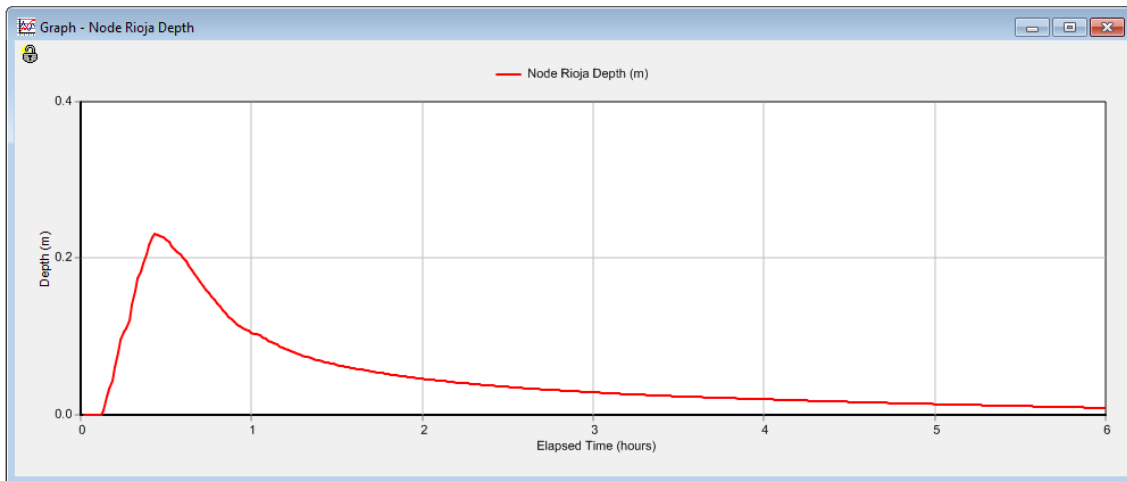


Figura 62: Situación futura tirante de agua esquina calle La Rioja

8.3.1.2. Perfiles Hidráulicos

Modelando estas medidas estructurales tenemos el siguiente perfil hidráulico en la Avenida desde la calle Republica de Siria hasta la calle Mendoza, donde comprendía la zona más afectada por la lluvia.

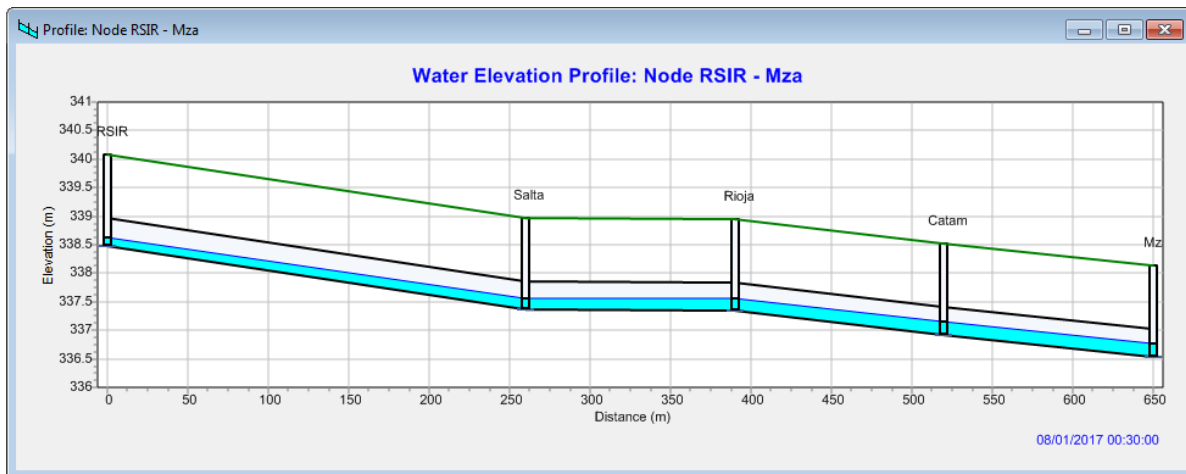


Figura 63: Perfil hidráulico situación futura desde calle Republica de Siria hasta Mendoza

Teniendo ya a la hora desde que comenzó la lluvia de diseño tirantes menores a los 10 cm como se ve en la siguiente Figura 64.

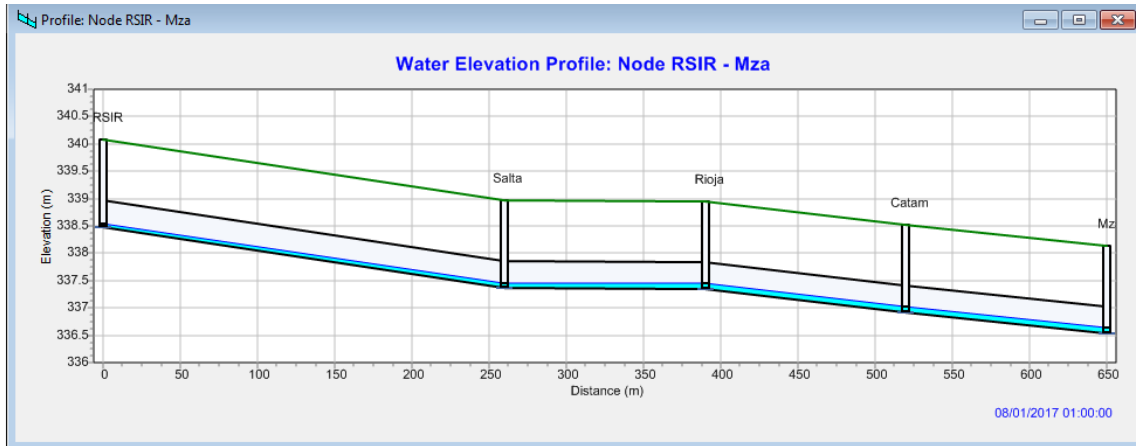


Figura 64: Perfil hidráulico situación futura luego de transcurrir una hora

Estos perfiles permitirían visualizar la mejoría respecto a la situación actual que se encuentra este sistema. Resta ver cómo se comporta el conducto diseñado para esta recurrencia de 100 años.

El perfil hidráulico del conducto en este tramo crítico como se muestra en la Figura 65

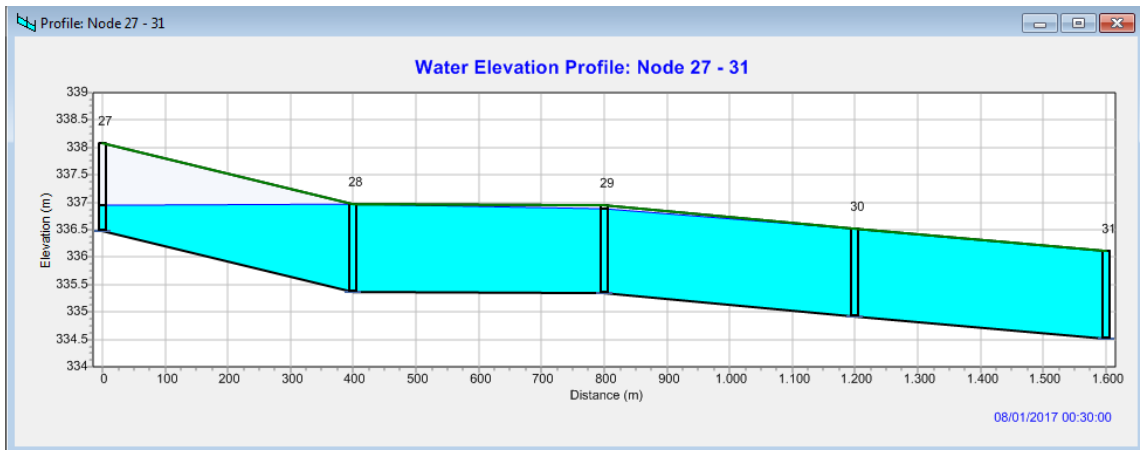


Figura 65: Perfil hidráulico del conducto propuesto debajo de la avenida

Como se aprecia, su diseño es óptimo para esta recurrencia, dejando el resto de escurrimientos transitar por la avenida de manera superficial sin afectar la calidad de vida como veíamos en las figuras (Figura 63, Figura 64).

Finalmente el perfil de todo el conducto hasta la descarga.

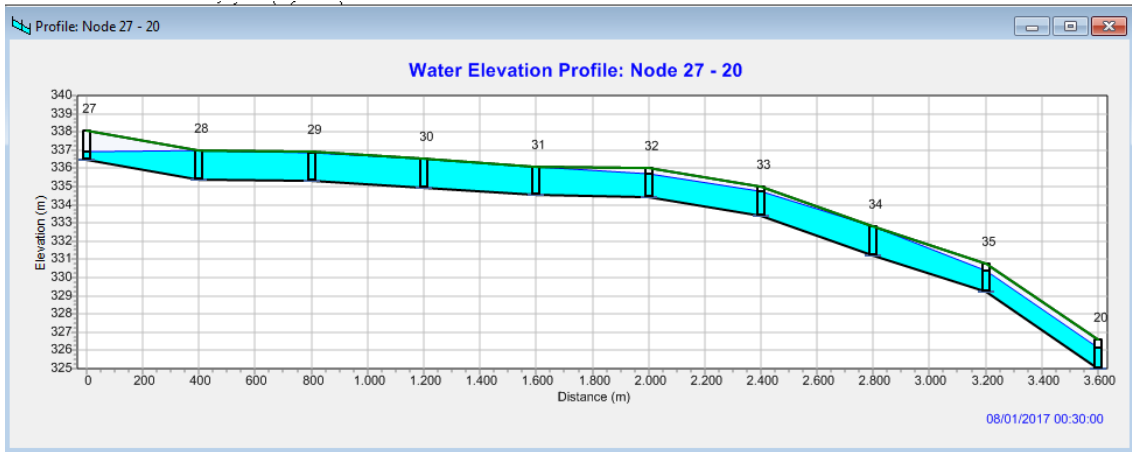


Figura 66: Perfil hidráulico en toda la longitud del conducto hasta la descarga existente

8.3.2. Sub – Sistema San Luis

De manera análoga se utilizó para la modelación el programa SWMM.

Se muestra el esquema del sistema modelado, emplazado en la cuenca I donde se aprecian todos los elementos hidrológicos utilizados, representados con cuadrados negros las subcuencas donde como se aclaró anteriormente se utilizaron los mismos valores que en el escenario actual para este elemento.

Los elementos hidráulicos con que se modelo son los cuatro conductos debajo las calles San Luis, Las Heras y Sobremonte anteriormente descrito, las alcantarillas, sumideros y las calles mismas que no dejan de ser un medio de transporte de escorrentía superficial.

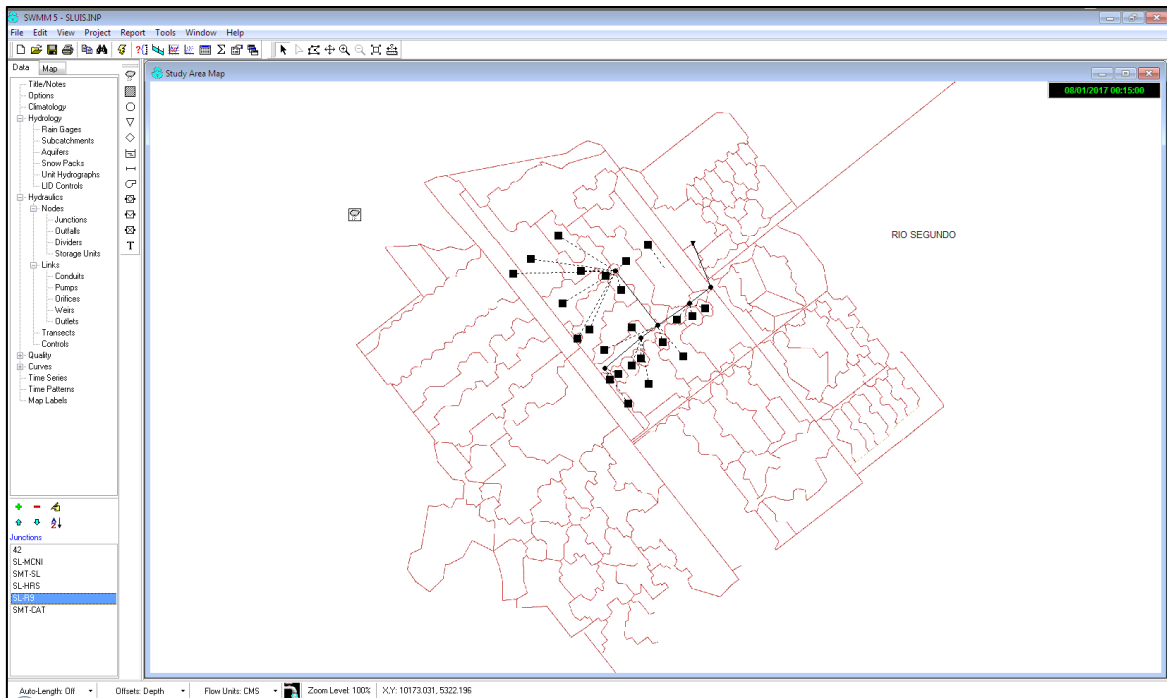


Figura 67: Modelo hidrológico – hidráulico en SWMM para grupo de obras en subsistema San Luis

Luego focalizando en el comportamiento de los conductos más importantes para la tormenta de diseño, se ilustra el perfil hidráulico de izquierda a derecha, empezando por el conducto bajo la calle Sobremonte desde la intersección con la Catamarca hasta la San Luis siendo esta esquina el segundo nodo representado, desde ahí se representa en el perfil hidráulico el conducto futuramente materializado debajo de esta hasta llegar a la cámara al margen de la Ruta 9.

Una vez cargado todos los elementos necesarios para el modelo se obtuvieron los siguientes resultados

8.3.2.1. Nivel en Esquinas

Se registró para todas las esquinas críticas presentadas anteriormente grandes mejoras en el nivel de tirante y la duración.

Empezando con la esquina San Luis y Sobremonte ilustrado en la Figura 68.

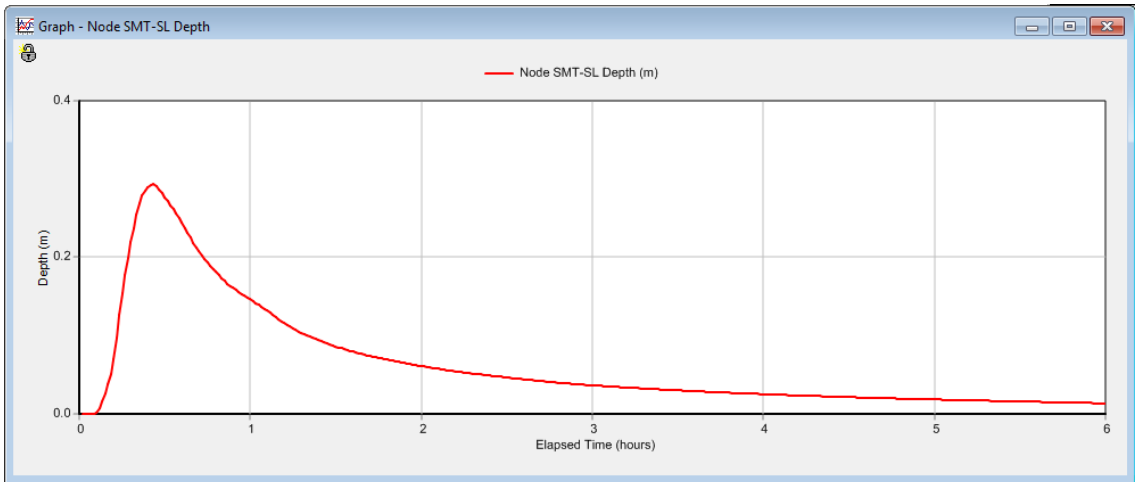


Figura 68: Situación futura nivel San Luis y Sobremonte

En este caso alrededor del minuto 30 llega al pico de tirante, unos 25 cm aproximadamente, totalmente aceptable para una recurrencia de 100 años.

En esquina Las Heras de manera similar vemos una notable disminución en los tirantes y rápida disminución del mismo.

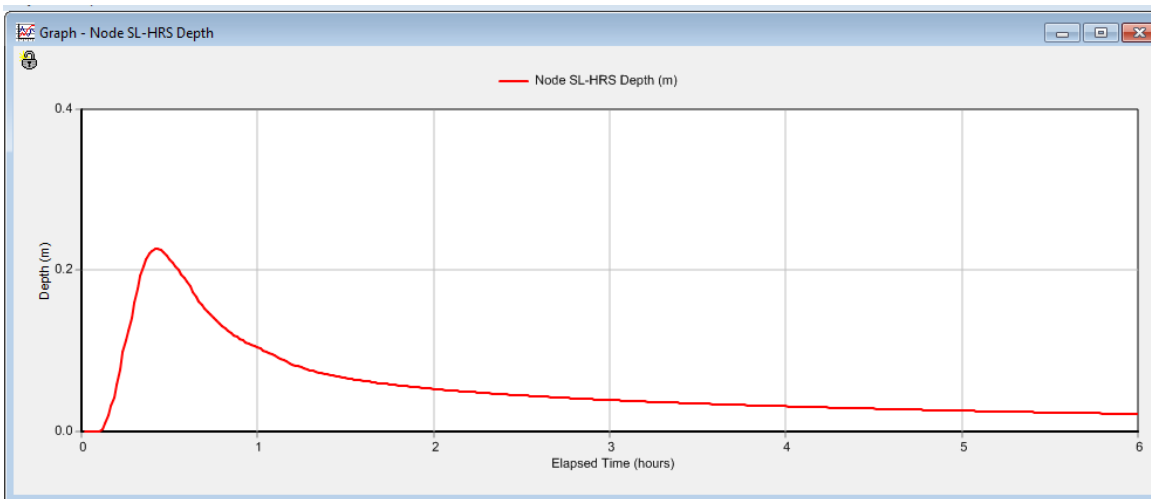


Figura 69: Situación futura tirante esquina Las Heras y San Luis

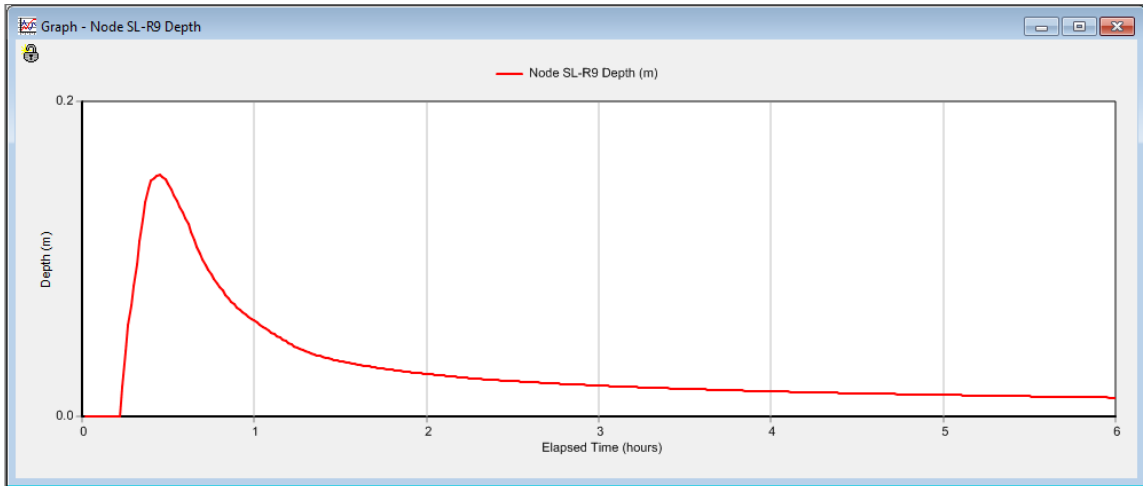


Figura 70: Situación futura tirante intersección San Luis y Ruta 9

Ahora siguiendo el orden que se venía manteniendo desde que se analizó la situación actual, se presenta los perfiles hidráulicos para una mejor visualización e interpretación del caso.

8.3.2.2. Perfiles Hidráulicos

En primera instancia los perfiles de las calles más afectadas. Empezamos con la calle Sobremonte entre la calle Catamarca y San Luis, siendo estos los nodos vistos en la Figura 71 de izquierda a derecha y recordando que lo que se visualiza en azul es el tirante de agua al minuto 30 y la paralela inmediatamente superior en negro es la línea de referencia de 0.50 m.

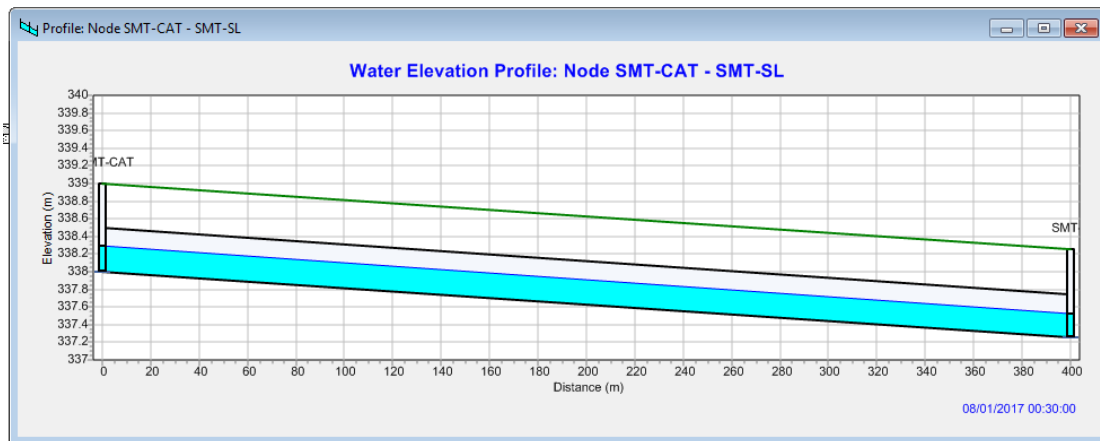


Figura 71: Perfil hidráulico calle Sobremonte entre Catamarca y San Luis

Luego se presenta el perfil por la San Luis entre las calles Sobremonte y la Ruta 9.

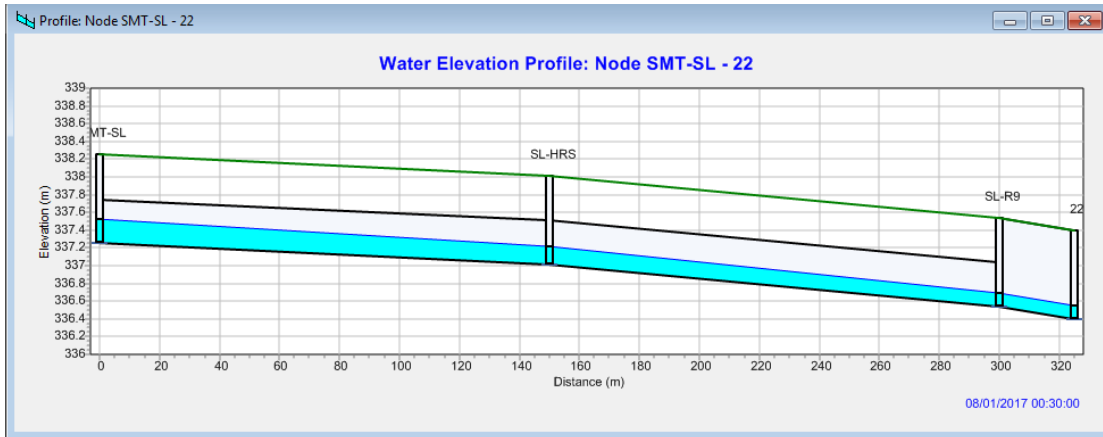


Figura 72: Perfil hidráulico de situación futura sobre la calle San Luis

En concordancia con los niveles mostrados páginas atrás los niveles y desarrollo de los escurrimientos superficiales para este sistema cumplen los objetivos planteados.

Ahora en la Figura 73 se muestra un perfil hidráulico de los conductos proyectados, viendo que su diseño es óptimo para esta recurrencia y los excesos que ya no soporta transportar la calle sobre la que se localiza tiene capacidad suficiente para escurrir sin afectar la calidad de vida de las personas vecinas.

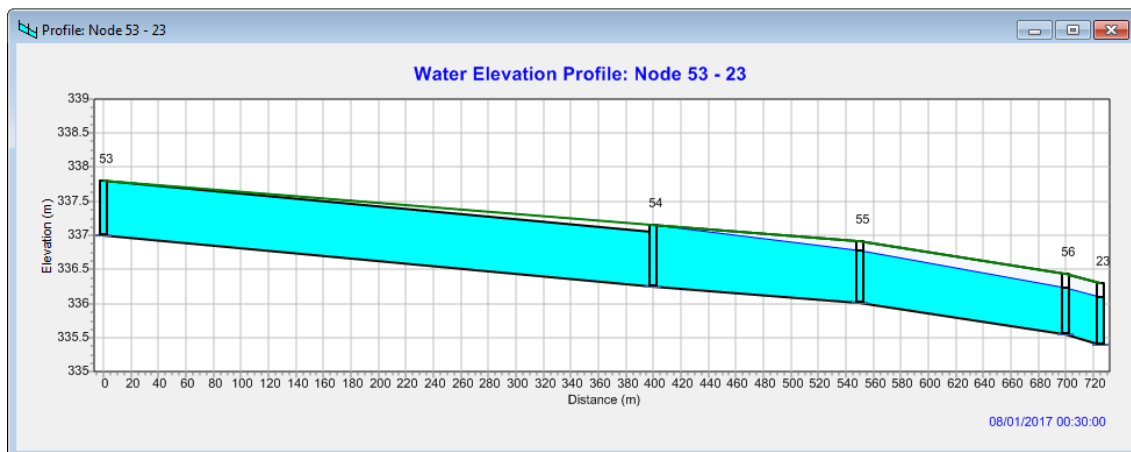


Figura 73: Perfil hidráulico de conductos proyectados

Siendo los nodos de izquierda a derecha las intersecciones con la calle Catamarca, San Luis, Las Heras y Ruta 9 terminando en la cámara abierta.

Para una recurrencia de 100 años se puede ver que el conducto de la Sobremonte funciona a presión hasta llegar a la San Luis, donde el conducto de esta última va en capacidad total y a medida que llega a la cámara de la Ruta 9 con sus siguiente alcantarilla al canal, disminuye el tirante a medida que se acerca a la misma.

Con lo que para una recurrencia alta este funcionamiento es totalmente aceptable.

8.3.2.3. Alcantarilla de Cruce

Por ultimo lo que queda de modelar en este sistema es precisamente la alcantarilla de cruce desde la cámara hasta el canal paralelo a la ruta de conexión con la autopista Córdoba – Rosario.

Es importante aclarar que cuando se presentaba el diseño de las obras de este sistema no se incorporó el cálculo de esta obra por considerarse que al usar directamente un modelo para el diseño y verificación de su comportamiento de manera iterativa era más acorde presentarlo en este inciso.

La Figura 74 presenta los parámetros de alcantarilla tipo cajón existente y características geométricas del sitio de cruce, que se utilizaron para el cálculo de la capacidad hidráulica.

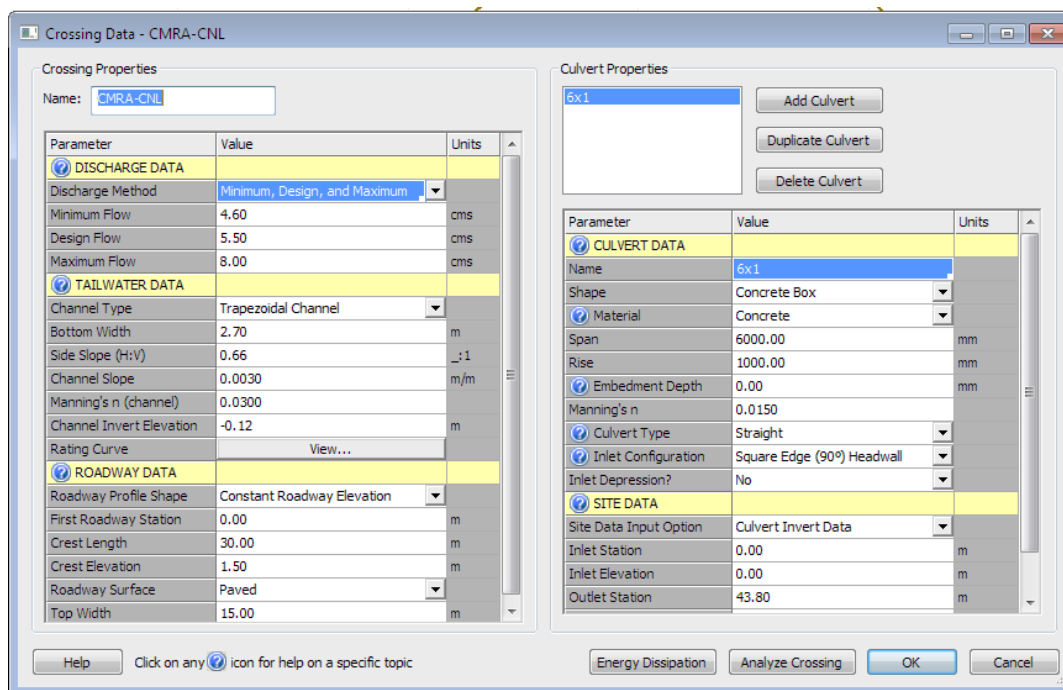


Figura 74: Características de la alcantarilla cargadas en el programa

La Figura 75 presenta el comportamiento en servicio de la alcantarilla, siendo el caudal aportado por la hidrología para el periodo de retorno de 100 años, como premisa aquí fue planteado la no inundabilidad de la ruta de acceso y la ruta 9, siendo ambas de vital importancia.

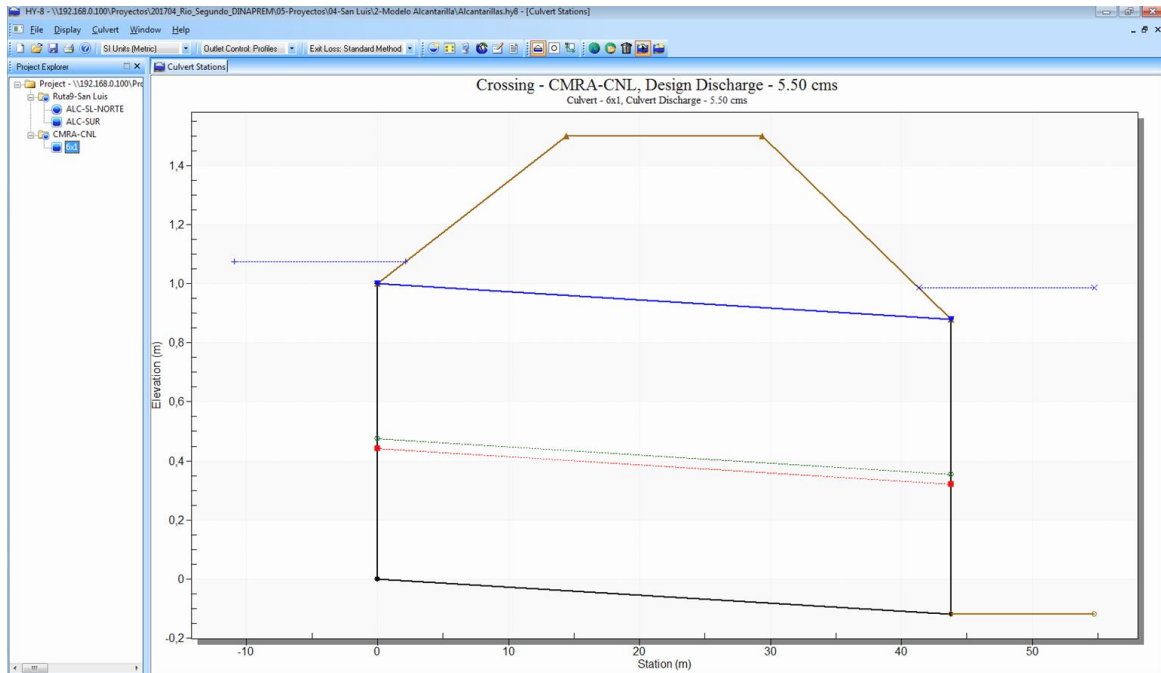


Figura 75: Comportamiento en servicio alcantarilla propuesta

Por ultimo la Tabla 21 ilustra los diferentes caudales calculados por el programa para distita elevacion del pelo de agua, el limite de elevacion del tirante fue dado por los niveles ya existentes entre el fondo de la camara y la Ruta Nacional.

Con lo que verifica que para una altura de 1,45m se evacua todos los excedentes pluviales salvando el nivel de la Ruta 9 y todos los umbrales de viviendas particulares aguas arriba, tomando como cota de referencia el fondo de la camara.

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	6x1 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
0.93	4.60	4.60	0.00	1
0.99	4.94	4.94	0.00	1
1.04	5.28	5.28	0.00	1
1.07	5.50	5.50	0.00	1
1.14	5.96	5.96	0.00	1
1.19	6.30	6.30	0.00	1
1.25	6.64	6.64	0.00	1
1.30	6.98	6.98	0.00	1
1.35	7.32	7.32	0.00	1
1.40	7.66	7.66	0.00	1
1.45	8.00	8.00	0.00	1
1.50	8.36	8.36	0.00	Overtopping

Tabla 21: Caudales vs Tirante en la entrada de la alcantarilla, resultados del modelo

CAPITULO 9: CONCLUSIONES

Como conclusión final en este informe de Practica Supervisada se puede decir que se han cumplido todos los objetivos planteados al comienzo del mismo, de una manera integrada con el ámbito profesional siendo una experiencia de gran importancia para el ejercicio profesional propio inmediatamente futuro.

Las obras planteadas que se resumen a continuación permitirán lograr una captación, transporte y vertido de los escurrimientos para cada uno de los sistemas de manera segura y comprobada mediante modelos, lo que finalmente se traducirá en cambiar las vidas de las personas que se encuentren inmersas en estas complicaciones cada vez que ocurre una lluvia importante.

Se prevé que las obras proyectadas cumplan con el criterio de las funciones básicas y complementarias para calles urbanas de la normativa vigente.

9.1. RESUMEN DE OBRAS

En resumen, el proyecto prevee la ejecución de cuatro conjuntos de obras hidráulicas:

- La **Obra Hidráulica N°1**, a ejecutarse sobre el Bv. Julio A. Roca, entre las calles República de Siria y Mendoza, rematando con la conexión en el conducto de hormigón rectangular existente.

Ésta se compone de obras de captación (sumideros tipo ventana) y obras de conducción (conductos de hormigón, hormigonado in situ), cámaras de inspección y obras de protección de descarga del conducto.

- La **Obra Hidráulica N°2**, a ejecutarse sobre la Av. Intendente Granja, entre las calles Costa Rica y Av. Argentina, que continúa con un canal existente que concluye en lagunas de detención.

El canal proyectado es excavado de sección trapezoidal, con base de 1 m, talud de 1:2 y pendiente del 0,3%.

Contará con protección contra la erosión en los encuentros del canal con las calzadas de dados de hormigón, geotextil y gaviones. Se realizará un perfilado del canal existente y cunetas en la Av Intendete Granja

- La **Obra Hidráulica N°3**, a ejecutarse por la calle San Luis, entre la calle Dean Funes y la RN N°9, por calle Sobremonte, desde la calle Catamarca desembocando en la calle San Luis, por Calle Las Heras, desde Calle Tucumán desembocando en San Luis y de San Juan, también desembocando en calle San Luis.

Las obras de conducción son de hormigón, hormigonadas in situ. Se compone además de obras de relleno, sumideros, uniones entre conductos, una nueva entrada a cámara, un ensanche de la alcantarilla en RN N°9 en calle San Luis de sección cajón de 6 m de ancho por 1 m de alto y protecciones contra la erosión.

- La **Obra Hidráulica N°4**, a ejecutarse sobre Av. Belgrano, entre la RN N°9 y el Bv. Sobremonte, en Bv. Sobremonte, desde Belgrano hasta descargar en el río y en calles aledañas.
Se realizarán dos conductos, uno sobre la avenida Belgrano y otro sobre el Bv. Sobremonte de sección cajón hormigonados in situ. El conducto en Av. Belgrano se une al conducto de Bv. Sobremonte que descarga en el río con una protección de gaviones. Además se compone de sumideros tipo ventana y cámaras de inspección.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ACASE – INTA (2003): *Los Suelos*. Nivel de Reconocimiento 1:500.000. Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. ACASE - Dirección de Ambiente. INTA – EEA Manfredi.

Bertoni, J. C. (1997). Elementos de Hidrometeorología.

Bertoni, J. C. (2004): Material de capacitación del Curso sobre Gestión de Inundaciones en Áreas Urbanas. GWP-SAMTAC.

Caamaño Nelli G. et. al. (1993): Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba. INCYTH. CIHRSA. CONICET. SMN. DPH. CONICOR.

Caamaño Nelli G. y Dasso C. M. (2003): Lluvias de diseño; Conceptos, técnicas y experiencias. Ed. Científica Universitaria, Córdoba.

Catalini C. G. y Caamaño Nelli G. (2001): Estructura Espacial a Escala de Cuenca. Apuntes de Clases de la materia Síntesis de Lluvia para Diseño Hidrológico. Maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil – Mención en Recursos Hídricos. FCEFyN. UN de Córdoba.

Catalini C. G., Caamaño Nelli G., García C. M. (2002): Efectos Fisiográficos y Climáticos sobre las Curvas de Reducción Areal de Lluvias de Diseño. XIX Congreso Nacional del Agua, Villa Carlos Paz, Córdoba.

Chocat B. (1997): *Aménagement urbain et hydrologie*. La Houille Blanche, N° 7, 12-18.

Chow V. T. (1994): Hidráulica de Canales Abiertos. Ed. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafe de Bogotá. Colombia.

Chow V. T., Maidment D. R. y Mays L. W. (1994): Hidrología Aplicada. Ed. McGrawHill Interamericana S.A. Santafe de Bogotá. Colombia.

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, US.

García C. M. (2000): Lámina de lluvia puntual para diseño hidrológico. Tesis Maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil – Mención en Recursos Hídricos. FCEFyN. UN de Córdoba.

Hydrologic Engineering Center (2009): HEC-HMS (versión 3.4). Flood Hydrograph Package. User Manual. US Army Corps of Engineers.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú (2012): Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Perú.

Leopold L.B. (1968): *Hydrology for Urban Planning - A Guide Book on the Hydrologic Effects on Urban Land Use*. USGS circ. 554, 18 p.

Plan Maestro de Desagües Pluviales (1995): Secretaría de Obras y Servicios Públicos. Municipalidad de Río Segundo.

Reyna, S.; Chini, I. (1995): "Manual de Drenaje para Pequeñas Localidades". SECyT-UNC. Córdoba, Argentina.

Rühle F. (1966): Gráficos Hidráulicos para el Diseño de Alcantarillas. Dirección Nacional de Vialidad. Traducción y adaptación de los gráficos preparados por la Sección Hidráulica, División Puentes - Oficina de Ingeniería y Operaciones -Bureau of Public Roads (1964), US.

Tucci C.E.M. (1994): Enchentes Urbanas no Brasil. Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 12/Nº 1, 117-136.

Tucci C.E.M. (ed.) (1993): Hidrologia: Ciência e Aplicação. Coleção ABRH, Brasil, Vol. 4, 943 p.

Tucci Carlos (2005): Gestão de inundações urbanas. Porto Alegre, UNESCO-PHI.

UNESCO (1987): Manual on drainage in urbanizing áreas. Vol. I. Planning and design of drainage systems. Studies and reports in hydrology. Nº 43.

Vanoli G. (2007): Vialidad Urbana - Drenaje Urbano. Apuntes de Clase. Maestría en Transporte. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.



ANEXOS