

Trabajo Final:
*Diseño de un Sistema de Desagües Urbanos Sostenibles
(SUDS) en un barrio del conurbano bonaerense*

Ing. Hidráulica
H0526

Alumna:
Jaca Pozzi, Guadalupe (N°64823/4)

Tutor:
Angheben, Enrique



Resumen

El presente documento corresponde al Trabajo Final de la carrera de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Nacional de La Plata, titulado “Diseño de un Sistema de Desagües Urbanos Sostenibles (SUDS) en un barrio del conurbano bonaerense” para obtener el título de grado de Ingeniera Hidráulica.

El lugar elegido como estudio de caso corresponde a un barrio situado en el sudoeste de la localidad de Monte Grande, en el partido de Esteban Echeverría. El área de estudio pertenece a la cuenca media del arroyo Ortega (sobre su margen derecha) y se extiende sobre un área de 46,4 ha.

La elección de trabajar en dicho lugar y el interés en abordar este tema surgen a raíz del “Programa de Desarrollo de Acciones para la Reducción del Riesgo de Inundaciones en el partido de Esteban Echeverría” (Programa DAPRRI-EE) que la Unidad de Investigación, Desarrollo y Extensión en Hidrología (UIDET Hidrología) que se llevó a cabo entre los años 2017 y 2021, y en la cual me desempeñé como becaria.

El objetivo del trabajo es proyectar una red de desagües pluviales a partir de la aplicación de una metodología no convencional, que contemple distintas tipologías de SUDS, de manera de evaluar su funcionamiento, viabilidad y costos asociados.

En principio se desarrolla la metodología empleada:

Primero se hace una revisión bibliográfica de antecedentes tanto internacionales como nacionales para luego realizar una caracterización del Partido de Esteban Echeverría, la cuenca del arroyo Ortega y el área que se ha tomado como estudio de caso. A continuación se presenta el diseño de las alternativas: una tradicional y otra sustentable. En la primera, se dimensionan los conductos pluviales aplicando el Método Racional Clásico. La segunda contempla a la red pluvial de la alternativa tradicional y la incorporación de los SUDS, los cuales se diseñan aplicando recomendaciones de la bibliografía específica. En el presente Trabajo se ha optado por una tipología de SUDS denominada celdas de biorretención. Luego se detalla la modelación hidrológica-hidráulica realizada en el software Storm Water Management Model (SWMM) y se indican las variables de análisis contrastadas.

Luego se presentan en un apartado los resultados obtenidos en función de las variables contrastadas y en otro, el análisis de los mismos. De allí se desprende que las celdas de biorretención planteadas son efectivas en la reducción de escorrentía para eventos de precipitación frecuentes (recurrencia de diseño de 1,01 años), alcanzando un porcentaje de reducción del orden del 40 %. Además, para la recurrencia de diseño típica de sistemas de desagües pluviales convencionales, es decir, 2 años, dicha reducción alcanza el 20 %. Gracias a esta disminución es posible aliviar la capacidad de los conductos pluviales, así como también reducir la altura de agua en las calles.

Por último, se presenta la estimación de los costos de ambas alternativas, y en los respectivos Anexos la documentación gráfica que contiene las planialtimetrías, perfiles longitudinales, detalles de esquina y de las celdas de biorretención.

Agradecimientos

A mis viejos, por apoyarme siempre sin dudarlos.

A mis amigos, por el humor y cariño, es hermoso crecer con ustedes.

A Kike, por acompañarme y ayudarme en todo el Trabajo.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, por las enseñanzas a lo largo de los años, las vinculadas a lo académico y las que van más allá de eso.

A mis compañeros de la UIDET Hidrología, lugar en el que aprendí y me reí mucho.

Por último, a mis compañeros de Extensión con quienes formamos la Cátedra Libre de Hidráulica Comunitaria. Los conocí en el año 2016 y con ellos aprendí que la ingeniería es por y para las personas. A veces, entre tanta vorágine, como estudiantes nos olvidamos por qué hacemos lo que hacemos y para quiénes. Así que gracias por eso.

Índice de contenidos

1. Introducción	1
2. Metodología	4
2.1 Recopilación y análisis de antecedentes	4
2.1.1 Antecedentes vinculados al Trabajo Final	4
2.1.2 Antecedentes sobre Sistemas Urbanos de Desagües Sustentables (SUDS).....	9
2.2 Caracterización de la zona de estudio	14
2.2.1 Análisis y descripción del área de referencia	14
2.2.2 Análisis y descripción del entorno inmediato	19
2.2.3 Análisis y descripción del área de estudio	20
2.3 Diseño de las alternativas.....	22
2.3.1 Topografía	22
2.3.2 Leyes Intensidad – Duración – Recurrencia	25
2.3.3 Diseño de la red pluvial convencional.....	26
2.3.4 Diseño de la red pluvial con SUDS.....	28
2.4 Modelación en el software SWMM.....	38
2.4.1 Introducción al modelo SWMM	38
2.4.2 Datos de entrada y configuración de simulación.....	40
2.5 Variables de análisis contrastadas.....	54
3. Resultados	59
3.1 Leyes I-d-R	59
3.2 Método Racional	62
3.3 Dimensionado de celdas de biorretención.....	68
3.4 Modelación hidrológica-hidráulica.....	70
4. Análisis y discusión de resultados	93
5. Estimación económica de las alternativas	94
6. Conclusiones	97
7. Referencias bibliográficas	99
8. Anexos	101
8.1 Anexo I: Mapas para elaboración de I-d-R (MDPM).....	101
8.2 Anexo II: Planos de la alternativa tradicional	101
8.3 Anexo III: Planos de la alternativa con SUDS.....	101

Índice de figuras

Figura 1.- Ubicación general del área de estudio.....	1
Figura 2.- Pilares en que se basan los SUDS (Ref. 3)	3
Figura 3.- Ubicación de la estación Ezeiza AERO	5
Figura 4.- Conductos pluviales existentes	8
Figura 5.- Esquema de una ciudad esponja. Adaptado de: Departamento de Servicios de Drenaje de Hong Kong (Ref. 8).....	11
Figura 6.- Parque en la intersección de calles Alfonso XIII y Paraguay. Fuente: adaptado de Guía de Diseño del Ayuntamiento de Madrid. (Ref. 10)	12
Figura 7.- Barrio Bon Pastor en Barcelona. Izq.: áreas de biorretención en veredas. Der.: Pavimento permeable y alcorques de infiltración. Fuente: Soto-Fernández, R., Perales-Momparler, S. (Ref. 11).12	
Figura 8.- Izq.: sistema de biorretención. Der.: zanja de infiltración. Ciudad Nueva de Xiam. Fuente: E. Angheben	13
Figura 9.- Derbyshire St. Pocket Park, Londres. Izq.: Jardines de lluvia y pavimento permeable Der.: cuneta de infiltración (Ref. 12).....	13
Figura 10.- Ciudad de Costa Esmeralda. Fuente: Google Earth.....	14
Figura 11.- Izq.: Terraza verde de la escuela “Claudia Falcone”. Der.: Alcorques de infiltración en Paseo Colón y Brasil (Ref. 14).	14
Figura 12.- Ubicación de la CMR en la provincia de Buenos Aires. Fuente: Google Earth.....	16
Figura 13.- Cuenca Matanza-Riachuelo, partidos y subcuencas involucradas (Ref. 15)	16
Figura 14.- División interna de la CMR (Ref. 15)	17
Figura 15.- Mapa del partido de Esteban Echevarría	18
Figura 16.- Ubicación de la cuenca del A° Ortega	19
Figura 17.- Loteo inicial de la zona (Ref. 17)	21
Figura 18.- Ubicación del área de estudio.....	21
Figura 19.- Uso del suelo en el área de estudio	22
Figura 20.- Nube de puntos del MDT en un sector del área de estudio	23
Figura 21.- Cotas filtradas en un sector del área de estudio.....	23
Figura 22.- Izq.: imagen del año 2002. Der.: imagen del año 2016. Fuente: Google Earth	24
Figura 23.- Cuenca urbana delimitada en el área de estudio.....	24
Figura 24.- Isolíneas de Pmedia intensa para 1 hora de duración	25
Figura 25.- Gráfico de velocidad vs. Pendiente según el tipo de superficie (Ref. 19).....	27
Figura 26.- Pavimento de bloques (Ref. 3)	29
Figura 27.- Cuneta central en Ruta Provincial N° 2, Buenos Aires	30
Figura 28.- Zanja de infiltración (Ref. 3)	30
Figura 29.- Techo verde (Ref. 20)	31
Figura 30.- Desconexión de techo (Ref. 21)	32
Figura 31.- Cisterna de recolección (Ref. 21)	32
Figura 32.- Jardín de lluvia (Ref. 21)	33
Figura 33.- Celda de biorretención (Ref. 3)	34
Figura 34.- Esquema conceptual de descarga de parcelas.....	35
Figura 35.- Esquema de celda de biorretención. Adaptado de: “The SuDS Manual”, CIRIA.....	36
Figura 36.- Izq.: elementos en qGIS. Der.: elementos en SWMM.....	39
Figura 37.- Izq.: información de nodo de calle. Der.: nodo de conducto en SWMM.....	41
Figura 38.- Información de reservorios en SWMM.....	42
Figura 39.- Vinculación de nodo de esquina a reservorio	43
Figura 40.- Variables en el método de abstracciones del S.C.S. (Ref. 22)	44
Figura 41.- Mapa geomorfológico de la provincia de Buenos Aires. Fuente: SEGEMAR	46
Figura 42.- Porcentajes de impermeabilidad de las subcuencas	47
Figura 43.- Discretización de subcuencas en el SWMM (Modelo SUDS-BR).....	47

Figura 44.- Sección de calle pavimentada en SWMM (en azul la calle y sus cunetas y en naranja, las veredas).....	48
Figura 45.- Sección rectangular en SWMM.....	48
Figura 46.- Sumidero para calle pavimentada en SWMM	49
Figura 47.- Diagrama conceptual de una celda de biorretención. Adaptado de: “Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1”, EPA.....	50
Figura 48.- Parámetros de la capa superficial en SWMM	51
Figura 49.- Parámetros de la capa de suelo en SWMM	52
Figura 50.- Parámetros de la capa de almacenamiento en SWMM.....	53
Figura 51.- Parámetros del dren en SWMM	53
Figura 52.- Parámetros asignados a las subcuencas de las celdas en SWMM	54
Figura 53.- Ubicación de la desembocadura	56
Figura 54.- Identificación de tramos de conductos.....	57
Figura 55.- Ubicación de las esquinas críticas	58
Figura 56.- Coeficiente de escorrentía (Ref. 23).....	62
Figura 57.- Planimetría con subcuencas urbanas.....	63
Figura 58.- Gráfico de velocidad vs. Pendiente según el tipo de superficie (Ref. 19)	64
Figura 59.- Identificación de tramos de conductos.....	66
Figura 60.- Corte de celda	69
Figura 61.- Valores de CN para condiciones de humedad antecedente normales (Ref. 22)	72
Figura 62.- Tabla de valores para suelos típicos (Ref. 23)	73
Figura 63.- Succión en el frente húmedo (Ref. 23).....	73
Figura 64.- Izq.: Modelo TRAD-SE. Der.: Modelo SUDS-BR	75
Figura 65.- Altura de agua en calle para ambas alternativas – R1,01-d1.....	83
Figura 66.- Altura de agua en calle para ambas alternativas – R2-d1.....	84
Figura 67.- Altura de agua en calle para ambas alternativas – R5-d1.....	85

Índice de gráficos

Gráfico 1.- Serie de precipitaciones diarias registradas en la EM-Ezeiza Aero (SMN)	5
Gráfico 2.- Leyes de intensidad en función de la duración (para recurrencias de 2,5 y 10 años)	6
Gráfico 3.- Leyes de intensidad en función de la recurrencia (d=cte).....	6
Gráfico 4.- Temperaturas medias anuales EM-Ezeiza Aero (SMN)	7
Gráfico 5.- Leyes de intensidad en función de la duración (R=cte).....	61
Gráfico 6.- Leyes de intensidad en función de la recurrencia (D=cte)	61
Gráfico 7.- Hietograma de diseño según Bloques Alternos (R2d1).....	70
Gráfico 8.- Hietograma de verificación según Bloques Alternos (R5d1)	70
Gráfico 9.- Hietograma de diseño según Bloques Alternos (R1,01-d1).....	71
Gráfico 10.- Hidrogramas en la descarga pluvial – R1,01-d1	76
Gráfico 11.- Hidrogramas en la descarga pluvial – R2-d1	77
Gráfico 12.- Hidrogramas en la descarga pluvial – R5-d1	77
Gráfico 13.- Variables de la primera celda de la serie – R1,01-d1	88
Gráfico 14.- Variables de la última celda de la serie – R1,01-d1	89
Gráfico 15.- Parámetros de una celda en paralelo – R1,01-d1	89
Gráfico 16.- Variables de la primera celda de la serie – R2-d1	90
Gráfico 17.- Parámetros de la última celda de la serie – R2-d1	90
Gráfico 18.- Parámetros de una celda en paralelo – R2-d1	91
Gráfico 19.- Variables de la primera celda de la serie – R5-d1	91
Gráfico 20.- Variables de la última celda de la serie – R5-d1.....	92
Gráfico 21.- Variables de una celda en paralelo – R5-d1	92

Índice de tablas

Tabla 1.- Rangos de variación para la capa de suelo.....	36
Tabla 2.- Rangos de variación para la capa de almacenamiento	37
Tabla 3.- Clasificación de los Grupos Hidrológicos. Adaptado de: F. Gáspari; “Elementos para la Gestión de Cuencas Hidrográficas”	45
Tabla 4.- Pmedia y CV para duraciones de 1 y 12 horas	59
Tabla 5.- Valores de precipitación e intensidad f(R) para duraciones de 1 y 12 horas	60
Tabla 6.- Valores de intensidad en mm/h para diferentes recurrencias y duraciones	60
Tabla 7.- Parámetros principales de las subcuencas de aporte	65
Tabla 8.- Extracto de planilla de cálculo (CxA)	65
Tabla 9.- Características de los conductos pluviales según el Método Racional Clásico	67
Tabla 10.- Características de los conductos pluviales finales.....	68
Tabla 11.- Parámetros adoptados para la capa superficial	73
Tabla 12.- Parámetros adoptados para la capa de suelo	74
Tabla 13.- Parámetros adoptados para la capa de almacenamiento.....	74
Tabla 14.- Parámetros introducidos en una celda en serie.....	75
Tabla 15.- Volúmenes del área de estudio. Eventos de 1 hora de duración.....	76
Tabla 16.- Volúmenes del área de estudio. Eventos de 1 hora de duración.....	76
Tabla 17.- Volúmenes en la descarga pluvial	77
Tabla 18.- Capacidad y tirante máximo de los conductos – R1,01-d1	78
Tabla 19.- Capacidad y tirante máximo de los conductos – R2-d1	79
Tabla 20.- Capacidad y tirante máximo de los conductos – R5-d1	80
Tabla 21.- Eficiencia y reducción del tirante en los conductos	81
Tabla 22.- Valores de agua en calle – R1,01-d1.....	81
Tabla 23.- Valores de agua en calle – R2-d1.....	82
Tabla 24.- Valores de agua en calle – R5-d1.....	82
Tabla 25.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R1,01-d1	85
Tabla 26.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R2-d1	86
Tabla 27.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R5-d1	86
Tabla 28.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en paralelo; d = 1 hora.....	86
Tabla 29.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R1,01-d3	86
Tabla 30.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R2-d3.	87
Tabla 31.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R5-d3.	87
Tabla 32.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en paralelo	87
Tabla 33.- Tiempos de agua en superficie, vaciado y desborde en las celdas.	93
Tabla 34.- Cómputo y estimación de costos de la alternativa tradicional	95
Tabla 35.- Cómputo y estimación de costos de la alternativa sustentable.....	96
Tabla 36.- Incidencia de costos	97

1. Introducción

El presente informe corresponde al Trabajo Final de la carrera de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Nacional de La Plata, titulado “Diseño de un Sistema de Desagües Urbanos Sostenibles (SUDS) en un barrio del conurbano bonaerense”.

El lugar elegido como estudio de caso corresponde a un barrio situado en el sudoeste de la localidad de Monte Grande, en el partido de Esteban Echeverría. El área de estudio pertenece a la cuenca media del arroyo Ortega (sobre su margen derecha) y se extiende sobre un área de 46,4 ha. Particularmente se trata de un barrio residencial en proceso de expansión, como se muestra en la Figura 1:

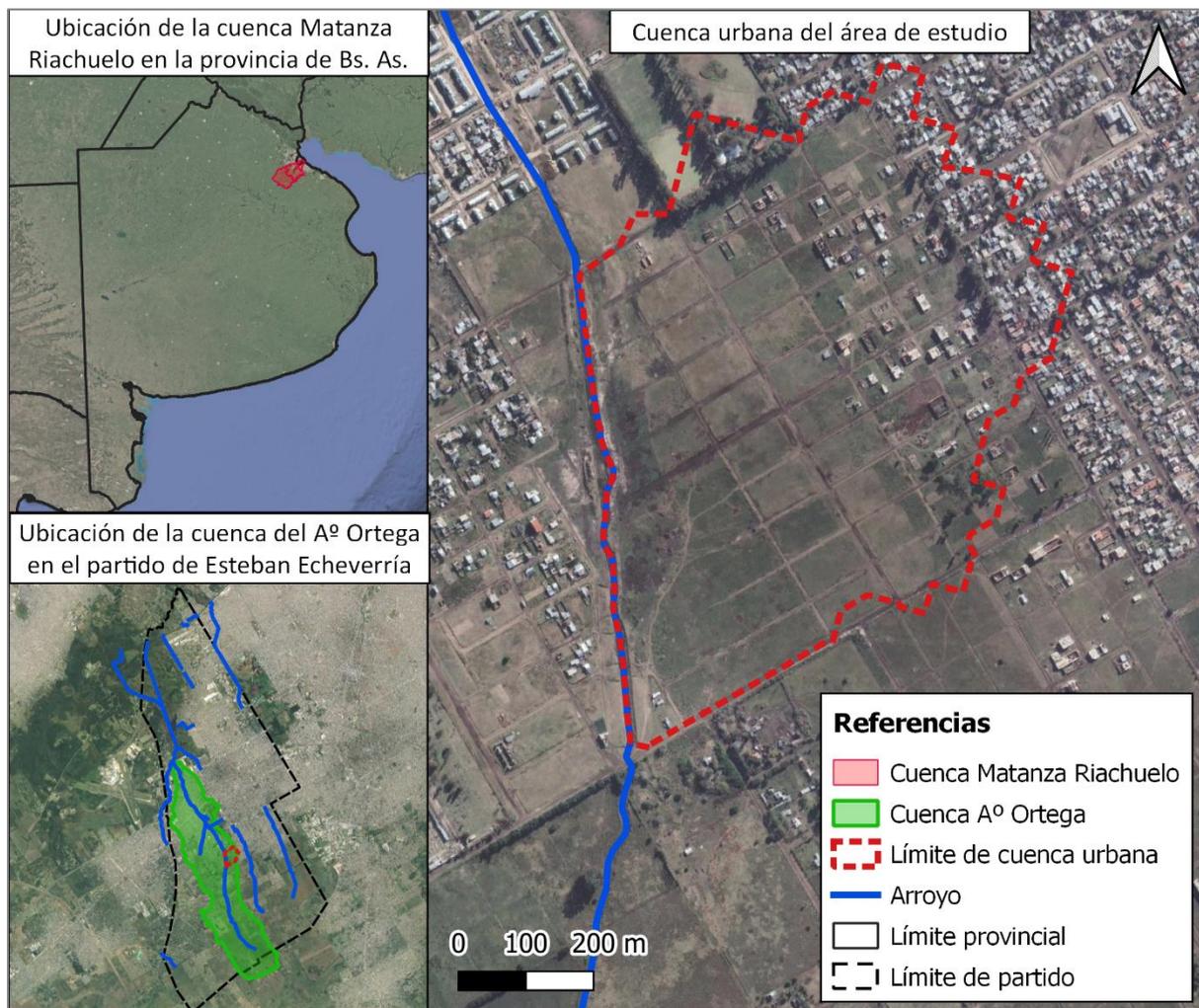


Figura 1.- Ubicación general del área de estudio

La elección de trabajar en dicho lugar y el interés en abordar este tema surgen a raíz del “Programa de Desarrollo de Acciones para la Reducción del Riesgo de Inundaciones en el partido de Esteban Echeverría” (Programa DAPRRI-EE) que la Unidad de Investigación, Desarrollo y Extensión en Hidrología (UIDET Hidrología) llevó a cabo entre los años 2017 y 2021, y en la cual me desempeñé como becaria.

El objetivo del trabajo es proyectar una red de desagües pluviales a partir de la aplicación de una metodología no convencional, que contemple distintas tipologías de SUDS, de manera que permita evaluar su funcionamiento, viabilidad y costos asociados.

Tradicionalmente, para mitigar los impactos de las inundaciones urbanas, los sistemas de drenaje convencionales han tenido como objetivo captar las aguas pluviales y conducirlos de manera lo más rápida posible fuera del ejido urbano, hacia aguas receptoras capaces de absorber dicho aporte. A esta práctica, que no contempla la calidad con la que se vierten los excedentes hídricos, se le suma la tendencia de estudiar las soluciones de manejo del agua pluvial de manera localizada, limitando el estudio exclusivamente al área urbana analizada ignorando los efectos del desagüe pluvial hacia “aguas abajo”. En ese contexto es que aparece a fines del siglo XX el concepto de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenibles (denominados SUDS) cuyo objetivo principal es controlar los excedentes pluviales “en origen”, es decir, donde la precipitación se produce, a través de fenómenos propios del ciclo hidrológico como la infiltración, la detención superficial, la evapotranspiración, entre otros.

Algunas de las tipologías de SUDS más conocidas son:

- Áreas de biorretención
- Pavimentos permeables
- Aljibes o depósitos de aprovechamiento
- Cubiertas verdes (o vegetadas)
- Alcorques de infiltración
- Estructuras de retención (pozos, zanjas, depósitos)
- Drenes filtrantes
- Cunetas vegetadas

Los SUDS se basan en cuatro pilares fundamentales, como son: cantidad del agua, calidad del agua, biodiversidad y comodidades (Ref. 3) (ver Figura 2). Para gestionar todos ellos, el diseño de los SUDS tiene por objetivos:

- Considerar el agua de escorrentía como un recurso.
- Gestionar el agua precipitada en las proximidades de donde cae.
- Gestionar la escorrentía en la superficie.
- Permitir el encharcamiento.
- Promover la evapotranspiración.
- Enlentecer y almacenar la escorrentía de manera de simular condiciones naturales del escurrimiento.
- Reducir y tratar la contaminación de la escorrentía.

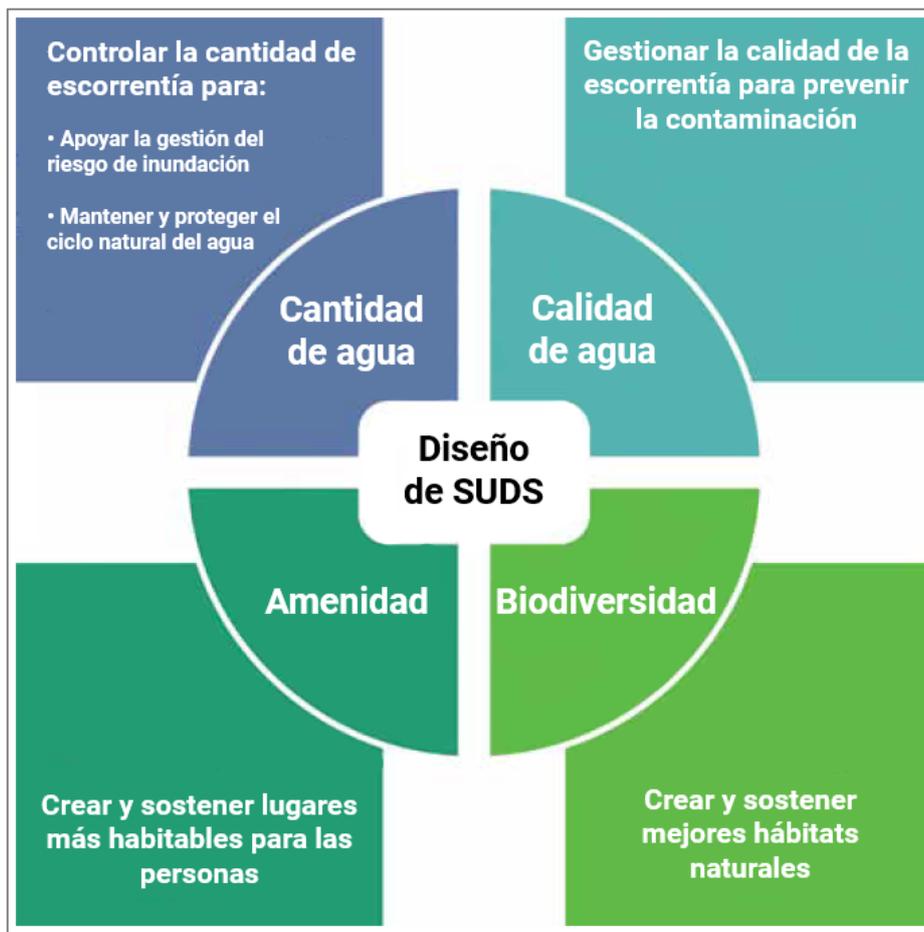


Figura 2.- Pilares en que se basan los SUDS (Ref. 3)

Siguiendo esta línea, el proyecto se propuso abordar las siguientes cuestiones para lograr el objetivo especificado:

- Diseño preliminar de una red de desagües pluviales a partir de una metodología convencional de drenaje urbano.
- Recopilación y análisis del estado de conocimiento actual de estas metodologías de drenaje urbano sustentable, experiencias internacionales y nacionales.
- Análisis, propuesta de diseño y cálculo del sistema que contemple la implementación de SUDS, con el fin de comparar su eficiencia y costo respecto de la alternativa convencional o tradicional.
- Evaluación del funcionamiento de la alternativa con SUDS: caudales evacuados y parámetros de diseño (precipitación, recurrencia, etc.) mediante la modelación matemática hidrológica-hidráulica.
- Estimación de costos asociados.

Las disciplinas directamente involucradas en el presente Trabajo son: Hidrología urbana, Hidráulica y Topografía.

2. Metodología

La metodología de trabajo consistió, en primer lugar, en la recopilación de los antecedentes disponibles respecto a los SUDS, las experiencias internacionales y nacionales. Se analizó la bibliografía existente, comprendiendo en su mayoría manuales o guías para el diseño. Por otro lado se recabaron todos los datos de utilidad al Trabajo, como los relacionados a la topografía y a las precipitaciones características de la zona.

Luego se realizó la caracterización del área de estudio, su entorno inmediato y su área de referencia, esto es, se describió no sólo el área en la que se diseñó el Sistema de Drenaje Urbano Sustentable y el convencional, sino también la cuenca y el partido en que se inserta.

El siguiente paso consistió en el planteo y diseño de la alternativas tradicional y de la sustentable de desagües, para luego realizar la modelación hidrológica-hidráulica de las mismas.

Por último, a partir de la modelación fue posible obtener y analizar los resultados de ambas alternativas para efectuar las comparaciones correspondientes.

Las herramientas que se utilizaron se indican a continuación:

- Sistema de Información Geográfica quantumGIS (qGIS)
- Storm Water Management Model (SWMM)
- Planillas de cálculo
- Herramientas de dibujo asistido por computadora

2.1 Recopilación y análisis de antecedentes

2.1.1 Antecedentes vinculados al Trabajo Final

La mayoría de los antecedentes que se han recopilado respecto a datos topográficos, meteorológicos y poblacionales, pertenecen a distintos organismos públicos, pero se hallaron disponibles en su casi totalidad (salvo que se indique lo contrario) en la Etapa I del “Programa de Desarrollo de Acciones para la Reducción del Riesgo de Inundaciones en el partido de Esteban Echeverría” (Programa DAPRRI-EE), el cual ha sido desarrollado por el grupo de trabajo de la Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia en Hidrología (UIDET-Hidrología) del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería (FI – UNLP).

A continuación se mencionan cuáles fueron los datos recopilados y qué ente u organismo los proporcionó al Programa:

Datos topográficos

Conocer la topografía de la zona de estudio permitió identificar el sentido de escurrimiento del agua, las subcuencas de aporte y los puntos de descarga de los excedentes hídricos. La información obtenida, generalmente en formato “shape” (para qGIS) o “.dwg” (para CAD), fue la siguiente:

- **Un Modelo Digital del Terreno (MDT)**, es decir, una representación de la topografía en forma de puntos distribuidos uniformemente sobre la superficie (en este caso con una precisión de 5 m) con su altura referida al nivel del mar.
- **Plano** en formato “.dwg” del partido, provisto por la Subsecretaría de Planificación, Gestión y Desarrollo Territorial del municipio, conteniendo capas de información actualizadas al año 2019 (tipos de calles, arroyos, conductos existentes y proyectados, entre otros).

Datos meteorológicos e hidrológicos

Precipitaciones

En cuanto a la información hidrometeorológica, si bien se contó con mediciones de distintas estaciones meteorológicas ubicadas tanto en el propio partido como en sus alrededores, dada la longitud de la serie (más de 30 años) y su calidad, se optó por tomar los datos de la Estación Ezeiza Aero del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). A continuación se muestra la ubicación de la misma en la Figura 3:



Figura 3.- Ubicación de la estación Ezeiza AERO

De las mediciones registradas en la estación, una de las variables de mayor interés es la precipitación, para conocer cómo es su distribución a lo largo de los años. En el Gráfico 1 se muestra la precipitación diaria registrada desde el año 1956 hasta el año 2016 inclusive:

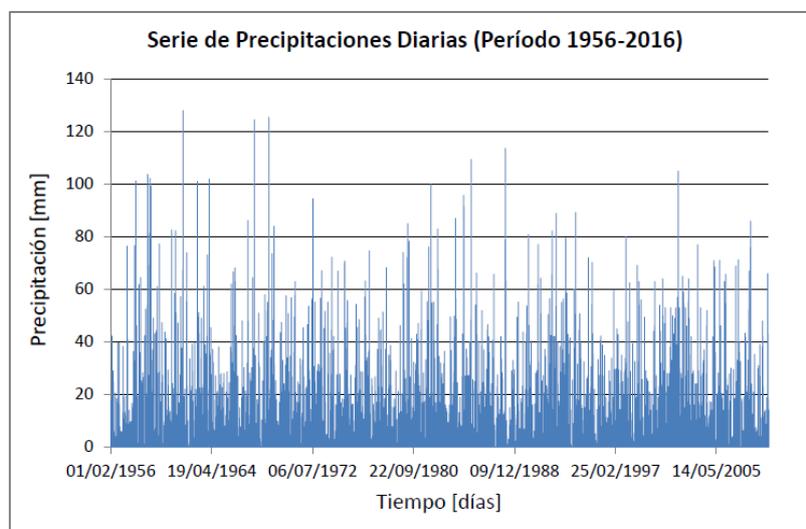


Gráfico 1.- Serie de precipitaciones diarias registradas en la EM-Ezeiza Aero (SMN)

Leyes Intensidad – Duración – Recurrencia

Para establecer la precipitación de diseño con la cual se verificarán los componentes de SUDS es necesario conocer las leyes de Intensidad – Duración – Recurrencia representativas del partido de Esteban Echeverría. En el presente trabajo se utilizaron las leyes propuestas por el “Manual Para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbano”, elaborado por la Secretaría de Obras Públicas de la Nación (Ref. 2). En los Gráficos 2 y 3 se muestran las leyes obtenidas para Esteban Echeverría:

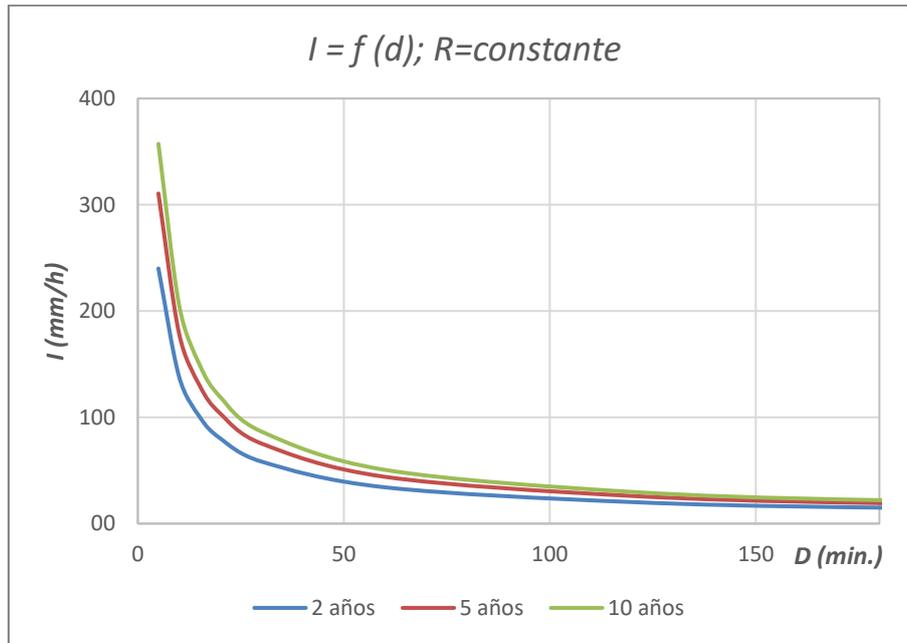


Gráfico 2.- Leyes de intensidad en función de la duración (para recurrencias de 2,5 y 10 años)

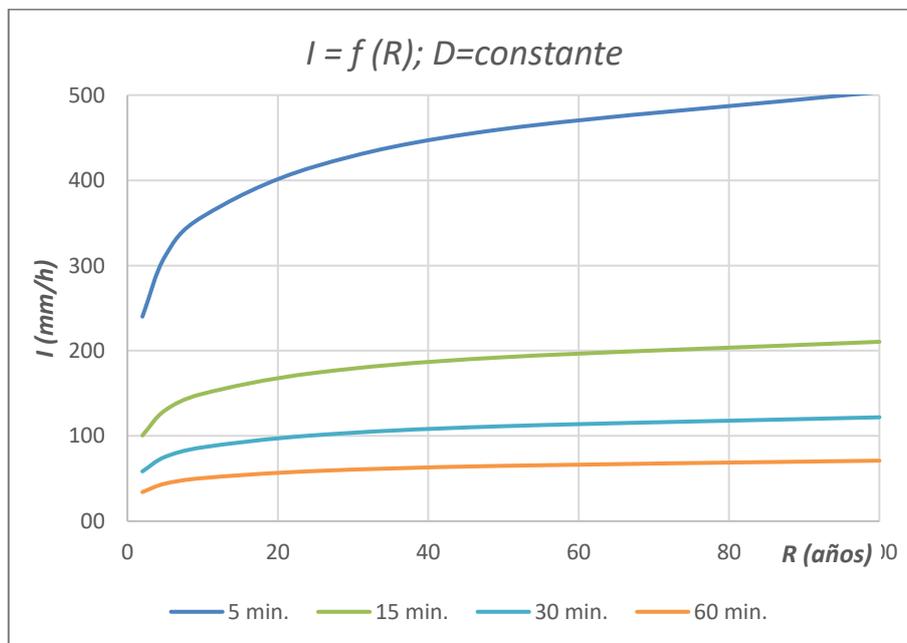


Gráfico 3.- Leyes de intensidad en función de la recurrencia (d=cte)

Una vez obtenidas estas relaciones fue posible establecer la lluvia de diseño por el método de los bloques alternos.

Temperaturas

Respecto a las temperaturas registradas en la estación, se observa en el Gráfico 4 de temperaturas máximas medias anuales que existe una tendencia en aumento, lo cual ocurre también para las temperaturas mínimas medias anuales:

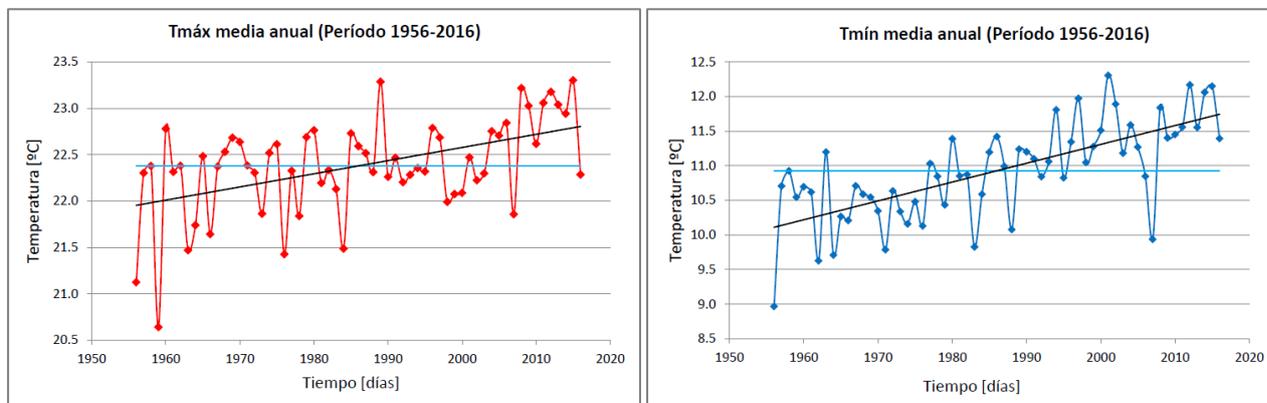


Gráfico 4.- Temperaturas medias anuales EM-Ezeiza Aero (SMN)

Es decir, que a lo largo de los años se registran inviernos menos fríos y veranos más calurosos. Si bien en el presente trabajo no puede constatar el grado de correlación entre estos fenómenos y la incidencia del cambio climático antropogénico, sí es conocido el aumento de temperatura que éste tiene en las urbanizaciones, denominado como efecto de “isla de calor”. Por lo tanto, planificar los futuros espacios destinados a usos residenciales con una perspectiva ambiental resulta apremiante y en este sentido, los SUDS refuerzan dicho concepto al permitir intervenir en las urbanizaciones actuales y futuras de manera sustentable, minimizando los impactos negativos que surgen producto de las actividades humanas.

Desagües pluviales

En la Etapa I del Programa DAPRRI pudo generarse un inventario detallado de los desagües pluviales del partido, contemplando aquellos que estaban ejecutados, proyectados y anteproyectados y con información de sus trazas, secciones y dimensiones.

Al año 2019, se contaba con documentación provista por la Secretaría de Obras Públicas del municipio de Esteban Echeverría, conformada por anteproyectos y proyectos de obras de desagüe, algunos planos conforme a obra de los últimos desagües ejecutados y un plano con la ubicación de ciertas obras de las que se tenía algún grado de conocimiento. Así mismo, en el Programa se recopilaban antecedentes de obras y proyectos provenientes de otros entes como la Dirección Provincial de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires (DPH), la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires (DVBA) y el Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires (IVBA). Toda esta información fue digitalizada, georreferenciada (asignación de coordenadas espaciales) e incorporada a un Sistema de Información Geográfica (SIG), de manera de facilitar su identificación, clasificación según criterios preestablecidos y actualización en caso de realizarse nuevas obras.

Por último, se consultó a la Secretaría de Obras Públicas del municipio sobre el estado actual en materia de desagües, para constatar si al día de la fecha no hay desagües pluviales en el área a diseñar los componentes de SUDS o se prevé la ejecución de nuevos. A continuación, se muestra en la Figura 4 los conductos pluviales ejecutados hasta el año 2019:

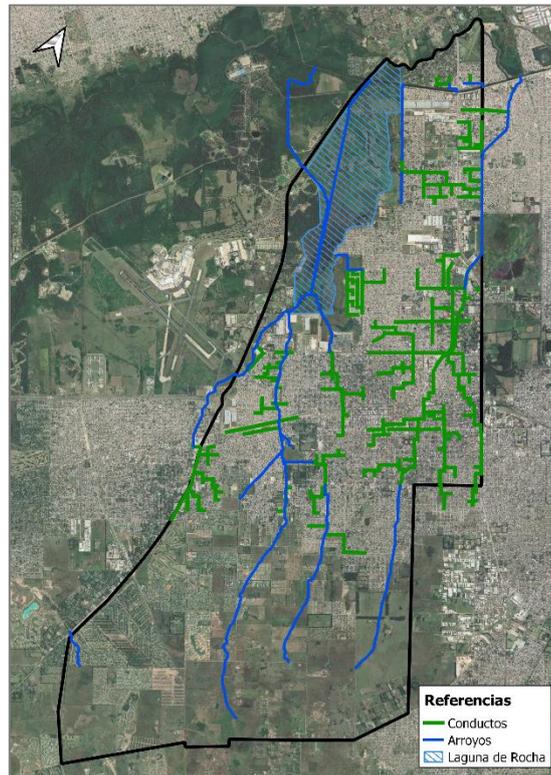


Figura 4.- Conductos pluviales existentes

Infiltración

La infiltración es uno de los fenómenos hidrológicos de mayor interés para los componentes de desagües sustentables dado que su principio de funcionamiento es el control “en origen” de la precipitación, dando preponderancia a los fenómenos naturales del ciclo hidrológico. Se obtuvo entonces la siguiente información sobre las características de los suelos presentes en la zona de estudio:

- **Mapa de suelos del Área Metropolitana Bonaerense**, del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) en formato “.pdf”.
- **Publicación “Suelos de la Argentina. Geografía de suelos, factores y procesos formadores”**: se trata de una publicación en conjunto del SEGEMAR, la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA) y la Asociación Argentina Ciencia del Suelo (AACS). Describe para todo el territorio nacional la taxonomía de los suelos y las regiones de los mismos (Ref. 32).
- **Publicaciones específicas** de parámetros de infiltración de los distintos tipos de suelos, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (UBA).

Datos catastrales

La zona a diseñar los componentes de desagües se asienta en la periferia del partido con un grado de urbanización casi nulo. Para el Trabajo fue de interés conocer la disponibilidad de espacio de dominio público en el que puedan diseñarse componentes de SUDS para el beneficio comunitario, haciendo hincapié en los espacios libres en veredas y áreas verdes. Para ello se cuenta con la siguiente documentación provista por la Subsecretaría de Planificación, Gestión y Desarrollo Territorial del municipio:

- Plano en formato “.pdf” de la división del partido según los usos del suelo.

- Código de Planeamiento Urbano del municipio de Esteban Echeverría, texto normativo.

Además, se cuenta con la ordenanza N° 3337/CD/89 del municipio que establece los retiros de frente, fondo y laterales para predios.

También se consultó a la Subsecretaría por datos de parcelamiento en la zona de estudio.

2.1.2 Antecedentes sobre Sistemas Urbanos de Desagües Sustentables (SUDS)

Con el fin de ahondar en la temática de los SUDS, conocer los principios en que se basan, los procedimientos de diseño y cálculo empleados, así como las diversas tipologías que se pueden proyectar, se recurrió a la siguiente bibliografía disponible en las páginas web de organismos encargados de difundir y/o implementar la metodología SUDS en sus respectivos países:

“The SuDS Manual” de Woods Ballard et al.

Elaborado por la Asociación de Información e Investigación de la Industria de la Construcción (CIRIA por sus siglas en inglés), un organismo independiente y sin fines de lucro ubicado en Londres. Este manual es una herramienta útil para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de Sistemas de Drenaje Sustentable (SUDS) tanto en desarrollos urbanos existentes como en aquellos a proyectar (Ref. 3).

El enfoque es maximizar los beneficios de biodiversidad y amenidad (entendiendo a ésta como la cualidad de algo de ser atractivo o útil) y cumplir con los objetivos clave de la gestión del riesgo de inundaciones y de la calidad del agua que propone. En resumen, el manual tiene como premisa que los SUDS sean diseñados en pos de maximizar los beneficios y oportunidades que la gestión del agua superficial puede asegurar.

Así mismo, cubre aspectos tales como recomendaciones de dimensionado de una vasta cantidad de componentes de SUDS, materiales a emplear, diseño paisajístico, mantenimiento, compromiso de la comunidad en la planificación territorial y análisis de costos y beneficios. A continuación se mencionan algunas de las tipologías abarcadas por el manual:

- Áreas de biorretención
- Pavimentos permeables
- Aljibes o depósitos de aprovechamiento
- Cubiertas verdes (o vegetadas)
- Alcorques de infiltración
- Estructuras de retención (pozos, zanjas, depósitos)
- Drenes filtrantes
- Cunetas vegetadas

“Manual de Desarrollo de Bajo Impacto para el sur de California: Pautas Técnicas y Estrategias de Planificación del Sitio” del Centro de Desarrollo de Bajo Impacto.

Este manual provee una serie de guías para la planificación y diseño para el Desarrollo de Bajo Impacto (LID por sus siglas en inglés), que es el equivalente norteamericano a la metodología SUDS que se ha difundido en Europa. Dada la variabilidad en las condiciones y regulaciones legales de las zonas que integran el sur de California, las recomendaciones que se proponen son de carácter general.

Ofrece detalles sobre cómo abordar los principios de la metodología LID para reducir los impactos de desarrollos urbanos en los recursos hídricos a nivel de proyecto; pautas para municipios, planificadores de uso del suelo, consultores, profesionales encargados en la preparación de planes de drenaje y otros involucrados en la industria privada y la provisión de servicios públicos (Ref. 4).

“SUDS for Roads” (“SUDS para carreteras”) de la consultora “WSP” dedicada al transporte y la infraestructura.

Esta publicación, elaborada por diversos entes de Escocia, contempla en el diseño vial aspectos de los SUDS que hagan de las calles verdaderos elementos multifuncionales y no sólo superficies de rodamiento. Tiene como objetivo guiar a los profesionales involucrados en el diseño de vías para que incorporen componentes de SUDS que mejor se ajusten a cada tipo de calle a costos razonables.

Provee criterios de diseño y selección de SUDS; guías para la construcción, operación y mantenimiento; procedimientos legales para la adopción de SUDS en Escocia; reacondicionamiento de calles convencionales existentes y su factibilidad técnica; factores que afectan a los costos.

Habiendo presentado estas breves reseñas, cabe aclarar que los manuales de diseño indicados anteriormente fueron recomendados en el “Curso-Seminario en Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)” dictado por la Dra. Ing. Perales-Momparler Sara, organizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires en el año 2019. Además, la cantidad de manuales de diseño y bibliografía respecto a los SUDS que actualmente existe es elevada, variada y responde a las necesidades de cada lugar o región.

Experiencias internacionales

Previo a indicar ejemplos de lugares en los que se ha diseñado según el concepto de drenaje sustentable, es necesario hacer algunas aclaraciones sobre ciertas terminologías asociadas al mismo a fin de evitar confusiones en las definiciones.

En la década de 1970 apareció en Estados Unidos la preocupación por la contaminación difusa en las aguas pluviales lo que derivó en años posteriores en la Ley de Agua Limpia (Clear Water Act) que “establece la estructura básica para regular los vuelcos de contaminantes y regular los estándares de calidad para las aguas superficiales” (Ref. 5).

La concientización progresiva respecto de la necesidad de mejorar la calidad del agua dio lugar a la aparición del concepto de “Mejores Prácticas de Manejo”, o en inglés, “Best Management Practices” (BMP). Actualmente el término se utiliza principalmente en Estados Unidos y Canadá para describir el enfoque estructurado de prevención de la contaminación, a partir de la implementación de medidas estructurales y no estructurales para el tratamiento de las aguas superficiales. Desde el desarrollo de las BMP, varios estados y gobiernos locales han adoptado un gran número de leyes, normativas y ordenanzas para fomentarlas u obligar a su utilización.

Por otro lado, en esos mismos años apareció también el término “Desarrollo de Bajo Impacto”, “Low Impact Development” (LID) en inglés, más comúnmente usado en Norte América y Nueva Zelanda, cuyo enfoque es alcanzar condiciones naturales de escurrimiento en áreas urbanas, imitando los procesos naturales que se daban previo a la urbanización (de escorrentía, infiltración y evapotranspiración). Este enfoque desalentaba las soluciones de gran escala al final de la cuenca (donde se disponían grandes volúmenes de retención) para promover la restauración del balance hidrológico natural en la totalidad de la misma, a partir de dispositivos de tratamiento a menor escala y localizados en las inmediaciones de donde la escorrentía se producía. Ya desde finales de los años 90 y hasta la actualidad el término LID refiere a cualquier conjunto de prácticas que trate las aguas pluviales (Ref. 6).

Un proceso similar se produjo en Australia a finales de la década de los 90, que cuenta en la actualidad con normativa y manuales de diseño propios pero utiliza otro término (aunque con el mismo enfoque y objetivos) conocido como Diseño Urbano Sensible al Agua, o del inglés, “Water Sensitive Urban Design” (WSUD).

En cambio, en Europa, la gestión de las escorrentías urbanas se ha centrado en el control de las inundaciones, y no ha sido hasta el año 2000 aproximadamente cuando se empezó a tomar conciencia del problema de la contaminación difusa. Es en esos años en el Reino Unido, que el término “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible” (SUDS) o “Sistemas de Drenaje Sostenible” (SuDS), se formaliza con la publicación de los manuales de diseño aplicando esta metodología para Escocia, Irlanda del Norte, Inglaterra y Gales. A partir de entonces, los SUDS se definieron como el conjunto de criterios combinados de cantidad y calidad del agua, intentando maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de las actuaciones (criterios de amenidad y biodiversidad que se comentarán más adelante). El uso de las diferentes técnicas SUDS está más extendido en los países del centro y norte de Europa que en la zona sur, donde las tipologías empleadas varían entre países (Ref. 7).

Por último, se menciona el caso de ciudades de China que en la década del 2000 comienzan a hacer uso del concepto “ciudad esponja”, un enfoque moderno de la gestión de aguas pluviales que colabora en la solución de problemas de drenaje, utilizando los recursos del ambiente y promoviendo el desarrollo sustentable. De esta manera, se busca combatir el cambio climático en nuevos desarrollos urbanos y mejorar su resiliencia a las inundaciones mediante fenómenos naturales como la infiltración, retención, almacenamiento, purificación y reúso. Para promover estos fenómenos se implementan elementos del drenaje sostenible (como cubiertas verdes y pavimentos permeables), se revitalizan los cuerpos de agua, se construyen estructuras de retención, entre otros (Ref. 8). En la Figura 5 se muestra el esquema de una “ciudad esponja”:



Figura 5.- Esquema de una ciudad esponja. Adaptado de: Departamento de Servicios de Drenaje de Hong Kong (Ref. 8)

Por otro lado, la infraestructura verde puede definirse, en términos generales, como una red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos. La

infraestructura verde está compuesta por una amplia gama de diferentes elementos medioambientales que pueden operar a distintos niveles, desde pequeños elementos lineales como setos, escalas de peces o tejados verdes hasta ecosistemas funcionales completos, tales como bosques de llanuras inundables, humedales o ríos que fluyen libremente (Ref. 9).

En resumen, visto que las distintas terminologías tienen similares enfoques y objetivos para el drenaje urbano sustentable, en el presente informe, así como en el desarrollo de este Trabajo Final se hará uso únicamente del término “Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable” (SUDS) para referirse al conjunto de medidas estructurales y no estructurales tendientes a imitar las condiciones naturales de escurrimiento de las áreas urbanas y peri-urbanas. Asimismo, no se hará diferenciación alguna entre los términos “sostenible” y “sustentable”.

A continuación, se muestra en las Figuras 6, 7, 8 y 9 una serie de imágenes que ilustran cómo los distintos componentes de SUDS se aplican a áreas de características diversas (diferentes pendientes, tipos de suelo, grados de urbanización, etc.):

España



Figura 6.- Parque en la intersección de calles Alfonso XIII y Paraguay. Fuente: adaptado de Guía de Diseño del Ayuntamiento de Madrid. (Ref. 10)



Figura 7.- Barrio Bon Pastor en Barcelona. Izq.: áreas de biorretención en veredas. Der.: Pavimento permeable y alcorques de infiltración. Fuente: Soto-Fernández, R., Perales-Momparler, S. (Ref. 11).

China



Figura 8.- Izq.: sistema de biorretención. Der.: zanja de infiltración. Ciudad Nueva de Xiam. Fuente: E. Angheben

Reino Unido

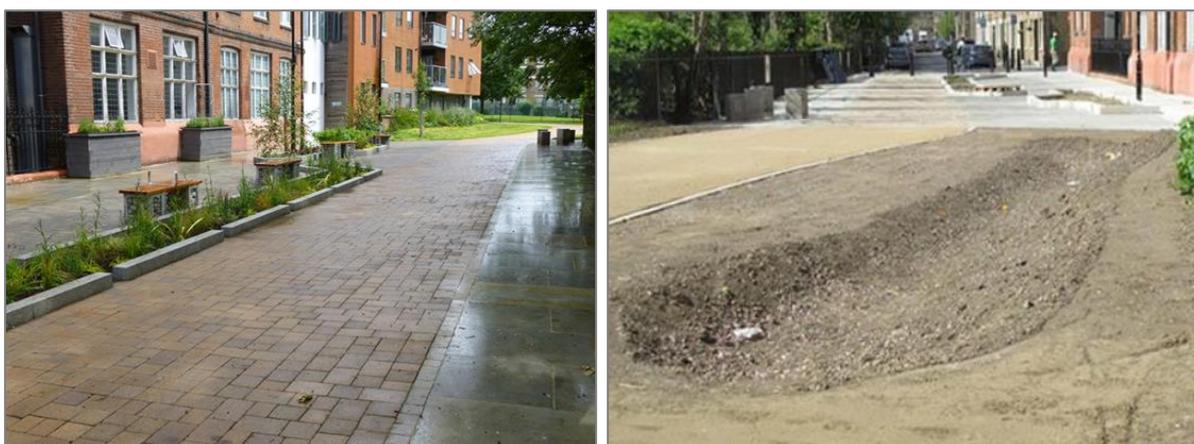


Figura 9.- Derbyshire St. Pocket Park, Londres. Izq.: Jardines de lluvia y pavimento permeable Der.: cuneta de infiltración (Ref. 12).

Experiencias nacionales

En nuestro país, son contadas las experiencias asociadas al drenaje sustentable y en su mayoría surgen como iniciativas para gestionar las aguas pluviales de manera alternativa pero sin existir instrumentos legales que exijan su uso, regularización y mantenimiento.

Un ejemplo de ello es Costa Esmeralda (ver Figura 10), un barrio cerrado de la provincia de Buenos Aires, ubicado en el Km 380 de la Ruta Provincial N°11 en el partido de La Costa (Ref. 13). Su superficie es de 1000 ha aproximadamente y su particularidad reside en que su trazado se compone de 14 barrios interconectados por boulevares, varios espacios comunes, rotondas y cul-de-sac, aptos para disponer componentes de SUDS con superficies de infiltración.



Figura 10.- Ciudad de Costa Esmeralda. Fuente: Google Earth

Por otro lado, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se observan algunas tipologías de SUDS como terrazas y muros verdes, alcorques de infiltración (superficie permeable que rodea a los árboles de las veredas públicas) y pavimentos permeables en plazas (ver Figura 11). En la Ciudad de Buenos Aires, en su mayoría estas tipologías se impulsan considerando al concepto de drenaje urbano sustentable dentro del diseño paisajístico urbano.



Figura 11.- Izq.: Terraza verde de la escuela “Claudia Falcone”. Der.: Alcorques de infiltración en Paseo Colón y Brasil (Ref. 14).

2.2 Caracterización de la zona de estudio

Para poder caracterizar la zona de estudio primero fue necesario comprender el entorno en que se encuentra. En los apartados siguientes se describe el territorio de inserción del área de estudio, primero a escala de partido y luego a escala de cuenca hidrográfica.

2.2.1 Análisis y descripción del área de referencia

El partido de Esteban Echeverría es uno de los 40 partidos que conforman el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), con una extensión de 122 Km² y una población de 300.959 habitantes (según

el Censo Nacional del año 2010). Se divide en 5 localidades y 11 delegaciones municipales, siendo Monte Grande su localidad cabecera:

- Monte Grande (dividido en sus delegaciones norte, centro, sudoeste y sudeste).
- El Jagüel (con delegaciones norte y sur).
- Canning
- Luis Guillón (norte y sur)
- 9 de abril (norte y sur).

El partido se inserta totalmente en la Cuenca del río Matanza-Riachuelo (CMR) que se encuentra bajo la competencia de la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) desde el año 2006 por ley N° 26.168, como respuesta a la “Causa Mendoza” (ver Figuras 12 y 13). Ésta, se inició en 2004 por un grupo de vecinos que presentó una demanda contra el Estado Nacional, la Provincia, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 44 empresas, reclamando la recomposición del ambiente, la creación de un fondo para financiar el saneamiento de la cuenca y un resarcimiento económico por daños y perjuicios. Posteriormente, la misma se amplió hacia los 14 municipios bonaerenses que abarca la Cuenca Matanza Riachuelo, dando origen a la causa “Mendoza, Beatriz Silvia y otros c/ Estado Nacional y otros s/daños y perjuicios (daños derivados de la contaminación ambiental del Río Matanza – Riachuelo)” (Ref. 15).

En ese contexto, la Autoridad de Cuenca lleva adelante desde el año 2009 el Plan Integral de Saneamiento Integral (PISA), cuyo objetivo es desarrollar acciones para la atención de las problemáticas ambientales de la cuenca. Algunas de las que actualmente se llevan a cabo son:

- Red de monitoreo de parámetros ambientales (calidad del agua y del aire) y campañas de aforo.
- Estaciones Meteorológicas (de medición y recolección de datos disponibles en una base de datos virtual).
- Planteo de un Sistema de Indicadores para medir el avance del saneamiento de la cuenca (Índice de Calidad de Vida, Índice de Calidad de Agua, población incorporada al área con servicio de red cloacal, basurales remanentes, entre otros).
- Mapeo de variables de interés (ambientales, sociales, territoriales, etc.) y disponibles en línea (plataforma GIS).

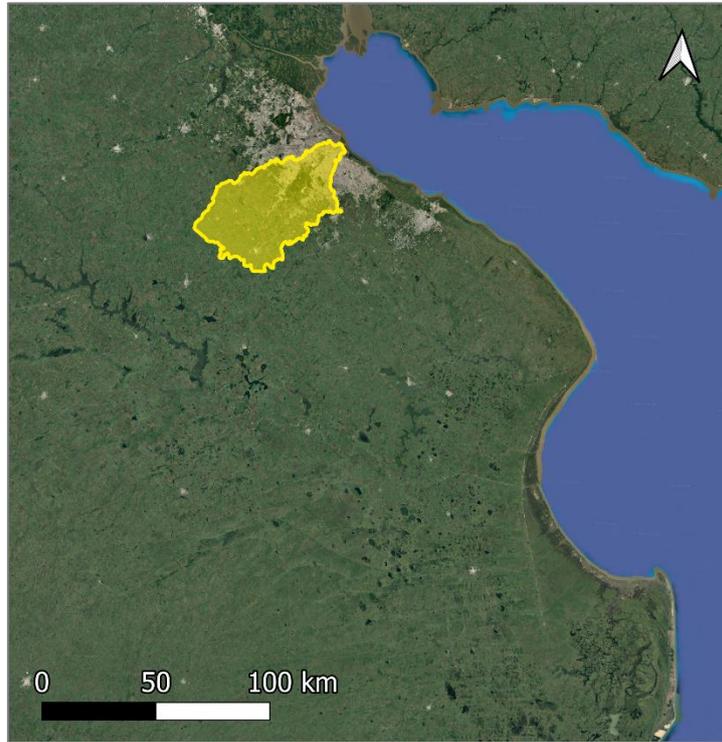


Figura 12.- Ubicación de la CMR en la provincia de Buenos Aires. Fuente: Google Earth

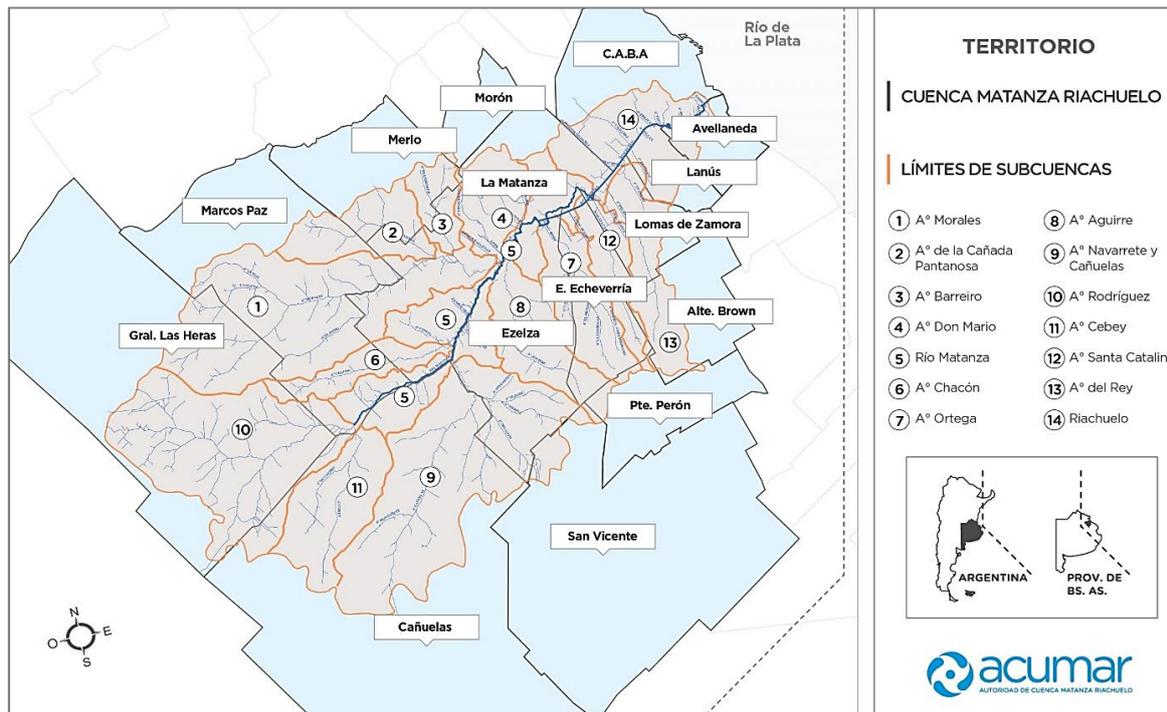


Figura 13.- Cuenca Matanza-Riachuelo, partidos y subcuencas involucradas (Ref. 15)

El río Matanza-Riachuelo es un río de llanura de baja pendiente de régimen pluvial, lo que da lugar a la formación de arroyos (como el Rodríguez, Morales, Ortega, Santa Catalina y Del Rey), que confluyen en el curso principal “Matanza”, luego en su tramo final se denomina “Riachuelo” y finalmente desemboca en el Río de La Plata. La cuenca Matanza-Riachuelo se localiza al noreste de la provincia de Buenos Aires, limita al norte con la cuenca del río Reconquista y al sur con el sistema

Samborombón-Salado, contando con un área aproximada de 2.047 Km². La misma se divide en tres áreas según criterios geográficos, económicos, políticos y sociales:

- Cuenca Alta: predominan las zonas rurales con actividades primarias (agrícola-ganadera) y agroindustrias.
- Cuenca Media: zonas de uso mixto urbano-rural.
- Cuenca Baja: zonas predominantemente urbanas con actividades industriales y de servicios.

En la cuenca viven alrededor de 5.800.000 habitantes, lo que representa un 15% de la población del país y significa, por lo tanto, un gran impacto sobre el ambiente dada la alta densidad poblacional en una pequeña porción del territorio argentino. La cuenca posee también doce Áreas de Protección Ambiental que posibilitan el desarrollo de la biodiversidad y proporcionan servicios ecosistémicos tales como materias primas y alimentos, el control de los excedentes hídricos por su capacidad receptora, la recarga de acuíferos, la mitigación de los impactos negativos del cambio climático, entre otros.

Como se observa en la Figura 14, el partido de Esteban Echeverría se ubica en la Cuenca Media:

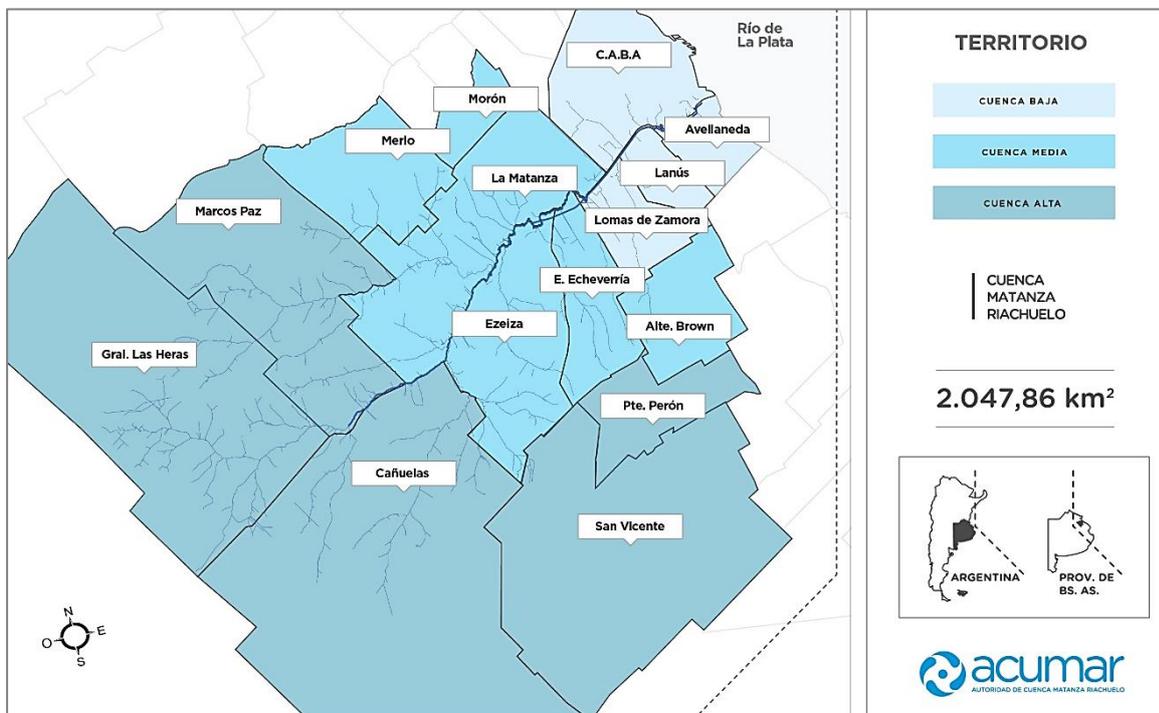


Figura 14.- División interna de la CMR (Ref. 15)

En la Figura 15 se observan las localidades de Esteban Echeverría, los arroyos que lo atraviesan y los partidos limítrofes:

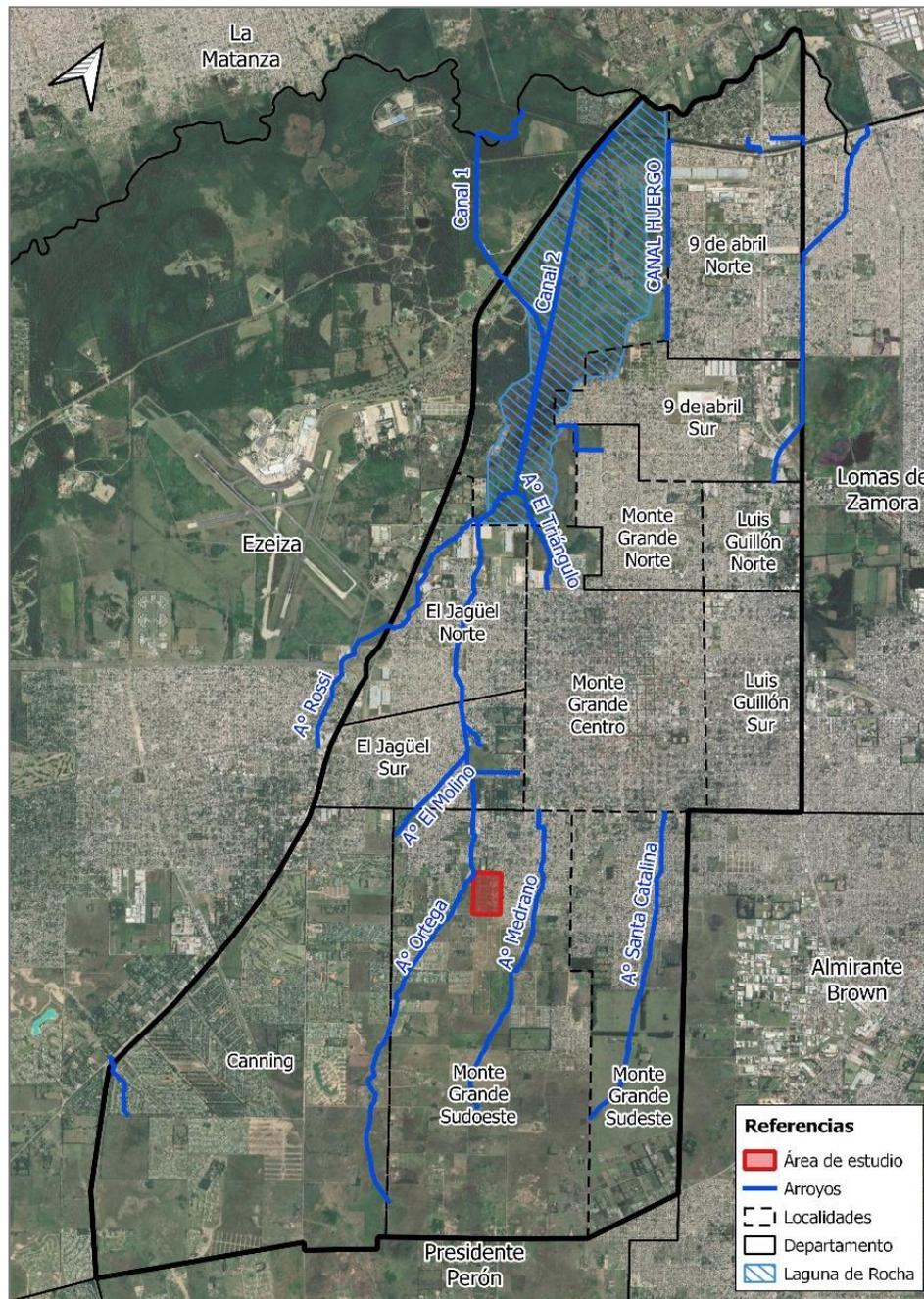


Figura 15.- Mapa del partido de Esteban Echevarría

Como se observa en la imagen anterior, gran parte de los arroyos desembocan en la Laguna de Rocha (una de las doce Áreas de Protección Ambiental), la cual actúa como un reservorio natural hacia donde descargan parte de las localidades de Monte Grande, El Jagüel y Ezeiza. El área de este humedal se extiende hasta una cota de 5 m, lo cual representa aproximadamente un área de 7,84 Km², siendo esa cota de referencia el máximo observado (Ref. 1). Así mismo, el área del partido bajo la mencionada cota es del 15 %, representando 1.831 ha. Las inundaciones y sus múltiples efectos conforman una seria problemática que afecta gravemente a diversos sectores, fundamentalmente a las zonas urbanas. También en estas áreas se producen problemas derivados del ascenso de los niveles freáticos, elevados en el distrito (Ref. 16).

Se observa también un alto grado de urbanización (principalmente en las zonas centro y norte del partido), mientras que en la localidad de Canning predominan los barrios cerrados (lo que disminuye las áreas para uso agrícola) y en Monte Grande Sur todavía las condiciones del territorio permanecen

casi inalteradas (zonas rurales). Sin embargo, este crecimiento urbano ha sido acompañado a lo largo de los años por la ejecución de redes de desagües pluviales, que para el año 2019 cubrían una extensa superficie del partido, como se mencionó anteriormente. Además, la ocupación por parte de asentamientos informales en zonas bajas inundables o en las márgenes de los arroyos constituyen situaciones de significativa vulnerabilidad social.

2.2.2 Análisis y descripción del entorno inmediato

La cuenca de interés para el presente estudio es la del arroyo Ortega, que cuenta con una superficie de 24,6 Km² y descarga sus excedentes hídricos en la Laguna de Rocha. En la Figura 16 se observa que la zona de estudio (en rojo) se ubica casi completamente en dicha cuenca. Sólo un pequeño porcentaje del área (9 % aproximadamente) descarga en el arroyo Medrano.

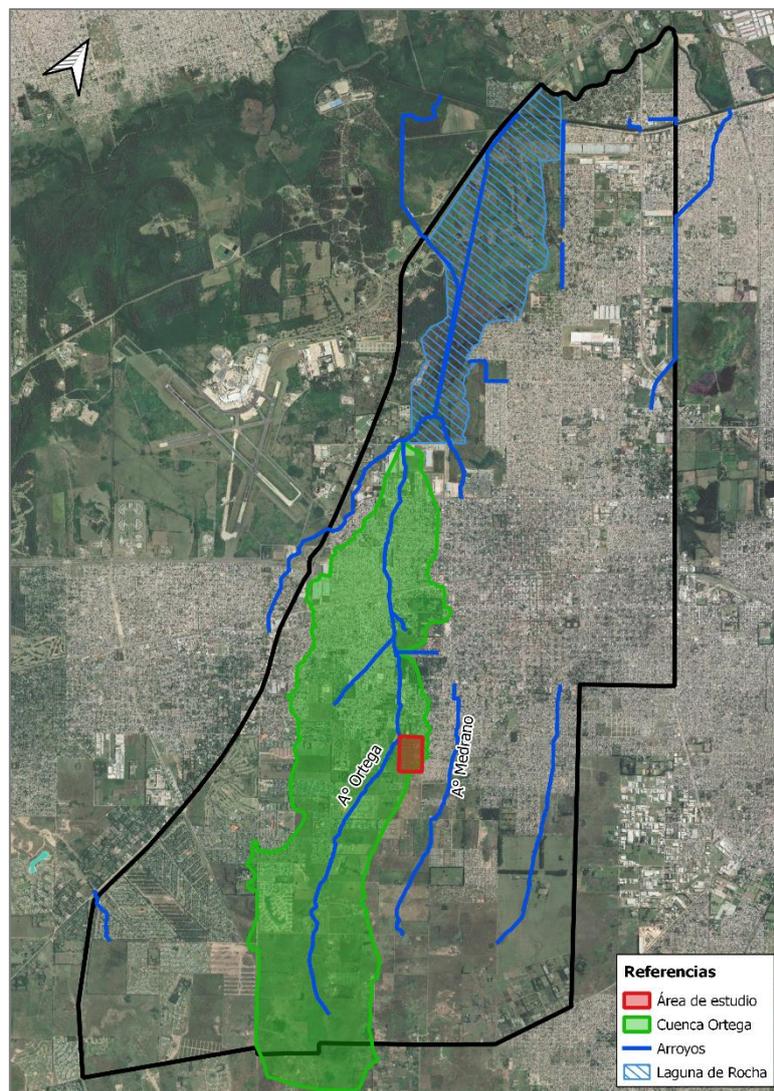


Figura 16.- Ubicación de la cuenca del A° Ortega

Como se mencionara anteriormente, la cuenca del arroyo Ortega no es una excepción en cuanto al relieve de baja pendiente. Para calcular la pendiente media de la cuenca se utilizó la siguiente expresión:

$$PM (\%) = \frac{H \times L}{A} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

“H” es la equidistancia entre curvas nivel en Km.

“L” es la longitud total de las curvas de nivel comprendidas dentro del área de la cuenca en Km.

“A” es el área de la cuenca en Km².

Con el objetivo entonces de obtener las curvas de nivel se hizo uso del software de Sistema de Información Geográfica “qGIS”. Éste trabaja con la información de interés en “capas” que pueden ser de distinta geometría (puntos, líneas, polígonos, imágenes), editarse, encenderse y apagarse según qué se quiera visualizar. Asimismo, permite incorporar una imagen satelital para poder georreferenciar la información incorporada, es decir, asignar las coordenadas espaciales con que se desee trabajar. El modo de construir de manera digital las curvas de nivel es el siguiente: a partir de introducir las cotas del relevamiento como una capa de puntos en el programa, se construye un mapa ráster (en un formato de imagen) constituido por tantos píxeles como puntos haya y luego se obtienen las curvas de nivel especificando la equidistancia deseada con una herramienta que permite extraerlas a partir del ráster.

Planteando una equidistancia de 2,5 m se obtuvo una pendiente del 2% aproximadamente según la ecuación [1]:

$$PM (\%) = \frac{2,5 \text{ Km} \times 195,5 \text{ Km}}{24,6 \text{ Km}^2} \times 100 = 1,98 \approx 2$$

Y según la clasificación propuesta por López Cadenas de Llano (1998) se trata de una pendiente suave.

En cuanto a las zonas sin edificar se puede decir que éstas representan aproximadamente el 50 % del área de la cuenca (12,58 Km²), concentrándose en su mayoría en la cuenca alta, donde se identifican algunas construcciones de barrios cerrados ejecutados y en desarrollo.

2.2.3 Análisis y descripción del área de estudio

La zona de estudio en la que se diseñó el sistema de drenaje sustentable se ubica en la cuenca media del arroyo Ortega, en la localidad de Monte Grande Sudoeste y forma parte del barrio La Paz de Esteban Echeverría. Originalmente la zona pertenecía a un campo denominado “La Casualidad” pero a partir del año 2016 comenzó a subdividirse en 40 manzanas rectangulares de 60 x 100 m, abarcando solamente el barrio conformado un área de 29,5 ha (ver Figuras 17 y 18).

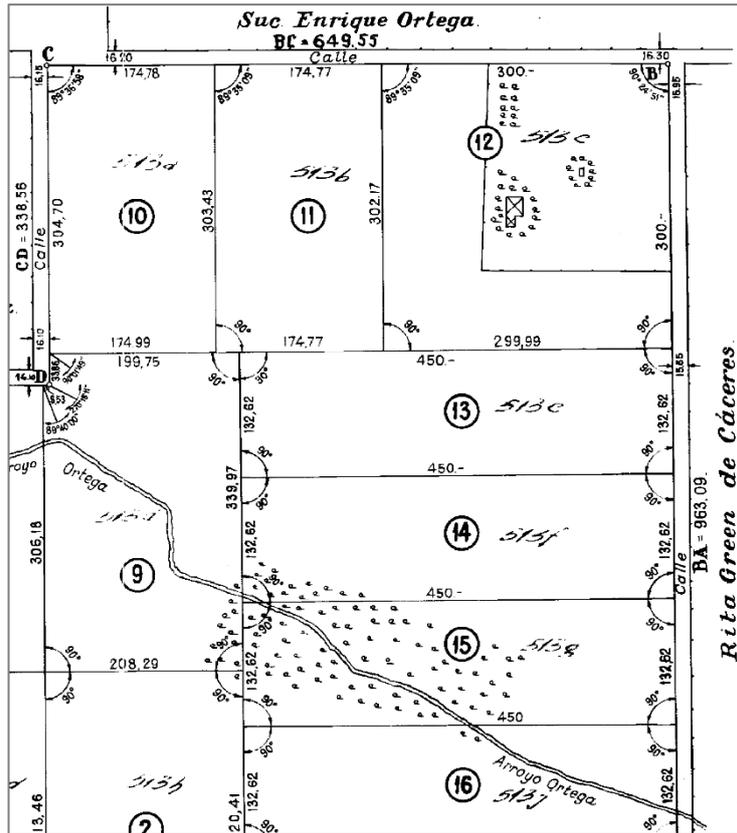


Figura 17.- Loteo inicial de la zona (Ref. 17)

Como se observa en la Figura 18, la mitad del área posee un bajo grado de edificación, lo cual constituye un aspecto favorable, dado que el espacio disponible otorga mayor libertad para el diseño de los SUDS:

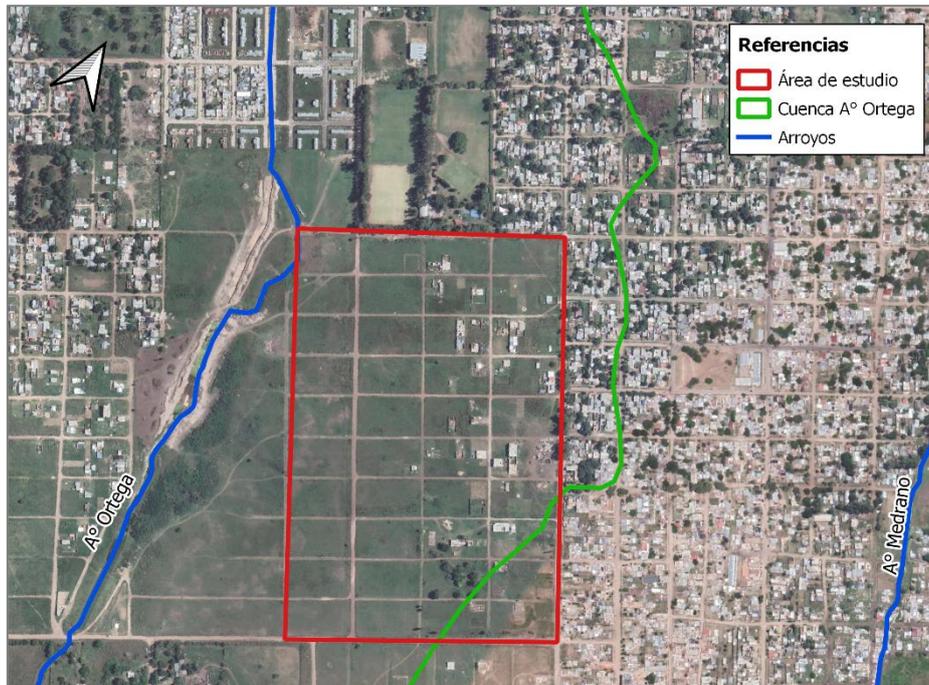


Figura 18.- Ubicación del área de estudio

En cuanto a la zonificación según usos del suelo del Código de Planeamiento Urbano del partido, se observa en la Figura 19 que el área pertenece a una zona denominada “RC”:

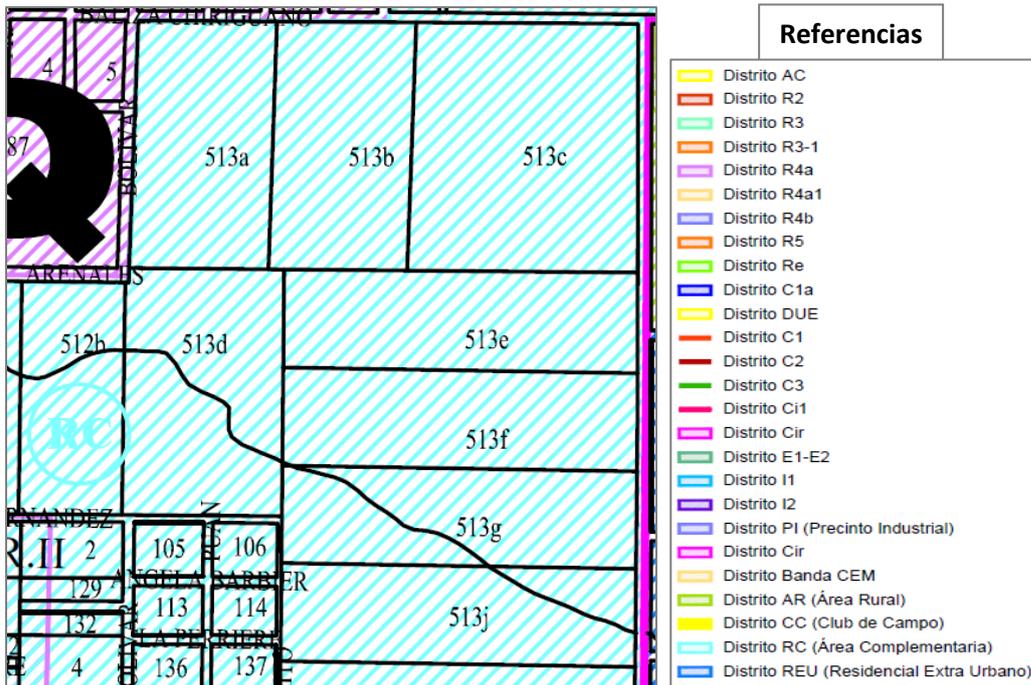


Figura 19.- Uso del suelo en el área de estudio

Esta categoría corresponde a la de “Zona de Recuperación RC”, que el Código define como “coincidente con la delimitación del área complementaria para ensanche urbano de la Ciudad de Monte Grande” (Ref. 18). A su vez, las áreas complementarias “comprende áreas de futuro ensanche urbano previa recuperación del suelo en la Ciudad de Monte Grande donde coincide con la zona denominada RC (área de recuperación), correspondiendo a zonas Residenciales en el límite con área complementaria de recreación que comprende a las zonas E1, área rural r”. En resumen, corresponde a una reserva para la futura extensión urbana, previo saneamiento conforme a las Normas de la Dirección de Hidráulica y la Dirección de Geodesia.

2.3 Diseño de las alternativas

En los apartados siguientes se describe la metodología de diseño de dos alternativas de desagües pluviales. Por un lado, la alternativa “convencional” que refiere al cálculo tradicional de los desagües pluviales según el Método Racional Clásico y por el otro, la alternativa sustentable que incorpora tipologías o componentes de SUDS a la red pluvial, proyectada mediante la modelación matemática en SWMM.

2.3.1 Topografía

Conocer la topografía de la zona de estudio permitió identificar el sentido de escurrimiento del agua, las subcuencas de aporte y los puntos de descarga de los excedentes hídricos. El Modelo Digital del Terreno de 5 metros de resolución es la representación de la topografía en forma de puntos distribuidos uniformemente sobre la superficie con su altura referida al nivel del mar. Se muestra dicha nube de puntos en la Figura 20:

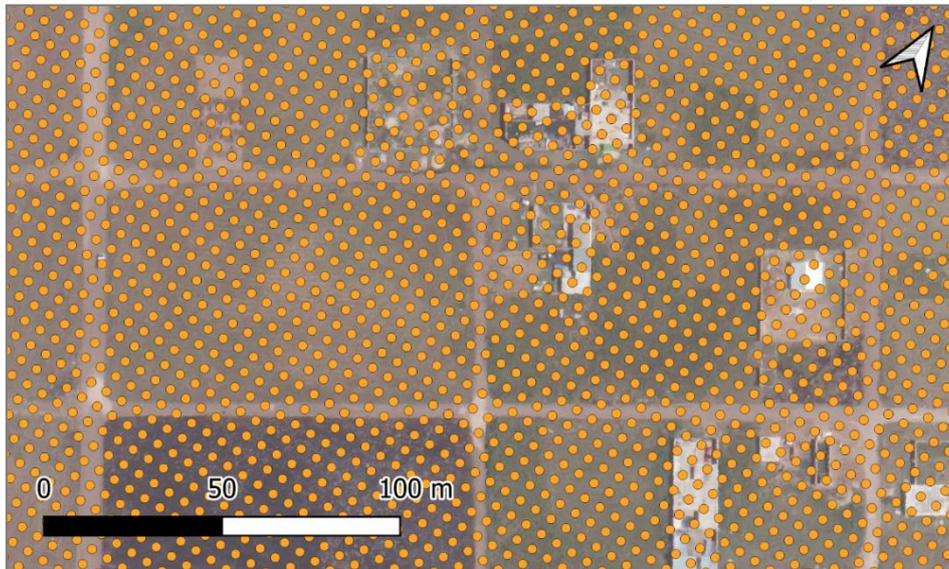


Figura 20.- Nube de puntos del MDT en un sector del área de estudio

Para poder obtener las cotas de esquina (en la intersección de calles) se realizó un procesamiento de la nube de puntos anterior a partir de obtener cada cota como promedio de las inmediatamente circundantes, como se muestra en la Figura 21:



Figura 21.- Cotas filtradas en un sector del área de estudio

A su vez, debido a que el levantamiento de puntos fue realizado en el año 2014 (previo a la conformación del entramado de calles), los valores finales de las cotas filtradas contemplaron el desnivel típico necesario para la apertura de calles realizada a partir del año 2016. En la Figura 22 se muestran dos imágenes satelitales del área de estudio del año 2002 y 2016 respectivamente, donde se observa cómo empieza a configurarse el entramado de calles a partir de esta última fecha.



Figura 22.- Izq.: imagen del año 2002. Der.: imagen del año 2016. Fuente: Google Earth

De esta manera se pudo delimitar la cuenca urbana del área de estudio (de 46,4 Ha de superficie) como se muestra en la Figura 23. En la divisoria se observa que una porción del barrio no descarga hacia la cuenca del arroyo Ortega, sino que lo hace a su aledaña cuenca del arroyo Medrano, por la cual no será considerada en el prediseño de la red convencional.

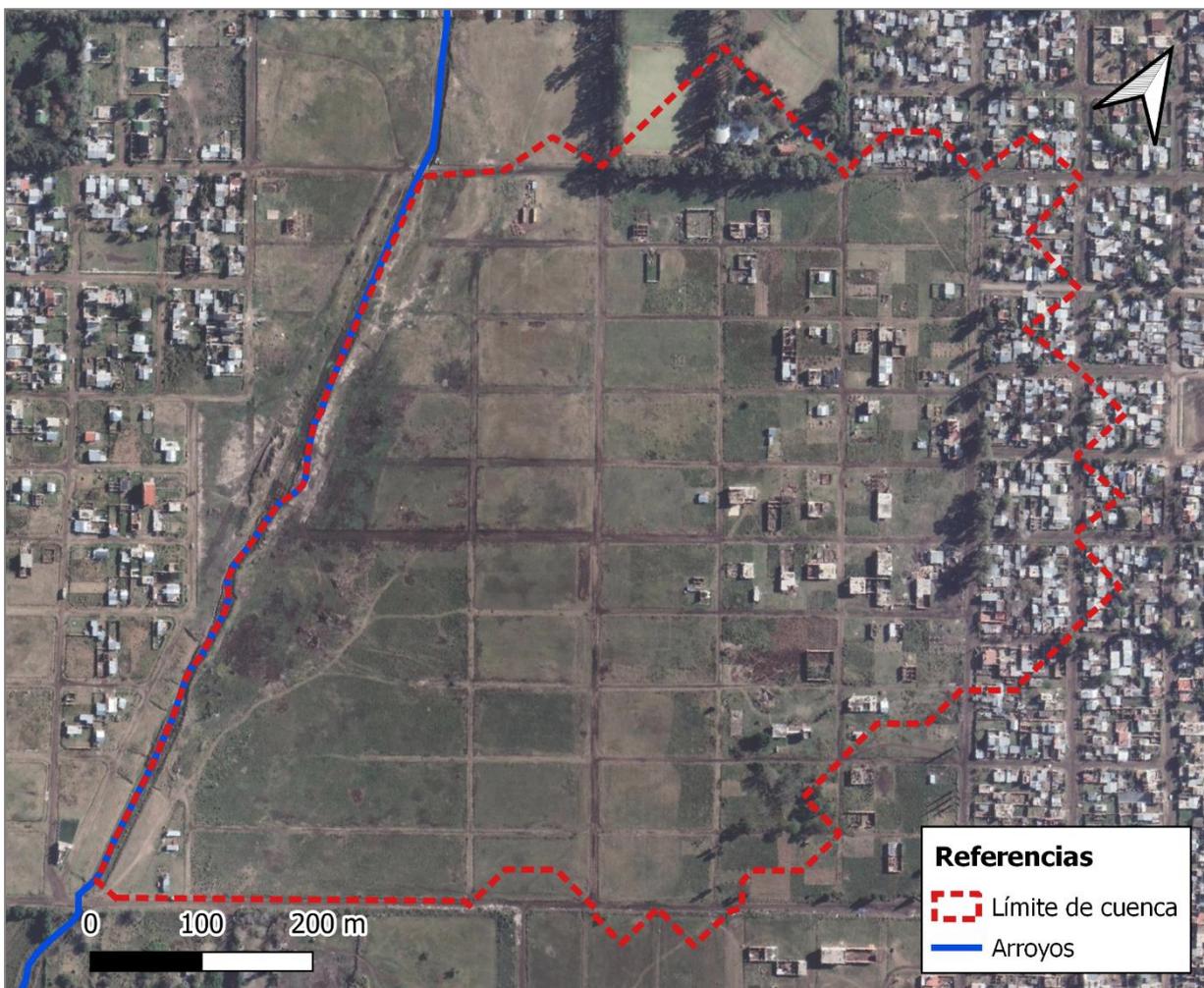


Figura 23.- Cuenca urbana delimitada en el área de estudio

2.3.2 Leyes Intensidad – Duración – Recurrencia

Para establecer la precipitación de diseño fue necesario conocer las leyes de Intensidad – Duración – Recurrencia (I-D-R) representativas del partido de Esteban Echeverría. En el presente Trabajo se utilizaron las leyes propuestas por el “Manual Para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbano”, elaborado por la Secretaría de Obras Públicas de la Nación. Esta metodología es de uso recomendado en la provincia de Buenos Aires (Ref. 2).

El manual presenta un método de regionalización de curvas I-d-R a partir de un mapa en escala 1:12.500.000 de isólinas de precipitaciones medias intensas (que el propio método provee) y de otro que contiene los coeficientes de variación para diferentes duraciones de precipitación. Estas variables permiten determinar los parámetros que definen la familia de curvas para duraciones de precipitación entre 15 minutos y 12 horas y períodos de retorno de hasta 100 años.

El método propone dos modelos según se trabaje con 2 ó 3 parámetros. Para tormentas de diseño menores a 1 hora de duración, el modelo de IDF a tres parámetros brinda valores más coincidentes con los observados que el modelo a dos parámetros, mientras que para duraciones superiores a una hora prácticamente ambos modelos coinciden, por lo que en este Trabajo se empleó el modelo a 3 parámetros que plantea el siguiente procedimiento:

En primer lugar, se interpoló linealmente los valores de precipitación media intensa para 1 y 12 horas de duración de los mapas que provee el manual (\bar{X}_1 y \bar{X}_2 respectivamente), donde el subíndice “1” refiere a 1 hora de duración y el subíndice “2”, a 12 horas. A modo de ejemplo se muestra en la Figura 24 el mapa correspondiente a la precipitación media intensa para 1 hora de duración:

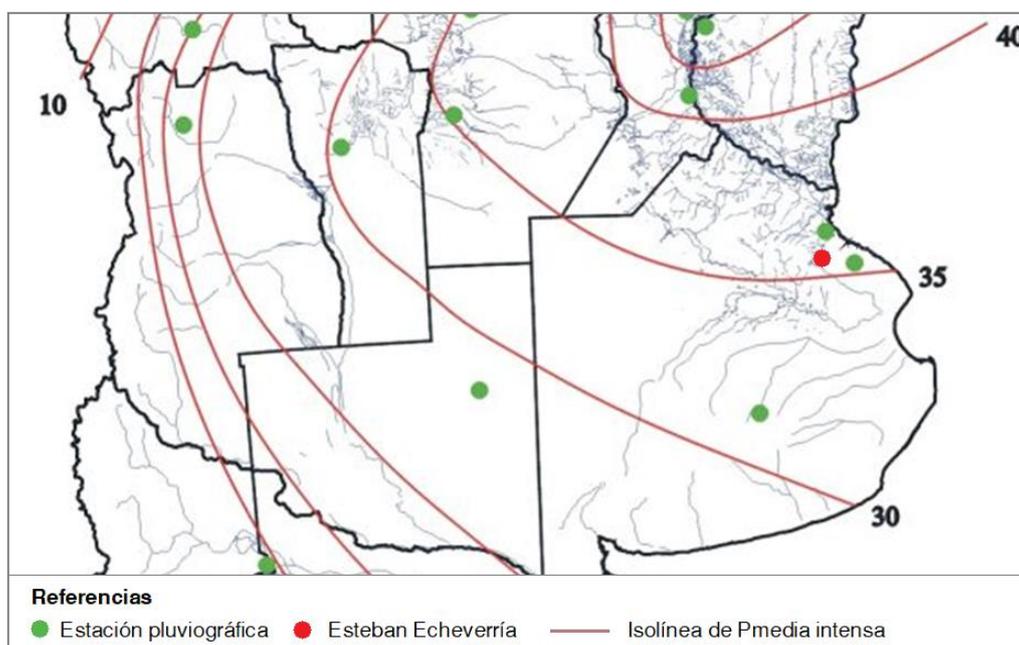


Figura 24.- Isólinas de Pmedia intensa para 1 hora de duración

Los mapas completos asociados a la estimación de las curvas IDR se encuentran en el Anexo I.

El mismo procedimiento de interpolación lineal se realizó con los mapas que presentan las isólinas de los coeficientes de variación para ambas duraciones (CV_1 y CV_2). En función de estos cuatro parámetros se calcularon para cada recurrencia “R” (en años), las precipitaciones $X = f(R)$ de 1 y 12 horas de duración mediante la expresión [2]:

$$X \text{ (mm)} = \bar{X} \left\{ \left[1 - \frac{0,5773}{1,2825} CV - \frac{1}{1,2825} CV \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{R \text{ (años)}} \right) \right) \right] \right\} \quad [2]$$

Y las respectivas intensidades dividiendo a la precipitación por la duración (1 ó 12 horas según el caso).

Luego, se calcularon los tres parámetros del modelo según las siguientes expresiones y para cada recurrencia:

$$a \text{ (mm)} = \frac{(I_2 - I_1)}{\left(\frac{1}{t_2^b} - \frac{1}{t_1^b} \right)} \quad [3] \quad b = 0,80 \quad c \text{ (mm/h)} = I_1 - \frac{a}{t_1^b} \quad [4]$$

Siendo la expresión de la intensidad:

$$I \text{ (mm/h)} = \frac{a}{t^b} + c \quad [5]$$

2.3.3 Diseño de la red pluvial convencional

Los conductos pluviales se diseñaron según el Método Racional Clásico, el cual es un método de transformación lluvia-caudal que plantea lo siguiente:

$$Qp = \frac{C \times I \times A}{360} \quad [6]$$

Donde:

“Qp” es el caudal pico en m³/s.

“C” es el coeficiente de escorrentía adimensional.

“I” es la intensidad de la precipitación en mm/h.

“A” es el área de la cuenca de aporte en hectáreas.

Las hipótesis que deben cumplirse para aplicar este método son:

- La intensidad de precipitación sobre toda la cuenca es constante.
- Caudal máximo cuando aporta toda el área, lo cual ocurre cuando la duración de la tormenta iguala al tiempo de concentración de la cuenca.
- La recurrencia del caudal pico es igual a la recurrencia de la intensidad de precipitación.
- La curva de frecuencia de caudales es paralela a la curva de frecuencia de intensidades.

El rango de aplicación es variable según la bibliografía, pero es apto para la cuenca analizada ya que puede asumirse como pequeña (área de aporte menor a 200 Km²).

Por último, para obtener la intensidad de precipitación y por lo tanto el caudal pico según el Método Racional, se obtuvo el tiempo de concentración de cada subcuenca “i” como:

$$Tc_i = \frac{L_i}{V_i} \quad [7]$$

Donde “Li” es la longitud de recorrido más extensa de la subcuenca “i” y “Vi” la velocidad de recorrido. Esta última se determinó a partir de lo indicado por el Departamento de Agricultura de los

Estados Unidos (USDA) para pequeñas cuencas urbanas (Ref. 19), según el siguiente gráfico (ver Figura 25), en función del tipo de superficie y la pendiente:

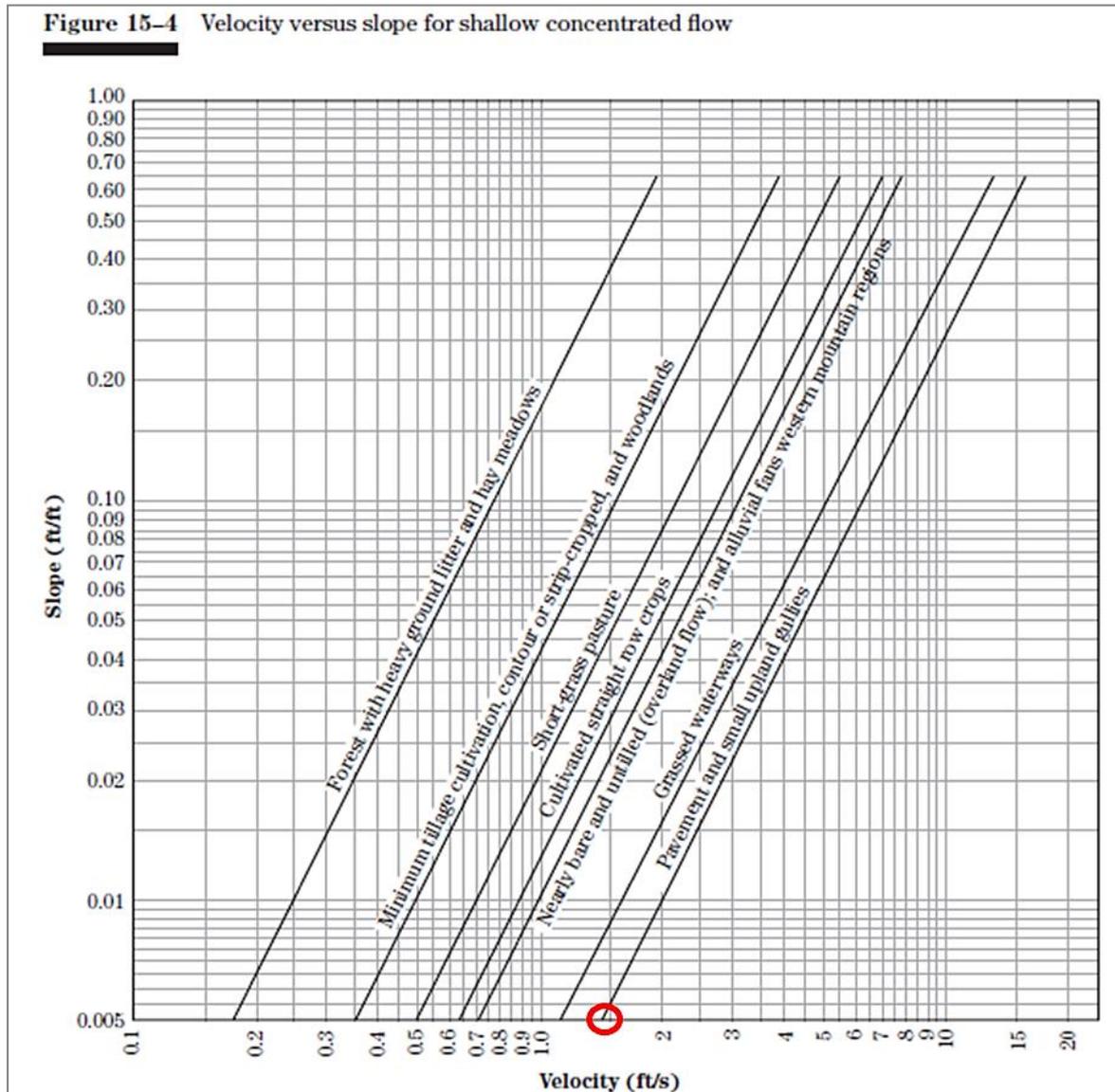


Figura 25.- Gráfico de velocidad vs. Pendiente según el tipo de superficie (Ref. 19)

De esta manera, se confeccionó una planilla que indica el valor del producto del coeficiente “C” y el área “A” para cada subcuenca y para un paso de tiempo “t” de un minuto, donde:

$$\text{Si } t < T_c, \quad (C \times A)_{final} = \left(\frac{t}{T_c}\right) \times C \times A \quad [8]$$

$$\text{Si } t \geq T_c, \quad (C \times A)_{final} = C \times A \quad [9]$$

Es decir que toda la subcuenca está aportando en el punto de descarga para tiempos iguales o mayores al tiempo de concentración.

Multiplicando a estas expresiones por la intensidad de la precipitación en cada paso de tiempo, se obtuvieron los caudales en cada tramo de conducto. El caudal que transporta el conducto del tramo “i” es igual al que le ingresa por los sumideros de su propia subcuenca “i”, más el caudal trasladado del tramo precedente (“i-1”).

Los conductos fueron diseñados para un evento de precipitación de 2 años de recurrencia y verificados para 5 años, según las prácticas habituales de diseño de desagües en la provincia de Buenos Aires. Conociendo la ley I-d-R para recurrencia constante y duración variable se obtuvieron los caudales y se confeccionó una planilla para cada tramo de conducto pluvial de manera de poder estimar su diámetro a partir de la ecuación de Chézy-Manning, sabiendo que se trata de conducciones que no estarán trabajando a presión:

$$D = \left(\frac{Q \times n}{0.335 \times \sqrt{i/1000}} \right)^{3/8} \quad [10]$$

Donde:

“D” es el diámetro en m.

“Q” es el caudal pico en m³/s según el Método Racional.

“n” es el coeficiente de rugosidad de Manning en s/m^{1/3} y cuyo valor corresponde a conductos de hormigón (n=0,013 s/m^{1/3})

“i” es la pendiente del conducto en m/m que surgió del diseño planteado en función de la topografía y de lograr las tapadas mínimas necesarias.

La longitud de sumideros necesaria (“Lsum”) fue estimada como:

$$L_{sum}(m) = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{65} \quad [11]$$

Siendo “Lsum” la longitud en metros y “Qmáx” el caudal máximo de ingreso al nodo en m³/s.

Así mismo, una vez obtenido el diámetro según la expresión [10] se adoptó uno comercialmente disponible y se verificó que la velocidad de flujo fuera mayor a la mínima necesaria para la autolimpieza (0,60 m/s) y menor a 3,00 m/s por cuestiones de estabilidad.

Finalmente se confeccionaron las planimetrías, los planos de perfiles longitudinales y detalles de esquinas, los cuales se muestran en el Anexo II.

2.3.4 Diseño de la red pluvial con SUDS

Los Sistemas Urbanos de Desagües Sustentables comprenden una gran variedad de componentes que pueden estar o no conectados a la red de desagües pluvial del área de estudio y a su vez pueden funcionar en paralelo o en serie según los beneficios que quieran obtenerse. Además, las tipologías que la bibliografía ofrece son diversas en función de la topografía del área de estudio, la configuración de la trama urbana, la escala de trabajo y la región climática. Así mismo, para un mismo tipo de SUDS no existe un único procedimiento de diseño.

El objetivo fue entonces encontrar una tipología de SUDS que se ajustara a las características del barrio de Esteban Echeverría, que pudiera ejecutarse con materiales usuales de la construcción y que fuera de fácil ejecución y mantenimiento.

La elección de la tipología además depende de las posibilidades de simulación del software SWMM. Éste, en su versión 5.0.15 ofrece las siguientes tipologías de SUDS para modelar:

- Pavimento permeable
- Cuneta de vegetación
- Zanja de infiltración
- Techo verde

- Desconexión de techo
- Barril de recolección de agua de lluvia
- Jardín de lluvia
- Celda de biorretención

A continuación se describen las ventajas y desventajas de cada uno de estos componentes:

Pavimentos permeables:

Pavimentos permeables continuos: son áreas que se excavan y rellenan con gravas para verter sobre las mismas una mezcla asfáltica porosa u hormigón poroso. Se diseñan para que la precipitación atraviese la superficie, la capa de gravas y luego infiltre en el suelo natural según su tasa de infiltración.

Pavimentos de bloques: en este caso la superficie está compuesta por bloques de material cuasi impermeable que se traban entre sí, dejando en la unión de los mismos un espacio libre para que el agua ingrese. Dichos bloques se disponen sobre una cama de asiento de arena o piedras seguida de una capa de gravas. En la Figura 26 se muestra un ejemplo de este tipo de pavimentos:



Figura 26.- Pavimento de bloques (Ref. 3)

Estos pavimentos suelen disponerse en playas de estacionamiento o áreas concretas que no forman parte de un entramado de calles, implican una mayor complejidad constructiva y de mantenimiento, y los criterios de diseño no son de acceso libre y gratuito. Además, dado que en el barrio no existen áreas en las que pueda ejecutarse (a excepción del espacio verde contiguo al arroyo Ortega que se prefiere mantener en sus condiciones naturales), es que se decidió no plantear esta tipología en el presente Trabajo.

Cunetas de vegetación:

Son los canales a los costados de las rutas cubiertos de pasto o vegetación que recolectan el agua proveniente del pavimento y la transportan al punto de descarga al mismo tiempo que permiten que se infiltre (ver Figura 27).



Figura 27.- Cuneta central en Ruta Provincial N° 2, Buenos Aires

Como el área de estudio no comprende rutas (se trata de calles en un área residencial), no se trabajó con esta tipología de SUDS.

Zanjas de infiltración:

Son excavaciones longitudinales angostas rellenas de gravas que interceptan la escorrentía proveniente de áreas situadas aguas arriba. Proveen un volumen de almacenamiento y permiten la infiltración del agua en el suelo nativo (ver Figura 28).



Figura 28.- Zanja de infiltración (Ref. 3)

Generalmente se diseñan de forma continua excepto en las intersecciones de calles donde el agua debe transportarse por un conducto pluvial. De proyectarse esta tipología en las veredas del área de estudio, se necesitaría interrumpir la zanja de infiltración en el encuentro con cada cochera de las viviendas, cuyo acceso se materializa usualmente con una carpeta de hormigón; tampoco podrían disponerse a los costados de las calles por el ancho reducido que éstas poseen (6,00 m). Además,

debido a que sólo constan de una sola capa de almacenamiento (sin un proceso de infiltración previo) se decidió no optar por esta tipología de SUDS.

Techos verdes:

Se denominan así porque en los techos de las edificaciones se dispone una capa de suelo que pueda sostener el crecimiento de vegetación y a su vez permitir la infiltración de la precipitación para luego evacuar los excesos a través de una carpeta drenante (membrana geotextil) dispuesta debajo del suelo. Pueden ser intensivos (en áreas pequeñas se cultiva vegetación densa) o extensivos (áreas de mayores dimensiones con vegetación baja como césped) y requieren de un adecuado mantenimiento para evitar la intrusión de las raíces en el geotextil o la filtración de agua en la vivienda. Así mismo se requiere verificar la capacidad estructural del techo al disponer una carga adicional. En la Figura 29 se muestra un ejemplo de un techo verde:



Figura 29.- Techo verde (Ref. 20)

En el presente Trabajo se evitaron las tipologías de SUDS dentro de los lotes privados para desligar a los habitantes de la inspección periódica de los elementos que componen a los mismos (verificación de funcionamiento correcto, estado de las capas de suelo, del geotextil, entre otros).

Desconexión de techos:

Es usual que los desagües pluviales de las viviendas se compongan de una bajada pluvial que recolecta la escorrentía del techo y un albañal que descarga directamente los excedentes en el cordón cuneta. Para reducir y retardar el escurrimiento se puede desconectar el pluvial del techo de manera que descargue en las áreas permeables del lote, como se muestra en la Figura 30:



Figura 30.- Desconexión de techo (Ref. 21)

En el presente Trabajo se adoptó este criterio para cierto porcentaje de la superficie impermeable del lote, asumiendo que los excedentes se volcarán en los fondos permeables de las viviendas, usualmente ubicados en la parte trasera de las mismas. De todas formas, no se consideró la desconexión de techos como un componente de SUDS en sí sino como una característica a definir en las subcuencas del modelo como se verá más adelante.

Recolección de agua de lluvia:

Consiste en un barril o cisterna que recolecta el agua de lluvia proveniente del techo de la vivienda para liberarla luego de cierto tiempo de terminada la tormenta o para reusarla con fines potables o no cuando se necesite. Como se muestra en la Figura 31:



Figura 31.- Cisterna de recolección (Ref. 21)

Descartando la posibilidad de potabilizar el agua almacenada (debido a la complejidad de las instalaciones dentro de la vivienda), cuando se recolecta un porcentaje de la parte impermeable del lote (menos del 50 %), un barril de 1,00 m de altura y 0,80 cm de diámetro podría ser suficiente, pero

si se quisiera recolectar la totalidad de la escorrentía del techo se necesitaría de una cisterna de mayores dimensiones. De todas formas, para el área de estudio se prefirió optar por otra tipología de SUDS que provea un mayor valor estético (por ejemplo, a través del empleo de vegetación) a los frentes de las viviendas.

Jardines de lluvia:

Consisten en una depresión en el suelo que contiene una capa de una mezcla de suelo (arena, finos y materia orgánica) que soporta el crecimiento de vegetación específica. Permiten que el agua se infiltre en dicha capa y luego en el suelo nativo circundante, reduciendo y retardando la escorrentía. Es usual que parte de la escorrentía del techo descargue en estos jardines de lluvia ya sea que se ubiquen en las veredas al frente de las viviendas o en los fondos de las mismas. Un ejemplo de un jardín de lluvia se muestra en la Figura 32:



Figura 32.- Jardín de lluvia (Ref. 21)

En el presente Trabajo se optó por no aplicar esta tipología de SUDS debido a que las celdas de biorretención (que se describirán a continuación) son variantes más desarrolladas de los jardines de lluvia que, además de permitir la infiltración en la mezcla de suelo, poseen una capa de almacenamiento debajo de ésta y la posibilidad de transportar el agua mediante drenes enterrados para lograr un funcionamiento en serie.

Celdas de biorretención:

Como se mencionara anteriormente, son excavaciones de forma regular o irregular que se rellenan con una mezcla de suelo que soporte vegetación, seguida de una capa de almacenamiento compuesta por piedra partida en cuya base se puede disponer un dren o no dependiendo que se quiera un funcionamiento en serie o en paralelo respectivamente. Cuando las celdas se ejecutan en áreas urbanas, donde el espacio es reducido (generalmente sólo se cuenta con espacio en las veredas o ramblas de avenidas), las celdas adquieren formas rectangulares de dimensiones menores a 10,00 m² (ver Figura 33).



Figura 33.- Celda de biorretención (Ref. 3)

Las celdas de biorretención son las que cuentan con mayores posibilidades de ajustarse al espacio disponible (ya sea en el espacio público o en lotes privados) y las que la bibliografía mayor información ofrece en cuanto a recomendaciones de diseño, ejecución y mantenimiento. Es por ello que se ha optado por esta tipología de SUDS.

En resumen, se trabajó a nivel de parcela donde cada lote descarga el 50 % de sus excedentes (provenientes de la fracción impermeable del lote) en la celda de biorretención ubicada en el frente de la vivienda en las veredas y el porcentaje restante se descarga al fondo de las mismas en su fracción permeable. En la Figura 34 se muestra el esquema conceptual planteado:

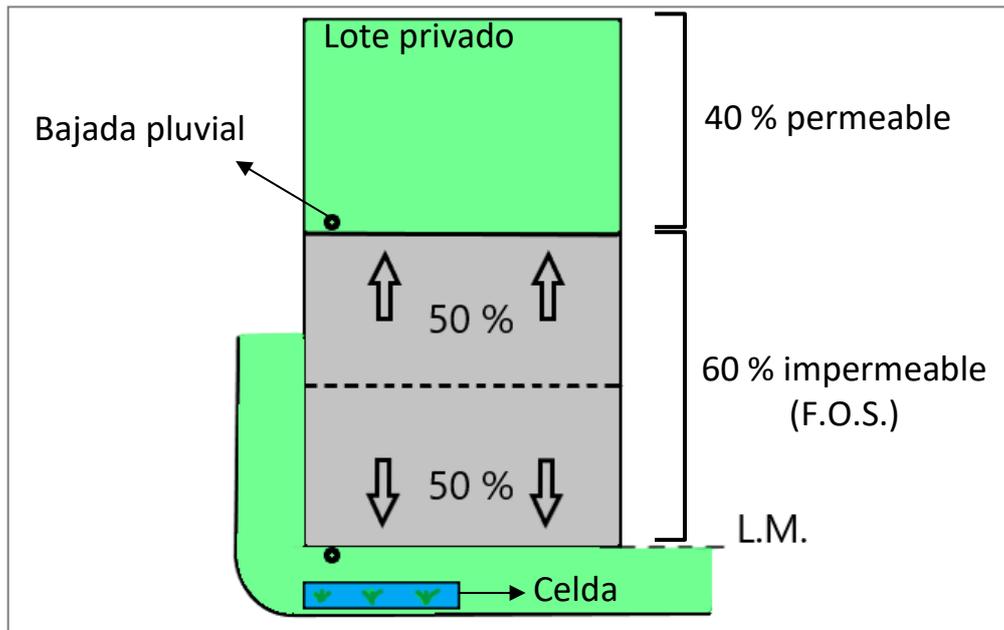


Figura 34.- Esquema conceptual de descarga de parcelas

Para el diseño de las celdas de biorretención se consultó la siguiente bibliografía específica, donde se proveen los criterios de diseño de las celdas y recomendaciones de materiales, de ejecución y mantenimiento:

- “The SuDS Manual”, Capítulo 18, CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) (Ref. 3).
- “Virginia DCR Stormwater Design Specification No. 9 – Bioretention”, Department of Conservation and Recreation (DCR) (Ref. 24).
- “City of Portland Stormwater Management Manual”, Capítulos 2 y 3, Bureau of Environmental Services, Portland, Oregon, EE. UU (Ref. 29).
- “City of Alexandria – BMP Typical Details”, AECOM (Ref. 30).

En primer lugar, se determinó el área de cada celda en función del volumen de escorrentía a tratar de manera que la misma no ocupara todo el frente de la vivienda (para no obstruir el acceso a la cochera) y que se respetaran las siguientes distancias mínimas:

- 1,50 m entre la línea municipal y la celda, para evitar filtraciones de agua en los cimientos.
- 0,50 m entre la celda y el cordón de calle, para evitar filtraciones de agua que puedan perjudicar el pavimento de las calles.

Además, según recomendaciones de la Oficina de Servicios Ambientales de la ciudad de Portland, para obtener el área necesaria de la celda se debe aplicar al área impermeable que generará escorrentía un factor de escala que varía entre 0,05 y 0,10. El área impermeable a tratar según el esquema planteado en la Figura 34 surgió de:

$$A_i (m^2) = A_p \times F.O.S. \times 0,50 \quad [12]$$

Donde “ A_i ” es el área impermeable de la parcela a tratar, “ A_p ” es el área total de la parcela y F.O.S. es el Factor de Ocupación del Suelo.

Se plantearon entonces celdas cuya superficie representa alrededor del 6 % del área impermeable de cada parcela individual.

Así mismo, las celdas pueden estar revestidas en todo su perímetro y su base o bien, no estarlo para permitir la infiltración adicional en el suelo nativo circundante. En este Trabajo se optó por esta última opción.

Por otro lado, se definieron dos tipos de celdas según su funcionamiento:

Celdas en serie:

En la Figura 35 se observan sus componentes:

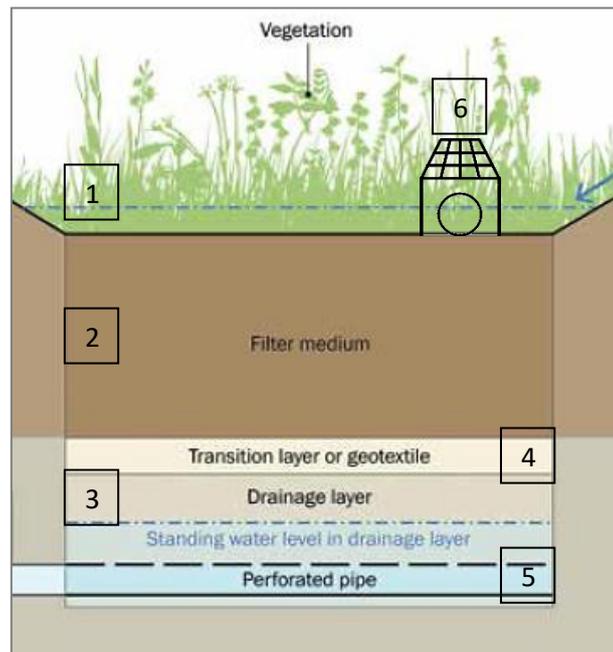


Figura 35.- Esquema de celda de biorretención. Adaptado de: "The SuDS Manual", CIRIA

- 1. Una capa superficial donde el agua puede acumularse. El rango de altura de agua varía entre 12 y 30 cm.
- 2. Una mezcla de suelo (medio filtrante) que soporta a la vegetación con una composición en volumen de 85 % de arena, 5 % de finos (limos y arcillas) y 10 % de materia orgánica. La vegetación puede estar compuesta por césped, plantas y arbustos nativos de poca profundidad radicular. El rango de valores recomendados se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1.- Rangos de variación para la capa de suelo

Propiedad	Valor	
	Mínimo	Máximo
Espesor (cm)	30	60
Porosidad (%)	25	50
Tasa de infiltración (mm/h)	100	300

- 3. Una capa de piedra partida de 6/20 mm que provee almacenamiento adicional cuando el medio filtrante se satura. El rango del espesor de la capa y su porosidad se muestran a continuación en la Tabla 2:

Tabla 2.- Rangos de variación para la capa de almacenamiento

Propiedad	Valor	
	Mínimo	Máximo
Espesor (cm)	30	45
Porosidad (%)	35	60

- 4. Una capa de transición que cumpla la ley de filtro entre capas de suelo de distinta granulometría o la disposición de un geotextil. Para el presente Trabajo se optó por un geotextil no tejido dispuesto entre la capa de suelo filtrante y la de almacenamiento, así como en la superficie de contacto entre esta última y el suelo nativo (para evitar el traspaso de finos).
- 5. Una tubería perforada o dren que se localiza en el fondo de la capa de almacenamiento cuya pendiente debe ser no menor a 0,5 % y el diámetro de 63 mm como mínimo para transportar los excedentes de agua hacia la siguiente celda de biorretención. El número máximo de celdas a conectar entre sí es de cuatro unidades y la vinculación entre las mismas se realiza mediante tuberías impermeables de igual diámetro que el dren. Así mismo, para facilitar el ingreso de agua en el dren la capa de almacenamiento tendrá su fondo excavado con pendientes que se dirigen hacia la base del dren. Las celdas en serie poseen drenes con pendientes longitudinales variables, en coincidencia con las pendientes longitudinales de las calles y las veredas del área de estudio. El dren de la última celda de la serie se vincula a una tubería impermeable la cual se extiende hasta el encuentro con la cámara del sumidero para calle pavimentada. Para facilitar las tareas de mantenimiento se dispone una cámara de inspección de 40 cm de diámetro y altura variable previo a la desembocadura de la tubería en la cámara del sumidero (ver “Plano TF-PL-SUDS-20” y “Plano TF-PL-SUDS-21” en el Anexo III). Tanto los drenes y tuberías impermeables como las cámaras de inspección son de polipropileno.
- 6. Sobrepasso: garantiza la evacuación del agua en caso de que se vea superada la altura máxima de acumulación. Se compone de una rejilla piramidal con un conducto vertical y un albañal que descarga horizontalmente hacia el cordón cuneta.

Celdas en paralelo:

Las celdas en paralelo son aquellas que por su lejanía o por la topografía no pueden vincularse a la red de desagües pluviales convencionales y por lo tanto no disponen de un dren en su base y el fondo de la capa de almacenamiento es horizontal. Estas celdas infiltrarán el agua de lluvia hasta que se saturen sus capas y el suelo original para luego volcar sus excedentes a través de la rejilla de sobrepasso.

Por último, independientemente del tipo de celda (en serie o en paralelo), el acceso del agua debe ser lento y uniformemente distribuido. Para ello, las celdas cuentan con tres aberturas distanciadas entre sí y además, desde la ubicación de la bajada pluvial del techo hasta el encuentro con la primera abertura se diseñó una cuneta de piedra partida, dispuesta perpendicularmente a la celda para guiar el flujo hacia ella.

Los planos de detalle de las celdas se encuentran en el Anexo III.

2.4 Modelación en el software SWMM

2.4.1 Introducción al modelo SWMM

El Stormwater Management Model o SWMM (modelo de gestión de aguas pluviales) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, ya sea que se trate de un evento único o de una simulación continua en un período extendido. El programa permite simular la cantidad y la calidad de agua especialmente en sistemas de desagües pluviales urbanos.

Cuenta con un módulo hidrológico en el que es posible representar cuencas sobre las que cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía y un módulo hidráulico que representa el transporte de esta última a través de un sistema compuesto por conductos, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores. También brinda los resultados de salida (caudales, niveles de agua en nodos, conductos, etc.) para el paso de tiempo que se requiera.

El transporte de agua está gobernado por las ecuaciones de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento tanto para flujo gradualmente variado como transitorio (ecuaciones de Saint Venant). El programa permite seleccionar el grado de exactitud con el cual resolver estas ecuaciones, existiendo tres modelos hidráulicos de transporte:

- Flujo uniforme
- Onda cinemática
- Onda dinámica

Este último es el método que se empleó en el presente Trabajo, porque resuelve las ecuaciones completas unidimensionales de Saint Venant y, por lo tanto, genera los resultados más precisos. Estas ecuaciones suponen la aplicación de la ecuación de continuidad y de cantidad de movimiento en las conducciones y la continuidad de los volúmenes en los nodos.

Con este tipo de modelo de transporte es posible representar el flujo presurizado cuando una conducción cerrada se encuentra completamente llena, de forma que el caudal que circula por la misma puede exceder el valor de caudal a conducto lleno obtenido mediante la ecuación de Chézy-Manning. El sistema se ve sobrepasado cuando el tirante de agua en los nodos excede el máximo valor disponible en ellos, momento en el cual el exceso de caudal puede perderse o bien puede generar un estancamiento en la parte superior del nodo y volver a entrar al sistema de saneamiento posteriormente (este último caso es el que se adoptó en la simulación). El modelo de transporte de la onda dinámica puede contemplar efectos como el almacenamiento en los conductos, los resaltes hidráulicos, las pérdidas en las entradas y salidas de los pozos de registro, el flujo inverso y el flujo presurizado, a costa de necesitar intervalos o pasos de tiempo de simulación más pequeños, del orden de un minuto y por lo tanto mayor tiempo de simulación (costo computacional).

Para este Trabajo se elaboraron tres modelos SWMM:

- **Modelo TRAD-MR:** es la simulación de las subcuencas de aporte y los conductos pluviales que se obtuvieron siguiendo la metodología del Método Racional Clásico. Este modelo permite analizar la eficiencia de los conductos para las recurrencias de diseño y verificación establecidas.
- **Modelo TRAD-SE:** es la simulación de los conductos pluviales obtenidos según el Método Racional (sistema menor) pero con subcuencas de aporte trazadas a nivel de esquina y la representación del sistema de calles (sistema mayor). Este modelo permite analizar no sólo la eficiencia de los conductos sino la altura y permanencia de agua en calle y la capacidad de captación de los sumideros. Supone una mayor precisión respecto del modelo descrito anteriormente ya que se tiene una mayor discretización de las áreas de aporte y se estiman las pérdidas por infiltración (y por lo tanto la escorrentía superficial) en las mismas según el método del Número de Curva (CN).

Cabe aclarar que, producto de esta discretización de las subcuencas a nivel de esquina, se optimizó el diseño de la red respecto a lo obtenido por el Método Racional. Es decir, en varios tramos se pudo disminuir el diámetro de los conductos respetando el diámetro comercial correspondiente, sin comprometer su capacidad. Sólo en un tramo de conducto cercano a la desembocadura se aumentó el diámetro en un rango, respecto a lo que indicaba el cálculo con el Método Racional, dado que inicialmente la capacidad del conducto para la condición de verificación estaba comprometida.

- **Modelo SUDS-BR:** es la simulación de los conductos pluviales del “Modelo TRAD-SE” pero con los componentes de SUDS incorporados. Para este modelo la discretización de las subcuencas se hizo a nivel de parcelas como se verá en apartados posteriores.

De esta manera, con los últimos dos modelos descriptos se pudieron efectuar comparaciones entre el funcionamiento de la alternativa tradicional de desagües pluviales y la que incluye a los componentes de SUDS.

Por otro lado, el software posee una interfaz sencilla y simple de utilizar, pero a la vez carece de precisión al momento de disponer los elementos constitutivos de la red de drenaje. Por lo tanto, a los fines de organizar dichos elementos y facilitar la construcción del modelo SWMM se elaboró para el presente Trabajo Final un Sistema de Información Geográfica (SIG) mediante el software qGIS de manera de contar con capas de información georreferenciada. Así, cada capa contiene la misma información que el SWMM necesita para poder ejecutar la simulación y a través de complementos de software se pudo lograr la vinculación entre ambos programas (qGIS y SWMM), es decir, hacer el pasaje de información entre un programa y el otro. Se muestra la Figura 36 una imagen comparativa de la representación del “Modelo-TRAD-SE” en qGIS y en SWMM:

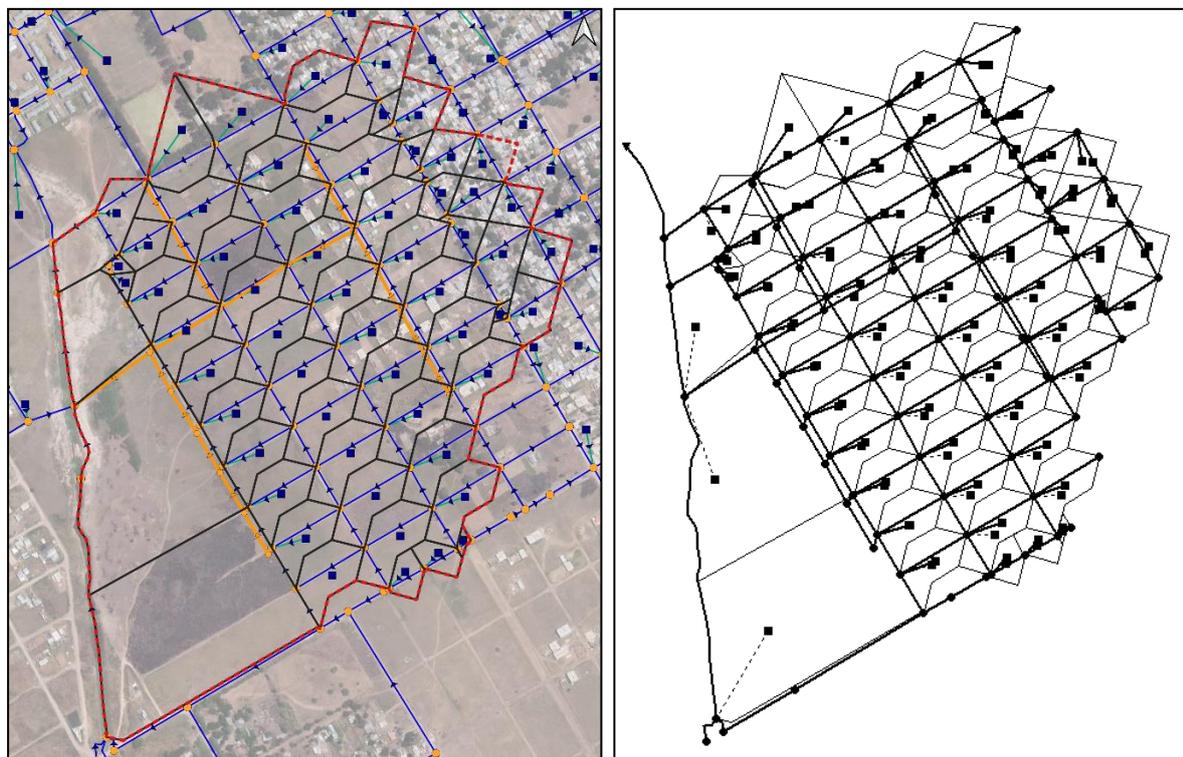


Figura 36.- Izq.: elementos en qGIS. Der.: elementos en SWMM

En los apartados siguientes se describe la metodología de simulación empleada para el “Modelo-TRAD-SE” y el “Modelo SUDS-BR”, aunque valen los mismos comentarios para el caso de la simulación de las subcuencas y conductos según el Método Racional (“Modelo-TRAD-MR”).

2.4.2 Datos de entrada y configuración de simulación

Precipitación de diseño

En primer lugar, para el módulo hidrológico fue necesario definir una precipitación de diseño, la cual fue de 2 años de recurrencia para la alternativa tradicional y de 1 hora de duración, esto es prácticamente el doble del tiempo de concentración, de manera de garantizar el máximo aporte de las cuencas en el punto de descarga al arroyo Ortega. Para lograr condiciones más exigentes se estableció una precipitación sintética aplicando el método de los Bloques Alternos de la siguiente manera:

- Se dividió la duración de la tormenta (D) en intervalos de Δt minutos (10 minutos en este caso).
- Se obtuvo la intensidad de precipitación según la ley I-d-R asociada a la recurrencia de diseño deseada para las duraciones $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, n\Delta t=D$.
- La precipitación correspondiente a cada duración se obtuvo multiplicando a ésta por la intensidad.
- Calculando la diferencia entre valores sucesivos de precipitación se obtuvo la cantidad de precipitación a añadir por cada unidad adicional de tiempo Δt .
- Los incrementos o bloques de precipitación se ordenaron de manera tal que el mayor de ellos quedara en el centro de duración de la tormenta mientras que los bloques restantes se fueron ubicando alternadamente a la izquierda y derecha de dicho bloque central en orden descendiente.

Obtenidos los hietogramas se los introdujo en el software de modelación (“Modelo TRAD-SE”).

Por otro lado, a diferencia de los conductos pluviales, los componentes de SUDS suelen diseñarse para lo que se conoce en la bibliografía inglesa como “recurrencia 1:1”. Es decir, se trata de un evento de precipitación que, en promedio, ocurre una vez al año.

Sabiendo que la recurrencia o el período de retorno de un evento es la inversa de la probabilidad de excedencia, teóricamente su valor no puede ser igual a la unidad por lo que se adoptó el valor 1,01 años para el diseño de los SUDS y duración de 1 hora. Para representar una condición más exigente también se elaboró un hietograma de diseño por el método de los Bloques Alternos, que también se introdujo en el “Modelo SUDS-BR”.

Nodos

El programa permite simular los puntos de esquina así como la unión entre conductos mediante elementos llamados “nodos” (la desembocadura final también lo es pero se denomina descarga o “outfall”). Algunos de los datos a introducir son el nombre identificador del nodo, la cota de elevación, la posibilidad de acumular agua en superficie, entre otros. Para el caso de los nodos de calle, el único parámetro a introducir es la cota de elevación mientras que los nodos de conducto necesitan de la cota de invertido y la altura que hay entre ésta y el terreno natural (ver Figura 37):

Junction Nca-TF-21		Junction Ncon-TF-06	
Property	Value	Property	Value
Name	Nca-TF-21	Name	Ncon-TF-06
X-Coordinate	5639848.580	X-Coordinate	5640025.200
Y-Coordinate	6142823.836	Y-Coordinate	6142940.327
Description		Description	
Tag		Tag	
Inflows	NO	Inflows	NO
Treatment	NO	Treatment	NO
Invert El.	18.8	Invert El.	18.6
Max. Depth	0.0000	Max. Depth	1.68
Initial Depth	0.0000	Initial Depth	0.0000
Surcharge Depth	0.0000	Surcharge Depth	100.0000
Ponded Area	0.0000	Ponded Area	1.0000

Figura 37.- Izq.: información de nodo de calle. Der.: nodo de conducto en SWMM

Así mismo, para el nodo de conducto deben definirse la carga (“surcharge depth”) y el área acumulada (“ponded area”). El primero permite que los conductos entren en presión mientras que el segundo representa el área de inundación del nodo (en este caso representa el área de la cámara de inspección). Si este último valor fuera nulo, el agua en exceso no permitiría acumularse en el nodo y se perdería del sistema.

Por otro lado, para representar el ingreso de agua a las viviendas se utilizaron los elementos denominados “reservorios” (ver Figura 38), que se vincularon al nodo de esquina mediante un orificio:

Storage Unit R-Nca-TF-06	
Property	Value
Name	R-Nca-TF-06
X-Coordinate	5639790.070
Y-Coordinate	6143013.101
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	17.0200
Max. Depth	3.0000
Initial Depth	0
Surcharge Depth	1
Evap. Factor	0
Seepage Loss	NO
Storage Curve	FUNCTIONAL
Functional Curve	
Coefficient	6815.1
Exponent	1.0000
Constant	0

Figura 38.- Información de reservorios en SWMM

La cota de invertido (“invert elevation”) del reservorio se asumió como:

$$Cota\ de\ reservorio\ (m\ IGN) = Cota\ de\ esquina + 0,30\ m\ [13]$$

Y la máxima altura de agua que se puede acumular en los mismos es de 3,00 m (sabiendo que no existen viviendas de más de dos plantas en el área de estudio por los factores de ocupación establecidos).

Además, se definió la curva de almacenamiento cuya forma es:

$$Volumen\ (m^3) = A \times h\ (m)^B + C\ [14]$$

Donde “A” representa el área del reservorio en m², “h” es la altura de agua en el mismo, “B” es igual a la unidad y “C” es un coeficiente nulo.

El área de cada reservorio corresponde al área de la subcuenca que descarga sus excedentes en el nodo de esquina, como se muestra a modo de ejemplo en la Figura 39:

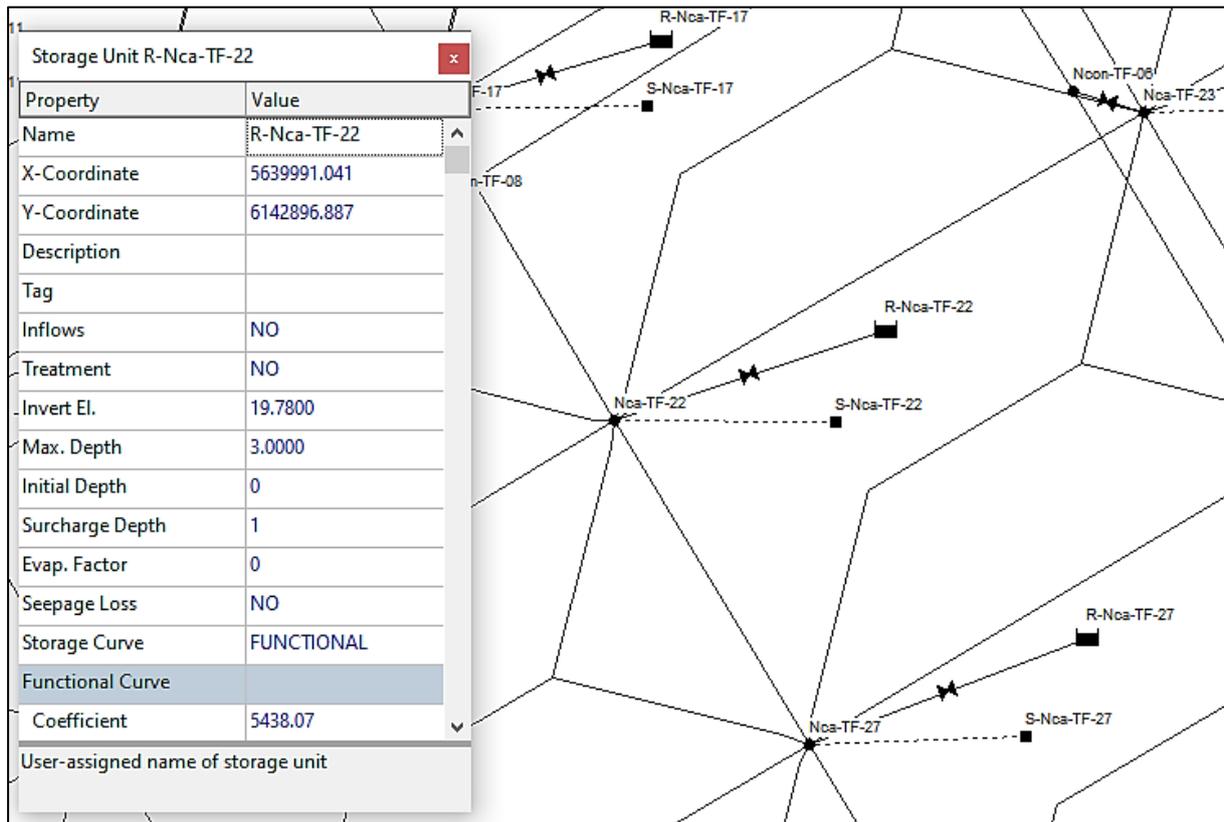


Figura 39.- Vinculación de nodo de esquina a reservorio

En la figura anterior se aprecia que la subcuenca “S-Nca-TF-22” de 5.438 m² de superficie descarga sus excedentes hídricos al nodo de calle “Nca-TF-22” el que a su vez se vincula al reservorio “R-Nca-TF-22” mediante el orificio rectangular.

Para el caso del “Modelo SUDS-BR”, como se verá a continuación, la representación de las subcuencas no fue a nivel de esquina, pero se conservaron los reservorios anteriores para simplificar la simulación del ingreso de agua a las viviendas.

Subcuencas

Para lograr una representación más precisa del escurrimiento es común dividir a la cuenca urbana en unidades más pequeñas denominadas subcuencas. En el modelo de la alternativa tradicional, se decidió trazar las subcuencas a nivel de esquina para evitar la simulación del escurrimiento por cunetas. Esto fue posible debido a que se conocen las cotas y, por lo tanto, los sentidos de escurrimiento.

Los datos a introducir son el área, el ancho de subcuenca, pendiente media, porcentaje de impermeabilidad, entre otros. En este punto es necesario hacer una aclaración sobre los parámetros adoptados para representar las subcuencas: la correcta definición de los mismos resulta fundamental en esta instancia, dado que las subcuencas representan la transformación directa de la precipitación que cae sobre ellas en escurrimiento superficial. En ellas se definen las características de infiltración y relieve que tendrán influencia directa en el caudal generado.

En cuanto al porcentaje de impermeabilidad se consultó el Código de Planeamiento Urbano del partido de Esteban Echeverría para obtener los factores de ocupación total y del suelo. Dado que el área pertenece a la categoría de “Zona reservada RC (área complementaria)” con el objetivo de ser reservada para ampliación urbana, los factores a considerar deben ser los que las zonas linderas ya urbanizadas posean. Asumiendo que cada lote aplicará los máximos valores de los factores y, como

condición más desfavorable para el escurrimiento, que las calles serán pavimentadas en el corto plazo, se obtuvo el porcentaje de impermeabilidad de las subcuencas.

Cabe resaltar que SWMM asume que la precipitación que caiga sobre estas áreas impermeables se transformará directamente en escurrimiento superficial en su totalidad. En cambio, sobre la fracción permeable de las subcuencas es necesario definir el método de “pérdidas” o abstracciones a emplear para realizar la transformación lluvia-caudal, así como la altura de detención/almacenamiento superficial de las subcuencas. Para este caso se optó por el método del Número de Curva (CN) del Soil Conservation Service (S.C.S.) que permite obtener la altura de precipitación efectiva conociendo el tipo de cubierta y de suelo.

La profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa “ P_e ” es siempre menor a la profundidad de precipitación “ P ”. Así mismo, luego de que se inicia la escorrentía la profundidad adicional de agua retenida en la cuenca “ F_a ” es menor o igual a alguna retención potencial máxima “ S ”. Además, como se muestra en la Figura 40 existe una cierta cantidad de precipitación inicial “ I_a ” antes del encharcamiento para la cual no ocurrirá el escurrimiento superficial. Luego la escorrentía potencial es “ $P-I_a$ ”.

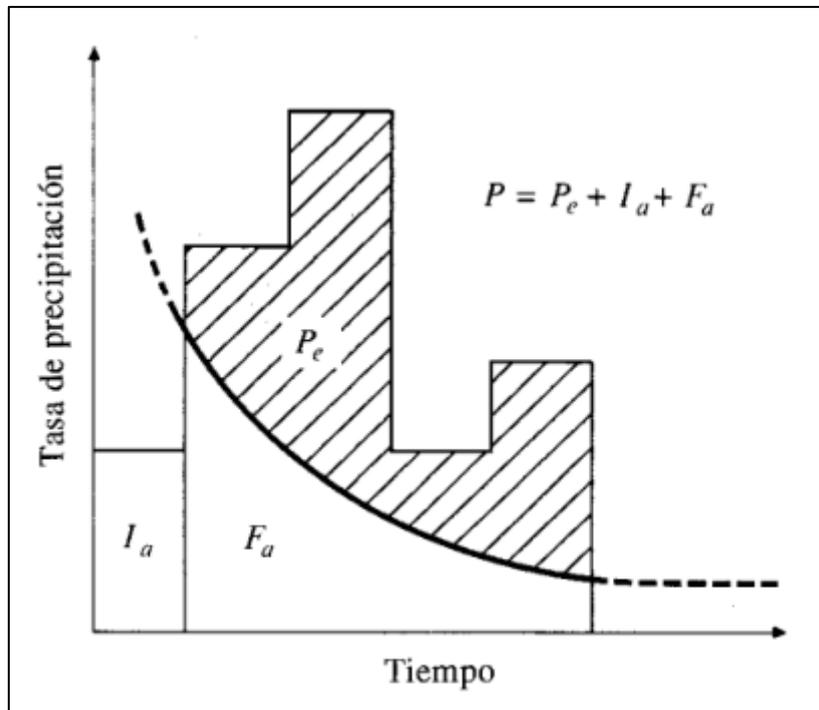


Figura 40.- Variables en el método de abstracciones del S.C.S. (Ref. 22)

El método del S.C.S. plantea entonces como hipótesis que la relación de las dos cantidades reales es igual a la relación de las dos cantidades potenciales, es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad [15]$$

De la ecuación de continuidad:

$$P = P_e + I_a + F_a \quad [16]$$

Combinando las ecuaciones [15] y [16] y despejando la variable “ P_e ” se obtiene:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad [17]$$

Del estudio de muchas cuencas experimentales pequeñas se desarrolló una relación empírica donde:

$$I_a = 0,2 S \quad [18]$$

Por lo que la ecuación $P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$ [17] queda de la forma:

$$P_e = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \quad [19]$$

Además, la relación entre el número de curva “CN” y “S” viene dada por la expresión:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad [20]$$

Donde “S” está en pulgadas y “CN” es adimensional.

Los valores de “CN” están tabulados por el S.C.S. según el tipo y uso del suelo para condiciones de humedad antecedentes normales. Se distinguen cuatro tipos de suelo o grupos hidrológicos (A, B, C y D) según su clase textural según la Tabla 3:

Tabla 3.- Clasificación de los Grupos Hidrológicos. Adaptado de: F. Gáspari; “Elementos para la Gestión de Cuencas Hidrográficas”

GH	Textura
A	Arenoso; Arenoso-franco; Franco-arenoso
B	Franco-limoso; Franco; Limoso
C	Franco-arcillo-arenoso; Franco-arcillo-limoso; Franco-arcilloso
D	Arcillo-arenoso; Arcillo-limoso; Arcilloso

Para conocer el tipo de suelo se consultó el “Mapa geomorfológico de la provincia de Buenos Aires” del SEGEMAR del cual se aprecia que la categoría corresponde a la planicie loésica de la llanura pampeana, es decir, se trata de depósitos sedimentarios limosos de origen eólico (ver Figura 41):

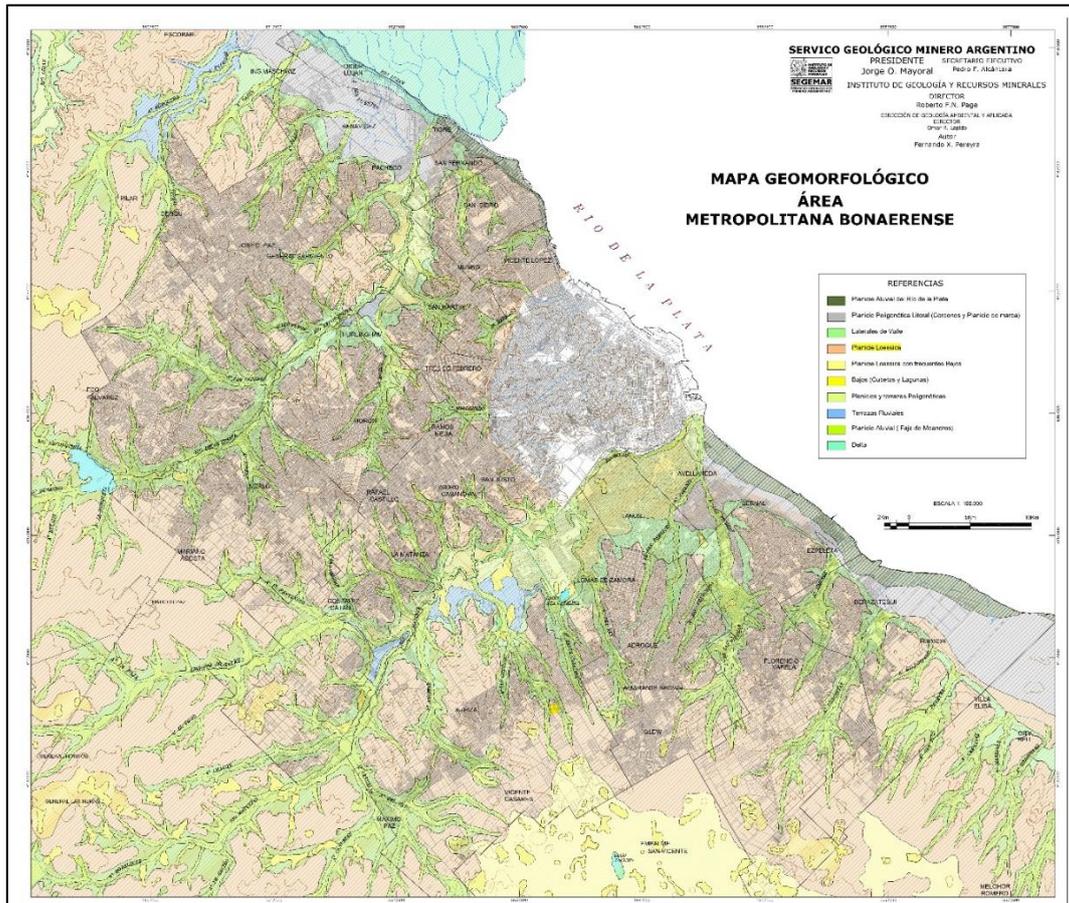


Figura 41.- Mapa geomorfológico de la provincia de Buenos Aires. Fuente: SEGEMAR

Respecto al modelo que incorpora a las celdas de biorretención, a diferencia de la alternativa “convencional”, la discretización de las subcuencas fue mayor con el objetivo de lograr que las descargas de las áreas de aporte fueran más precisas. Se trazaron subcuencas para representar:

Calles pavimentadas: completamente impermeables.

Veredas: con un porcentaje de impermeabilidad asociado a accesos a cocheras o viviendas (generalmente de baldosas u hormigón).

Fracción impermeable de parcelas: con 100 % de impermeabilidad según el esquema conceptual de la Figura 42.

Área restante de parcelas: corresponde a la diferencia entre el área total de la parcela y la fracción impermeable (ver Figura 42).

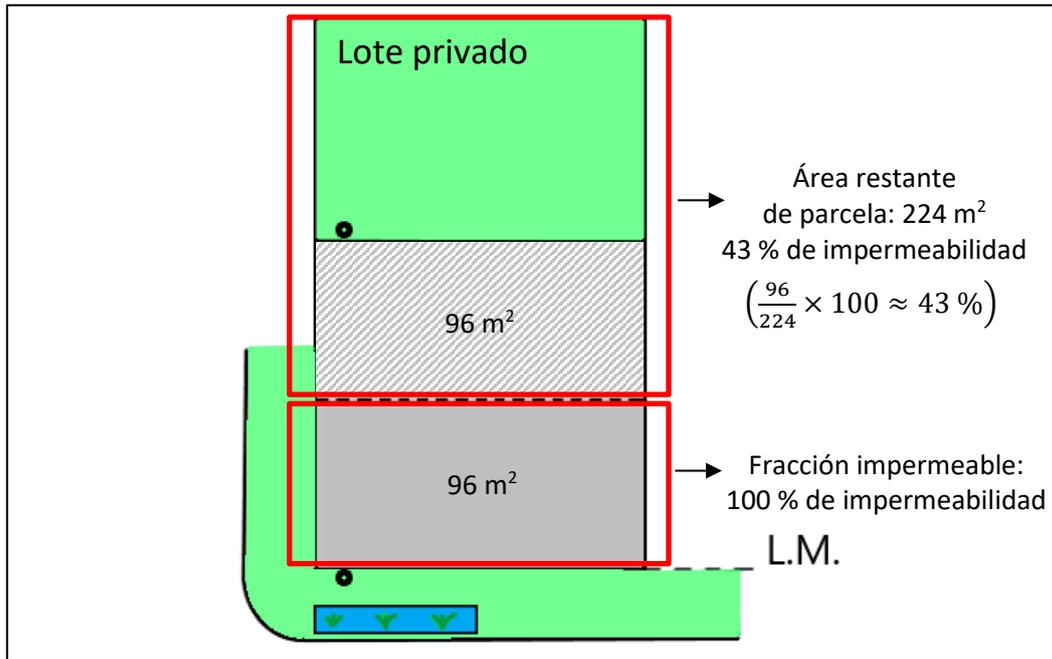


Figura 42.- Porcentajes de impermeabilidad de las subcuencas

Celdas de biorretención: los parámetros de este tipo de subcuencas quedan reemplazados por la introducción de los asociados al “módulo LID”, que se describirá en su apartado correspondiente.

A continuación se muestra en la Figura 43 una manzana de ejemplo donde se observa la discretización de dichas áreas en uno de sus lotes:

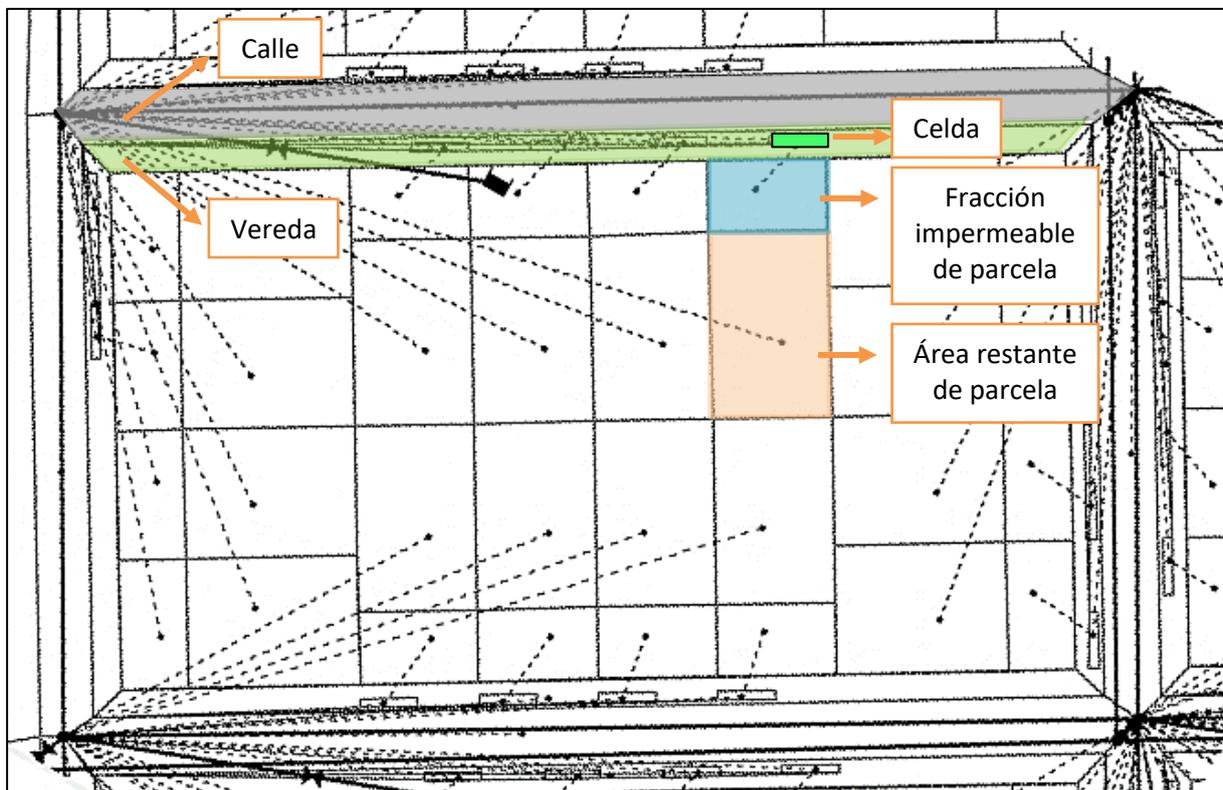


Figura 43.- Discretización de subcuencas en el SWMM (Modelo SUDS-BR)

Secciones transversales

El programa brinda un catálogo de secciones transversales típicas (circular, rectangular abierta o cerrada, etc.) pero también permite que el usuario construya su propia sección. De esta manera, se elaboraron para ambos modelos de las alternativas, las siguientes secciones:

- Sección de calle: están conformadas por el perfil de calle de pavimento rígido, los cordones cuneta de hormigón armado y las veredas de césped. SWMM permite asignar un coeficiente de Manning “n” a cada tipo de superficie. En la Figura 44 se muestra la sección pavimentada en la interfaz del SWMM:

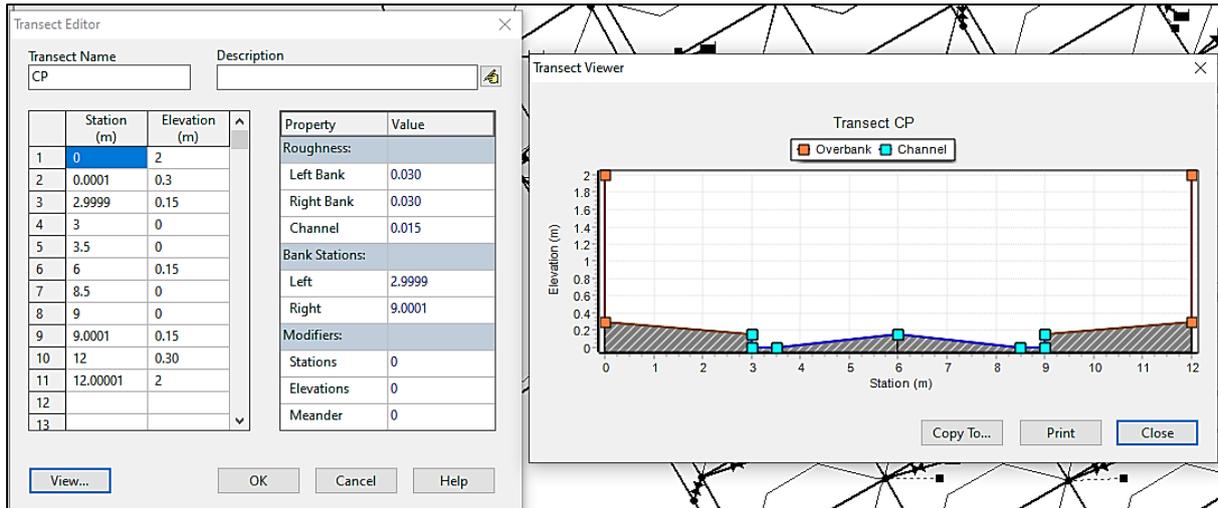


Figura 44.- Sección de calle pavimentada en SWMM (en azul la calle y sus cunetas y en naranja, las veredas)

- Sección de conducto pluvial: en su mayoría son circulares de hormigón de diámetros variables entre 0,60 m y 1,20 m, a excepción del último tramo del colector principal que consiste en una sección rectangular (ver Figura 45).

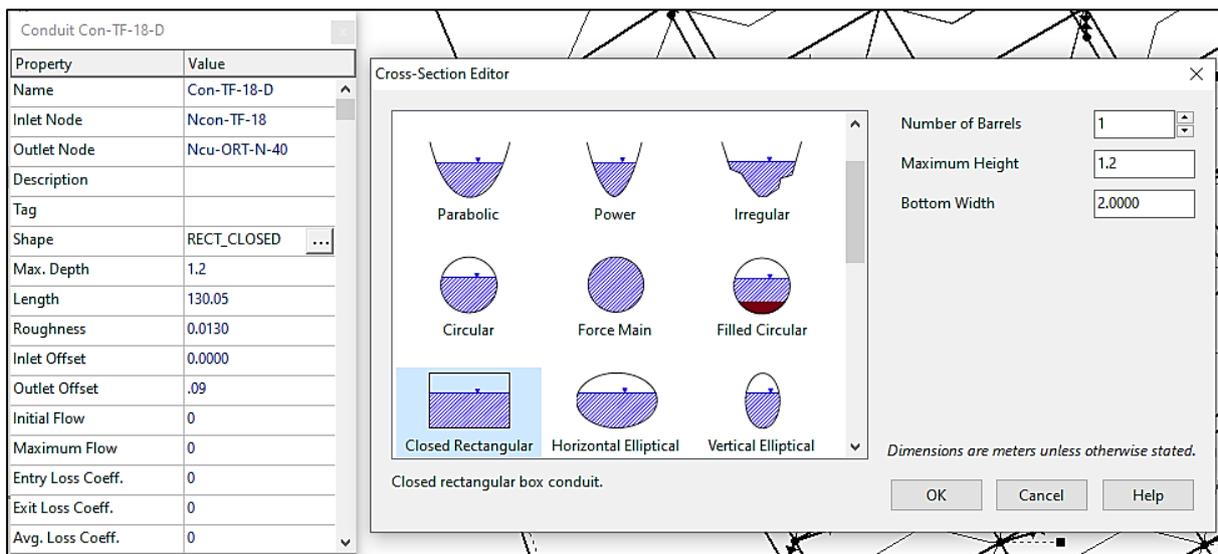


Figura 45.- Sección rectangular en SWMM

Conducciones o “links”

El transporte hidráulico se representa mediante conducciones (a cielo abierto o cerradas) denominadas “links” que vinculan a los nodos y cuya sección se configura según lo visto anteriormente. De esta manera se trazaron “links” para simular el escurrimiento por calle y por conductos pluviales.

Por otro lado, también son considerados “links” los elementos de vinculación tales como vertederos y orificios. Los primeros se utilizaron para representar el ingreso de agua por los sumideros y los segundos para simular el ingreso de agua a las viviendas.

Los sumideros son del tipo para calle pavimentada, de sección rectangular de altura igual al cordón de calle y longitud según lo obtenido en el apartado 2.3.3. El ingreso de agua es lateral (“sideflow”) como se muestra en la Figura 46:

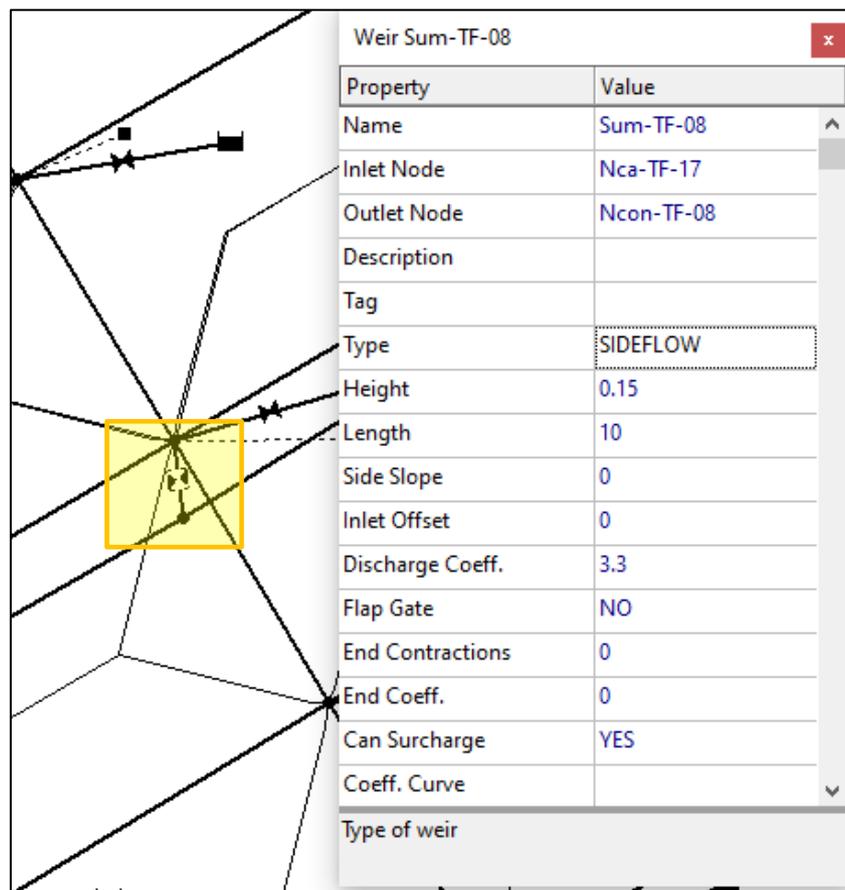


Figura 46.- Sumidero para calle pavimentada en SWMM

Módulo LID en SWMM

El software presenta dentro del módulo hidrológico los “controles LID” donde se definen las tipologías de SUDS a emplear y sus características básicas de composición (materiales, espesores, parámetros de infiltración, de drenes en caso de existir, etc.). Para el presente Trabajo, se creó un control para las celdas en serie (denominado “CELDAS-BR-S”) y otro para las que funcionan en paralelo (“CELDAS-BR-P”). El software interpreta a una celda de biorretención según el modelo conceptual de la Figura 47:

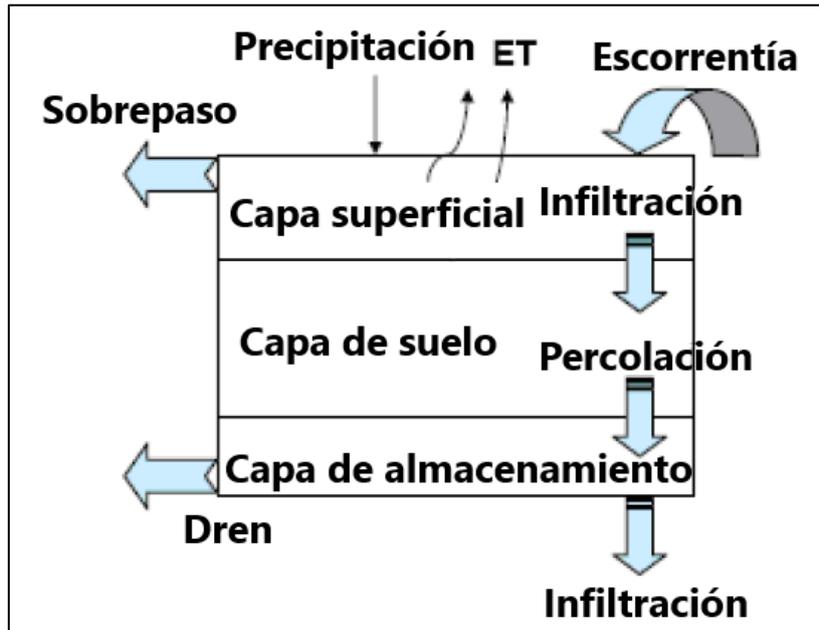


Figura 47.- Diagrama conceptual de una celda de biorretención. Adaptado de: “Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.1”, EPA

La capa superficial es la que permite la acumulación de agua proveniente de la escorrentía directa de la fracción impermeable de la parcela y de la precipitación que cae sobre la propia celda. Cuando se supera la altura máxima disponible (“d₁”) los excesos de agua se evacúan en el cordón cuneta hasta el encuentro con el sumidero del sistema pluvial convencional.

Tanto en la capa de suelo (correspondiente al medio filtrante) como en el suelo nativo la tasa de infiltración se interpreta por el modelo de Green-Ampt¹:

$$f_1 = K_{1s} \left(1 + \frac{(\phi_1 - \theta_1)(d_1 + \psi_1)}{F} \right) \quad [21]$$

Donde:

f₁: es la tasa de infiltración del suelo (mm/h).

K_{1s}: es la conductividad hidráulica del suelo saturado (mm/h).

θ₂₀: es el contenido de humedad en la parte superior del suelo (-).

ψ₂: es la altura de succión del frente húmedo formado en el suelo (m).

F: es la infiltración acumulada en volumen por unidad de área (m).

ϕ₂: es la porosidad del suelo (volumen de vacíos/volumen total).

d₁: altura de agua acumulada en superficie (m).

Así mismo, la capa de almacenamiento se interpreta por la ley de Darcy donde:

$$f_2 = \begin{cases} K_{2s} e^{(-HCO(\theta_2 - \theta_2))}, & \theta_2 > \theta_{FC} \\ 0, & \theta_2 \leq \theta_{FC} \end{cases} \quad [22]$$

Donde:

¹ “Storm Water Management Model Reference Manual – Volume III – Water Quality”; (2018); United States Environmental Protection Agency (EPA).

f_2 : es la tasa de infiltración de la capa de almacenamiento (mm/h).

K_{25} : es la conductividad hidráulica del suelo saturado (mm/h).

HCO: es la constante de decaimiento derivada de la curva de retención de humedad que describe cómo la conductividad decrece a medida que el contenido de humedad lo hace.

θ_{20} : es el contenido de humedad en la parte superior del suelo (-).

θ_{F0} : es la capacidad de campo del suelo (-).

Por otro lado, la ecuación que describe el comportamiento del dren viene dada por:

$$q_3 = C_{3D}(h_3)^{\eta_{3D}} \quad [23]$$

Donde:

h_3 : es la carga hidráulica (m).

C_{3D} : es el coeficiente de descarga del dren ($m^{-(\eta_{3D}-1)}/s$)

η_{3D} : es el exponente de descarga.

Por último, se ha despreciado el efecto de la evapotranspiración en el balance.

A continuación se indican cuáles son los parámetros necesarios a introducir en la creación del control de las celdas en serie. Éstas se configuraron de igual manera que las celdas en paralelo sólo que se definieron además, los parámetros del dren:

Para la capa superficial:

- Altura máxima de acumulación de agua en mm (“Berm Height”)
- Pendiente media de las celdas (“Surface Slope”)
- Fracción del volumen de vegetación (“Vegetation Volume”)
- Rugosidad superficial (“Surface Roughness”) o coeficiente de Manning ($s/m^{1/3}$)

En la Figura 48 se muestra la interfaz del SWMM para esta capa:

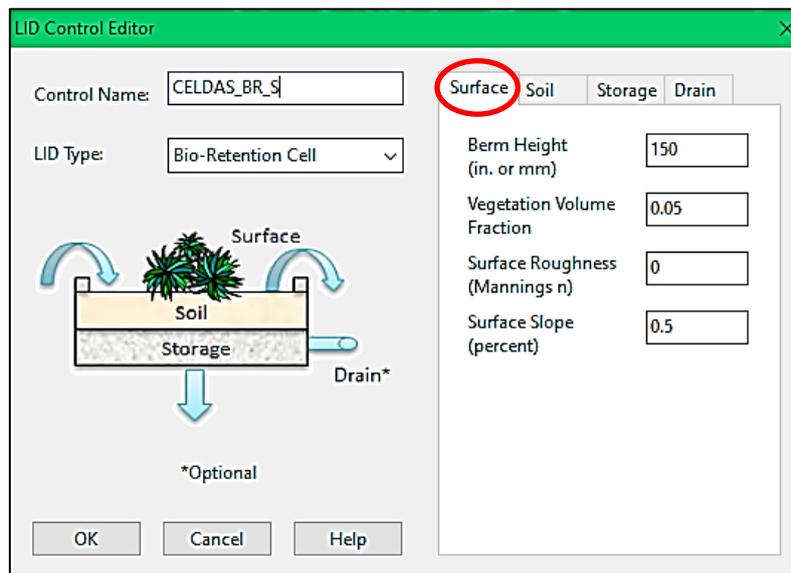


Figura 48.- Parámetros de la capa superficial en SWMM

Para la capa de suelo:

- Espesor de la capa en mm (“Thickness”)
- Porosidad (“Porosity”)
- Capacidad de campo (“Field Capacity”)
- Punto de marchitez permanente (“Wilting Point”)
- Altura de succión en mm (“Suction Head”)
- Conductividad en mm/h (“Conductivity”)
- Pendiente de conductividad, que se estimó según lo indicado en el manual del software como:

$$\text{Pendiente de conductividad} = 0,48(\% \text{Arena}) + 0,85(\% \text{arcilla}) \quad [24]$$

En la Figura 49 se muestra la interfaz del SWMM para esta capa:

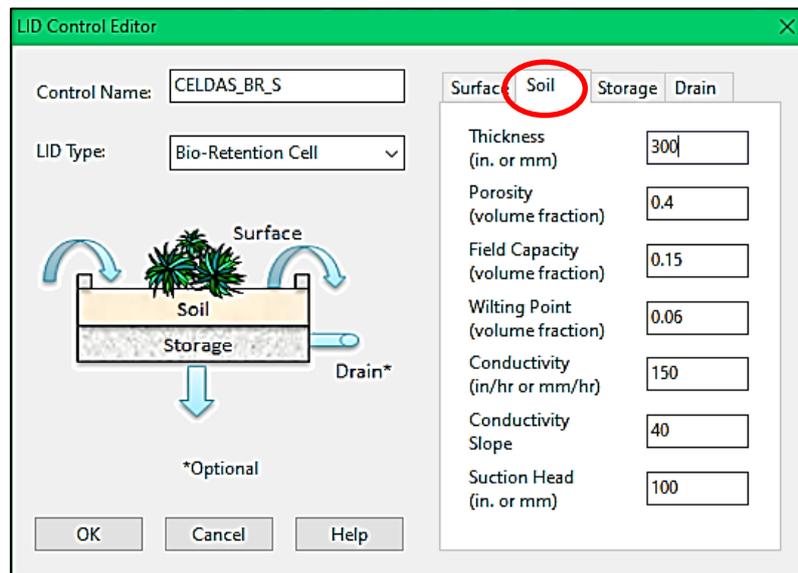


Figura 49.- Parámetros de la capa de suelo en SWMM

Para la capa de almacenamiento:

- Espesor de la capa en mm (“Thickness”)
- Porosidad (“Porosity”)
- Capacidad de infiltración del suelo nativo en mm/h (“Seepage Rate”)
- Factor de colmatación (“Clogging Factor”)

En la Figura 50 se muestra la interfaz del SWMM para esta capa:

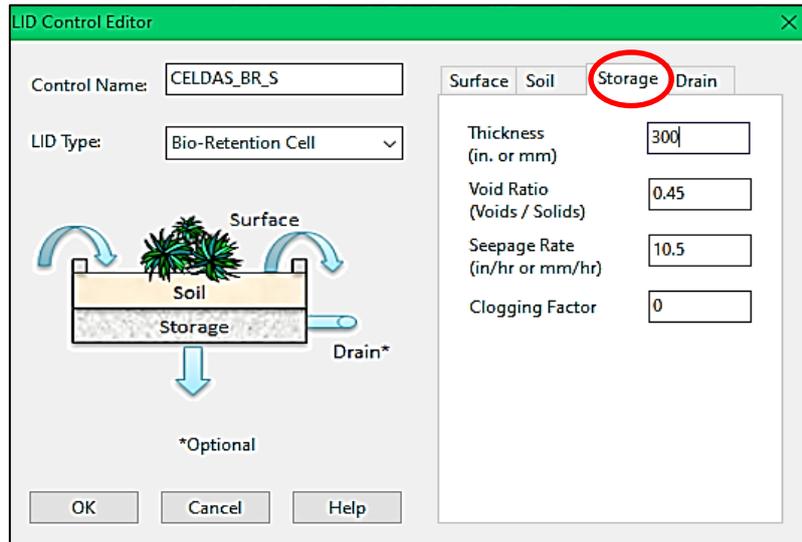


Figura 50.- Parámetros de la capa de almacenamiento en SWMM

Para el dren de las celdas en serie:

- Coeficiente “C” de la ecuación del dren (“Flow Coefficient”)
- Exponente “n” de la ecuación del dren (“Flow Exponent”)

En la Figura 51 se muestra la interfaz del SWMM para el dren:

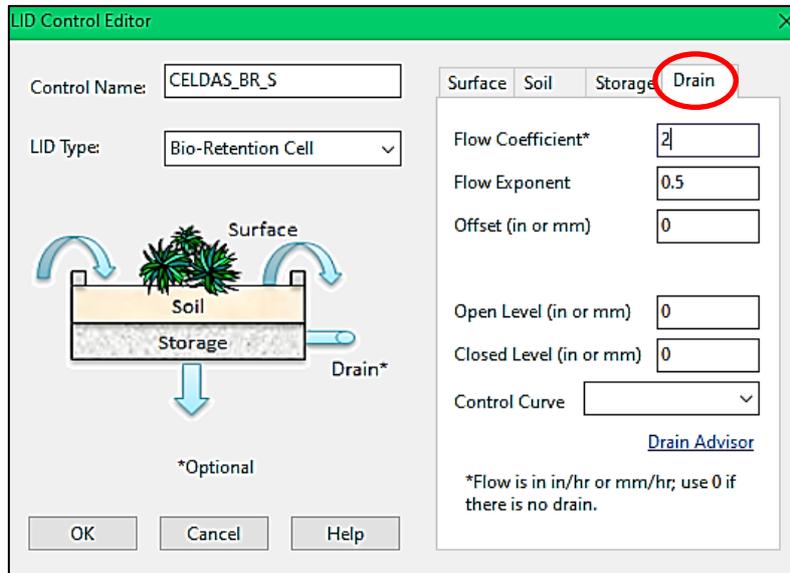


Figura 51.- Parámetros del dren en SWMM

Para asociar un “control LID”:

Para asociar un “control LID” a la subcuenca que representa a una celda de biorretención, se introdujeron:

- Tipo de control (“LID Control Name”)
- Área de cada unidad en m² (“Area of Each Unit”)
- Cantidad de unidades dentro de la subcuenca (“Number of Units”)

- Porcentaje de saturación inicial (“% Initially Saturated”)
- Porcentaje de área impermeable (“% of Impervious Area Treated”)
- Porcentaje de área permeable a tratar (“% of Pervious Area Treated”)
- En caso que la celda funcione en serie, se indicó en el SWMM cuál es la subcuenca o nodo de descarga del dren (“Send Drain Flow To”).

En la Figura 52 se muestran dichos parámetros:

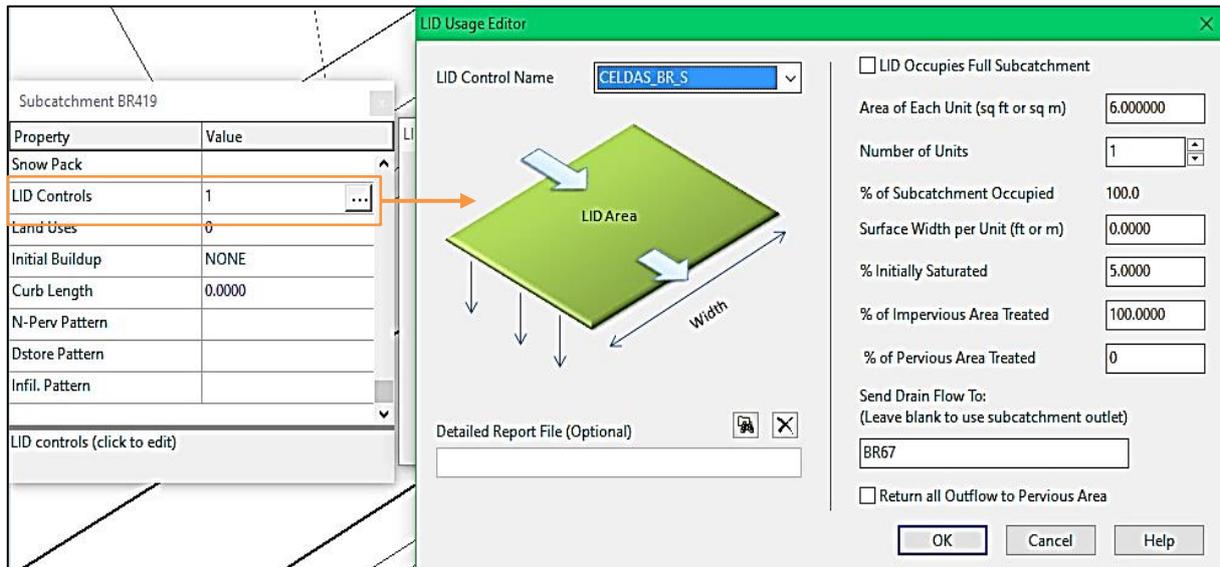


Figura 52.- Parámetros asignados a las subcuencas de las celdas en SWMM

Como se verá en el apartado siguiente, el programa brinda para cada componente de SUDS asociado a una subcuenca, un balance de agua expresando la cantidad de agua inicial en la celda, desbordes en caso de haberlos, volumen de agua ingresante a la celda, entre otros. También existe la opción de obtener un reporte detallado (“Detailed Report”) donde se indica para cada paso de tiempo (de 5 minutos) la cantidad de agua entrante a la celda, en exceso, infiltrada y que se eroga por el dren.

Por último, cabe aclarar que el resto de los elementos que componen el “Modelo SUDS-BR”, es decir, los nodos, los conductos (“links”), los reservorios, los orificios y los sumideros (“weirs”), no se modifican respecto del modelo de la alternativa tradicional (ni en cantidad ni en parámetros asignados).

2.5 Variables de análisis contrastadas

En este apartado se describen las variables analizadas en la modelación de ambas alternativas, para distintas recurrencias y duraciones de tormentas. Se analizó:

- La variación en el volumen de escorrentía total, de infiltración y almacenamiento.
- La variación del caudal pico, de la hora pico y del volumen de agua en la descarga.
- La modificación de la capacidad de las conducciones.
- La variación de la altura de agua en calle.
- La evolución en el tiempo de los parámetros típicos de las celdas, esto es, el nivel superficial de agua, la infiltración en la capa de suelo, el nivel de agua en la capa de almacenamiento y el caudal por el dren para las vinculadas en serie.

Las corridas de los modelos se efectuaron para tormentas de 1 hora de duración y para recurrencias de 1,01 años (recurrencia de diseño de los SUDS), de 2 años (recurrencia de diseño de los desagües pluviales tradicionales) y 5 años (recurrencia de verificación).

La duración de la tormenta seleccionada es superior al tiempo de concentración de la cuenca, de manera que toda su superficie esté aportando a la descarga. El tiempo de simulación establecido fue de 12 horas.

También se evaluó el funcionamiento de ambas redes (tradicional y con SUDS) para duraciones de 3 y 6 horas, para lo cual fue necesario aumentar el tiempo de simulación a 48 horas de manera de obtener la evolución completa de los parámetros de las celdas.

Volúmenes totales

En el presente trabajo se analizaron los volúmenes totales comprendidos en ambas alternativas. El software ofrece un reporte con un resumen de los volúmenes implicados en toda el área de modelación, correspondientes a los procesos de escorrentía, infiltración y almacenamiento final para ambas alternativas. Así mismo, del “Modelo-SUDS-BR” se obtuvieron los volúmenes de almacenamiento inicial en las celdas de biorretención y el caudal drenado para aquellas vinculadas en serie.

Luego se calculó la diferencia porcentual entre volúmenes entre ambas alternativas, expresada como:

$$Diferencia (\%) = \left(\frac{V_{SUDS} - V_{TRAD}}{V_{TRAD}} \right) \times 100 \quad [25]$$

Siendo V_{TRAD} el volumen de la alternativa tradicional y V_{SUDS} el volumen cuando se añaden los SUDS, ya sea que se trate de escorrentía, infiltración o almacenamiento. De aquí en adelante el subíndice “TRAD” refiere a los resultados correspondientes al “Modelo TRAD-SE” y el subíndice “SUDS” al que incorpora a las celdas de biorretención (“Modelo SUDS-BR”).

Los volúmenes que el software brinda son de:

- Escorrentía
- Infiltración
- Almacenamiento
- Almacenamiento inicial y Drenaje de SUDS en serie (para el caso del “Modelo SUDS-BR”).

Caudales y volúmenes en la descarga pluvial

Se analizaron los hidrogramas en la desembocadura del colector principal en el arroyo Ortega, cuya ubicación se muestra en la Figura 53:

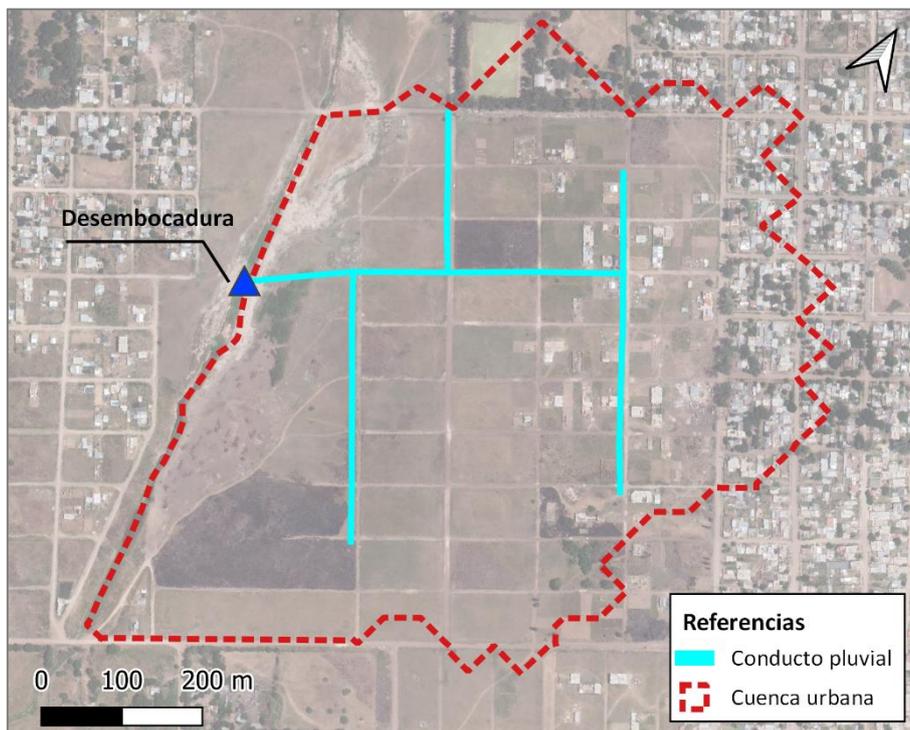


Figura 53.- Ubicación de la desembocadura

Esto permitió conocer los volúmenes en la descarga para ambas alternativas y obtener la diferencia porcentual.

Capacidad de las conducciones

El análisis comparativo de cómo se modifica la capacidad de los conductos cuando se incorporan los SUDS, fue de especial interés para el caso de las recurrencias de diseño y verificación adoptadas en las prácticas habituales de diseño de la provincia de Buenos Aires (2 y 5 años respectivamente). Aún así, se analizó la capacidad máxima, y por lo tanto el tirante máximo, que alcanzan los conductos para el evento de precipitación de 1,01 años de recurrencia y 1 hora de duración.

El software permite obtener la evolución de la capacidad de los conductos en el tiempo como una fracción de la sección, es decir, si la sección se encuentra llena la capacidad tiene un valor igual a la unidad. En la Figura 54 se muestra la disposición de los conductos con la nomenclatura específica de sus tramos:

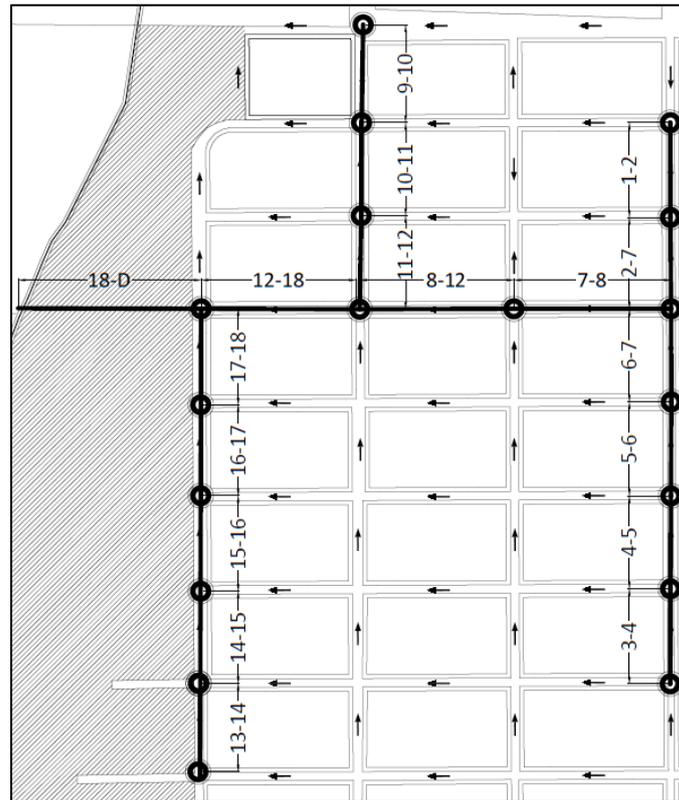


Figura 54.- Identificación de tramos de conductos

La eficiencia se expresó en función de la capacidad “C” ganada en los conductos debido a la presencia de las celdas de biorretención:

$$Eficiencia (\%) = \left(\frac{C_{TRAD} - C_{SUDS}}{C_{TRAD}} \right) \times 100 \quad [26]$$

De la misma manera, la reducción del tirante de agua “h” se formuló como se muestra a continuación:

$$Reducción \ de \ h \ (\%) = \left(\frac{h_{TRAD} - h_{SUDS}}{h_{TRAD}} \right) \times 100 \quad [27]$$

Altura de agua en calle

Aquí se tomaron para el análisis los puntos críticos de la modelación tradicional, es decir, aquellas esquinas que poseían los mayores valores de altura de agua y se los comparó con los correspondientes a la alternativa sustentable. A continuación, se muestra la ubicación de dichos puntos en la Figura 55:

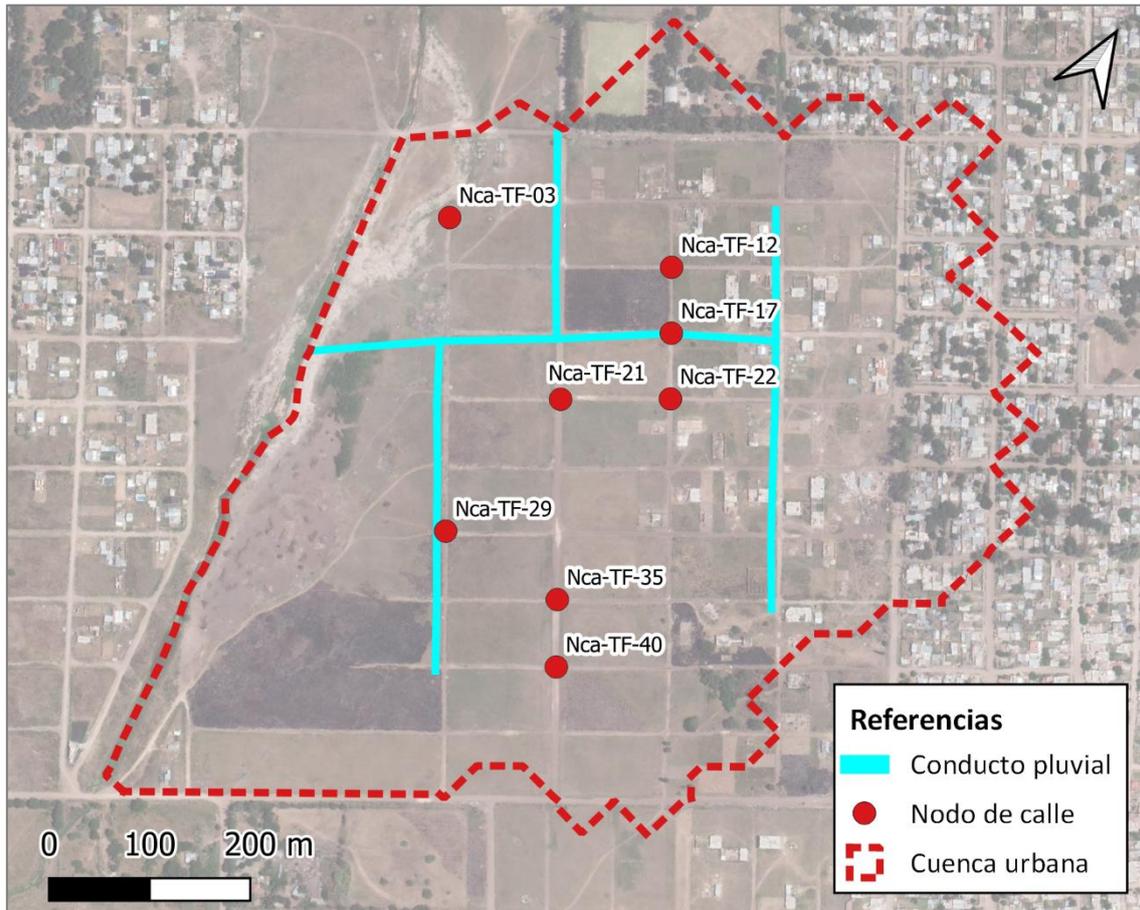


Figura 55.- Ubicación de las esquinas críticas

También se elaboraron mapas con la altura de agua en calle para los eventos de precipitación de 1 hora de duración, recurrencias de 1,01, 2 y 5 años y para ambas alternativas.

Parámetros típicos de las celdas

El software ofrece, por un lado, un resumen de resultados para cada celda de biorretención en el cual se realiza un balance de volúmenes y por el otro, la evolución en el tiempo de parámetros de las celdas como reportes en formato “.txt” que luego pueden ser abiertos en planillas de cálculo. Para tener entonces la evolución completa de los parámetros fue necesario aumentar el tiempo de modelación de 12 a 48 hs. Para cuatro celdas “tipo” vinculadas en serie se analizó el balance de volúmenes cuyos valores se expresan en milímetros por unidad de área de la celda. Cada celda, representada por una subcuenca rectangular “i”, descarga los caudales del dren en el dren de la celda subsiguiente (“i+1”), hasta que la última celda de la serie evacúa sus caudales en la cámara del sumidero más próximo. El balance de volúmenes para la primera celda de la serie viene expresado por:

$$Vent_{BR1} + S_i \approx P_{ev} + P_{inf} + Desb + Vdren + S_f \quad [28]$$

Donde:

“ V_{ent} ” representa el ingreso del volumen a la celda, proveniente de la escorrentía directa generada en la fracción de la superficie impermeable de la parcela (ver el esquema conceptual de una parcela en el apartado 2.4.2).

“ P_{ev} ” representa las pérdidas por evaporación (la cual se desprecia).

“ P_{inf} ” son las pérdidas por infiltración (es el volumen que se infiltra en la celda).

“Desb.” es el volumen de desborde, es decir, aquél que supera la altura máxima acumulable sobre la celda y que se evacúa por la rejilla de sobrepaso.

“ V_{dren} ” es el volumen total que escurre por el dren, ubicado en el fondo de la celda.

“ S_i ” y “ S_f ” son los volúmenes de almacenamiento inicial y final respectivamente. Como las celdas se suponen con un porcentaje de humedad inicial “ S_i ” es distinto de cero.

Por último, ambos términos de la ecuación [28] no son exactamente iguales por el error propio de los cálculos del software. Para el balance de la celda subsiguiente, el volumen entrante está representado por el que proviene de la fracción impermeable del lote y por el volumen del dren de la celda “ i ” y así sucesivamente con las celdas restantes de la serie. La última de celda de la serie recibe mediante el dren los aportes de las celdas que le preceden, para finalmente descargar en la cámara del sumidero más próximo.

El balance de volúmenes para una celda “tipo” en paralelo es similar excepto que no existe un volumen por el dren.

Respecto a la evolución en el tiempo de los parámetros, se analizaron la infiltración superficial en la celda, el nivel superficial que se acumula, el caudal erogado por el dren (en caso de existir) y el nivel en la capa de almacenamiento. Particularmente fueron de interés el tiempo de permanencia del nivel de agua en superficie; el tiempo de vaciado de la celda, que se da cuando la curva del nivel de almacenamiento se aproxima a cero; y la duración del desborde en caso de haber.

3. Resultados

3.1 Leyes I-d-R

Según el método de regionalización de curvas I-d-R del Manual para el Diseño de Planes Maestros (Ref. 2), los valores de precipitación media intensa y del coeficiente de variación para 1 y 12 horas en Esteban Echeverría que se obtuvieron se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4.- P_{media} y CV para duraciones de 1 y 12 horas

Datos de entrada	
\bar{X}_1 (mm)	36
CV_1	0,31
\bar{X}_2 (mm)	75
CV_2	0,28

Y en la Tabla 5 se muestran las intensidades de precipitación “ I ” para diferentes recurrencias y para duraciones de 1 y 12 horas (subíndices 1 y 2 respectivamente):

Tabla 5.- Valores de precipitación e intensidad $f(R)$ para duraciones de 1 y 12 horas

	Recurrencia (años)						
	1,01	2	5	10	25	50	100
X₁ (mm)	17,7	34,2	44,0	50,6	58,8	64,9	71,0
X₂ (mm)	40,5	71,6	90,1	102,4	117,9	129,4	140,9
I₁ (mm/h)	17,7	34,2	44,0	50,6	58,8	64,9	71,0
I₂ (mm/h)	3,4	6,0	7,5	8,5	9,8	10,8	11,7

Los valores de la intensidad que surgieron de los cálculos se muestran en la Tabla 6 y las curvas I-d-R se muestran en los Gráficos 5 y 6:

Tabla 6.- Valores de intensidad en mm/h para diferentes recurrencias y duraciones

		Recurrencia (años)						
		1,01	2	5	10	25	50	100
Duración (minutos)	5	122,0	240,1	310,6	357,4	416,4	460,2	503,7
	10	70,5	138,5	179,1	206,0	240,0	265,3	290,3
	15	51,3	100,6	130,0	149,5	174,1	192,4	210,5
	20	41,0	80,2	103,6	119,1	138,7	153,3	167,7
	30	29,9	58,4	75,4	86,6	100,9	111,4	121,9
	60	17,7	34,2	44,0	50,6	58,8	64,9	71,0
	120	10,6	20,3	26,0	29,8	34,7	38,2	41,8
	180	8,0	15,1	19,3	22,1	25,6	28,2	30,8
	360	5,1	9,3	11,8	13,5	15,6	17,2	18,7
	720	3,4	6,0	7,5	8,5	9,8	10,8	11,7
	1440	2,4	4,1	5,0	5,7	6,5	7,1	7,7
Coef.	a	438,15	864,59	1.119,53	1.288,32	1.501,58	1.659,79	1.816,83
	b	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	c	1,11	1,49	1,71	1,86	2,05	2,19	2,33

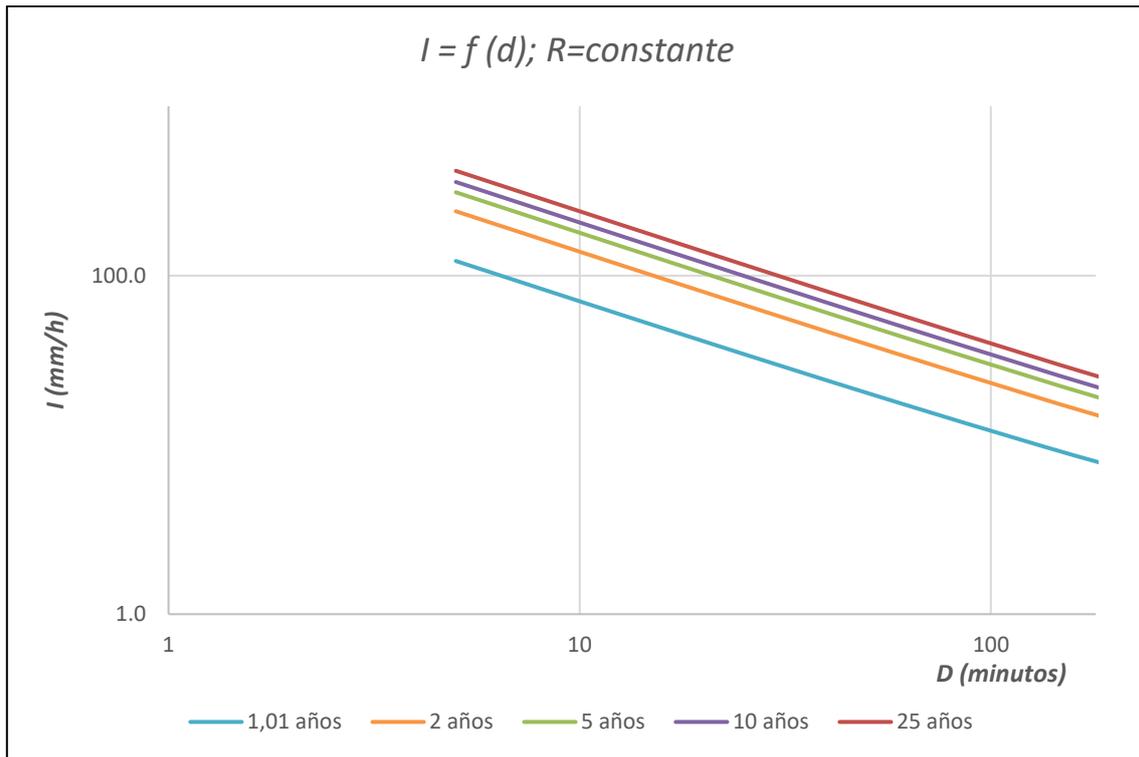


Gráfico 5.- Leyes de intensidad en función de la duración (R=cte)

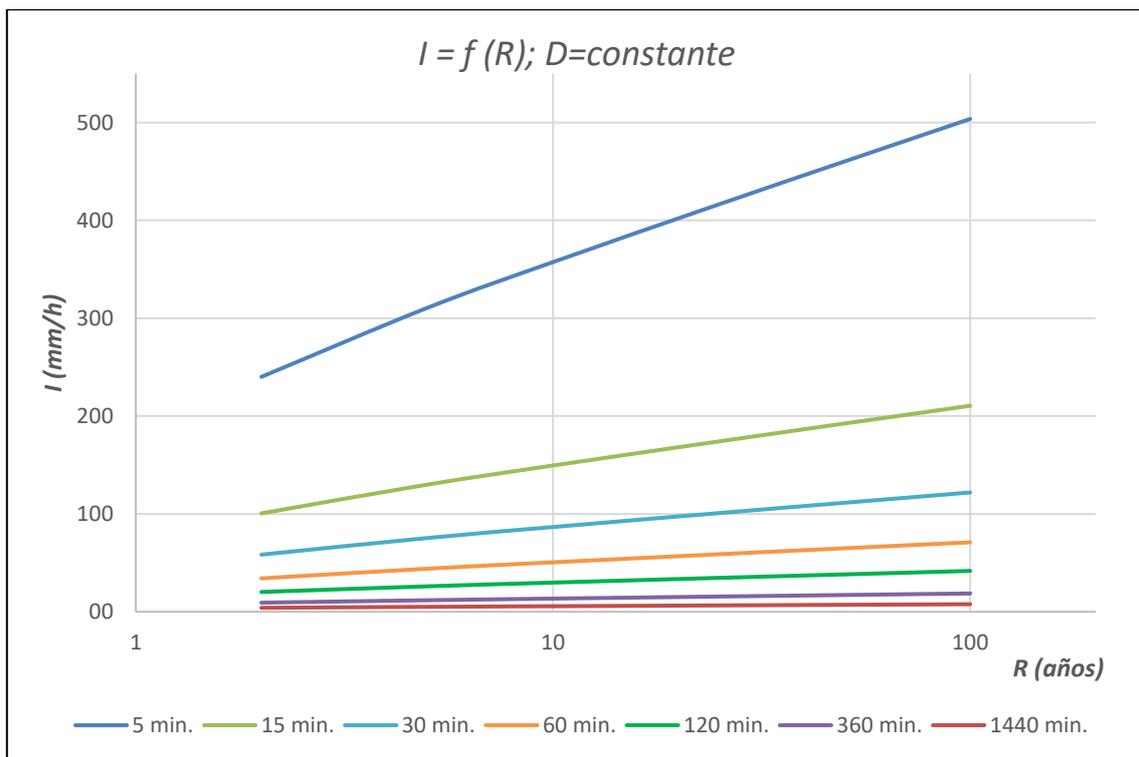


Gráfico 6.- Leyes de intensidad en función de la recurrencia (D=cte)

3.2 Método Racional

Según lo visto en el apartado de metodología, lo primero a definir para la obtención de los caudales según el Método Racional fue el coeficiente de escorrentía. Éste, es el parámetro que tiene en cuenta qué porcentaje de la precipitación se transforma en escurrimiento superficial y se asumió constante para la totalidad de la cuenca obteniendo su valor de la Figura 56:

Descripción del área	Rango de C	Valor recomendado
Centro comercial	0.70-0.95	0.85
Periférico	0.50-0.70	0.60
Residencial		
Casas individuales	0.30-0.50	0.40
Deptos. con espacios	0.40-0.60	0.50
Deptos. Pegados	0.60-0.75	0.70
Suburbano	0.25-0.40	0.35
Departamentos	0.50-0.70	0.60
Industrial		
Poco densa	0.50-0.80	0.65
Muy densa	0.60-0.90	0.75
Parques	0.10-0.25	0.20
Deportes	0.20-0.35	0.30
Baldíos	0.10-0.30	0.20
Carácter de la Superficie	Rango de C	Valor recomendado
Pavimento-Asfalto	0.70-0.95	0.85
Empedrado	0.75-0.85	0.80
Techos	0.75-0.95	0.85
Parques suelo arenoso		
0% - 2%	0.05-0.10	0.08
2% - 7%	0.10-0.15	0.13
Mayor 7%	0.15-0.20	0.18
Parques suelo pesado		
0% - 2%	0.13-0.17	0.15
2% - 7%	0.18-0.22	0.20
Mayor 7%	0.25-0.35	0.30

Figura 56.- Coeficiente de escorrentía (Ref. 23)

Se adoptó un valor de 0,60 que corresponde a la categoría de “periférico”. Luego de analizar diferentes alternativas de trazado de las conducciones y sus respectivas cuencas de aporte, se definió la disposición final de los conductos pluviales tal como se muestra en la Figura 57 (ver “Plano TF-PG-02” en el Anexo II):

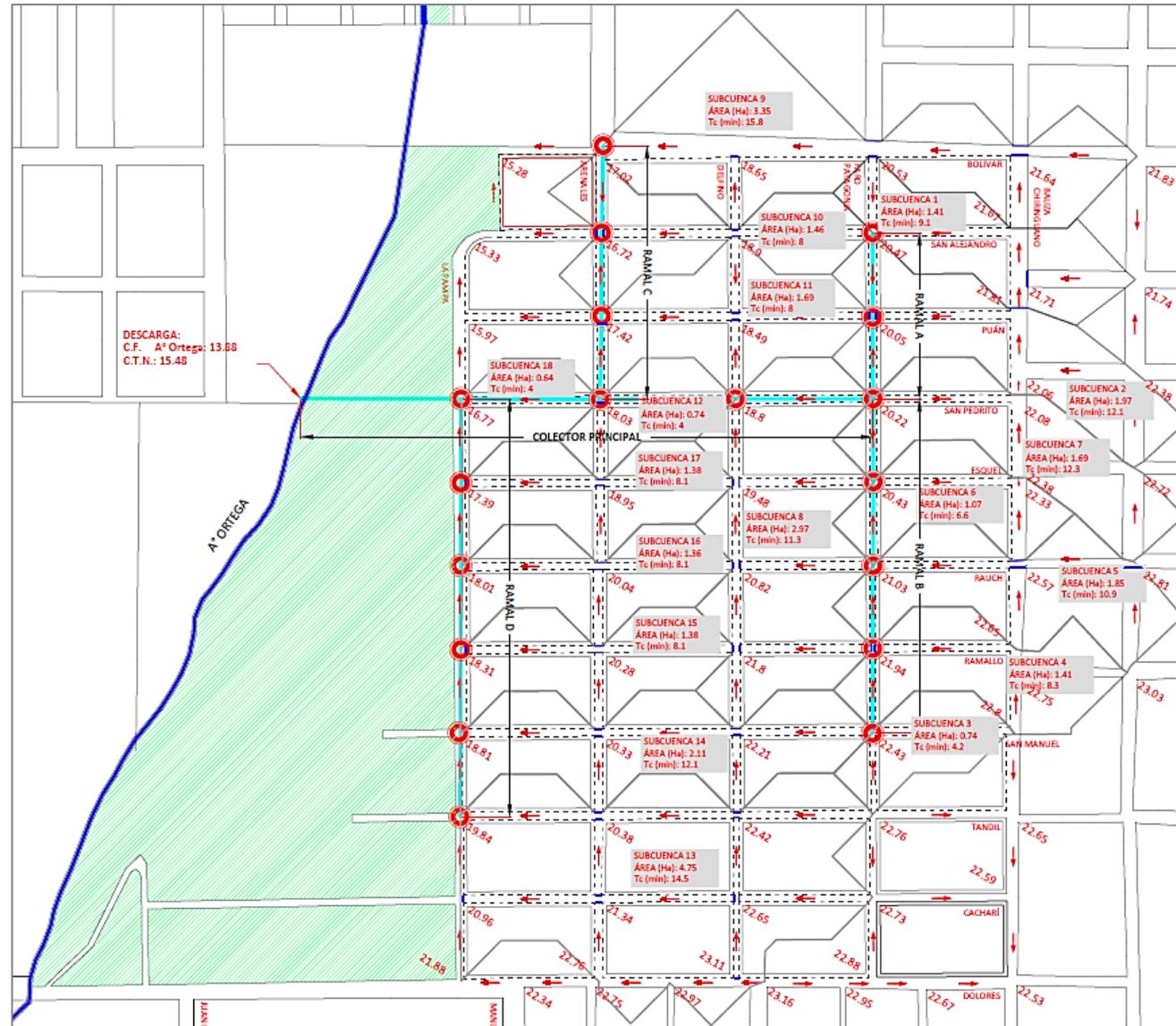


Figura 57.- Planimetría con subcuencas urbanas

Para obtener el Tc de toda la subcuenca, se determinó la longitud de recorrido máxima de toda la cuenca de aporte (863 m) y la velocidad de recorrido según el gráfico del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) como se muestra en la Figura 58:

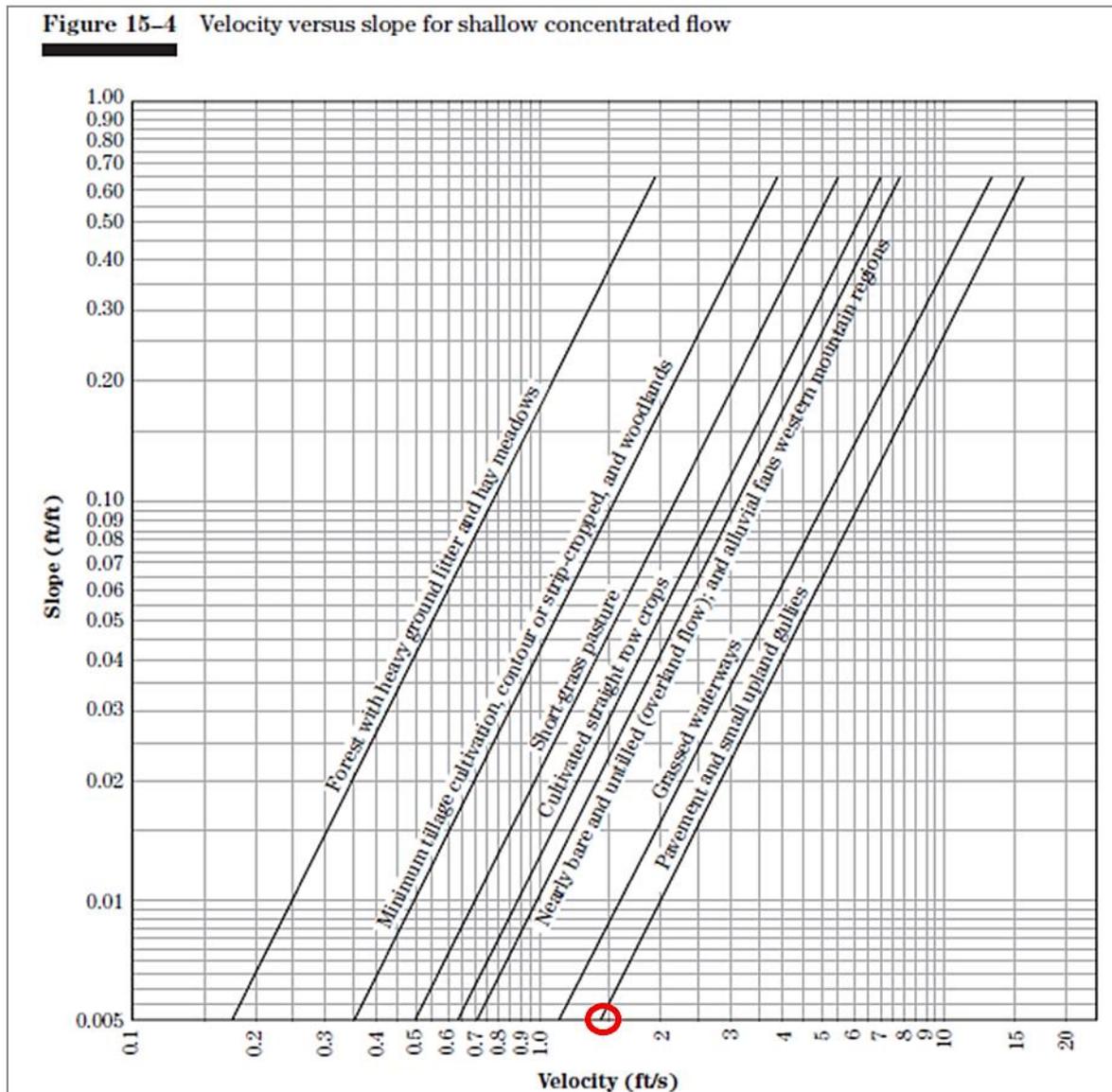


Figura 58.- Gráfico de velocidad vs. Pendiente según el tipo de superficie (Ref. 19)

$$V \text{ (m/s)} = 0,46$$

Obteniendo finalmente:

$$Tc \text{ (min)} = \frac{L_{m\acute{a}x}}{V} \quad [29]$$

$$Tc \text{ (min)} = \frac{862,5 \text{ m}}{0,46 \frac{\text{m}}{\text{s}}} / 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 32$$

Se adoptó entonces una duración de la tormenta de 1 hora, de manera que toda la cuenca se encuentre aportando al punto de descarga. La recurrencia de diseño fue de 2 años mientras que la de verificación fue de 5 años.

Los parámetros principales de las subcuencas de aporte se muestran en la Tabla 7:

Tabla 7.- Parámetros principales de las subcuencas de aporte

Subcuencas					
Id	A (Ha)	L (m)	ΔH (m)	C	Tc (min)
1	1,41	250,42	1,27	0,60	9,13
2	1,97	333,35	2,67	0,60	12,15
3	0,74	116,18	0,37	0,60	4,24
4	1,41	228,87	1,09	0,60	8,34
5	1,85	299,52	2	0,60	10,92
6	1,07	181,88	2,14	0,60	6,63
7	1,69	337,8	2,59	0,60	12,31
8	2,97	310,94	3,14	0,60	11,33
9	3,35	431,93	4,81	0,60	15,75
10	1,46	218,49	3,75	0,60	7,96
11	1,69	218,89	2,63	0,60	7,98
12	0,73	109,46	0,77	0,60	3,99
13	4,75	397,64	2,89	0,60	14,50
14	2,11	332,58	3,62	0,60	12,12
15	1,38	223,38	3,49	0,60	8,14
16	1,36	221,45	2,81	0,60	8,07
17	1,38	221,34	2,09	0,60	8,07
18	0,64	113,1	1,26	0,60	4,12

Se muestra también un extracto de la planilla con los valores del producto del coeficiente de escorrentía y el área para algunas de las subcuencas en la Tabla 8:

Tabla 8.- Extracto de planilla de cálculo (Cx A)

C x A para cada paso de tiempo											
Subcuencas											
t (minutos)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,09	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,08	0,16	0,13	0,11	0,13
2	0,19	0,19	0,21	0,20	0,20	0,19	0,16	0,31	0,26	0,22	0,25
3	0,28	0,29	0,32	0,30	0,31	0,29	0,25	0,47	0,38	0,33	0,38
4	0,37	0,39	0,42	0,41	0,41	0,39	0,33	0,63	0,51	0,44	0,51
5	0,46	0,49	0,45	0,51	0,51	0,49	0,41	0,79	0,64	0,55	0,64
6	0,56	0,58	0,45	0,61	0,61	0,58	0,49	0,94	0,77	0,66	0,76
7	0,65	0,68	0,45	0,71	0,71	0,64	0,58	1,10	0,89	0,77	0,89
8	0,74	0,78	0,45	0,81	0,81	0,64	0,66	1,26	1,02	0,88	1,02
9	0,84	0,87	0,45	0,85	0,92	0,64	0,74	1,42	1,15	0,88	1,02
10	0,85	0,97	0,45	0,85	1,02	0,64	0,82	1,57	1,28	0,88	1,02

La disposición final de los conductos, la nomenclatura de sus tramos y de los nodos donde se ubican los sumideros, se muestra en la Figura 59:

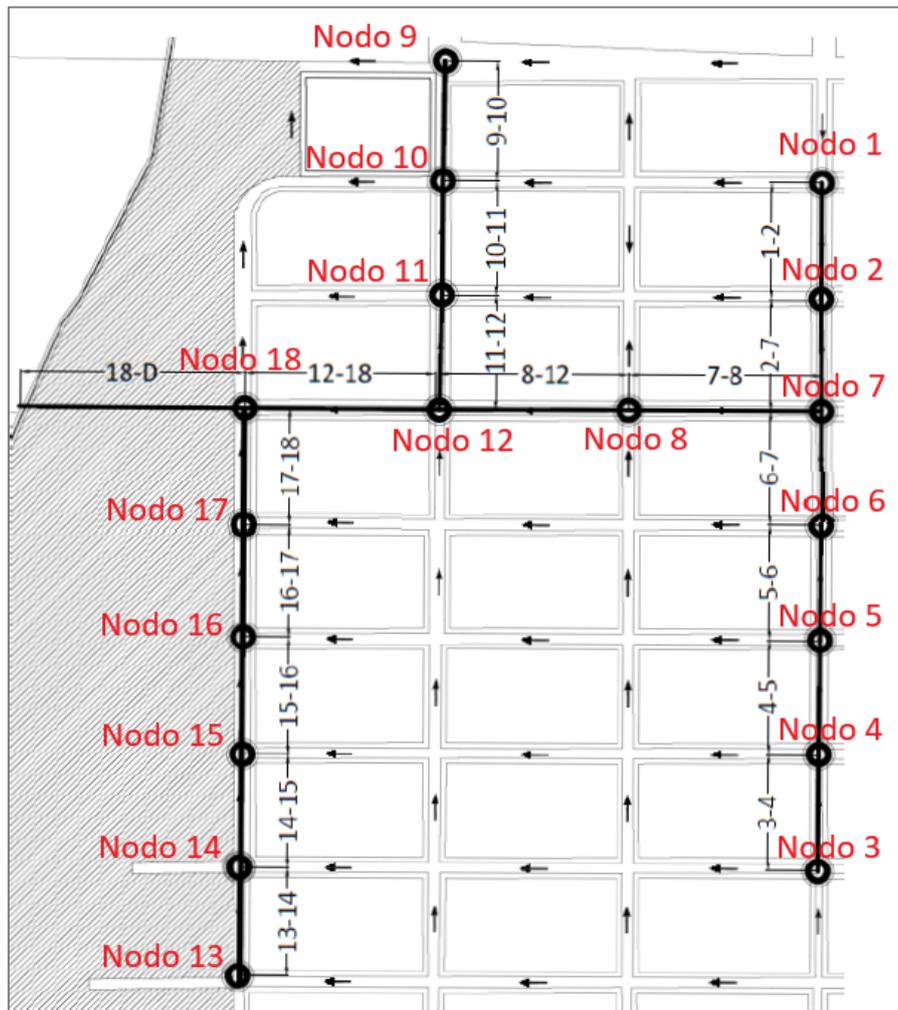


Figura 59.- Identificación de tramos de conductos

En la Tabla 9 se muestran las características principales de los conductos, así como los sumideros adoptados al inicio de cada tramo.

Tabla 9.- Características de los conductos pluviales según el Método Racional Clásico

	Tramo	TIPO	Q (m ³ /s)	Valores adoptados				
				D o H (m)	B (m)	i (%)	Nodo	Sumideros
Ramal A	1-2	CIRCULAR	0,35	0.60	-	0.40	1	4 S2
	2-7	CIRCULAR	0,72	0.80	-	0.40	2	2 S2 y 2 S3
Ramal B	3-4	CIRCULAR	0,34	0.60	-	1.50	3	4 S2
	4-5	CIRCULAR	0,66	0.60	-	1.00	4	4 S2
	5-6	CIRCULAR	0,98	0.80	-	0.80	5	2 S1 y 2 S3
	6-7	CIRCULAR	1,30	1.00	-	0.50	6	2 S1 y 2 S3
Ramal C	9-10	CIRCULAR	0,54	0.80	-	0.20	9	2 S3
	10-11	CIRCULAR	0,87	1.00	-	0.20	10	2 S2 y 2 S3
	11-12	CIRCULAR	1,34	1.00	-	0.50	11	2 S1 y 2 S3
Ramal D	13-14	CIRCULAR	0,81	0.80	-	0.80	13	3 S3
	14-15	CIRCULAR	1,20	0.80	-	0.80	14	1 S2 y 2 S3
	15-16	CIRCULAR	1,48	1.00	-	0.80	15	1 S2 y 2 S3
	16-17	CIRCULAR	1,85	1.00	-	0.80	16	1 S2 y 2 S3
	17-18	CIRCULAR	2,23	1.00	-	0.80	17	1 S2 y 2 S3
Colector principal	7-8	CIRCULAR	2,26	1.00	-	1.50	7	2 S2 y 2 S3
	8-12	CIRCULAR	2,83	1.20	-	1.50	8	2 S2 y 2 S3
	12-18	RECTANGULAR	4,37	1.20	2.00	0.20	12	4 S2
	18-D	RECTANGULAR	6,77	1.20	2.00	0.50	18	3 S3

Pero producto de la mejora realizada mediante el “Modelo-TRAD-SE”, es decir, el que contempla las subcuencas trazadas a nivel de esquina, se obtuvieron las siguientes dimensiones finales de los conductos (ver Tabla 10):

Tabla 10.- Características de los conductos pluviales finales

	Tramo	TIPO	Q (m ³ /s)	Valores adoptados				
				D o H (m)	B (m)	i (%)	Nodo	Sumideros
Ramal A	1-2	CIRCULAR	0,35	0.60	-	0.40	1	4 S2
	2-7	CIRCULAR	0,72	0.80	-	0.40	2	2 S2 y 2 S3
Ramal B	3-4	CIRCULAR	0,34	0.60	-	1.50	3	4 S2
	4-5	CIRCULAR	0,66	0.60	-	1.00	4	4 S2
	5-6	CIRCULAR	0,98	0.80	-	0.80	5	2 S1 y 2 S3
	6-7	CIRCULAR	1,30	0.80	-	0.50	6	2 S1 y 2 S3
Ramal C	9-10	CIRCULAR	0,54	0.80	-	0.20	9	2 S3
	10-11	CIRCULAR	0,87	1.00	-	0.20	10	2 S2 y 2 S3
	11-12	CIRCULAR	1,34	1.00	-	0.50	11	2 S1 y 2 S3
Ramal D	13-14	CIRCULAR	0,81	0.60	-	0.80	13	3 S3
	14-15	CIRCULAR	1,20	0.80	-	0.80	14	1 S2 y 2 S3
	15-16	CIRCULAR	1,48	1.00	-	0.80	15	1 S2 y 2 S3
	16-17	CIRCULAR	1,85	1.00	-	0.80	16	1 S2 y 2 S3
	17-18	CIRCULAR	2,23	1.20	-	0.80	17	1 S2 y 2 S3
Colector principal	7-8	CIRCULAR	2,26	1.00	-	1.50	7	2 S2 y 2 S3
	8-12	CIRCULAR	2,83	1.00	-	1.50	8	2 S2 y 2 S3
	12-18	RECTANGULAR	4,37	1.20	2.00	0.20	12	4 S2
	18-D	RECTANGULAR	6,77	1.20	2.00	0.50	18	3 S3

3.3 Dimensionado de celdas de biorretención

A partir de los parámetros de diseño recomendados en la bibliografía específica sobre los SUDS, se adoptaron los siguientes valores para el dimensionado:

El área impermeable a tratar por cada celda de biorretención como se aprecia en el esquema planteado en la Figura 34 es según la ecuación [12]:

$$A_i (m^2) = 320 \times 0,60 \times 0,50 = 96$$

Donde "Ai" es el área impermeable de la parcela a tratar, "Ap" es el área total de la parcela y F.O.S. es el Factor de Ocupación del Suelo.

Se plantearon entonces celdas de 1,00 m de ancho por 6,00 m de largo que representan alrededor del 6 % de las áreas impermeables por parcela (verificando que se está dentro del rango recomendado):

$$\frac{A_{BR}}{A_i} (\%) = \frac{6 m^2}{96 m^2} \times 100 = 6,25$$

Donde "A_{BR}" es el área de la celda de biorretención.

La altura máxima de acumulación de agua se fijó en 15 cm mientras que la capa de suelo (medio filtrante) se diseñó con un espesor de 30 cm, una porosidad del 40 % y una tasa de infiltración de 150

mm/h. En cuanto a la capa de almacenamiento, su espesor se estableció en 30 cm y su porosidad en 45 %.

El geotextil que separa la capa de suelo y la de almacenamiento pertenece a un modelo que admite un flujo de 110 l/s/m². Este geotextil también separa a la capa de almacenamiento del suelo nativo.

El dren que se dispone en cada celda conectada en serie posee pendientes variables entre 0,5 y 1,5 % (según la pendiente que tenga la calle) y se respetó la pendiente mínima de 0,5 %. Así mismo su diámetro se adoptó de 110 mm, siendo el mínimo recomendado de 63 mm. La capa de almacenamiento sobre la que se apoya el dren se diseñó con pendientes de 1:10 que se dirigen hacia éste para facilitar el ingreso de agua como se muestra en la Figura 60:

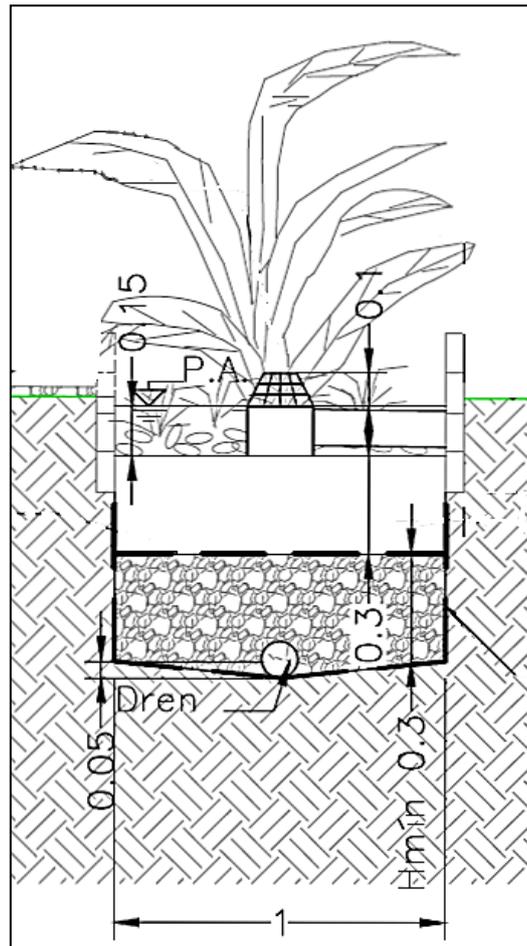


Figura 60.- Corte de celda

Por último, la rejilla de sobrepaso tiene su forma piramidal de base de 20 x 20 cm que se vincula a un conducto albañal de 110 mm de diámetro.

Las aberturas del cerco perimetral de las celdas se ubicaron distanciadas 2,00 m entre sí y poseen 30 cm de largo y 20 cm de alto. Las cunetas de piedra partida que guían el flujo desde la bajada pluvial de los techos hacia las celdas son de 30 cm de ancho y 3 cm de espesor.

3.4 Modelación hidrológica-hidráulica

3.4.1 Datos de entrada

De la aplicación del método de los bloques alternos surgieron los siguientes hietogramas de diseño (ver Gráficos 7, 8 y 9), que se introdujeron en el “Modelo TRAD-SE” y “Modelo SUDS-BR”:

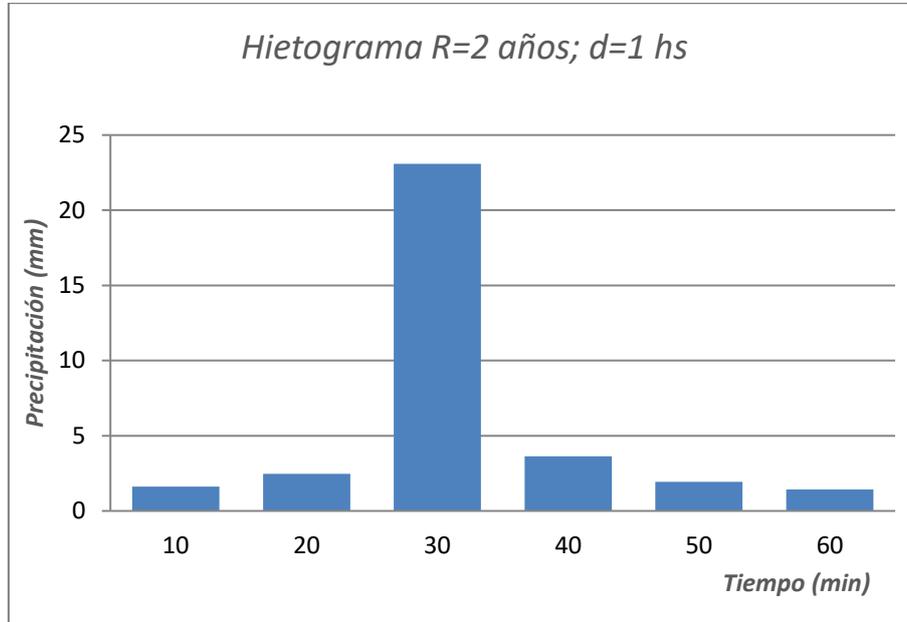


Gráfico 7.- Hietograma de diseño según Bloques Alternos (R2d1)

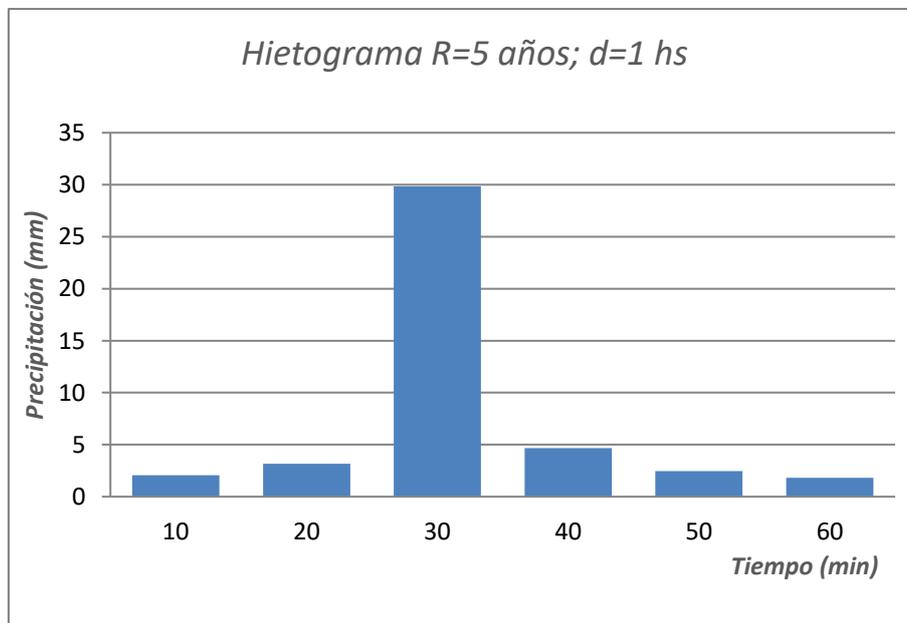


Gráfico 8.- Hietograma de verificación según Bloques Alternos (R5d1)

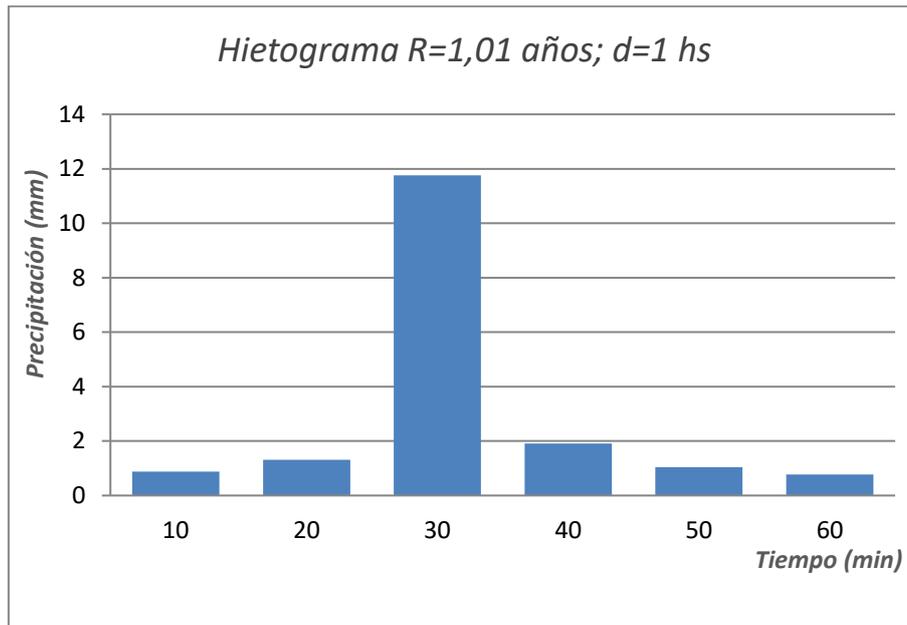


Gráfico 9.- Hietograma de diseño según Bloques Alternos (R1,01-d1)

Respecto a las subcuencas, el modelo de infiltración que se empleó fue el del Número de Curva (CN). Se concluyó que el grupo hidrológico es “B” (suelo franco-limoso) en base al mapa geomorfológico visto en el apartado de Metodología y que las áreas permeables del área de estudio corresponden a la categoría de “Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. En óptimas condiciones, cubierta de pasto en el 75 % o más”. De ahí surge que el número de curva CN es 61 como se muestra en la Figura 61 según Ven Te Chow et al. (Ref. 22):

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ²	45 25	66 55	77 70	83 77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable ⁴			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

1 Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9
 2 Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.
 3 Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.
 4 Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.
 5 En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

Figura 61.- Valores de CN para condiciones de humedad antecedente normales (Ref. 22)

En cuanto a los “controles LID” se muestran los valores introducidos en el SWMM de los parámetros vistos anteriormente (ver apartado 2.4.2):

Para la capa superficial:

La altura máxima de acumulación de agua se asumió de 15 cm mientras que se adoptó una pendiente media de las celdas de 0,5 %. La fracción del volumen de vegetación se supuso “normal” según recomendaciones del manual del SWMM ya que valores superiores corresponden a vegetación densa y la rugosidad superficial se consideró nula (valores distintos de cero se aplican a SUDS que transportan agua como las zanjas de infiltración o las cunetas de vegetación). Se muestra un resumen de los valores mencionados en la Tabla 11:

Tabla 11.- Parámetros adoptados para la capa superficial

Propiedad	Valor Adoptado
Altura máxima (cm)	15
Volumen de vegetación	0,05
Rugosidad superficial (s/m ^{1/3})	0
Pendiente superficial	0,50

Para la capa de suelo:

El espesor asignado fue de 30 cm y la porosidad del 40 %. Asumiendo un suelo franco arenoso se obtiene un valor de capacidad de campo de 0,15; de marchitez permanente de 0,06 (ambos como porcentaje en volumen) y de altura de succión de 10 cm, obtenidos del libro “Diseño Hidrológico” del INA (ver Figuras 62 y 63):

Textura del suelo	Filtración y permeabilidad (cm/hr) *	Porosidad (%)	Peso específico aparente ρ _a (gr/cm ³)	Capacidad de campo ω _c (%)	Marchitez permanente ω _M (%)	Humedad Utilizable**		Total (cm/m)
						Peso seco (%)	Volumen (%)	
Arenoso	5 (2.5-25.5)	38 (32-42)	1,65 (1.55-1.80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10)	8 (7-10)
Franco arenoso	2,5 (1.3-7.6)	43 (40-47)	1,50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	12 (9-15)
Franco	1,3 (0.8-2.0)	47 (43-49)	1,40 (1.35-1.50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	17 (14-19)
Franco arcilloso	0,8 (0.25-1.5)	49 (47-51)	1,35 (1.30-1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	19 (17-22)
Arcillo	0,25 (0.03-0.5)	51 (49-53)	1,30 (1.25-1.35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	21 (18-23)	23 (18-23)
Arcillos o	0,5 (0.01-0.1)	53 (51-55)	1,25 (1.20-1.30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	23 (20-25)	23 (20-25)

Nota: Los intervalos normales son consignados entre paréntesis.
 * Los intervalos filtración real varían mucho con la estructura del suelo y su estabilidad estructural, incluso, aún más de lo indicado en esa columna.
 ** La humedad fácilmente aprovechable representa un 75% de la total utilizable.

Figura 62.- Tabla de valores para suelos típicos (Ref. 23)

Textura del suelo	Succión en el frente húmedo (cm) (Sf)
Arena	10.6
Franco arenoso	14.2
Areno franco	22.2
Franco	31.5
Franco limoso	40.4
Franco areno arcilloso	44.9
Franco arcilloso	44.6
Franco-limo arcilloso	58.1
Areno arcilloso	63.6
Limo arcilloso	64.7
Arcilla	71.4

Figura 63.- Succión en el frente húmedo (Ref. 23)

Por otro lado, el valor de la pendiente de conductividad está comprendido entre 30 y 60 y se puede estimar según lo visto en la ecuación [24]:

$$\text{Pendiente de conductividad} = 0,48(85) + 0,85(5) = 42,9 \approx 40$$

Se resumen los valores obtenidos en la Tabla 12:

Tabla 12.- Parámetros adoptados para la capa de suelo

Propiedad	Valor Adoptado
Espesor (cm)	30
Porosidad	0,40
Capacidad de campo	0,15
Punto de marchitez permanente	0,06
Conductividad (mm/h)	150
Pendiente de conductividad	40
Altura de succión (cm)	10

Para la capa de almacenamiento:

Tiene un espesor de 30 cm y una porosidad del 45 % mientras que la capacidad de infiltración del suelo nativo (franco-limoso) es de 10,5 mm/h según los valores vistos en la Tabla 13. Debido a que se optó por disponer de un geotextil en todos los contornos de la capa de almacenamiento, el factor de colmatación se consideró nulo.

Tabla 13.- Parámetros adoptados para la capa de almacenamiento

Propiedad	Valor Adoptado
Espesor (cm)	30
Porosidad	0,45
Capacidad de infiltración del suelo nativo	10,5
Factor de colmatación	0

Para el dren de las celdas en serie:

Se asumió un coeficiente de 2 y un exponente de 0,5 que equivale a la ecuación de un orificio.

Para asociar los “controles LID” a las celdas:

Se indicó el tipo de control (“CELDAS-BR-S” o “CELDAS-BR-P”) en la subcuenca que representa a la celda, el área de la misma, entre otros. En la Tabla 14 se muestran los valores introducidos para una celda en serie:

Tabla 14.- Parámetros introducidos en una celda en serie

Propiedad	Valor Adoptado
Nombre del “Control LID”	CELDAS_BR_S
Área de cada unidad (m ²)	6
Número de unidades	1
Ancho superficial por unidad (m)	0
Porcentaje inicialmente saturado (%)	5
Porcentaje de área impermeable a tratar (%)	100
Porcentaje de área permeable a tratar (%)	0

A modo comparativo se muestran el “Modelo TRAD-SE” y “Modelo SUDS-BR” en la Figura 64, conteniendo el primero, 60 subcuencas de aporte mientras que el segundo posee 1860:

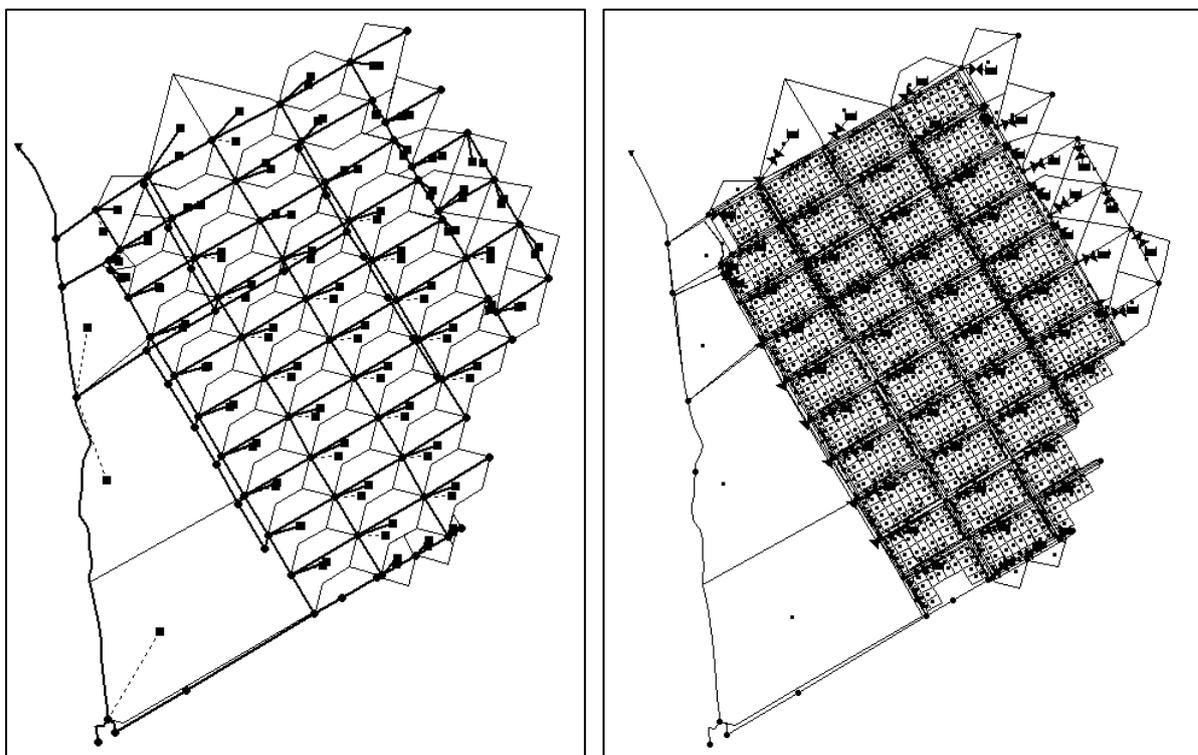


Figura 64.- Izq.: Modelo TRAD-SE. Der.: Modelo SUDS-BR

3.4.2 Resultados obtenidos de la modelación

Volúmenes totales

Para toda el área de estudio (de 46,4 Ha), se resumen a continuación en la Tabla 15 los volúmenes implicados en ambas alternativas (tradicional y con SUDS) para eventos de 1,01, 2 y 5 años de recurrencia y 1 hora de duración. Así mismo se presentan las diferencias porcentuales entre alternativas:

Tabla 15.- Volúmenes del área de estudio. Eventos de 1 hora de duración

Alternativa	R1,01-d1			R2-d1			R5-d1		
	Volumen (m ³)		Diferencia (%)	Volumen (m ³)		Diferencia (%)	Volumen (m ³)		Diferencia (%)
	TRAD	SUDS		TRAD	SUDS		TRAD	SUDS	
Escorrentía	3.360	1.950	-41,96	7.350	5.690	-22,59	9.930	8.140	-18,03
Infiltración	3.860	4.960	28,50	7.700	8.870	15,19	9.740	10.950	12,42
Almacenamiento final	1.130	1.530	35,40	1.110	1.580	42,34	1.090	1.580	44,95
Almacenam. Inicial en SUDS	-	90	-	-	90	-	-	90	-
Drenaje de SUDS en serie	-	160	-	-	190	-	-	200	-

Cuando se trata de eventos de precipitación de 3 y 6 horas de duración, las diferencias porcentuales entre volúmenes de ambas alternativas se muestran en la Tabla 16:

Tabla 16.- Volúmenes del área de estudio. Eventos de 1 hora de duración

Alternativa	Diferencia (%)					
	R1,01-d3	R2-d3	R5-d3	R1,01-d6	R2-d6	R5-d6
Escorrentía	-35,32	-18,56	-14,50	-29,10	-15,59	-12,25
Infiltración	26,74	16,43	14,94	21,86	15,90	14,74
Almacenamiento final	15,79	15,65	15,79	15,52	15,65	15,79

Caudales y volúmenes en la descarga pluvial

Los hidrogramas de la desembocadura pluvial, obtenidos para la alternativa tradicional y la que incorpora a los SUDS, se muestran a continuación en los Gráficos 10, 11 y 12:

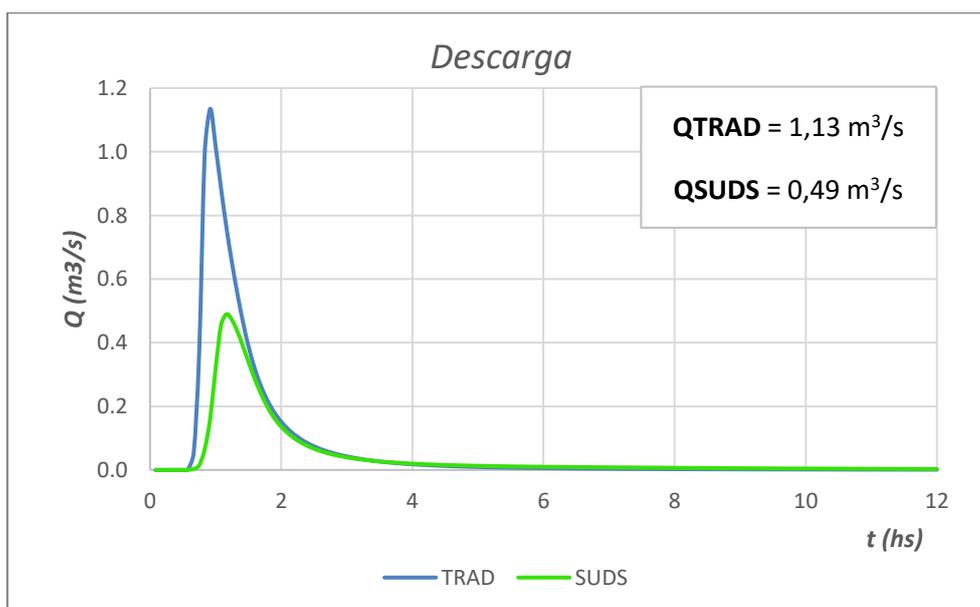


Gráfico 10.- Hidrogramas en la descarga pluvial – R1,01-d1

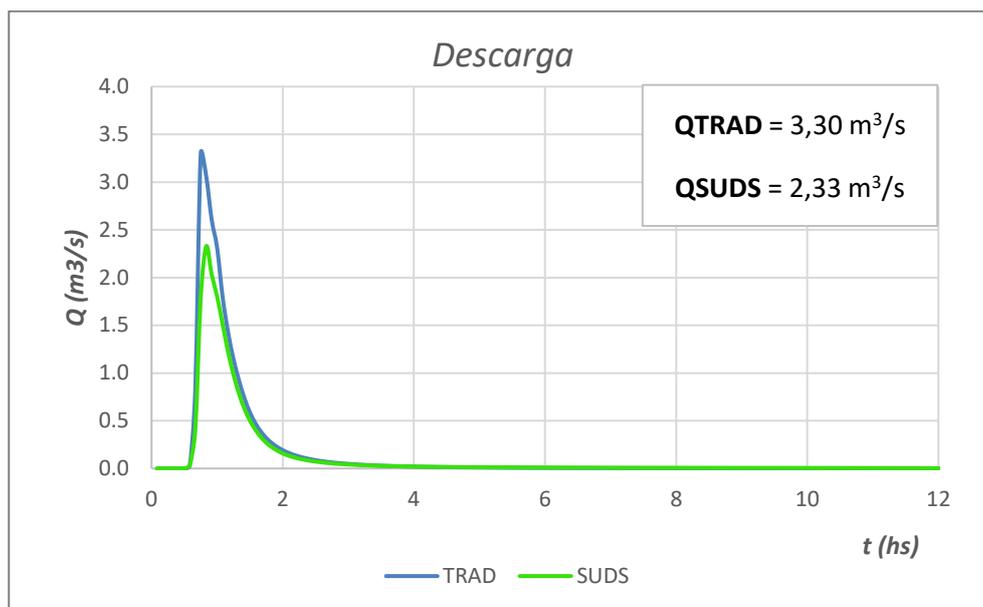


Gráfico 11.- Hidrogramas en la descarga pluvial – R2-d1

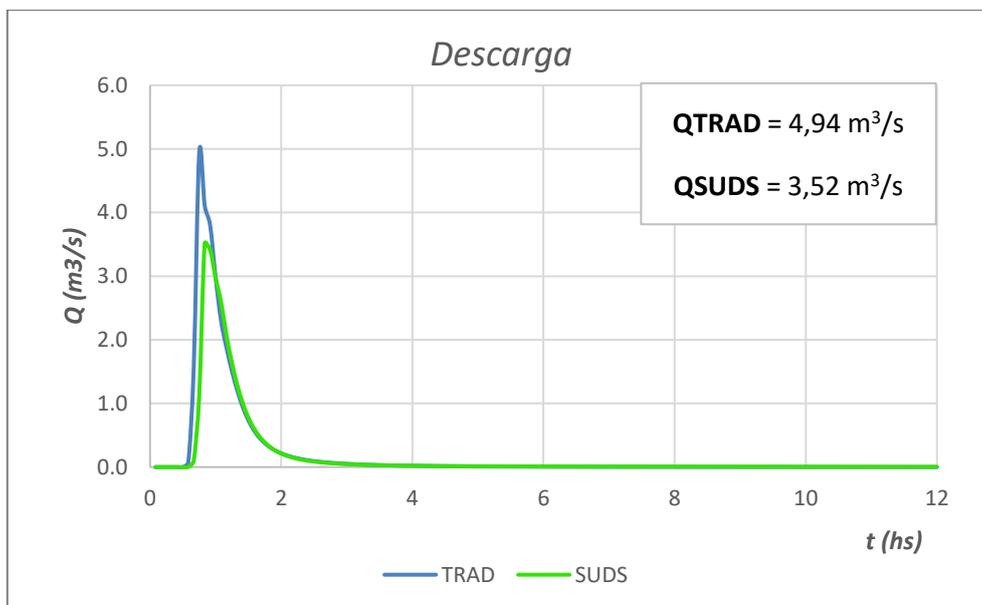


Gráfico 12.- Hidrogramas en la descarga pluvial – R5-d1

En cuanto al volumen de agua en la descarga, se resumen a continuación en la Tabla 17 los valores obtenidos para las tormentas simuladas, así como la diferencia porcentual entre alternativas:

Tabla 17.- Volúmenes en la descarga pluvial

Vol (m ³)	R1,01-d1	R2-d1	R5-d1	R1,01-d3	R2-d3	R5-d3	R1,01-d6	R2-d6	R5-d6
TRAD	3.087,9	6.752,6	9.068,5	4.411,5	9.501,3	13.224,5	5.763,8	12.740,4	17.534,8
SUDS	1.878,3	5.290,2	7.519,0	2.975,6	7.888,7	11.395,1	4.280,9	10.880,2	15.457,2
Diferencia (%)	-39,2	-21,7	-17,1	-32,6	-17,0	-13,8	-25,7	-14,6	-11,8

Capacidad de las conducciones

En primer lugar se muestran los resultados obtenidos de capacidad de los conductos y de tirantes de agua en los mismos, para los eventos de recurrencias de 1,01, 2 y 5 años y 1 hora de duración (ver Tablas 18, 19 y 20):

Tabla 18.- Capacidad y tirante máximo de los conductos – R1,01-d1

	Conducto	D o H (m)	Capacidad (-)		Altura (m)	
			TRAD	SUDS	TRAD	SUDS
Ramal A	1-2	0,60	0,20	0,09	0,15	0,09
	2-7	0,80	0,25	0,12	0,24	0,14
Ramal B	3-4	0,60	0,15	0,05	0,12	0,06
	4-5	0,60	0,21	0,08	0,16	0,08
	5-6	0,80	0,27	0,12	0,25	0,14
	6-7	0,80	0,34	0,15	0,30	0,17
Ramal C	9-10	0,80	0,22	0,13	0,21	0,15
	10-11	1,00	0,28	0,12	0,32	0,17
	11-12	1,00	0,27	0,11	0,31	0,16
Ramal D	13-14	0,60	0,29	0,09	0,20	0,09
	14-15	0,80	0,28	0,09	0,26	0,12
	15-16	1,00	0,27	0,09	0,31	0,14
	16-17	1,00	0,28	0,10	0,33	0,15
	17-18	1,20	0,25	0,08	0,35	0,17
Colector principal	7-8	1,00	0,25	0,12	0,30	0,17
	8-12	1,00	0,27	0,12	0,31	0,18
	12-18	1,20	0,31	0,14	0,37	0,17
	18-D	1,20	0,31	0,15	0,37	0,18

Tabla 19.- Capacidad y tirante máximo de los conductos – R2-d1

	Conducto	D o H (m)	Capacidad (-)		Altura (m)	
			TRAD	SUDS	TRAD	SUDS
Ramal A	1-2	0,60	0,37	0,26	0,24	0,19
	2-7	0,80	0,47	0,35	0,38	0,30
Ramal B	3-4	0,60	0,30	0,17	0,20	0,14
	4-5	0,60	0,42	0,26	0,26	0,18
	5-6	0,80	0,52	0,27	0,41	0,31
	6-7	0,80	0,63	0,30	0,48	0,37
Ramal C	9-10	0,80	0,42	0,27	0,35	0,25
	10-11	1,00	0,53	0,35	0,52	0,38
	11-12	1,00	0,53	0,34	0,52	0,37
Ramal D	13-14	0,60	0,54	0,33	0,32	0,22
	14-15	0,80	0,57	0,35	0,44	0,30
	15-16	1,00	0,57	0,34	0,55	0,37
	16-17	1,00	0,62	0,36	0,59	0,39
	17-18	1,20	0,59	0,37	0,69	0,48
Colector principal	7-8	1,00	0,46	0,34	0,47	0,37
	8-12	1,00	0,50	0,37	0,50	0,39
	12-18	1,20	0,61	0,43	0,74	0,52
	18-D	1,20	0,64	0,46	0,77	0,55

Tabla 20.- Capacidad y tirante máximo de los conductos – R5-d1

	Conducto	D o H (m)	Capacidad (-)		Altura (m)	
			TRAD	SUDS	TRAD	SUDS
Ramal A	1-2	0,60	0,48	0,36	0,29	0,23
	2-7	0,80	0,60	0,47	0,46	0,38
Ramal B	3-4	0,60	0,38	0,25	0,24	0,18
	4-5	0,60	0,53	0,35	0,31	0,23
	5-6	0,80	0,69	0,49	0,52	0,39
	6-7	0,80	0,81	0,60	0,60	0,46
Ramal C	9-10	0,80	0,58	0,34	0,45	0,30
	10-11	1,00	0,67	0,46	0,63	0,47
	11-12	1,00	0,68	0,46	0,64	0,47
Ramal D	13-14	0,60	0,64	0,46	0,37	0,28
	14-15	0,80	0,69	0,49	0,52	0,39
	15-16	1,00	0,71	0,48	0,66	0,49
	16-17	1,00	0,78	0,52	0,73	0,52
	17-18	1,20	0,74	0,54	0,84	0,64
Colector principal	7-8	1,00	0,59	0,44	0,57	0,45
	8-12	1,00	0,66	0,47	0,63	0,48
	12-18	1,20	0,76	0,58	0,91	0,70
	18-D	1,20	0,80	0,62	0,96	0,75

En cuanto a la capacidad ganada en los conductos y la reducción del tirante “h” por la incorporación de los SUDS, se indican los valores obtenidos en porcentaje en la Tabla 21:

Tabla 21.- Eficiencia y reducción del tirante en los conductos

	Conducto	D o H (m)	Eficiencia (%)			Reducción de h (%)		
			R1,01-d1	R2-d1	R5-d1	R1,01-d1	R2-d1	R5-d1
Ramal A	1-2	0,60	52,47	29,39	25,01	40,57	22,56	19,71
	2-7	0,80	50,82	26,36	21,35	39,41	20,71	17,47
Ramal B	3-4	0,60	62,85	42,19	34,96	49,51	32,47	27,04
	4-5	0,60	61,57	38,25	33,46	48,67	29,97	26,81
	5-6	0,80	55,57	48,24	30,10	43,65	25,68	25,44
	6-7	0,80	54,84	52,63	25,87	43,45	23,98	23,23
Ramal C	9-10	0,80	40,18	36,35	40,73	30,31	28,44	33,21
	10-11	1,00	57,78	34,20	30,96	45,67	27,42	25,88
	11-12	1,00	60,12	35,06	32,69	47,74	28,09	27,46
Ramal D	13-14	0,60	67,95	37,66	27,69	55,17	30,30	22,94
	14-15	0,80	67,08	38,85	28,98	54,29	31,52	24,44
	15-16	1,00	66,49	40,20	31,51	53,63	32,66	26,73
	16-17	1,00	66,21	41,19	32,98	53,49	33,96	28,86
	17-18	1,20	65,87	37,19	26,93	52,91	30,36	23,31
Colector principal	7-8	1,00	53,92	26,83	25,70	42,11	21,01	20,93
	8-12	1,00	55,00	27,16	28,53	43,15	21,53	23,81
	12-18	1,20	53,84	29,82	23,46	53,84	29,81	23,46
	18-D	1,20	52,70	29,35	22,05	52,68	29,36	22,05

Altura de agua en calle

Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 22, 23 y 24:

Tabla 22.- Valores de agua en calle – R1,01-d1

ESQUINA		NODO DE CALLE	h en calle (cm)		Reducción de h (cm)	Reducción de h (%)
NOMBRE CALLE 1	NOMBRE CALLE 2		TRAD	SUDS		
San Alejandro	La Pampa	Nca-TF-03	6,9	3,7	3,2	46,3
Puán	Delfino	Nca-TF-12	8,5	4,1	4,5	52,3
San Pedrito	Delfino	Nca-TF-17	4,1	1,9	2,1	52,4
Esquel	Arenales	Nca-TF-21	5,8	1,9	3,8	66,4
Esquel	Delfino	Nca-TF-22	6,4	2,8	3,6	55,8
Ramallo	La Pampa	Nca-TF-29	5,4	2,1	3,3	60,7
San Manuel	Arenales	Nca-TF-35	6,5	2,1	4,4	67,7
Tandil	Arenales	Nca-TF-40	9,1	3,5	5,7	61,9

Tabla 23.- Valores de agua en calle – R2-d1

ESQUINA		NODO DE CALLE	h en calle (cm)		Reducción de h (cm)	Reducción de h (%)
NOMBRE CALLE 1	NOMBRE CALLE 2		TRAD	SUDS		
San Alejandro	La Pampa	Nca-TF-03	11,8	9,6	2,2	18,6
Puán	Delfino	Nca-TF-12	13,3	10,1	3,2	23,8
San Pedrito	Delfino	Nca-TF-17	7,3	5,4	1,9	25,9
Esquel	Arenales	Nca-TF-21	9,1	5,51	3,6	39,5
Esquel	Delfino	Nca-TF-22	10,1	7,3	2,8	27,9
Ramallo	La Pampa	Nca-TF-29	10,2	6,8	3,4	33,6
San Manuel	Arenales	Nca-TF-35	10,0	6,1	3,9	39,4
Tandil	Arenales	Nca-TF-40	13,5	8,9	4,6	34,3

Tabla 24.- Valores de agua en calle – R5-d1

ESQUINA		NODO DE CALLE	h en calle (cm)		Reducción de h (cm)	Reducción de h (%)
NOMBRE CALLE 1	NOMBRE CALLE 2		TRAD	SUDS		
San Alejandro	La Pampa	Nca-TF-03	13,5	12,4	1,1	8,2
Puán	Delfino	Nca-TF-12	15,9	12,6	3,3	20,8
San Pedrito	Delfino	Nca-TF-17	9,0	6,9	2,2	23,8
Esquel	Arenales	Nca-TF-21	10,7	7,0	3,8	35,2
Esquel	Delfino	Nca-TF-22	12,1	9,0	3,2	26,1
Ramallo	La Pampa	Nca-TF-29	12,1	9,1	3,0	24,7
San Manuel	Arenales	Nca-TF-35	11,9	7,8	4,1	34,5
Tandil	Arenales	Nca-TF-40	15,9	11,1	4,8	30,2

En las Figuras 65, 66 y 67 se muestran los puntos representativos de la altura de agua en calle para los eventos de 1,01, 2 y 5 años de recurrencia y 1 hora de duración, tanto para la alternativa tradicional como para la sustentable:

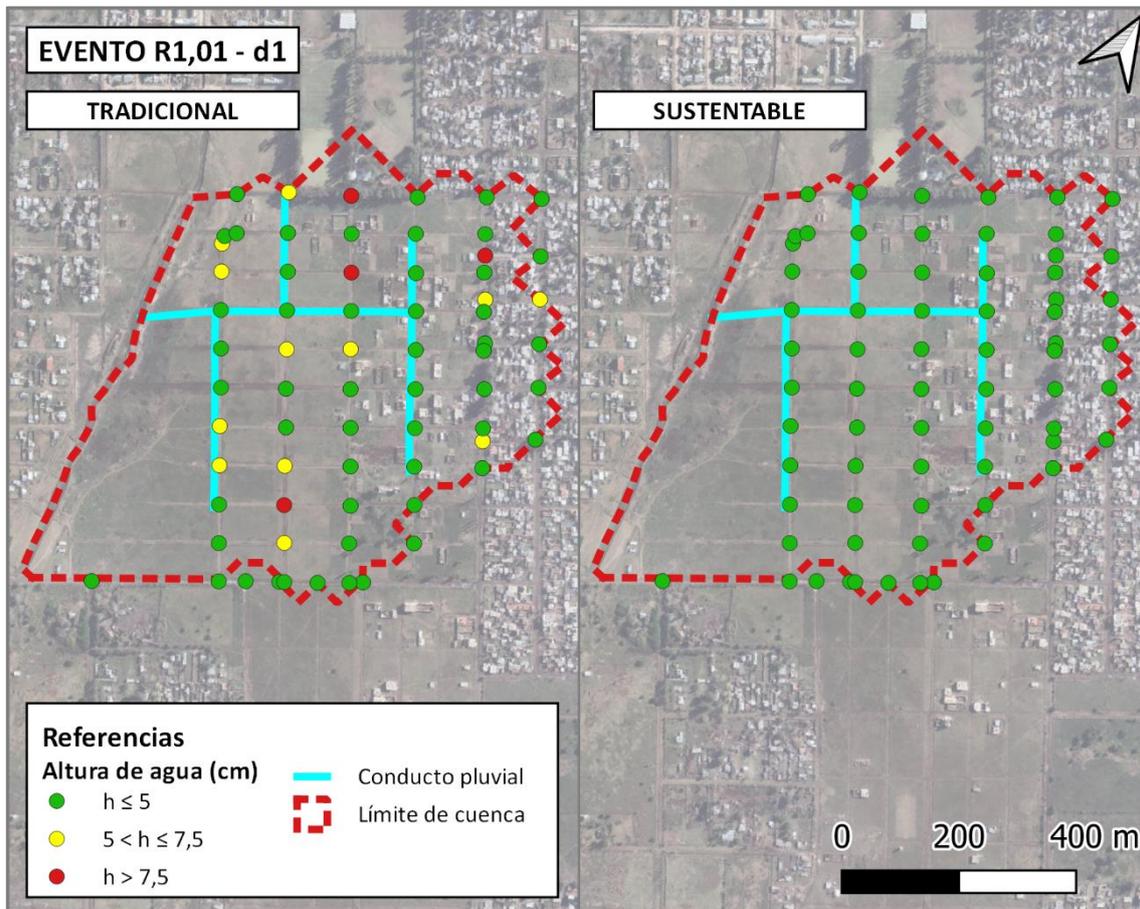


Figura 65.- Altura de agua en calle para ambas alternativas – R1,01-d1

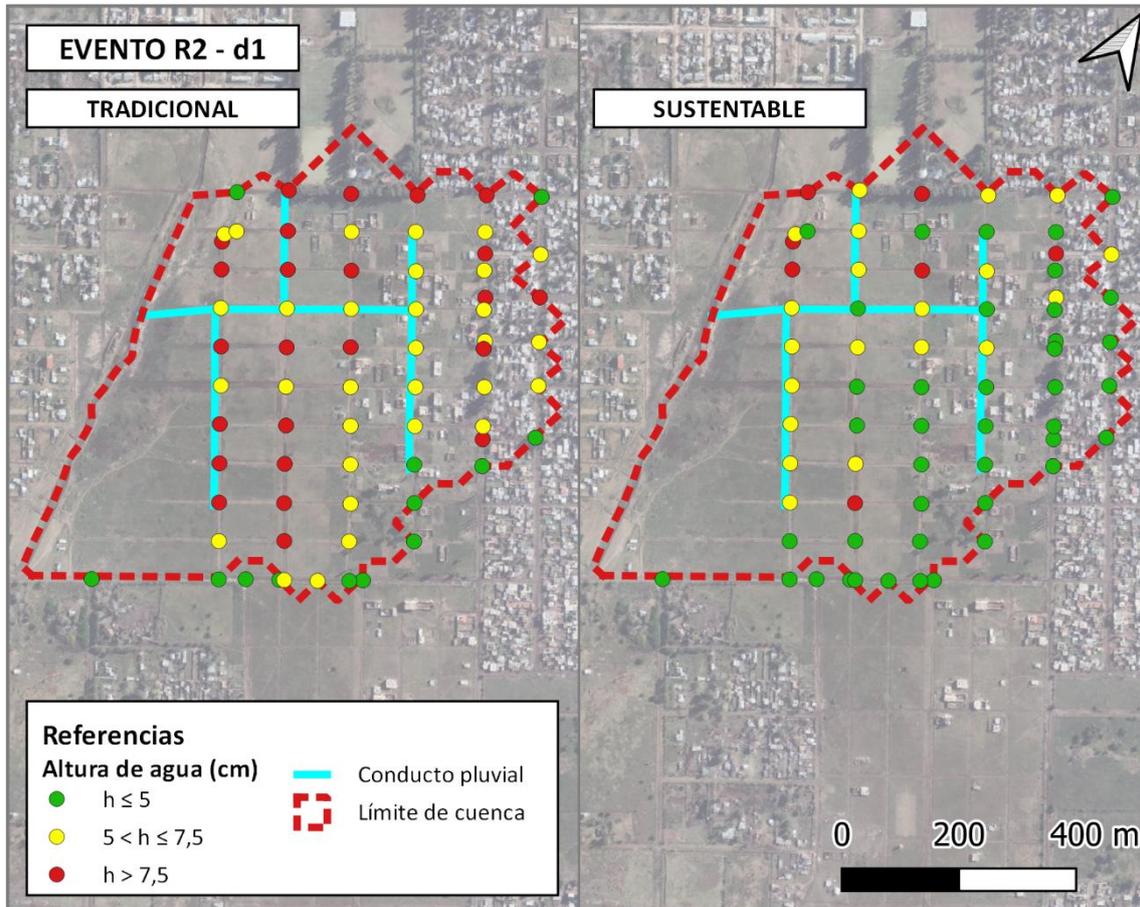


Figura 66.- Altura de agua en calle para ambas alternativas – R2-d1

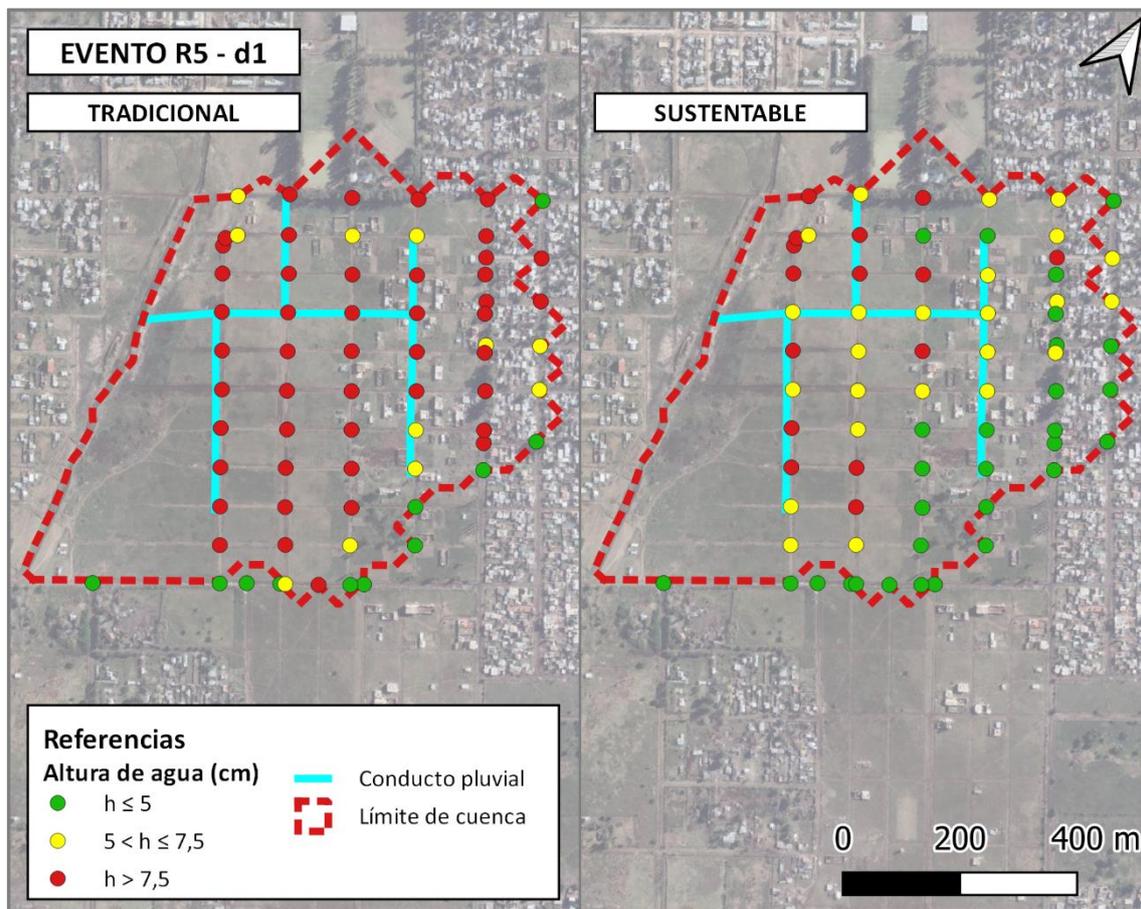


Figura 67.- Altura de agua en calle para ambas alternativas – R5-d1

Parámetros típicos de las celdas

A continuación se presentan en las Tablas 25, 26 y 27 el balance de volúmenes para cuatro celdas “tipo” vinculadas en serie para las tormentas de recurrencias 1,01, 2 y 5 años y de 1 hora de duración:

Tabla 25.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R1,01-d1

Valores (mm)								
ID BR	Vent	P_{Ev}	P_{Inf}	Desb.	Vdren	Si	Sf	Error (%)
BR1	268	0	79	0	148	28	69	-0,04
BR2	416	0	107	0	267	28	69	-0,01
BR3	535	0	130	0	363	28	70	-0,01
BR4	631	0	150	0	438	28	70	-0,01

Tabla 26.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R2-d1

Valores (mm)								
ID BR	Vent	P _{Ev}	P _{Inf}	Desb.	Vdren	Si	Sf	Error (%)
BR1	539	0	86	232	181	28	69	-0,02
BR2	720	0	116	236	326	28	70	-0,02
BR3	865	0	142	236	445	28	70	-0,01
BR4	984	0	165	236	540	28	71	-0,01

Tabla 27.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R5-d1

Valores (mm)								
ID BR	Vent	P _{Ev}	P _{Inf}	Desb.	Vdren	Si	Sf	Error (%)
BR1	696	0	86	384	184	28	69	-0,02
BR2	880	0	117	390	331	28	70	-0,02
BR3	1027	0	143	390	451	28	70	-0,01
BR4	1147	0	166	390	547	28	71	-0,01

Respecto al balance para cualquier celda en paralelo “tipo”, los valores obtenidos para las mismas tormentas fueron según la Tabla 28:

Tabla 28.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en paralelo; d = 1 hora

Valores (mm)								
Evento	Vent	P _{Ev}	P _{Inf}	Desb.	Vdren	Si	Sf	Error (%)
R1,01-d1	272	0	229	0	0	28	70	-0,02
R2-d1	547	0	265	240	0	28	71	-0,01
R5-d1	706	0	269	395	0	28	71	0,00

Respecto a tormentas de duraciones mayores a 1 hora se obtuvo según los mostrados en las Tablas 29, 30 y 31:

Tabla 29.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R1,01-d3

Valores (mm)								
ID BR	Vent	P _{Ev}	P _{Inf}	Desb.	Vdren	Si	Sf	Error (%)
BR1	352	0	91	11	209	28	69	-0,06
BR2	561	0	125	12	382	28	70	0,00
BR3	734	0	155	12	524	28	70	-0,02
BR4	877	0	180	12	641	28	71	-0,01

Para el evento R1,01-d3 todas las celdas presentaron desbordes del orden de 70 litros. Por ejemplo, para “BR2”:

$$Desb (m3) = \frac{12 \text{ mm}}{1000} \frac{m}{mm} \times 6 \text{ m}^2 = 0,07 \text{ m}^3 = 70 \text{ l}$$

Tabla 30.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R2-d3.

Valores (mm)								
ID BR	Vent	P _{Ev}	P _{Inf}	Desb.	Vdren	Si	Sf	Error (%)
BR1	712	0	103	293	274	28	69	0
BR2	985	0	138	354	451	28	70	-0,01
BR3	1.162	0	168	354	598	28	71	-0,01
BR4	1.309	0	194	354	717	28	71	-0,01

Para este caso también todas las celdas presentaron desbordes. Por ejemplo, para “BR2”:

$$Desb (m3) = \frac{354 \text{ mm}}{1000} \frac{m}{mm} \times 6 \text{ m}^2 = 2,12 \text{ m}^3$$

Tabla 31.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en serie – R5-d3.

Valores (mm)								
ID BR	Vent	P _{Ev}	P _{Inf}	Desb.	Vdren	Si	Sf	Error (%)
BR1	928	0	105	500	281	28	69	-0,02
BR2	1208	0	140	567	460	28	70	-0,02
BR3	1387	0	170	569	606	28	71	-0,01
BR4	1534	0	196	569	726	28	71	-0,01

Para el evento R5-d3, todas las celdas desbordaron. Por ejemplo, para “BR2”:

$$Desb (m3) = \frac{567 \text{ mm}}{1000} \frac{m}{mm} \times 6 \text{ m}^2 = 3,40 \text{ m}^3$$

En cuanto a las celdas en paralelo, los valores obtenidos para las mismas tormentas (de duración 3 horas) fueron según la Tabla 32:

Tabla 32.- Valores típicos del balance de volúmenes para celdas en paralelo

Valores (mm)								
Evento	Vent	P _{Ev}	P _{Inf}	Desb.	Vdren	Si	Sf	Error (%)
R1,01-d3	357	0	299	15	0	28	72	-0,01
R2-d3	722	0	310	368	0	28	72	-0,01
R5-d3	941	0	312	585	0	28	72	-0,01

Cuando la recurrencia del evento de precipitación 1,01 años y la duración es de 6 horas, las celdas en serie presentan desbordes del orden de 82 mm (que representa un volumen de 0,49 m³), siendo unos milímetros mayores cuando se trata de celdas en paralelo (97 mm de desborde cada celda). Si la recurrencia aumenta a 2 años y para la misma duración, las celdas en serie y en paralelo presentan desbordes similares del orden de 510 mm (que representa un volumen de 3 m³). Por último, si la recurrencia es de 5 años y la duración de la tormenta es de 6 horas, las celdas en serie y en paralelo presentan desbordes similares del orden de 770 mm (que representa un volumen de 4,6 m³).

Respecto al comportamiento de las celdas, como ser la infiltración superficial en la capa de suelo, el nivel de agua en superficie o el de almacenamiento, se indican a continuación la evolución en el tiempo de las variables para la primera y última celda de una serie “tipo” y para una celda en paralelo. Los resultados se obtuvieron para tormentas de 1,01, 2 y 5 años de recurrencia y de 1, 3 y 6 horas de duración.

Variables de las celdas – R1,01-d1

Según lo mostrado en el Gráfico 13:

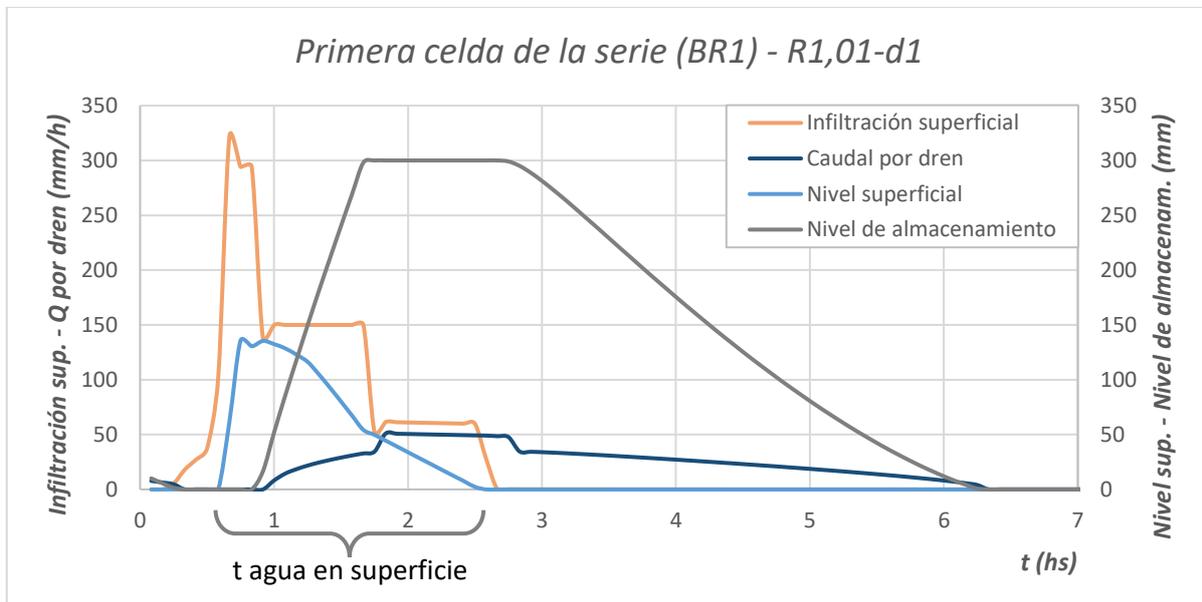


Gráfico 13.- Variables de la primera celda de la serie – R1,01-d1

Se observa que la celda presenta agua en superficie durante 2 horas aproximadamente y que al cabo de 6 horas la celda se vacía (en el instante en que la curva del nivel de agua en la capa de almacenamiento llega a cero).

Realizando el mismo análisis para la última celda de la serie, según el Gráfico 14:

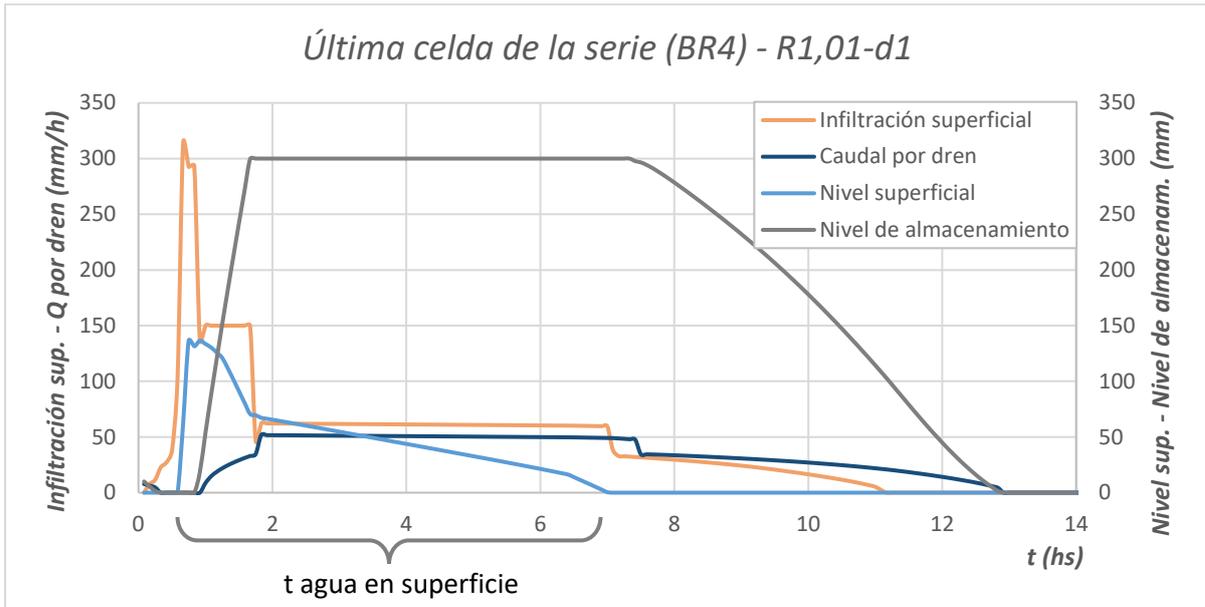


Gráfico 14.- Variables de la última celda de la serie – R1,01-d1

Se observa que el tiempo de agua en superficie es del orden del triple (6 horas) y el tiempo de vaciado es de alrededor de 13 horas, lo cual es coherente para una celda que recibe los aportes de los drenes de las celdas anteriores.

Para las celdas en paralelo, los valores son más persistentes en el tiempo debido a que el único modo de evacuar sus excedentes (sin contar el desborde) es por infiltración en el suelo nativo circundante. Tomando como ejemplo la celda “tipo” analizada previamente en el balance de volúmenes (ver Gráfico 15):

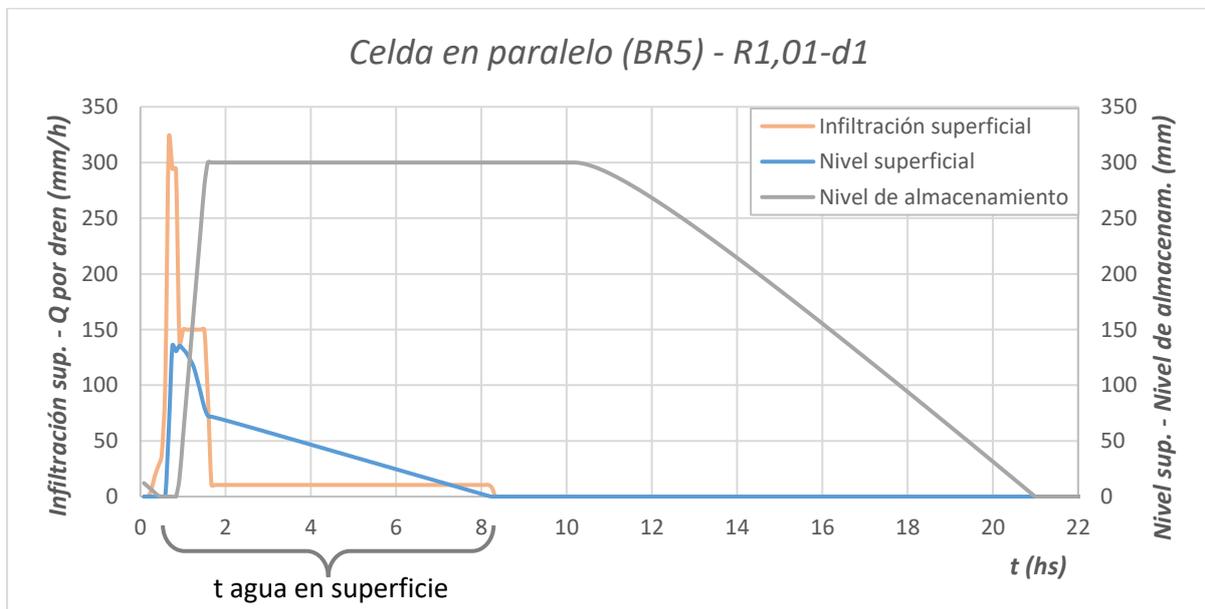


Gráfico 15.- Parámetros de una celda en paralelo – R1,01-d1

Se observa que el tiempo de agua en superficie es de 7 horas y que se vacía a las 21 horas de iniciada la precipitación. Ninguna de las celdas (ya sea que funciones en serie o en paralelo) desbordan para este evento.

Variables de las celdas – R2-d1

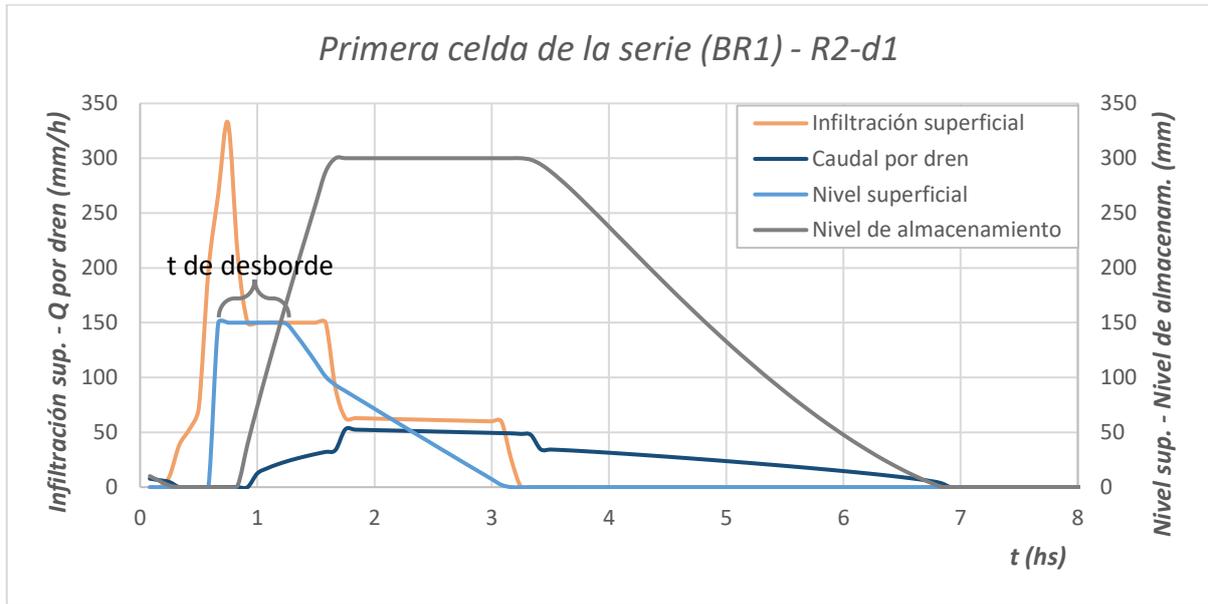


Gráfico 16.- Variables de la primera celda de la serie – R2-d1

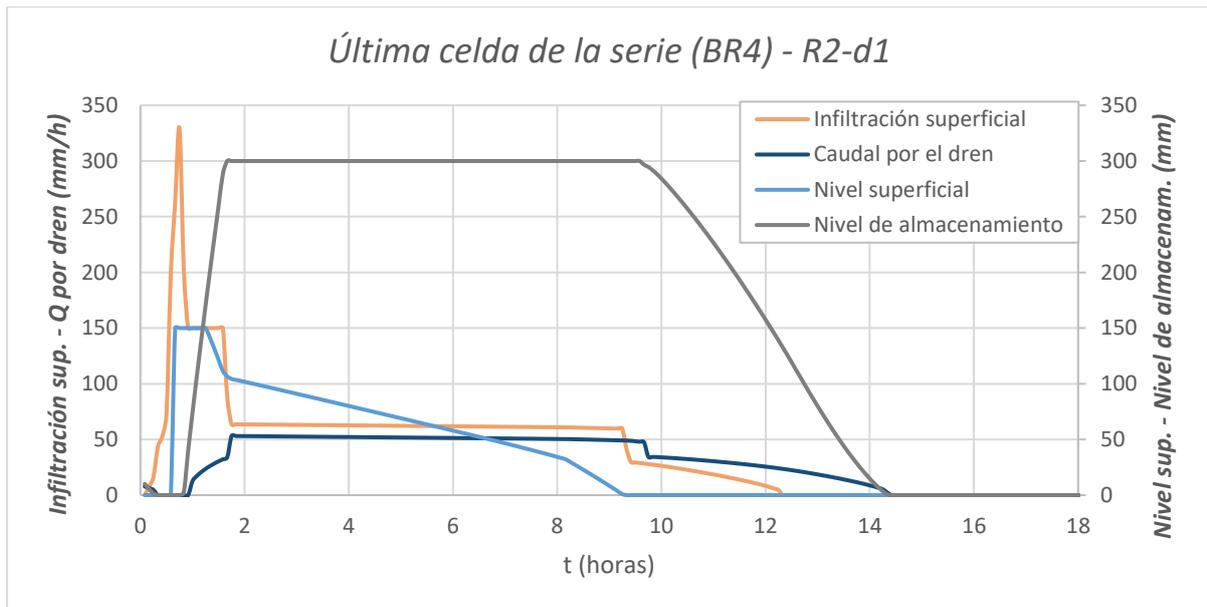


Gráfico 17.- Parámetros de la última celda de la serie – R2-d1

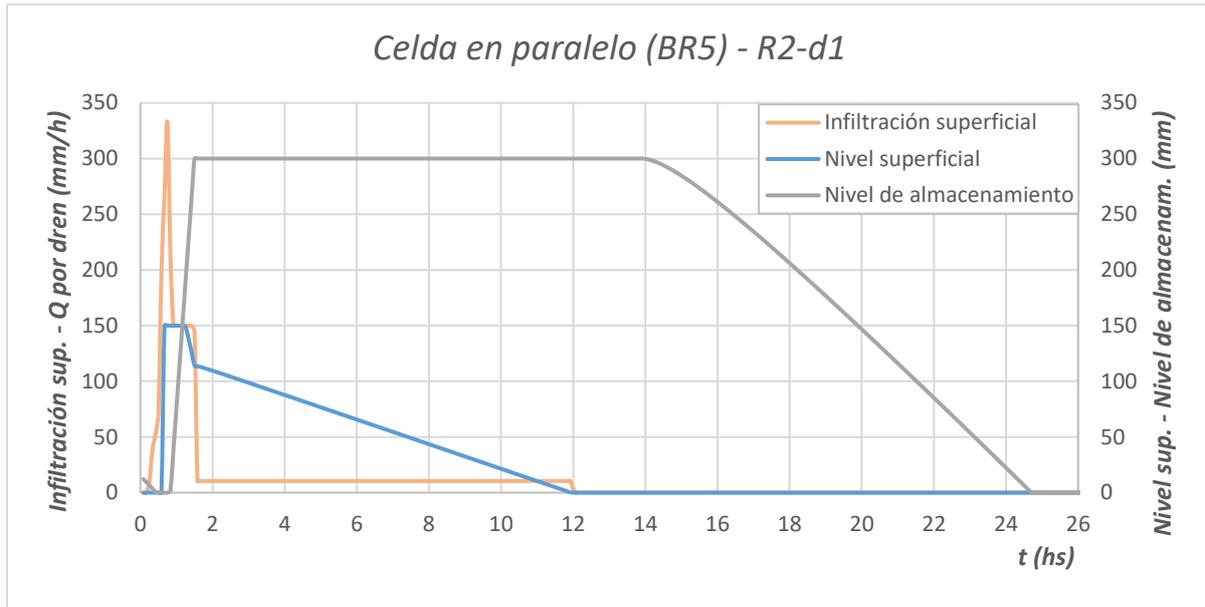


Gráfico 18.- Parámetros de una celda en paralelo – R2-d1

El tiempo en que se producen desbordes en la primera celda es de media hora aproximadamente (ver Gráfico 16), mientras que en la última celda de la serie y la que funciona en paralelo, el tiempo es de 1 hora, como se observa en los Gráficos 17 y 18.

Variables de las celdas – R5-d1

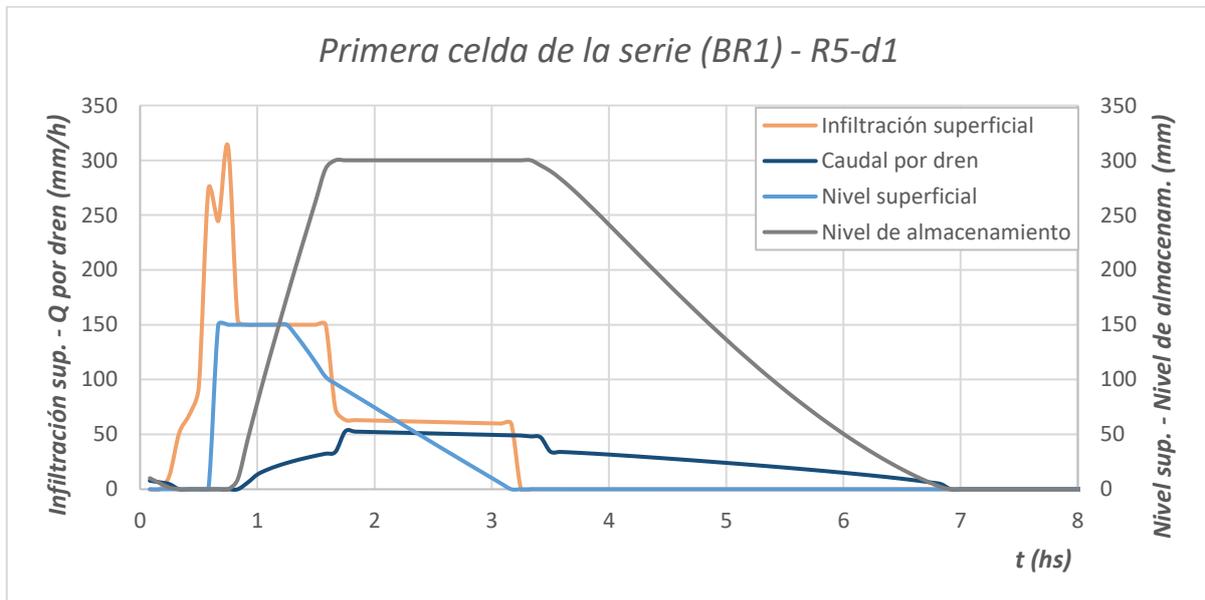


Gráfico 19.- Variables de la primera celda de la serie – R5-d1

En el Gráfico 19 se observa que la celda presenta agua en superficie durante 2 horas y media y que al cabo de 7 horas la celda se vacía. El tiempo en que se producen desbordes es de 1 hora.

Así mismo, para la última celda de la serie según el Gráfico 20:

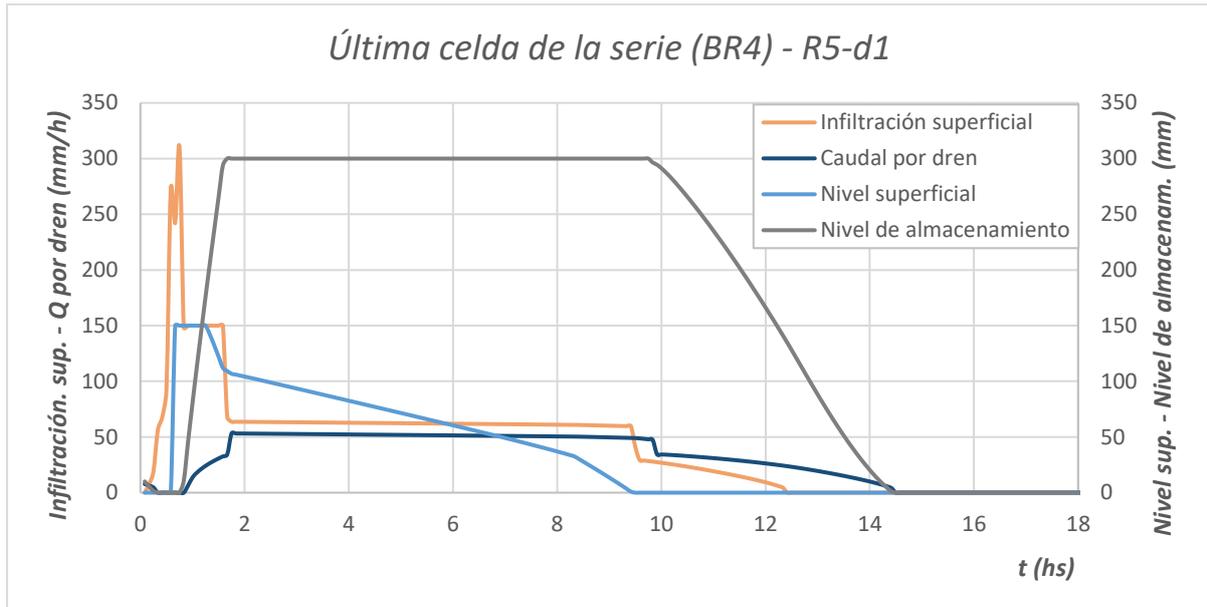


Gráfico 20.-Variables de la última celda de la serie – R5-d1

El tiempo de agua en superficie es de 9 horas y el tiempo de vaciado se da en alrededor de 14 horas y media. El tiempo de desborde es de 1 hora.

Analizando nuevamente la celda en paralelo “tipo”:

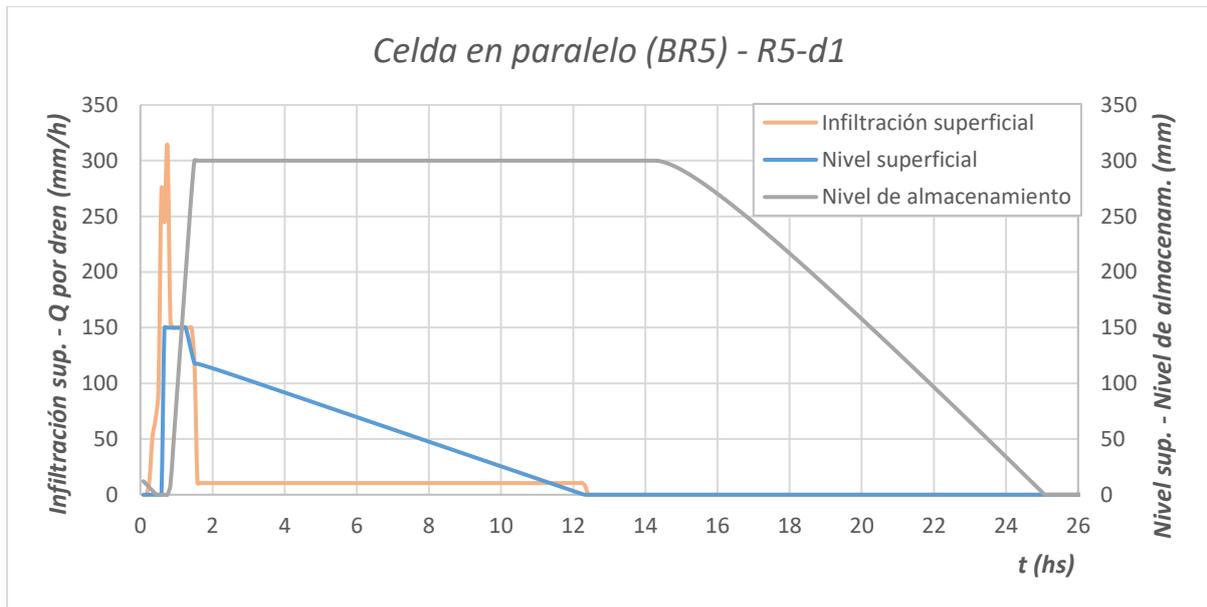


Gráfico 21.- Variables de una celda en paralelo – R5-d1

Se observa en el Gráfico 21 que el tiempo de agua en superficie es 11 horas y media y que se vacía a las 25 horas de iniciada la precipitación. El tiempo de desborde es de 1 hora.

Se resumen en la Tabla 33 los tiempos de vaciado, de agua en superficie y de desborde que presentaron las celdas, para eventos de precipitación de 1,01, 2 y 5 años de recurrencia y todas las duraciones contempladas (1, 3 y 6 horas).

Tabla 33.- Tiempos de agua en superficie, vaciado y desborde en las celdas.

Evento	Primera celda de la serie			Última celda de la serie			Celda en paralelo		
	T de agua en superficie (hs)	T de vaciado (hs)	T de desborde (hs)	T de agua en superficie (hs)	T de vaciado (hs)	T de desborde (hs)	T de agua en superficie (hs)	T de vaciado (hs)	T de desborde (hs)
R1,01-d1	2	6	-	6	13	-	7	21	-
R2-d1	2,5	7	1	6	13	1	11,5	25	1
R5-d1	2,5	7	1	9	14	1	11,5	25	1
R1,01-d3	3	8	< 0,25	10	17	< 0,25	14	29	< 0,25
R2-d3	4	9	2	12	18	2	16	30	2
R5-d3	4	9	2	13,5	18	2	17	30	2
R1,01-d6	4	11	< 0,25	12	20	< 0,25	17	33	3
R2-d6	4	12	2,5	13	21	3	17	33	3
R5-d6	6	12	2,5	18	33	3	20	33	4

4. Análisis y discusión de resultados

A continuación se realizan comentarios sobre los resultados obtenidos.

Respecto a los volúmenes de agua presentes en la cuenca:

- La reducción en los volúmenes de escurrimiento es significativa para una tormenta de duración 1 hora, independientemente de las recurrencias analizadas. Se trata de porcentajes de reducción comprendidos en el rango de 18 a 42 % debido a la incorporación de los SUDS.
- Para una misma duración, a mayor recurrencia la incidencia de las celdas de biorretención en la red de desagües disminuye. De la misma manera ocurre cuando la recurrencia es constante y la duración aumenta.

En cuanto a la capacidad ganada en los conductos producto de la presencia de las celdas:

- La eficiencia de los conductos aumenta considerablemente para una tormenta de cualquier recurrencia y duración una hora. El rango de variación de la capacidad ganada está comprendido entre 21 % y 68 %.
- No se observan variaciones apreciables en el tirante de agua de los conductos cuando se trata de recurrencias 2 y 5 años y 6 horas de duración.
- La incidencia de los SUDS en la capacidad de los conductos a medida que se aumenta la recurrencia o la duración es menor. Las mismas conclusiones se pueden efectuar en cuanto a la reducción de agua en calle.

En cuanto al comportamiento de las celdas de biorretención:

- Las celdas funcionan adecuadamente, es decir que no presentan desbordes y se vacían en menos de 24 horas, para la recurrencia y duración de diseño (R1,01-d1).
- A medida que aumenta la recurrencia o la duración las celdas requieren más tiempo para vaciarse y dejar de presentar agua en su superficie.

- Para el resto de los escenarios analizados, las celdas sí presentan desbordes cada vez mayores cuando aumenta la recurrencia o la duración de la tormenta. En cuanto al vaciado, éste se produce en menos de 48 horas que es el límite recomendable para eventos superiores al de diseño.
- De las celdas vinculadas en serie, la primera se comporta de forma similar para recurrencias mayores a 1,01 años, cualquiera sea la duración. Es decir, los tiempos característicos analizados en el apartado anterior son similares.
- Lo anterior también sucede con las celdas en paralelo, excepto que los tiempos son del orden del triple. Es decir, la desventaja de no contar con un dren reside en que a la celda en paralelo le lleva más tiempo vaciarse que a la primera celda de una serie.

5. Estimación económica de las alternativas

En principio, para estimar los costos de la alternativa tradicional se identificaron los ítems principales y se realizó el cómputo. Se identificaron:

- Movimiento de suelos: corresponde a las excavaciones para la colocación de conductos, caños de empalme, sumideros y cámaras de inspección.
- Conductos de hormigón armado premoldeados: de sección circular de diámetros de 500 a 1.200 mm y de sección rectangular de 2,00 x 1,20 m.
- Cámaras de inspección: de tipo CIA, CIB, CIB1 y para conducto rectangular (CICR).
- Sumideros: para calle pavimentada de 1, 2 y 3 m de longitud.

La alternativa con SUDS posee los mismos ítems que la anterior, excepto que se añaden los siguientes:

- Celdas de biorretención: comprende a todos los materiales necesarios para su construcción, esto es, el cerco perimetral de mampostería, las capas de suelo filtrante y de almacenamiento, el geotextil y los elementos para garantizar el sobrepaso del agua. En caso de tratarse de celdas en serie, las mismas poseen un dren dispuesto en su base.
- Tuberías de polipropileno (PP): refiere a las tuberías de 110 mm de diámetro que conectan a las celdas entre sí cuando se trata del funcionamiento en serie, además de las cuplas de vinculación entre tramos (que se comercializan en longitudes de 4 m).
- Cámaras de inspección de polipropileno: de 400 mm de diámetro, se conforman desde su base por un cojinete que posee tres entradas para conectar las tuberías indicadas anteriormente y por una tubería vertical que llega hasta el terreno natural y funciona como boca de registro para realizar el mantenimiento.

Los costos de los materiales asociados a las celdas de biorretención se consultaron en empresas constructoras de la localidad de Monte Grande, en Esteban Echeverría. Los costos de las tuberías, drenes y cámaras de inspección de polipropileno se obtuvieron de un catálogo de precios de una empresa especializada en la fabricación de productos para la conducción de agua.

El resto de los precios unitarios (que incluyen mano de obra y equipos) se consultaron en planillas de cómputo y presupuesto de obras de desagües pluviales elaboradas por el Ministerio de Infraestructura de la Nación.

A continuación, se indican en las Tablas 34 y 35 el cómputo y los costos de los ítems correspondientes a cada alternativa, así como el costo total:

Tabla 34.- Cómputo y estimación de costos de la alternativa tradicional

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$/u)	IMPORTE
1.	Movimiento de suelos				
1.1	Excavación para conductos	m ³	5900,74	\$ 2.532,86	\$ 14.945.742,78
1.2	Excavación para caños de empalme	m ³	261,12	\$ 2.870,72	\$ 749.601,48
1.3	Excavación para sumideros	m ³	150,91	\$ 2.870,72	\$ 433.219,82
2.	Conductos de H° A° premoldeados				
2.1	Ø 500 mm (largo útil 1 m)	ml	384,00	\$ 15.517,99	\$ 5.958.909,31
2.2	Ø 600 mm (largo útil 1,20 m)	ml	201,40	\$ 19.709,33	\$ 3.969.458,39
2.3	Ø 800 mm (largo útil 1,20 m)	ml	334,75	\$ 30.832,48	\$ 10.321.171,84
2.4	Ø 1000 mm (largo útil 1,20 m)	ml	510,65	\$ 44.688,61	\$ 22.820.239,55
2.5	Ø 1.200 mm (largo útil 1,20 m)	ml	109,50	\$ 59.028,73	\$ 6.463.646,12
2.6	2,00 x 1,20 m (largo útil 1 m)	ml	243,15	\$ 152.114,56	\$ 36.986.655,98
3.	Cámaras de inspección				
3.1	CIA	u.	19	\$ 168.657,04	\$ 3.204.483,76
3.2	CIB	u.	7	\$ 152.923,24	\$ 1.070.462,67
3.3	CIB1	u.	1	\$ 209.887,88	\$ 209.887,88
3.4	CICR	u.	2	\$ 186.392,84	\$ 372.785,68
4.	Sumideros				
4.1	S1 (longitud 1,00 m)	u.	6	\$ 119.017,76	\$ 714.106,59
4.2	S2 (longitud 2,00 m)	u.	28	\$ 148.772,21	\$ 4.165.621,75
4.3	S3 (longitud 3,00 m)	u.	30	\$ 179.272,37	\$ 5.378.171,07
				TOTAL \$ 117.764.164,67	

La suma es de ciento diecisiete millones setecientos sesenta y cuatro mil ciento sesenta y cuatro pesos con 67/100.

Tabla 35.- Cómputo y estimación de costos de la alternativa sustentable

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$/u)	IMPORTE
1.	Movimiento de suelos				
1.1	Excavación para conductos	m ³	5900,74	\$ 2.532,86	\$ 14.945.742,78
1.2	Excavación para caños de empalme	m ³	261,12	\$ 2.870,72	\$ 749.601,48
1.3	Excavación para sumideros	m ³	150,91	\$ 2.870,72	\$ 433.219,82
1.4	Excavación para celdas de biorret.	m ³	3653,9	\$ 2.532,86	\$ 9.254.823,71
1.5	Excavación para tuberías y CI de PP	m ³	431,8	\$ 2.532,86	\$ 1.093.797,54
2.	Conductos de H° A° premoldeados				
2.1	Ø 500 mm	ml	384,00	\$ 15.517,99	\$ 5.958.909,31
2.2	Ø 600 mm	ml	201,40	\$ 19.709,33	\$ 3.969.458,39
2.3	Ø 800 mm	ml	334,75	\$ 30.832,48	\$ 10.321.171,84
2.4	Ø 1000 mm	ml	510,65	\$ 44.688,61	\$ 22.820.239,55
2.5	Ø 1200 mm	ml	109,50	\$ 59.028,73	\$ 6.463.646,12
2.6	2.00 x 1.20 m	ml	243,15	\$ 152.114,56	\$ 36.986.655,98
3.	Cámaras de inspección de H° A°				
3.1	CIA	u.	19	\$ 168.657,04	\$ 3.204.483,76
3.2	CIB	u.	7	\$ 152.923,24	\$ 1.070.462,67
3.3	CIB1	u.	1	\$ 209.887,88	\$ 209.887,88
3.4	CICR	u.	2	\$ 186.392,84	\$ 372.785,68
4.	Sumideros				
4.1	S1 (longitud 1,00 m)	u.	6	\$ 119.017,76	\$ 714.106,59
4.2	S2 (longitud 2,00 m)	u.	28	\$ 148.772,21	\$ 4.165.621,75
4.3	S3 (longitud 3,00 m)	u.	30	\$ 179.272,37	\$ 5.378.171,07
5.	Celdas de biorretención	u.	553	\$ 72.449,1	\$ 40.064.371,61
6.	Tuberías de PP				
6.1	Ø 110 mm	ml	2408,7	\$ 938,0	\$ 2.259.326,43
6.2	Cuplas 110 mm	u.	603	\$ 58,8	\$ 35.463,56
7.	Cámaras de inspección de PP (Ø 400 mm)	u.	67	\$ 53.819,5	\$ 3.605.906,06

TOTAL \$ 174.077.853,58

La suma es de ciento setenta y cuatro millones setenta y siete mil ochocientos cincuenta y tres pesos con 58/100.

Por último, se resume a continuación en la Tabla 36 la incidencia que tiene cada ítem en el costo total de las obras:

Tabla 36.- Incidencia de costos

Incidencia		
	TRAD	SUDS
Movimiento de suelos	13,7 %	15,2 %
Conductos de H° A° premoldeados	73,5 %	49,7 %
Cámaras de inspección	4,1 %	2,8 %
Sumideros	8,7 %	5,9 %
Celdas de biorretención	-	23,0 %
Tuberías de PP	-	1,3 %
Cámaras de inspección de PP (Ø 400 mm)	-	2,1 %
Total	100 %	100 %
Costo total (\$)	117.764.164	174.077.853
Diferencia (%)	47,8	

6. Conclusiones

De la realización del presente Trabajo Final surgen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

En primer lugar, se puede mencionar y sostener que la gestión de los desagües pluviales requiere de un cambio de paradigma, en el cual la escorrentía pluvial deje ser considerada como un “desecho” para pasar a ser un recurso.

En este sentido, los Sistemas Urbanos de Desagües Sustentables (SUDS) contemplan este enfoque, donde a través de diversas tipologías y su interconexión, se intenta imitar los fenómenos hidrológicos de la cuenca en su estado previo o natural, o bien, favorecerlos. Así, la precipitación que cae “en origen” no se evacuaría rápidamente, sino que se promueve su infiltración, detención, almacenamiento, entre otros. Así mismo, los SUDS colaboran también a reducir el efecto de “isla de calor” típico en las urbanizaciones, donde los grados de impermeabilización son elevados a la vez que proporcionan un valor estético y beneficios a la comunidad, sobre todo en espacios públicos.

A raíz de los antecedentes recopilados, surge que los países europeos y norteamericanos son quienes poseen mayor experiencia y cantidad de casos de proyecto y construcción de SUDS, contemplando los aspectos técnicos del diseño. Sin embargo, la mayoría de los manuales de diseño responden más a recomendaciones en función de la experiencia que a fundamentaciones técnicas surgidas de estudios de investigación, ya sea de componentes en prototipo o modelos físicos. En cuanto a América Latina, Colombia y Brasil poseen la mayor concentración de casos, en particular con la incorporación de casos de SUDS documentados en la última década 2010-2020 (Ref. 31).

La incorporación de las “Celdas de Biorretención” propuestas en el presente Trabajo como SUDS tienen un gran impacto en la reducción de la escorrentía directa respecto de la alternativa tradicional (cálculo mediante Método Racional Clásico), cuando se trata de la tormenta de diseño de 1,01 años de recurrencia y 1 hora de duración, alcanzando un valor del 42 %. Se trata de una precipitación de

recurrencia baja respecto a las que suelen emplearse en el diseño de desagües pluviales, pero muy frecuente, ya que representa una probabilidad de ocurrencia del 99 %. Así mismo la reducción de escorrentía resulta significativa para el evento de 2 años de recurrencia y 1 hora de duración, siendo ésta del orden del 20 %.

Dicha incorporación de las celdas a la red pluvial permite además aliviar la capacidad de los conductos pluviales para las recurrencias típicas de 2 y 5 años, así como reducir la altura del agua en las calles.

Los retardos observados en el escurrimiento producto de la incorporación de las celdas, fueron del orden de los 15 minutos, lo cual es adecuado para la consideración de SUDS a nivel domiciliario. Este efecto puede ser incrementado, pero para ello deberían plantearse SUDS a mayores escalas, por ejemplo, en espacios públicos como parques y plazas.

El trabajo conjunto de la modelación matemática mediante SWMM, que incorpora la tecnología SUDS, junto a un SIG, conforma la herramienta adecuada para el análisis de estas alternativas de proyecto, las cuales claramente representan una instancia superadora a los métodos tradicionales de cálculo de sistemas de desagües pluviales urbanos.

De la estimación de costos, se concluye que, considerando materiales de construcción y mano de obra, la alternativa con SUDS propuesta en este Trabajo posee un costo aproximadamente 50 % mayor que un proyecto de desagües pluviales tradicional. Esto se debe a que esta tipología está concebida como estructuras que funcionan en conjunto y colaboran con la red pluvial proyectada o existente.

Este incremento pone de alguna forma de manifiesto el sobre costo que involucra optar por soluciones sustentables y de preservación del ambiente. Esto de ninguna manera debería entenderse como una desventaja o desacreditación de la metodología, sino por el contrario poner en valor esa diferencia para generar conocimiento local respecto de su implementación.

En línea con lo anterior, si bien en este Trabajo sólo se analizó la cantidad de agua y no su calidad, se puede afirmar en base a la bibliografía consultada, que los SUDS, sobre todo aquellos que funcionan como dispositivos de infiltración, son efectivos en la retención de los contaminantes que puedan presentarse en la escorrentía inicial generada en los primeros minutos de la precipitación.

Más allá de las experiencias internacionales mencionadas, son contadas las investigaciones orientadas al monitoreo del funcionamiento de los SUDS ya ejecutados, a su mantenimiento y a su implementación. Es necesario entonces contar con estudios específicos de cada región que permitan sistematizar tanto resultados como experiencias. Los SUDS dependen fuertemente del régimen de precipitaciones, de la topografía, la composición de los suelos e incluso, de los materiales disponibles en la zona. De allí que no pueda suponerse un “diseño universal” para éstos, pero sí brindar lineamientos de diseño que puedan orientar a los proyectistas.

Por último, existe el desafío de concientizar a la comunidad sobre la importancia de estas alternativas sustentables en la gestión de los desagües pluviales urbanos; la falta de conocimiento por parte de los ciudadanos, pero sobre todo de los tomadores de decisión, puede resultar un obstáculo en la implementación de los SUDS y su sostenimiento en el largo plazo.

En ese sentido, resulta fundamental involucrar mediante procesos participativos a los actores sociales desde las primeras fases del proyecto de los SUDS, entendidos no sólo como usuarios o beneficiarios sino como los futuros responsables del mantenimiento de las tipologías, sobre todo las involucradas dentro o en las proximidades de sus lotes. Desde la planificación urbana se pueden promover estos procesos de participación social que generen en los destinatarios un sentido de pertenencia con el territorio que habitan, de apropiación del entorno urbano y, por lo tanto, de su relación con el agua.

7. Referencias bibliográficas

- [1] Angheben, E. et al. (2018-2019-2020); “Programa de Desarrollo de Acciones para la Reducción del Riesgo de Inundaciones en el partido de Esteban Echeverría. Programa DAPRRI Esteban Echeverría (Provincia de Buenos Aires)”, ETAPAS 1, 2 y 3 - Informe Final. UIDET Hidrología. Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería. UNLP.
- [2] Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires (2011); “Manual para el Diseño de Planes Maestros”; Buenos Aires.
- [3] Woods Ballard, B.; Wilson, S.; Udale-Clarke, H.; Illman, S.; Scott, T.; Ashley, R.; Kellagher, R. (2015); “The SuDS Manual”, 5ta Ed., CIRIA (Construction Industry Research and Information Association), Londres, Reino Unido.
- [4] “Low Impact Development Manual for Southern California: Technical Guidance and Site Planning Strategies Prepared for the Southern California Stormwater Monitoring Coalition in cooperation with the State Water Resources Control Board” (2010); Centro de Desarrollo de Bajo Impacto (Low Impact Development Center, Inc.).
- [5] Sitio web de United States Environmental Protection Agency (EPA). Link de acceso: <https://www.epa.gov/laws-regulations/history-clean-water-act>
- [6] Fletcher, T. D. et al. (2015); “SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage”; Urban Water Journal, Vol. 12, No. 7.
- [7] Perales-Momparler, S.; Doménech, I. A. (2008); “Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una Alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia”; Universidad Politécnica de Valencia, España.
- [8] Sitio web del Departamento de Servicios de Drenaje de la Región Administrativa Especial de Hong Kong de la República Popular China. Link de acceso: https://www.dsd.gov.hk/Documents/SustainabilityReports/1617/en/sponge_city.html
- [9] Comisión Europea (2014); “Construir una infraestructura verde para Europa”.
- [10] “Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos” (2018); Ayuntamiento de Madrid.
- [11] Soto-Fernández, R., Perales-Momparler, S. (2017). “El camino del agua en el paisaje urbano, barrio de Bon Pastor, Barcelona”; V Jornadas de Ingeniería del Agua. A Coruña.
- [12] Plataforma sobre SUDS creada por CIRIA (Construction Industry Research and Information Association). Link de acceso: www.susdrain.org
- [13] Villalba, G. A.; Malegni, N.; Linfante, A.; Curto, F. (2018); “Costa Esmeralda, experiencias en el manejo de pluviales aplicando Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.”; Autoridades de Costa Esmeralda.
- [14] Ministerio de Desarrollo Urbano (2015); “Manual de Diseño Urbano”; Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- [15] Sitio web de ACUMAR. Link de acceso: <https://www.acumar.gob.ar/causa-mendoza/>
- [16] Garay, A. M. (2012); “Plan Estratégico para el Desarrollo Territorial del Partido de Esteban Echeverría de la Provincia de Buenos Aires – INFORME FINAL CONSOLIDADO”; PROGRAMA MULTISECTORIAL DE PREINVERSIÓN III – PRÉSTAMO BID.
- [17] Sitio web de la Agencia de Recaudación de la provincia de Buenos Aires (ARBA). Link de acceso: <https://carto.arba.gov.ar/cartoArba/>

- [18] Municipalidad de Esteban Echeverría (2019); “Código de Planeamiento Urbano del municipio de Esteban Echeverría. Texto ordenado”.
- [19] United States Department of Agriculture (USDA) (1986); “Technical Release 55: Urban Hydrology for Small Watersheds”; Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division.
- [20] “Stormwater Management Guidance Manual Version 3.2” (2020); Philadelphia Water Department.
- [21] “Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.1” (2015); United States Environmental Protection Agency (EPA).
- [22] Ven Te Chow; Maidment, D. R.; Mays, L. W. (1994); “Hidrología Aplicada”; McGraw-Hill; Bogotá, Colombia.
- [23] Fattorelli, S.; Fernández, P. (2011); “Diseño Hidrológico”; Instituto Nacional del Agua (INA).
- [24] “Virginia DCR Stormwater Design Specification No. 9 – Bioretention”; (2013); Department of Conservation and Recreation (DCR).
- [25] Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos (GMMF); “SWMM Modelo de Gestión de Aguas Pluviales – Manual del usuario” (2005); traducido por el GMMF – Universidad Politécnica de Valencia.
- [26] “Storm Water Management Model Reference Manual – Volume I – Hydrology (Revised)” (2016); United States Environmental Protection Agency (EPA).
- [27] “Storm Water Management Model Reference Manual – Volume III – Water Quality” (2018); United States Environmental Protection Agency (EPA).
- [28] Gáspari, F.; Rodríguez Vagaría, A.; Senisterra, G.; Delgado, M.; Besteiro, S. (2013); “Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas”; Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
- [29] “City of Portland Stormwater Management Manual” (2020); Bureau of Environmental Services, Portland, Oregon, EE. UU.
- [30] “City of Alexandria – BMP Typical Details” (2020); AECOM.
- [31] Bermúdez Valero, M. E (2021); “Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en América Latina: ¿una Solución Basada en la Naturaleza con criterio social?”; Maestría en Gestión Ambiental, Pontificia Universidad Javeriana.
- [32] Pereyra, Fernando X. (2012); “Suelos de la Argentina. Geografía de suelos, factores y procesos formadores”; Ed. SEGEMAR-AACS-GAEA, ANALES N° 50.

8. Anexos

8.1 Anexo I: Mapas para elaboración de I-d-R (MDPM)

- Isolíneas de precipitaciones medias intensas. D = 1 hora
- Coeficiente de variación. D = 1 hora
- Isolíneas de precipitaciones medias intensas. D = 12 horas
- Coeficiente de variación. D = 1 hora

8.2 Anexo II: Planos de la alternativa tradicional

- Plano TF-PG-01: Planimetría
- Plano TF-PG-02: Planimetría y subcuencas urbanas
- Plano TF-PL-03: Perfiles longitudinales
- Plano TF-DE-04: Detalles de esquinas
- Plano TF-DE-05: Detalles de esquinas
- Plano TF-DE-06: Detalles de esquinas
- Plano TF-DE-07: Detalles de esquinas

8.3 Anexo III: Planos de la alternativa con SUDS

- Plano TF-PG-SUDS-01 a Plano TF-PG-SUDS-18: Planimetría con SUDS
- Plano TF-DC-SUDS-19: Detalle de celda de biorretención
- Plano TF-PL-SUDS-20: Perfiles longitudinales de celdas
- Plano TF-PL-SUDS-21: Perfiles longitudinales de celdas

Anexo I:

Mapas para la estimación de curvas IDR

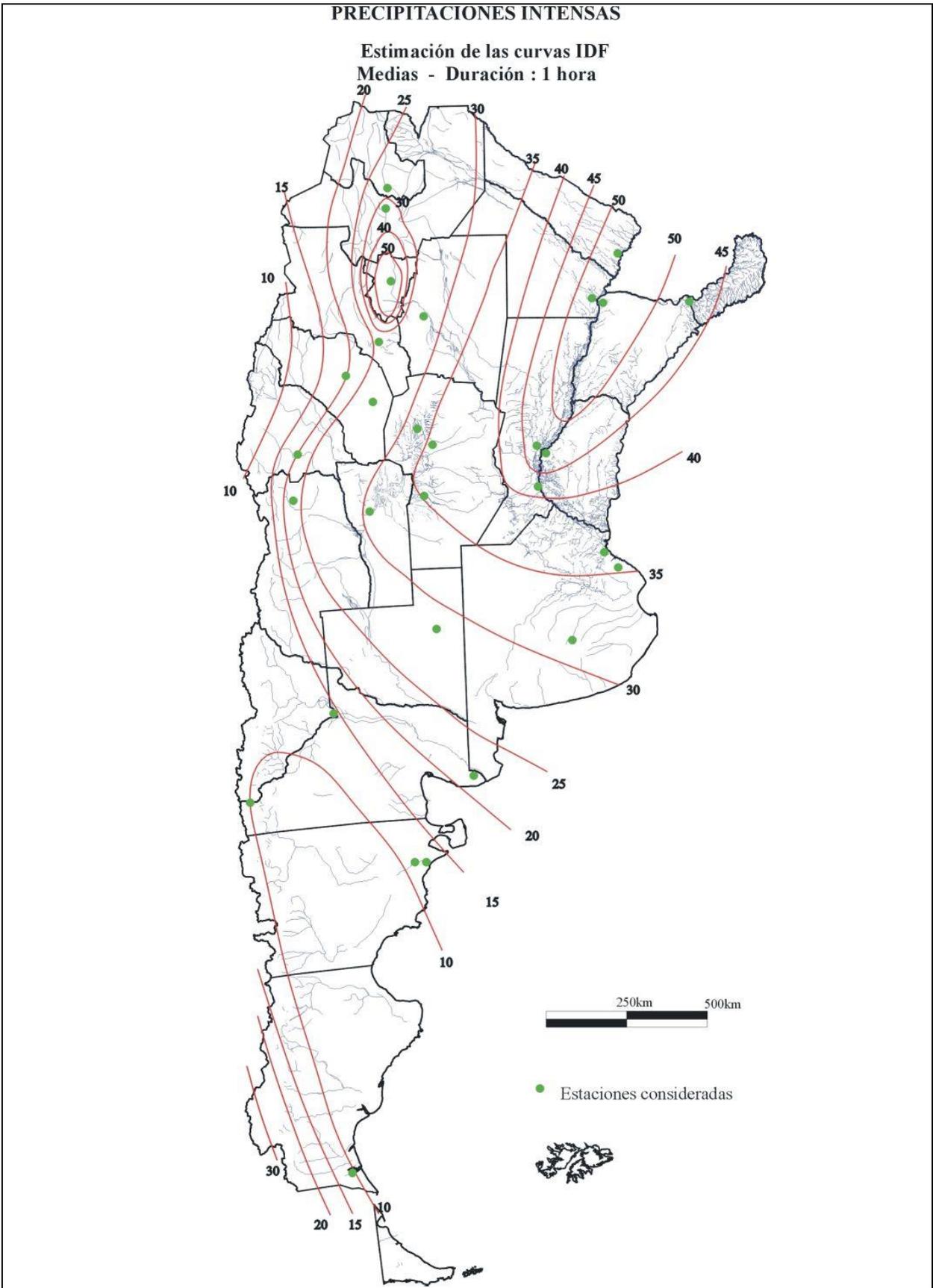


Figura 1.- Isolíneas de precipitaciones medias intensas. D = 1 hora. Fuente: "Manual para el Diseño de Planes Maestros"; Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires (2011).

PRECIPITACIONES INTENSAS

Estimación de las curvas IDF
Coeficientes de variación - Duración : 1 hora

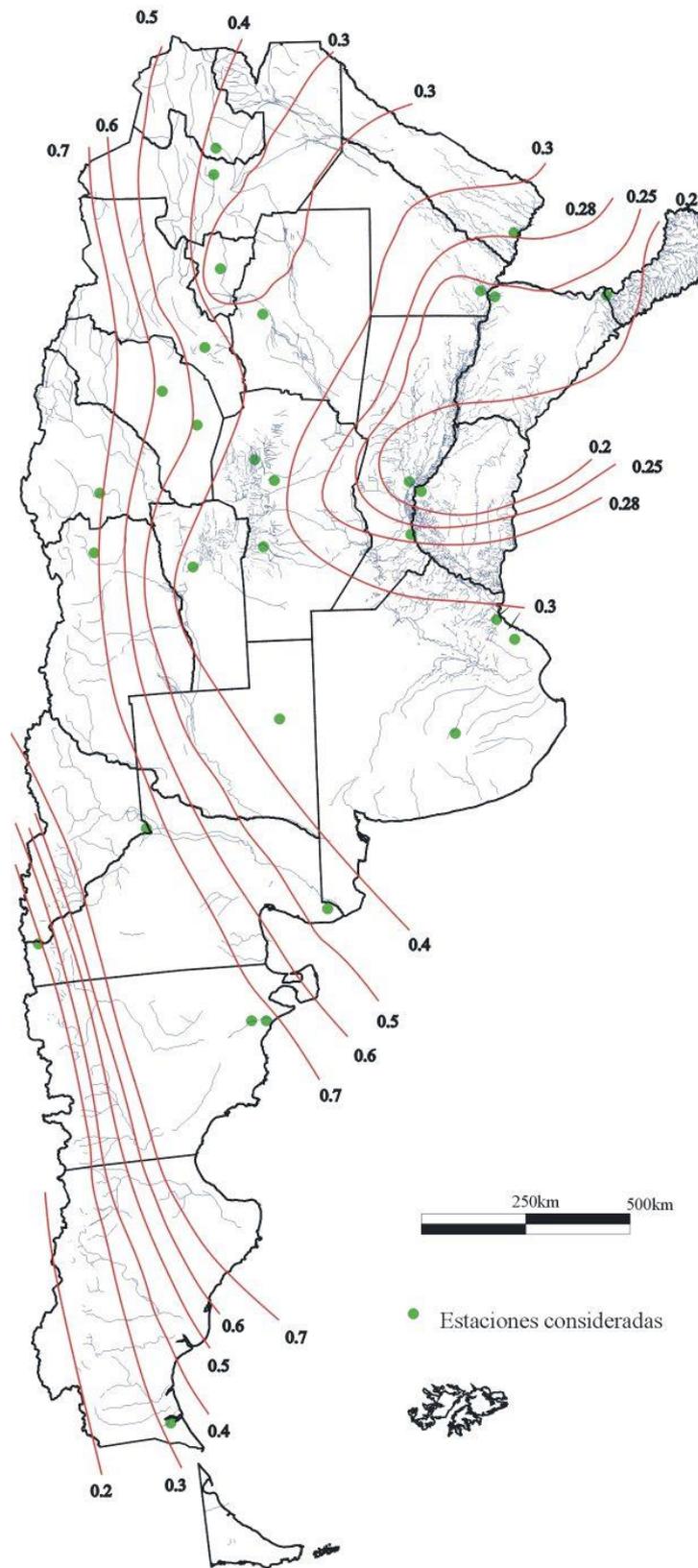


Figura 2.- Coeficiente de variación. $D = 1$ hora. Fuente: "Manual para el Diseño de Planes Maestros"; Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires (2011).

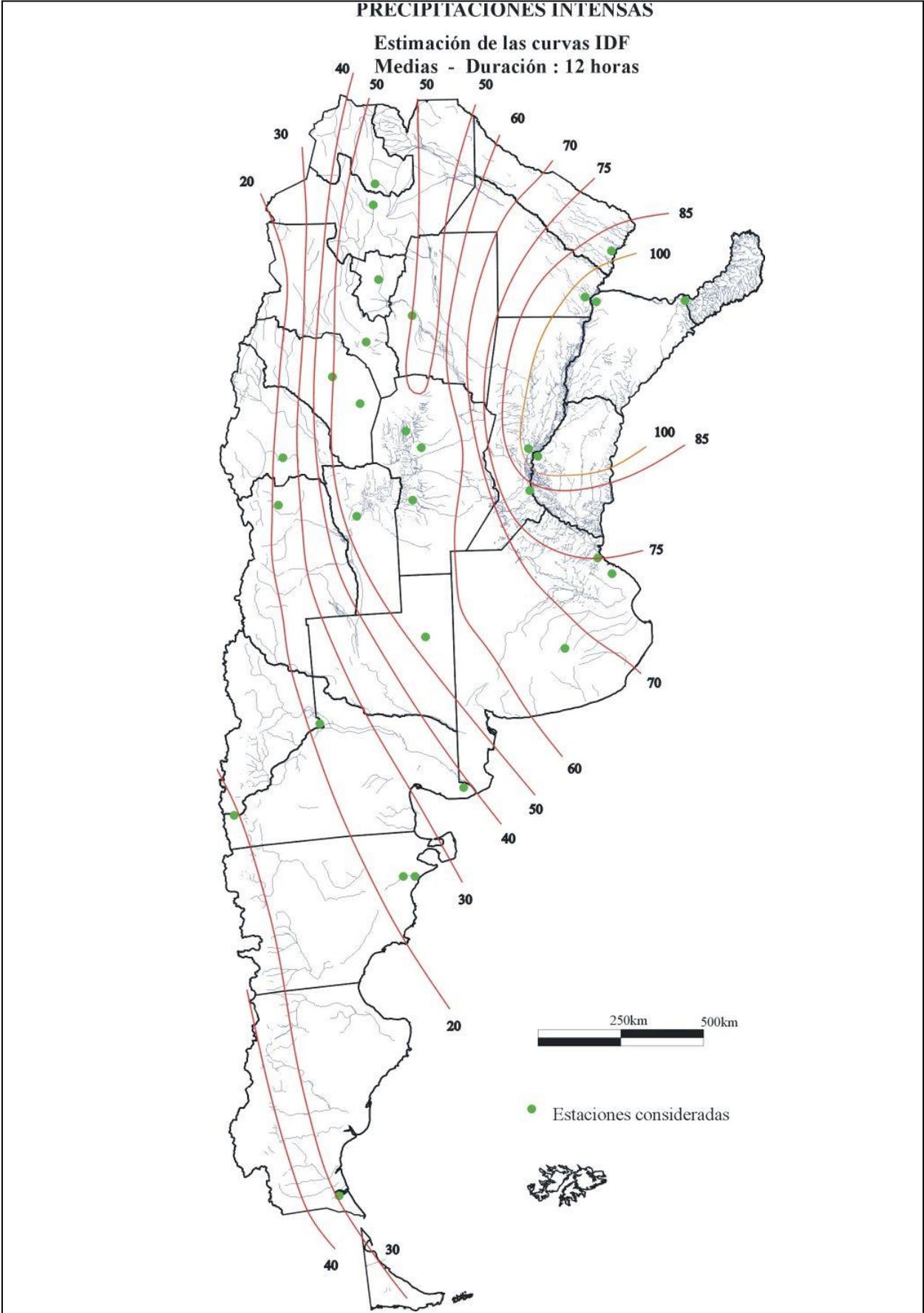


Figura 3.- Isolíneas de precipitaciones medias intensas. D = 12 horas. Fuente: "Manual para el Diseño de Planes Maestros"; Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires (2011).

PRECIPITACIONES INTENSAS

Estimación de las curvas IDF
Coeficientes de variación - Duración : 12 horas

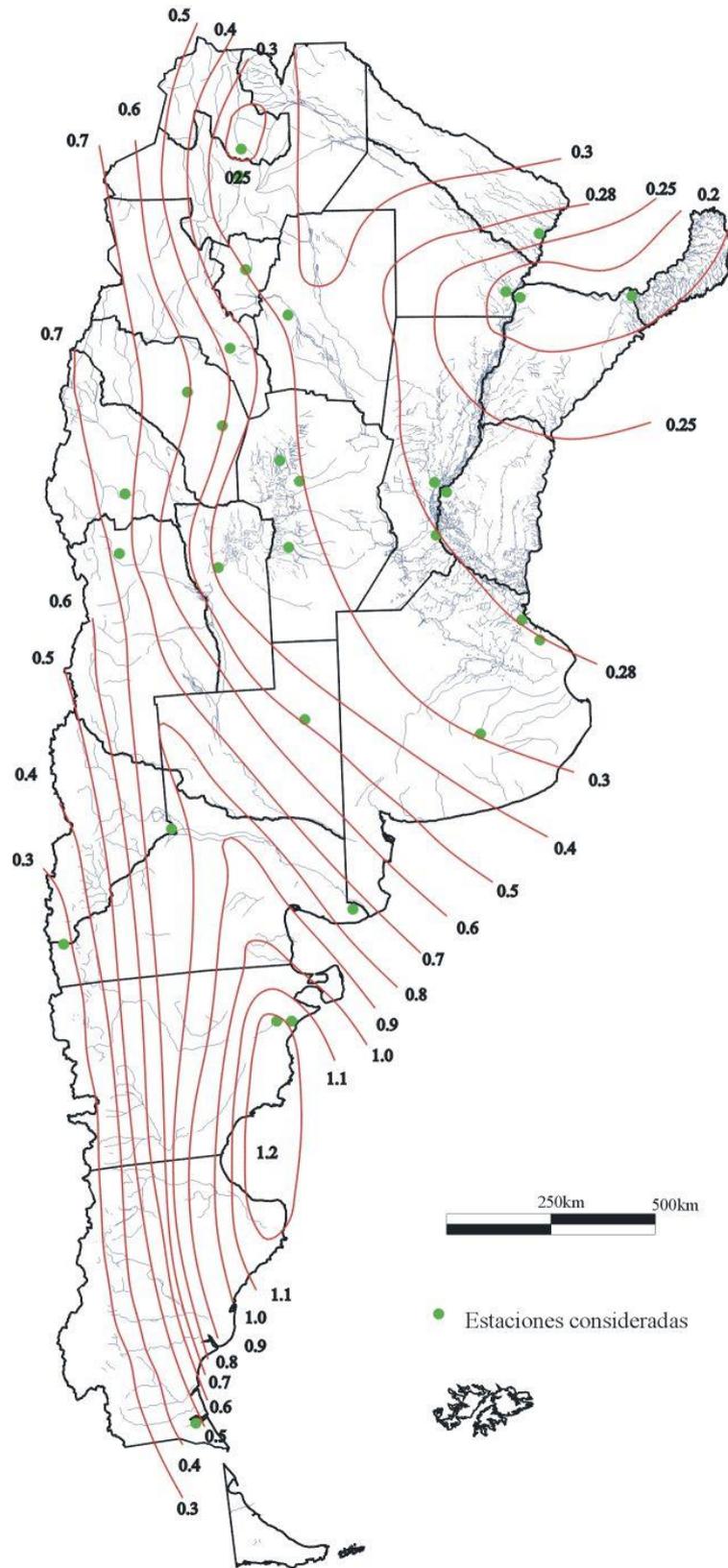
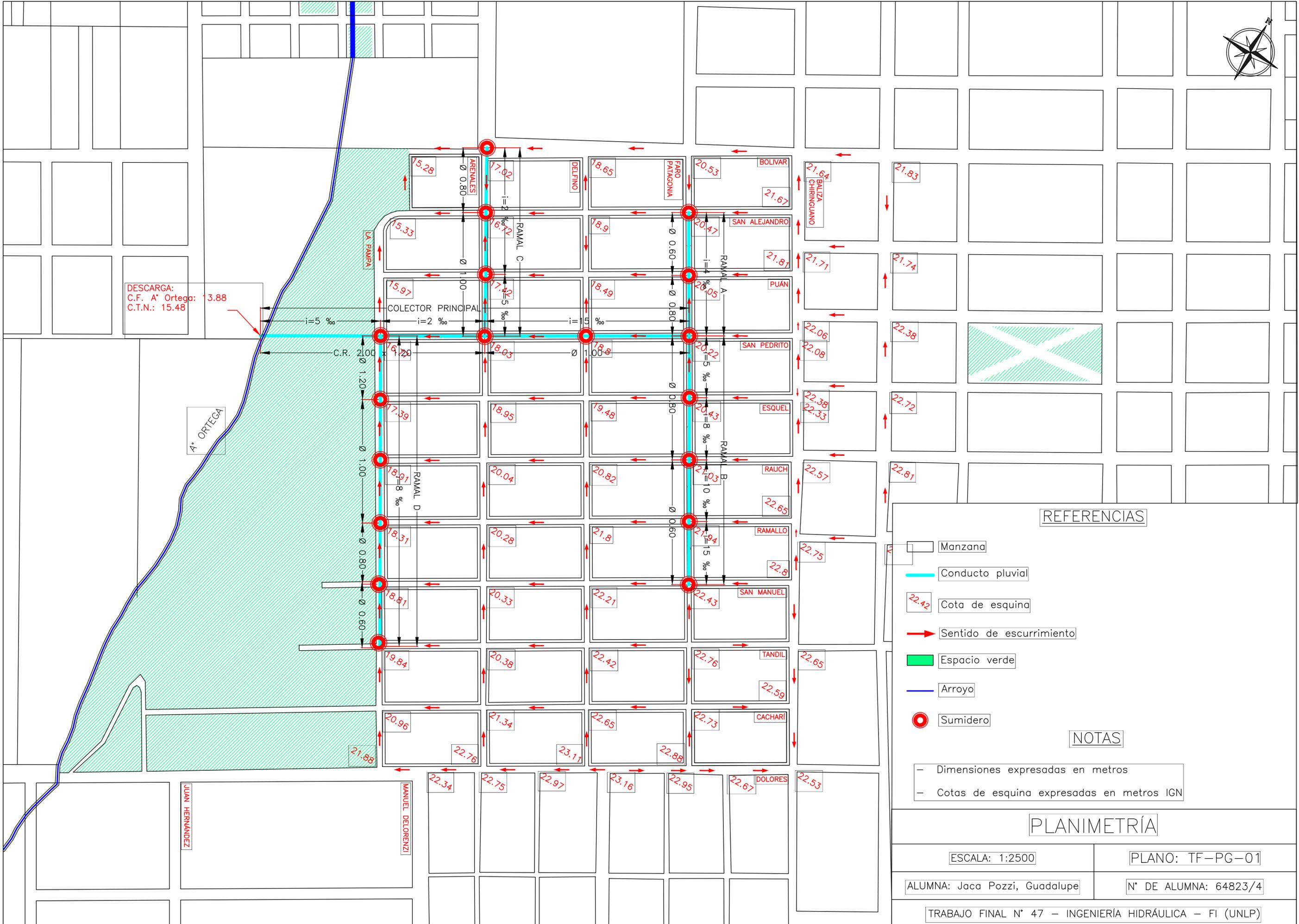


Figura 4.- Coeficiente de variación. $D = 1$ hora. Fuente: "Manual para el Diseño de Planes Maestros"; Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires (2011).

Anexo II:

Planos de la alternativa tradicional



DESCARGA:
C.F. A° Ortega: 3.88
C.T.N.: 15.48

REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Espacio verde
- Arroyo
- Sumidero

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA

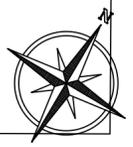
ESCALA: 1:2500

PLANO: TF-PG-01

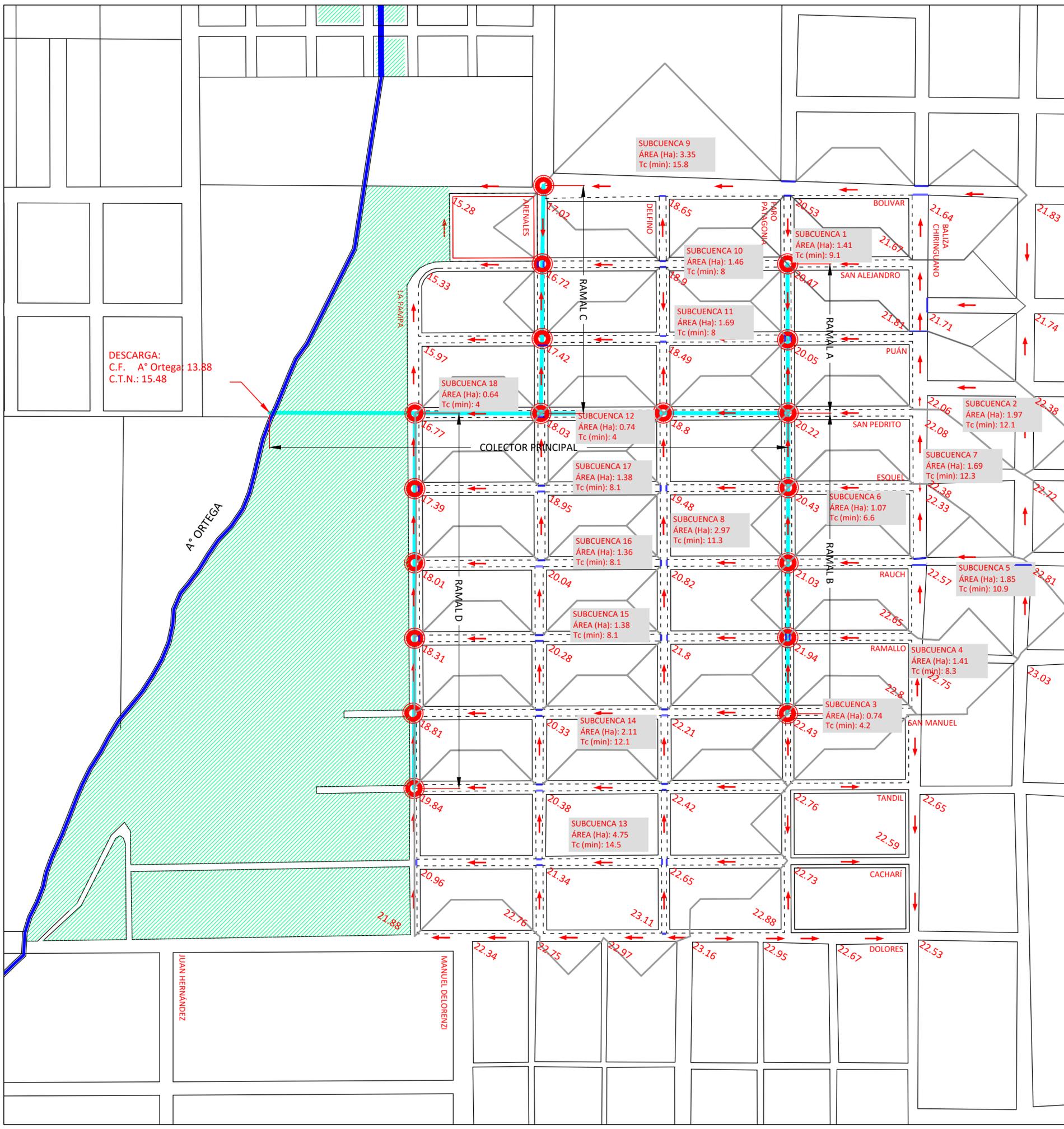
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)



DESCARGA:
C.F. A° Ortega: 13.88
C.T.N.: 15.48



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Sumidero
- Badén
- Arroyo
- Espacio verde
- Cordón cuneta
- Cuenca urbana
- Datos de cuenca

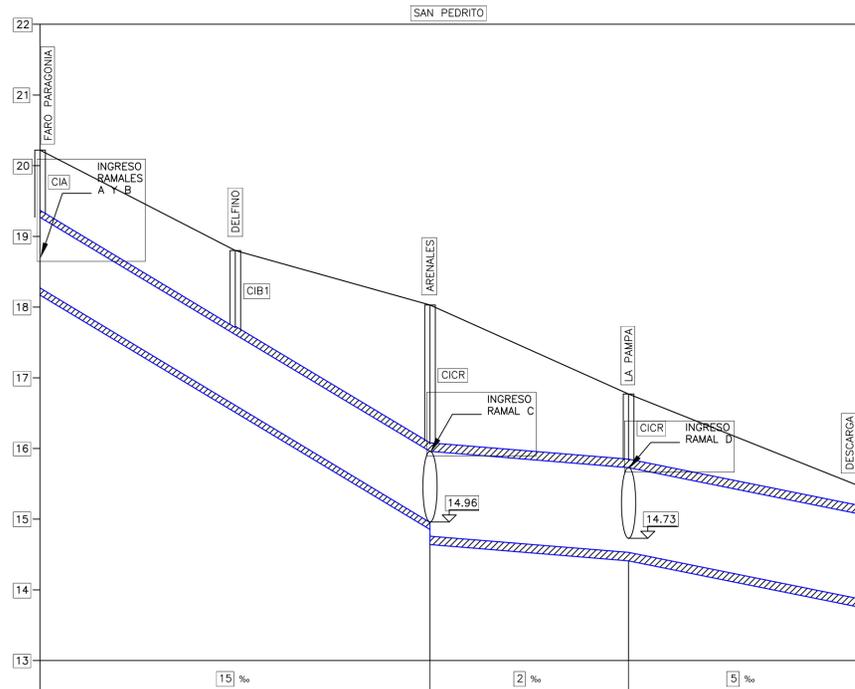
NOTAS

- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

CUENCAS URBANAS

ESCALA: 1:2500	PLANO: TF-PG-02
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	

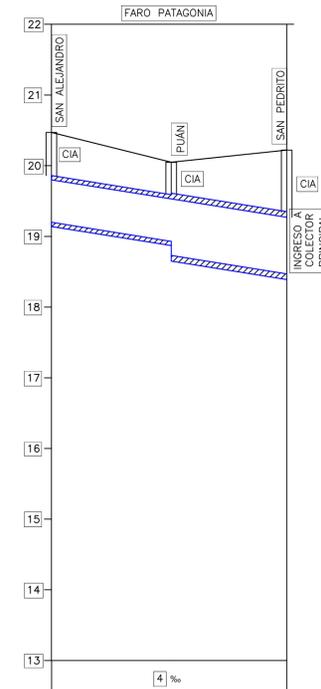
COLECTOR PRINCIPAL



Esc. Ver. 1:50
Esc. Hor. 1:2000
P.C. 13.00 m IGN

COTA T.N.					
COTA INTRADÓS					
COTA DE FONDO					
TAPADA	0.95	1.19	2.07	1.04	0.31
DISTANCIA PARCIAL	110.7	110.3	112.5	130	
PROGRESIVAS	0	110.7	221	333.5	463.5

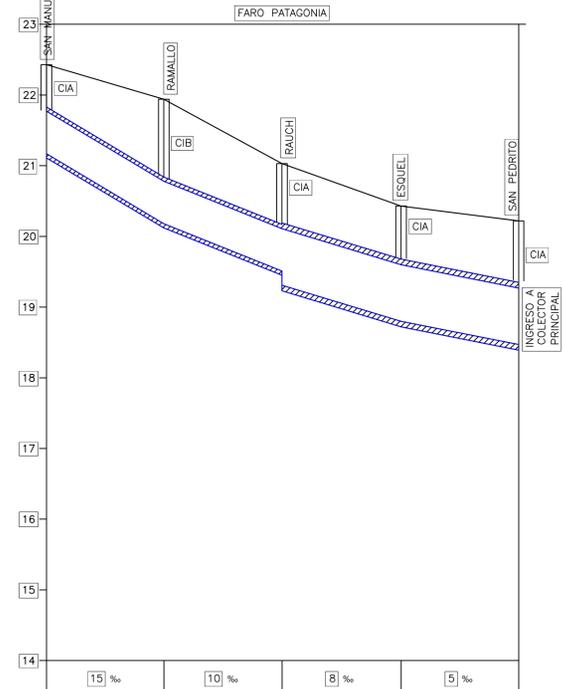
RAMAL A



Esc. Ver. 1:50
Esc. Hor. 1:2000
P.C. 13.00 m IGN

COTA T.N.			
COTA INTRADÓS			
COTA DE FONDO			
TAPADA	0.67	0.52	0.95
DISTANCIA PARCIAL	67.9	65.4	
PROGRESIVAS	0	67.9	133.3

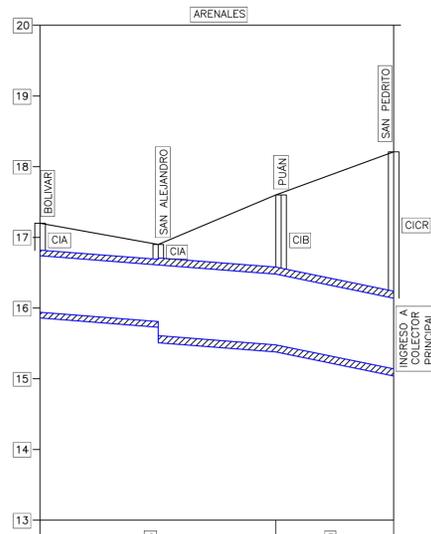
RAMAL B



Esc. Ver. 1:50
Esc. Hor. 1:2000
P.C. 14.00 m IGN

COTA T.N.					
COTA INTRADÓS					
COTA DE FONDO					
TAPADA	0.66	1.16	0.92	0.83	0.95
DISTANCIA PARCIAL	66.5	67	67.5	66.6	
PROGRESIVAS	0	66.5	133.5	201	267.6

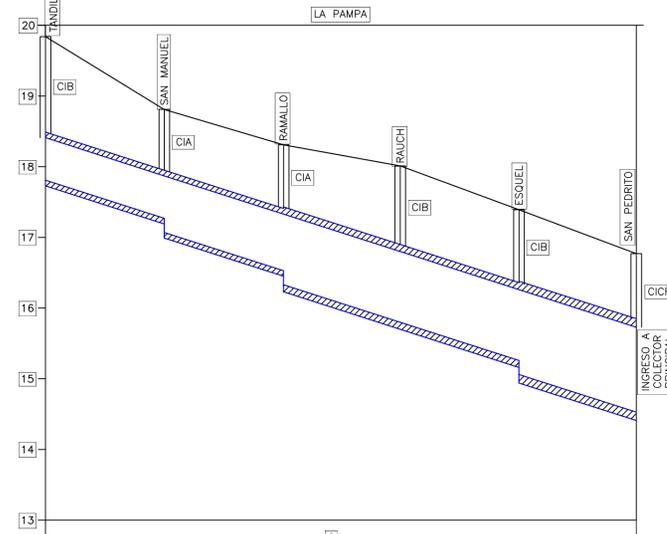
RAMAL C



Esc. Ver. 1:50
Esc. Hor. 1:2000
P.C. 13.00 m IGN

COTA T.N.				
COTA INTRADÓS				
COTA DE FONDO				
TAPADA	0.46	0.29	1.12	2.07
DISTANCIA PARCIAL	67	66.6	66.8	
PROGRESIVAS	0	67	133.6	200.4

RAMAL D



Esc. Ver. 1:50
Esc. Hor. 1:2000
P.C. 13.00 m IGN

COTA T.N.					
COTA INTRADÓS					
COTA DE FONDO					
TAPADA	1.43	0.94	1.21	1.13	1.04
DISTANCIA PARCIAL	67.3	67.6	66.2	67.3	66.5
PROGRESIVAS	0	67.3	134.9	201.1	268.4

REFERENCIAS

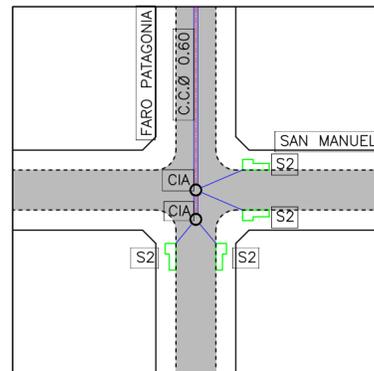
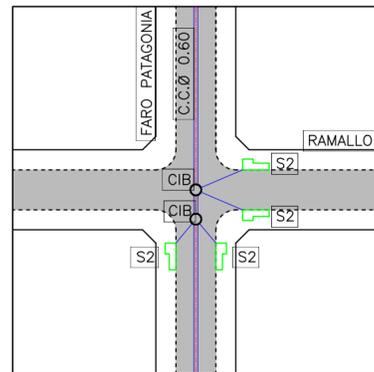
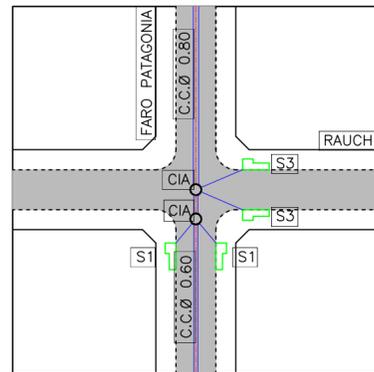
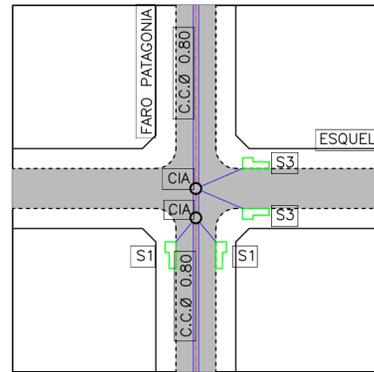
- Terreno natural
- /// Desagüe pluvial

NOTAS

- Conductos de hormigón armado prefabricados según norma IRAM 11503/86
- Medidas expresadas en metros IGN

PERFILES LONGITUDINALES

ESCALA: INDICADA EN EL PLANO	PLANO: TF-PL-03
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	



PLANIMETRÍA FUERA DE ESCALA



REFERENCIAS

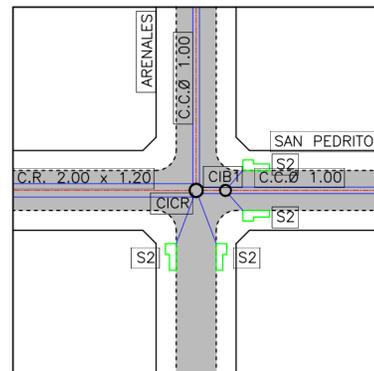
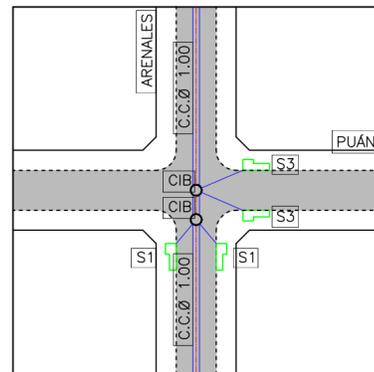
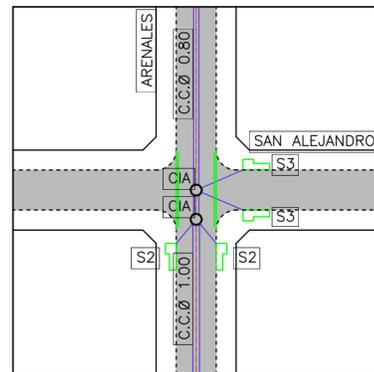
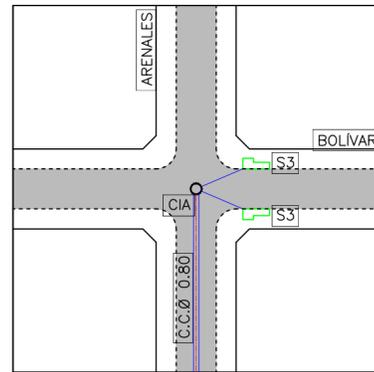
- Manzana
- Cordón cuneta
- Badén
- Conducto pluvial
- S2: sumidero para calle pavimentada y longitud
- Cámara de inspección (tipo A, B o para conducto rectangular)

NOTAS

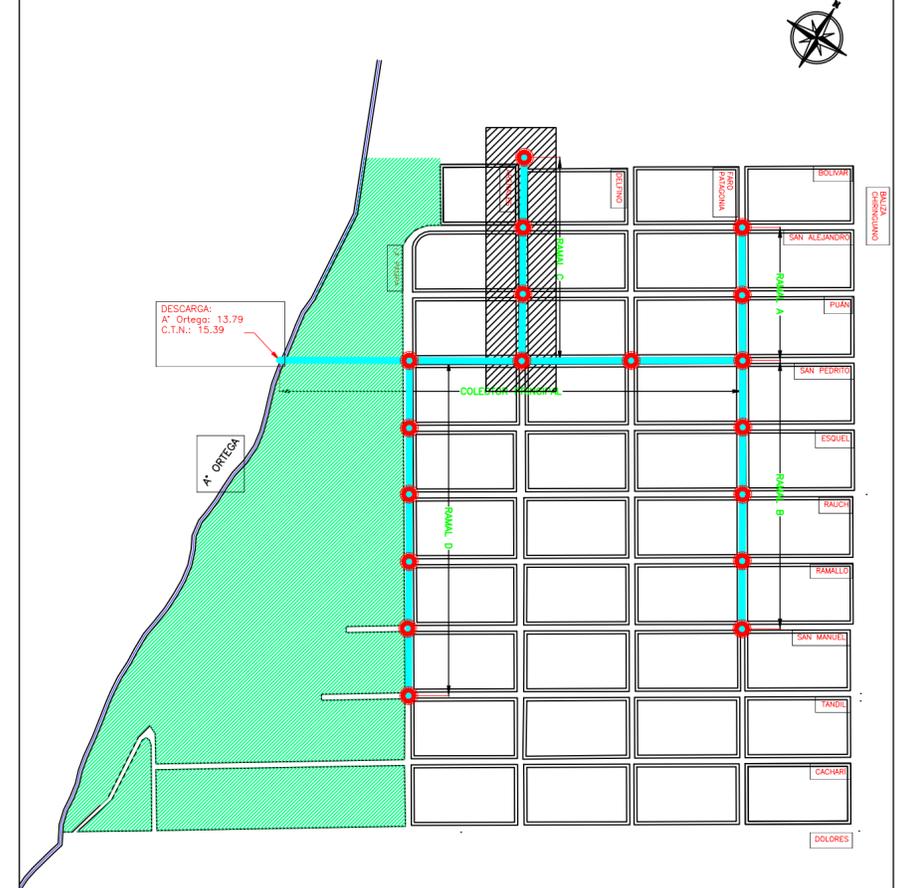
- Dimensiones expresadas en metros

DETALLES DE ESQUINAS

ESCALA: 1:750	PLANO: TF-DE-05
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	



PLANIMETRÍA FUERA DE ESCALA



REFERENCIAS

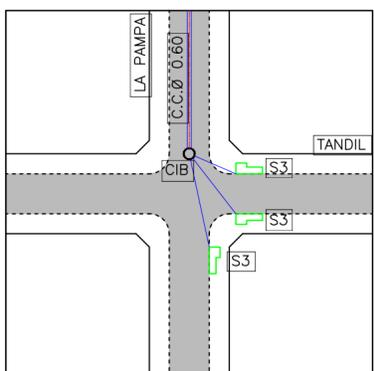
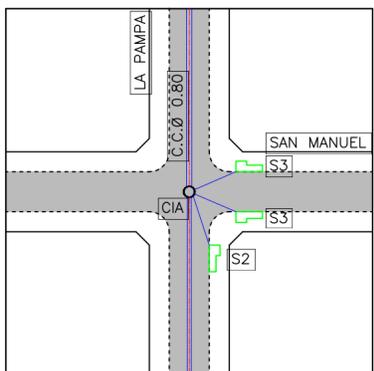
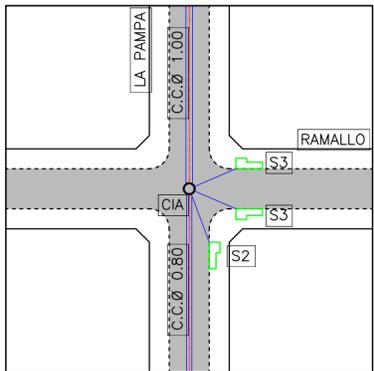
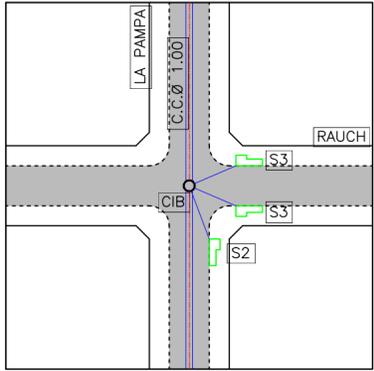
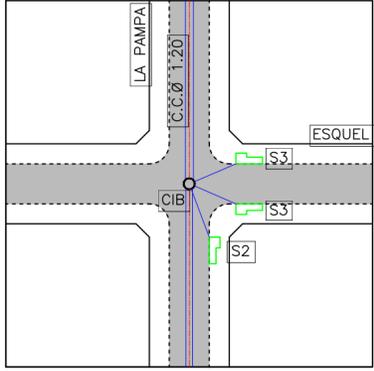
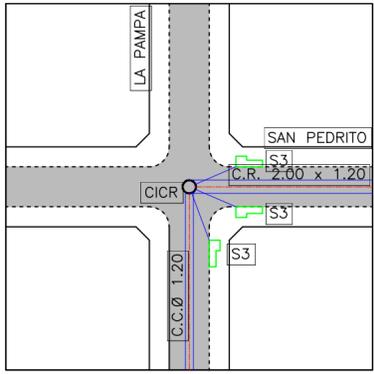
- Manzana
- Cordón cuneta
- Badén
- Conducto pluvial
- S2: sumidero para calle pavimentada y longitud
- Cámara de inspección (tipo A, B o para conducto rectangular)

NOTAS

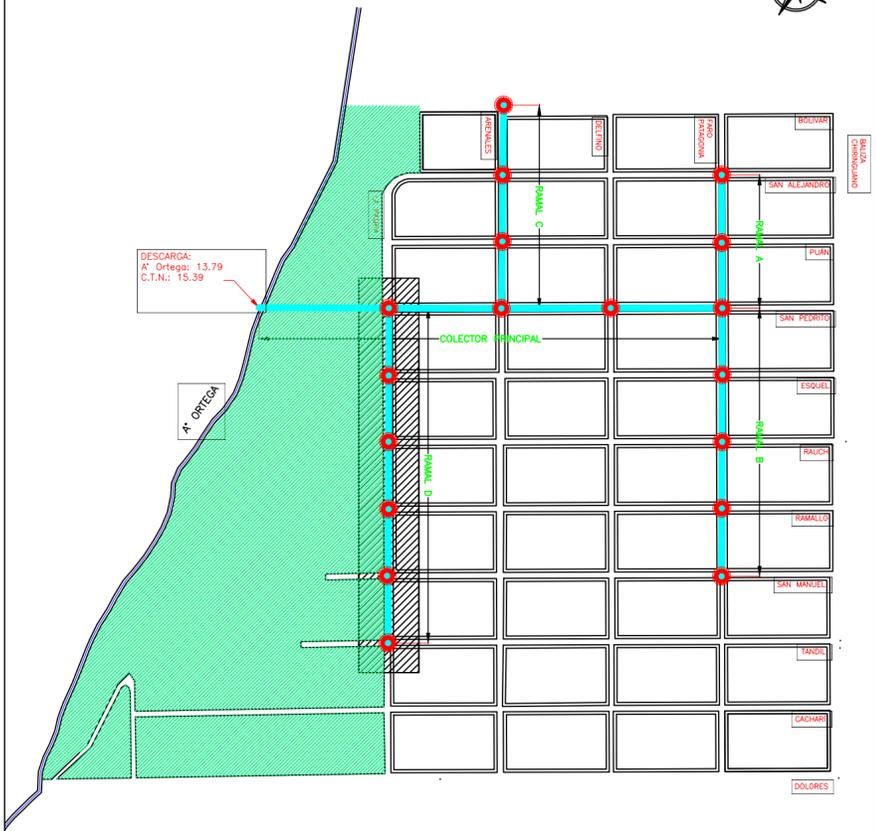
- Dimensiones expresadas en metros

DETALLES DE ESQUINAS

ESCALA: 1:750	PLANO: TF-DE-06
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	



PLANIMETRÍA FUERA DE ESCALA



REFERENCIAS

- Manzana
- Cordón cuneta
- Badén
- Conducto pluvial
- S2: sumidero para calle pavimentada y longitud
- Cámara de inspección (tipo A, B o para conducto rectangular)

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros

DETALLES DE ESQUINAS

ESCALA: 1:750	PLANO: TF-DE-07
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	

Anexo III:

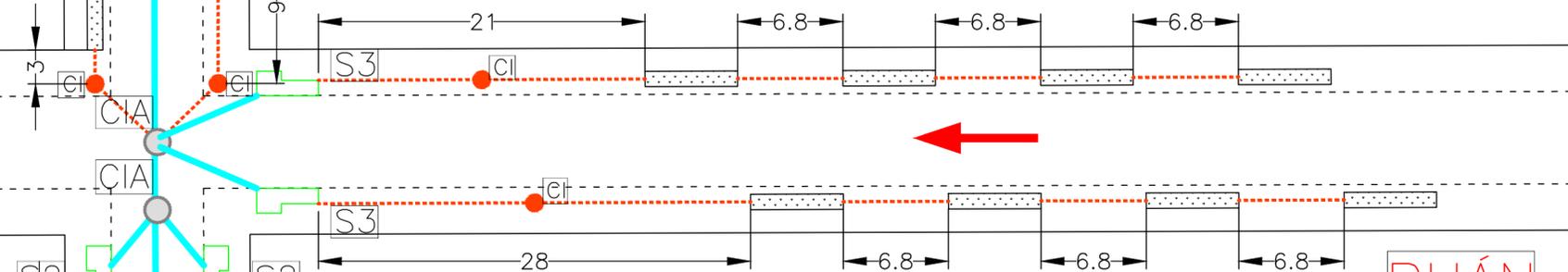
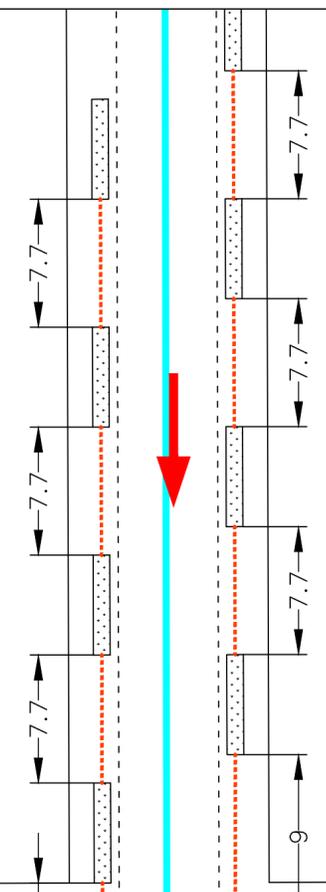
Planos de la alternativa con SUDS

SAN ALEJANDRO

PLANO DE UBICACIÓN

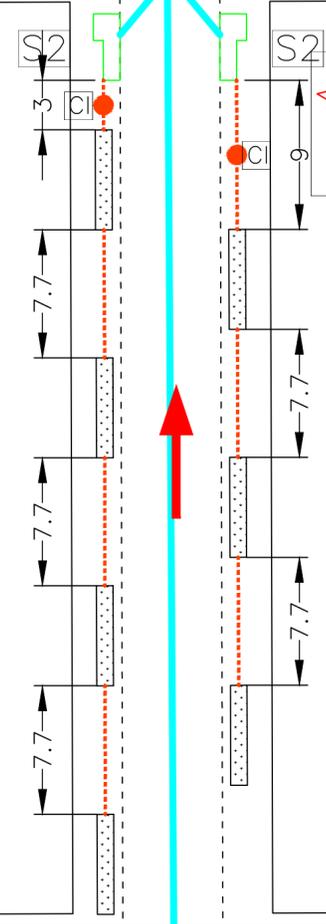


20.47



PUÁN

20.05



FARO PATAGONIA

SAN PEDRITO

REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

ESCALA: 1:300

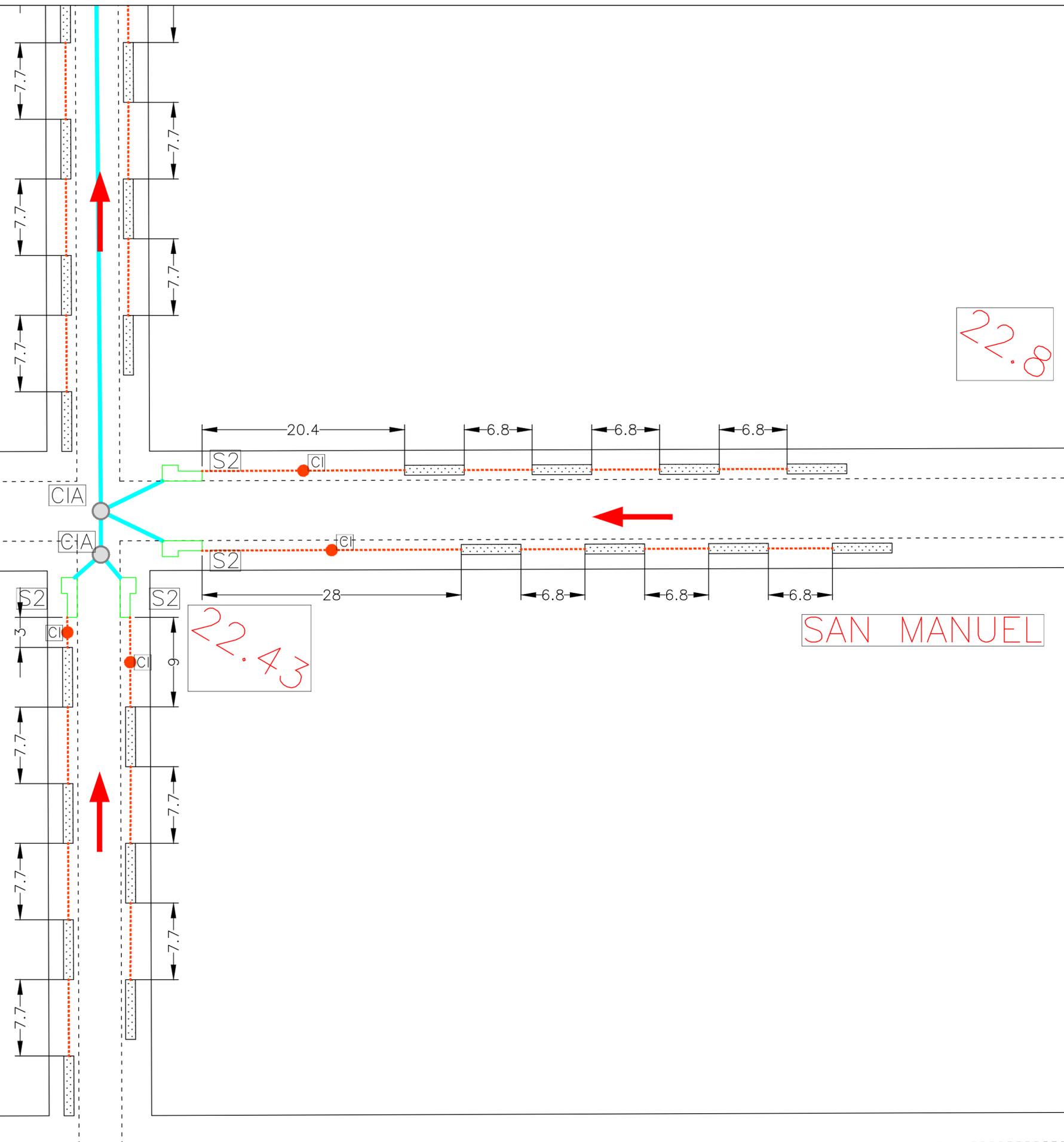
PLANO: TF-PG-SUDS-02

ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

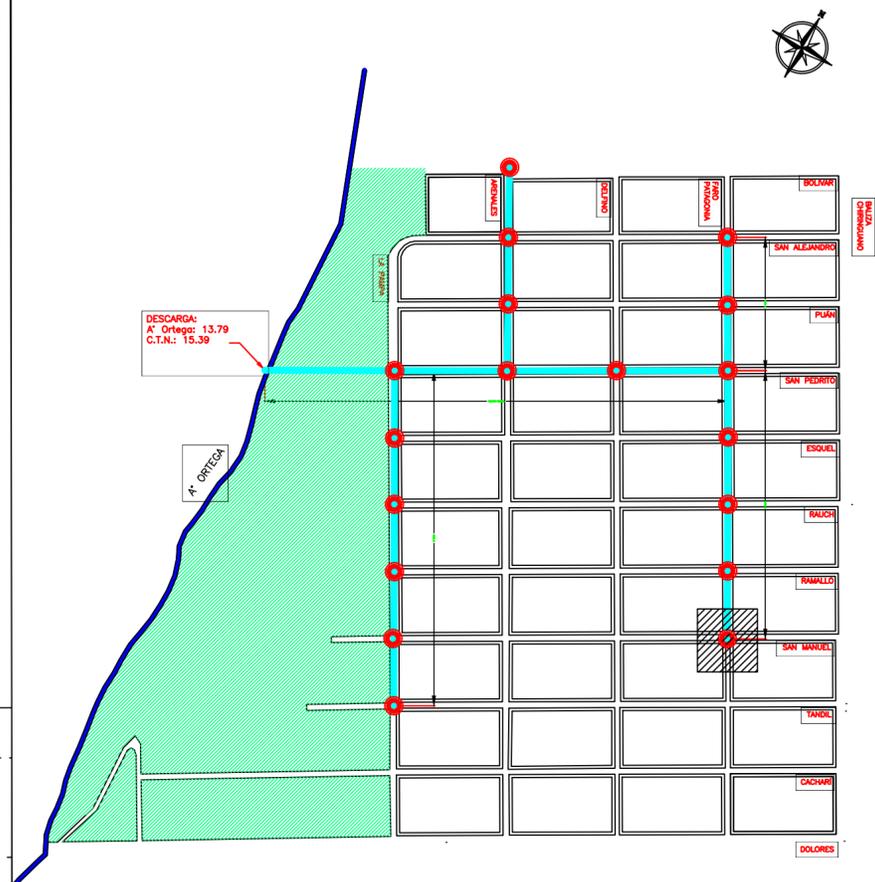
N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)

FARO PATAGONIA



PLANO DE UBICACIÓN



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

ESCALA: 1:300

PLANO: TF-PG-SUDS-03

ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

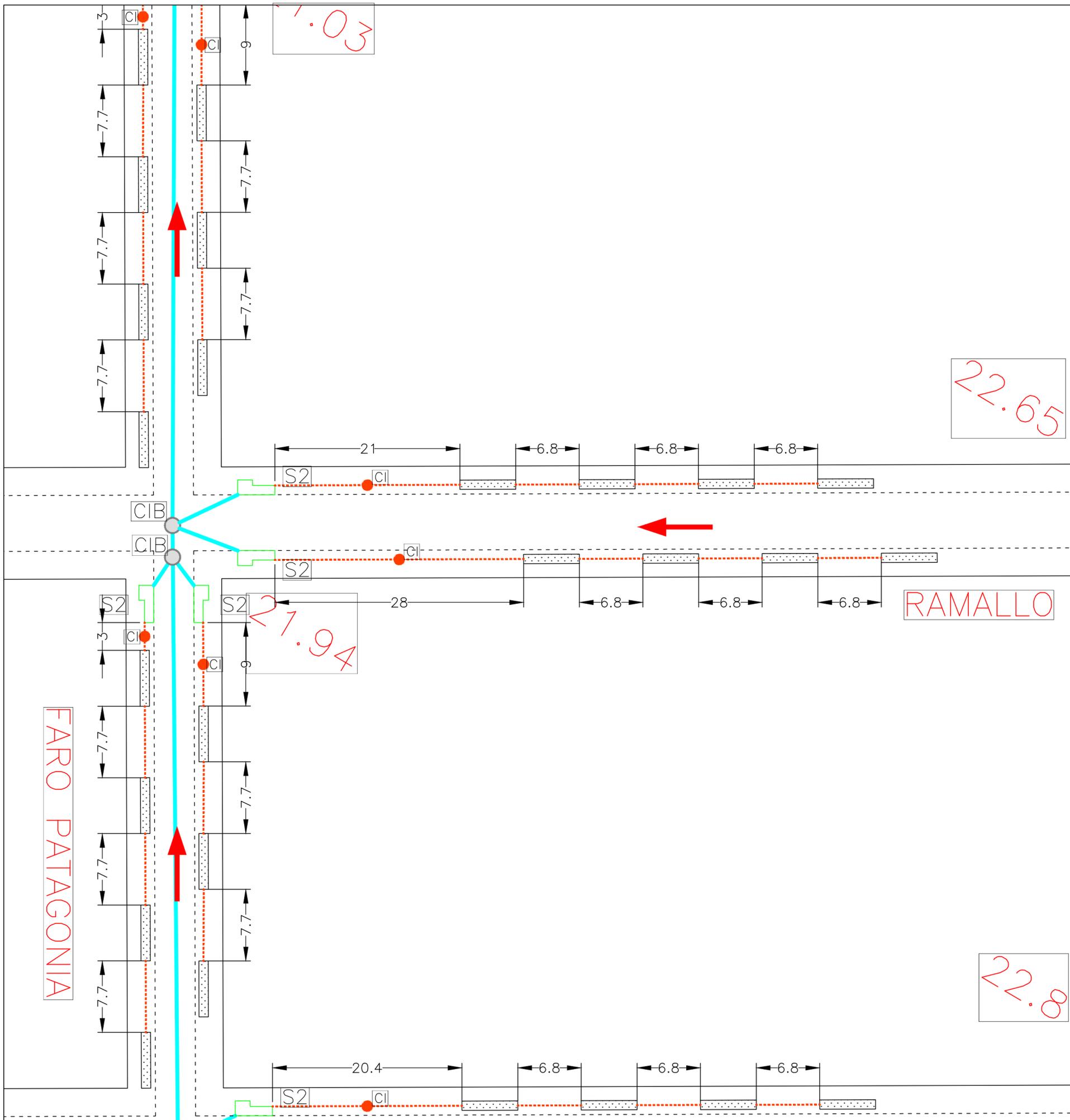
N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)

PLANO DE UBICACIÓN



22.65



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

ESCALA: 1:300

PLANO: TF-PG-SUDS-04

ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)

FARO PATAGONIA

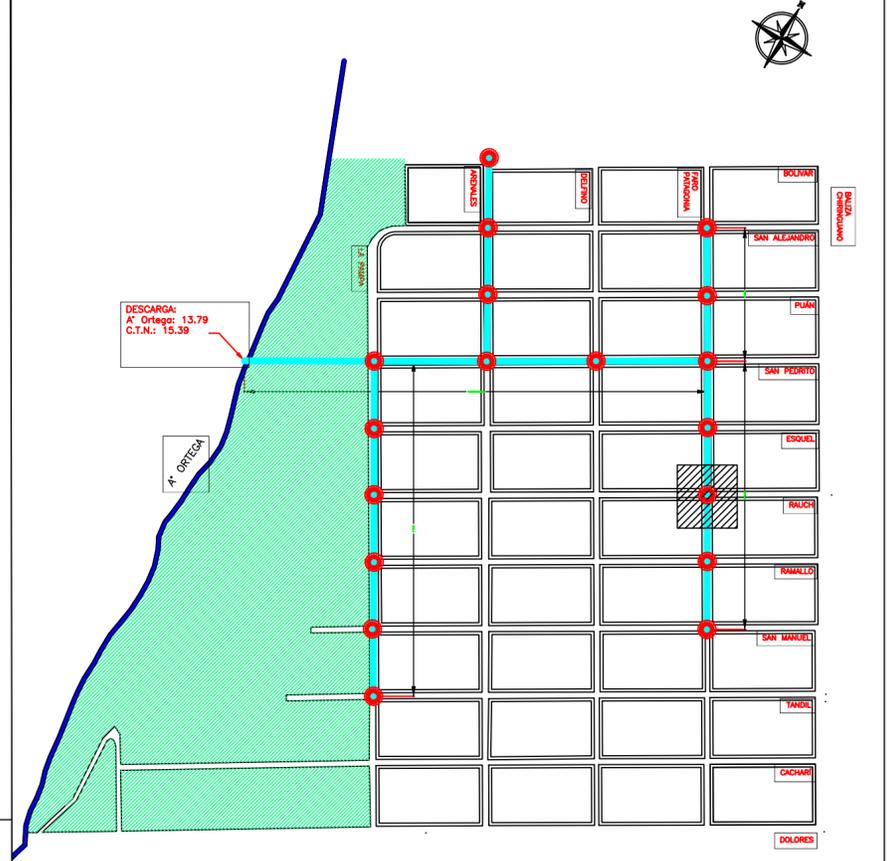
20.43

21.03

RAUCH

22.65

PLANO DE UBICACIÓN



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

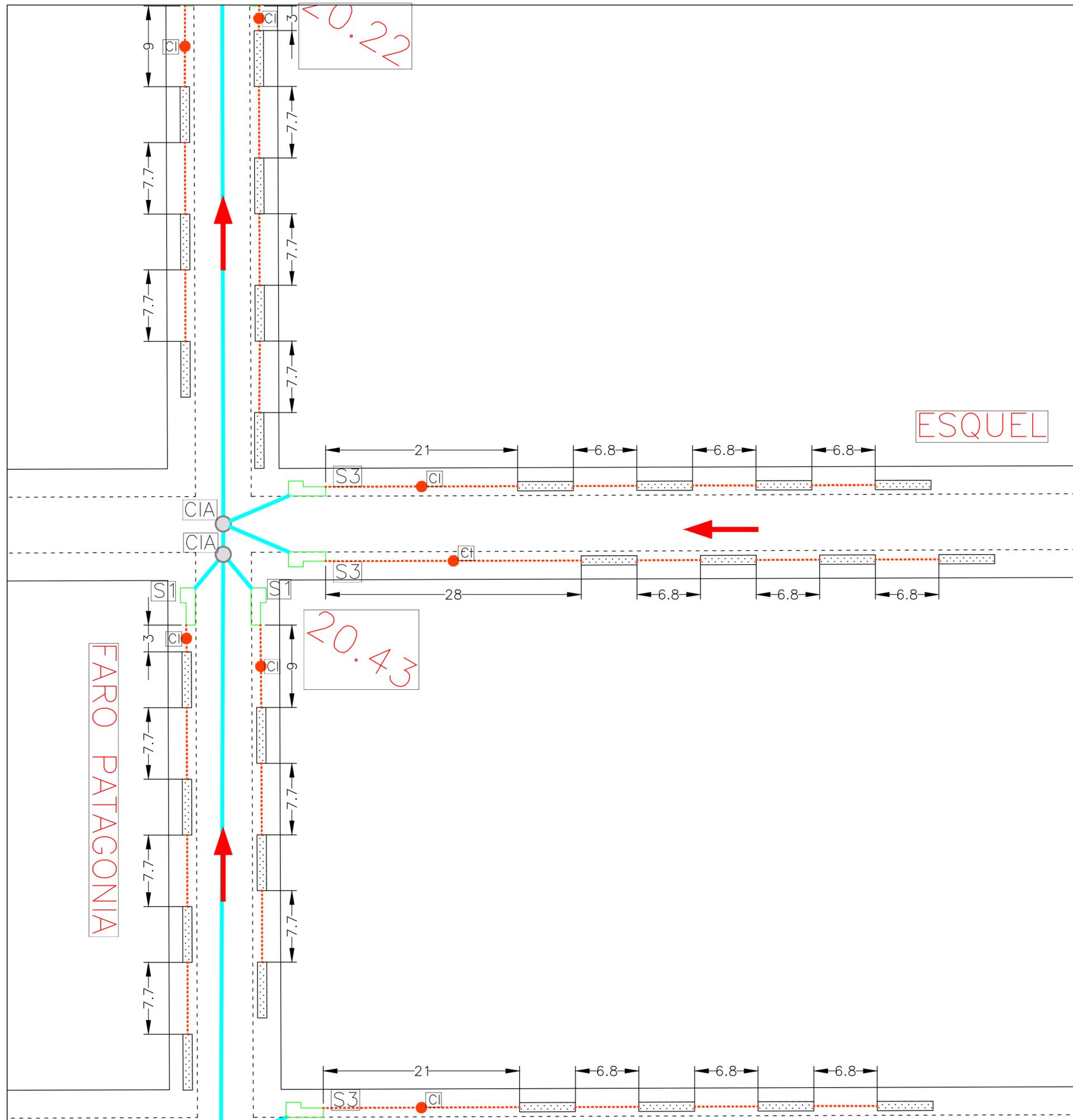
ESCALA: 1:300

PLANO: TF-PG-SUDS-05

ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

ESCALA: 1:300	PLANO: TF-PG-SUDS-06
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	

FARO PATAGONIA

SAN PEDRITO

ESQUEL

20.05

20.22

PLANO DE UBICACIÓN



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

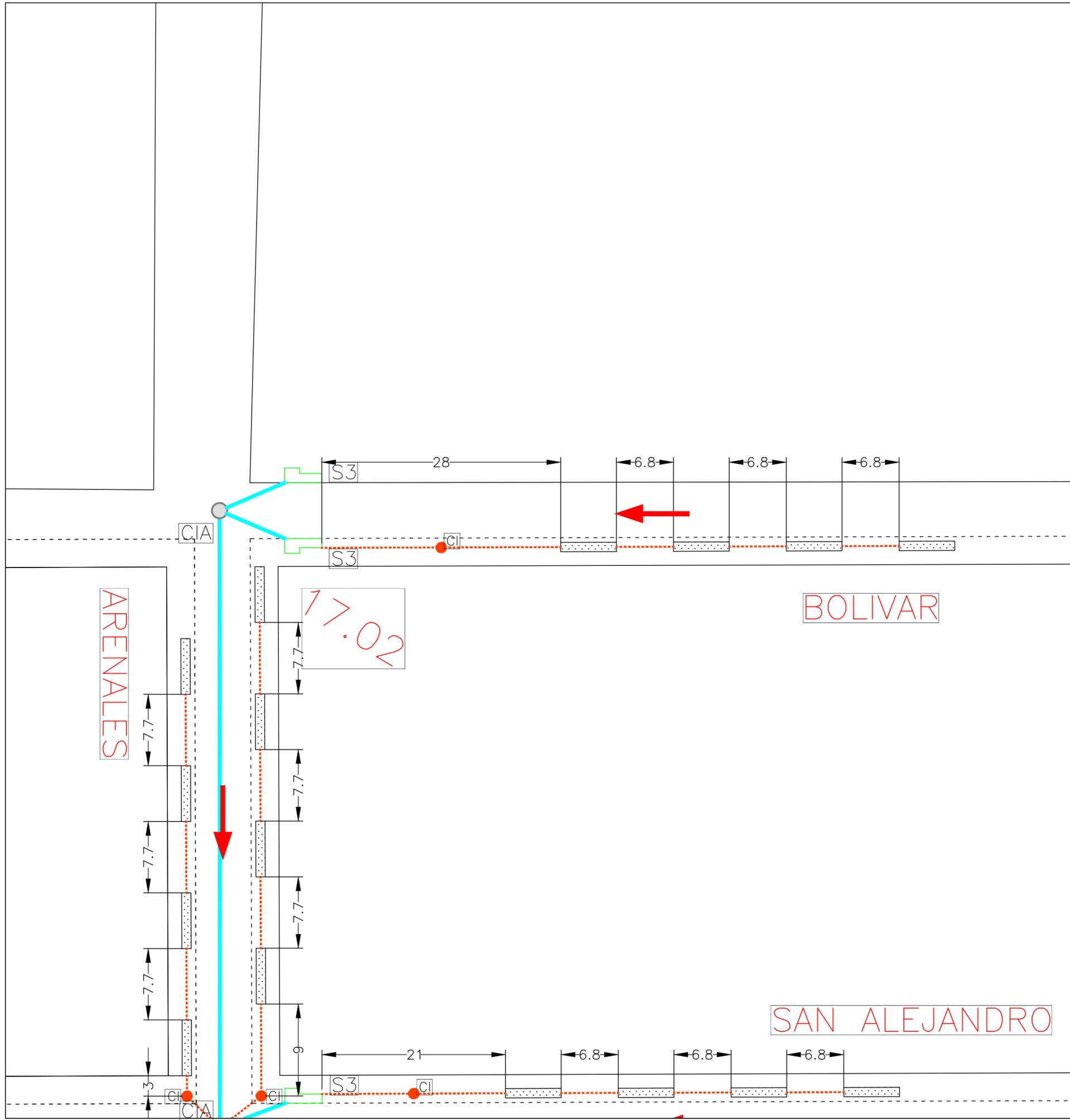
NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

ESCALA: 1:300	PLANO: TF-PG-SUDS-07
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	

PLANO DE UBICACIÓN



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

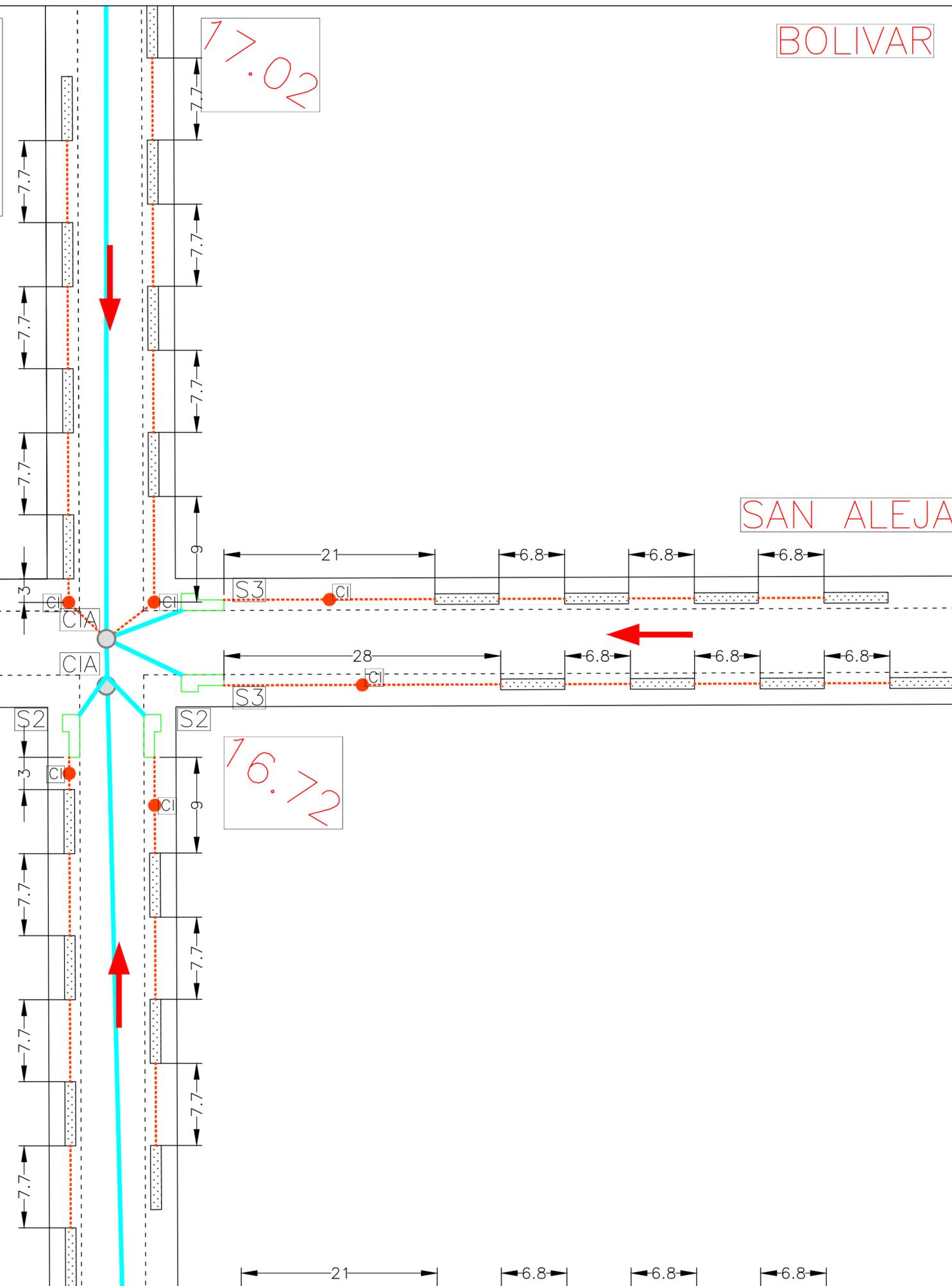
PLANIMETRÍA CON SUDS

ESCALA: 1:300	PLANO: TF-PG-SUDS-09
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	

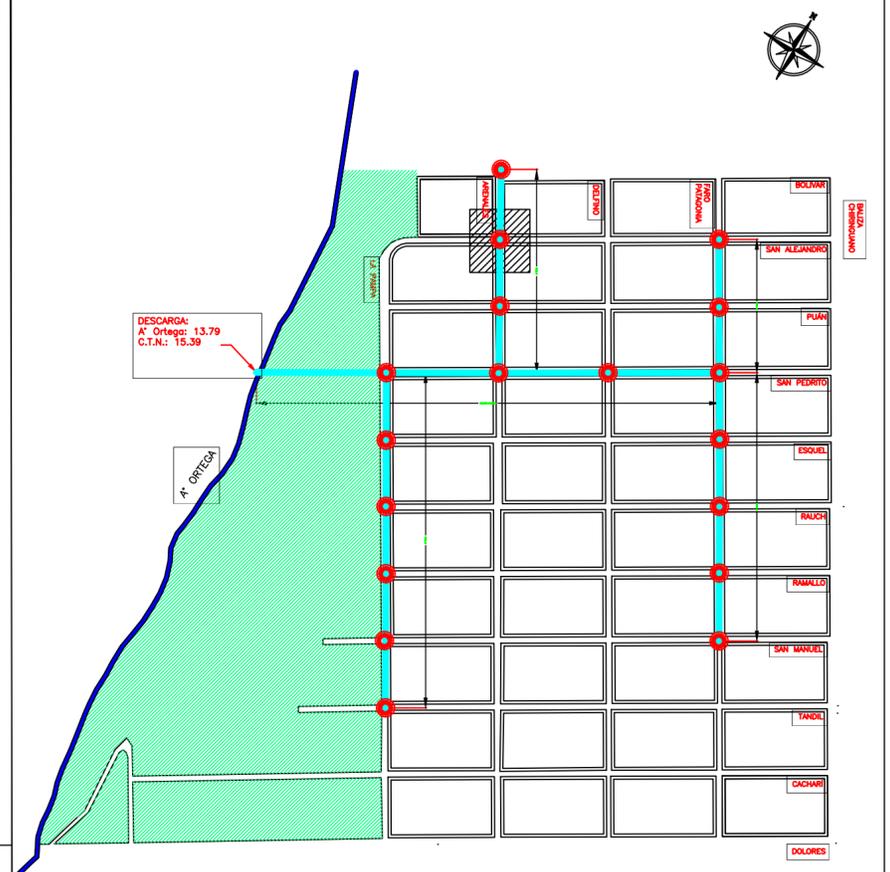
ARENAALES

BOLIVAR

SAN ALEJANDRO



PLANO DE UBICACIÓN



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

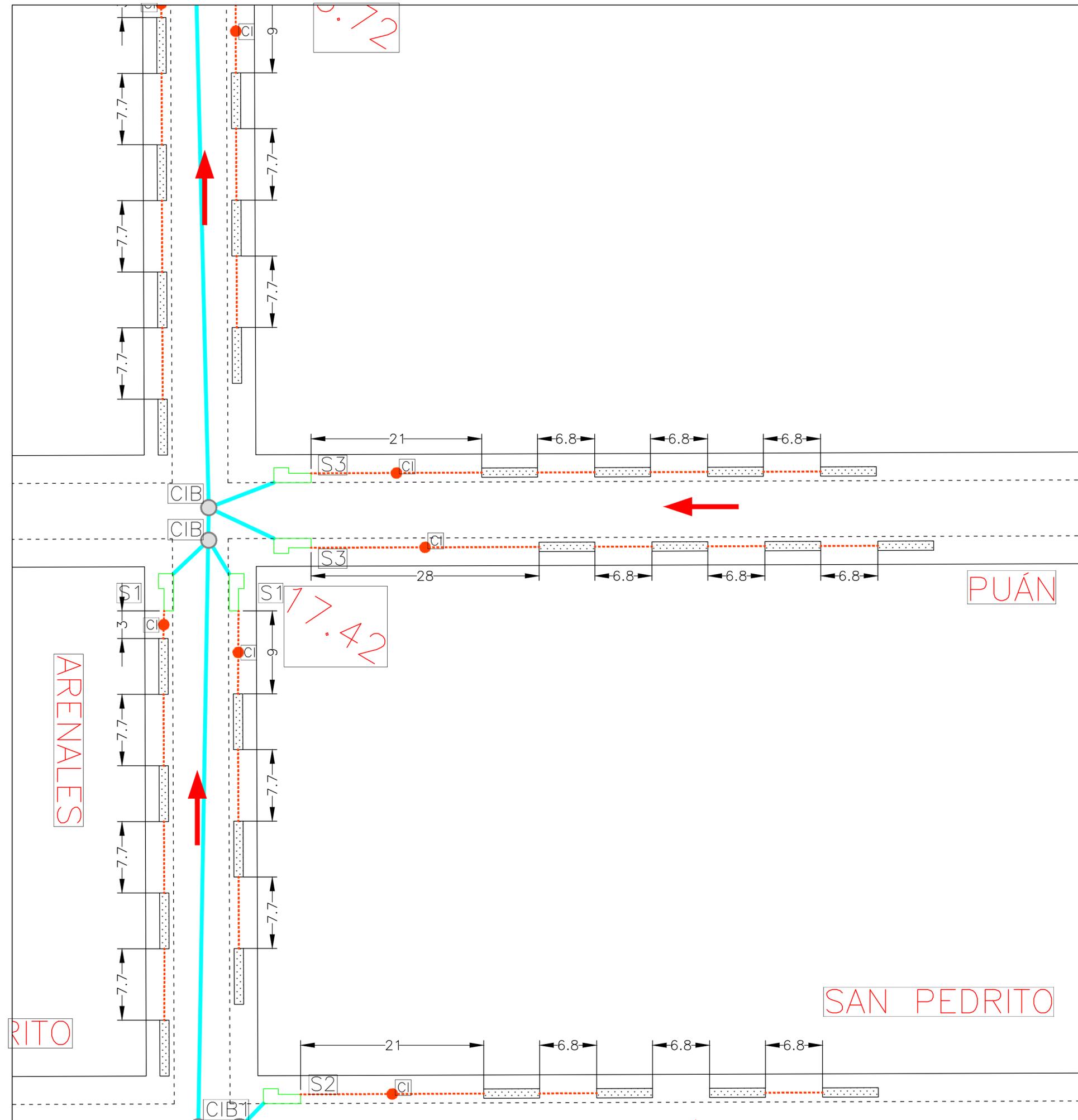
ESCALA: 1:300

PLANO: TF-PG-SUDS-10

ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina 22.42
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

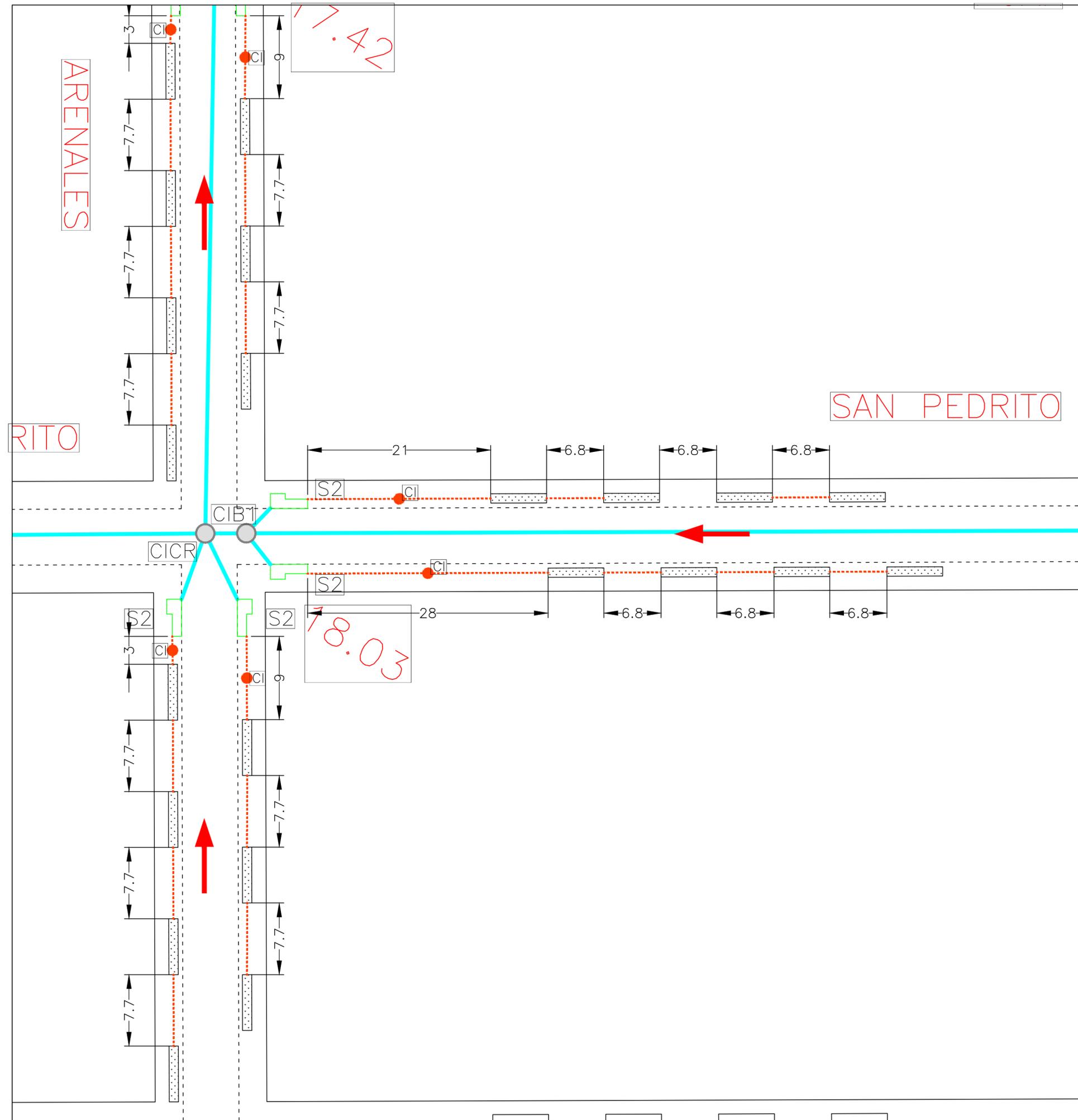
- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

ESCALA: 1:300	PLANO: TF-PG-SUDS-11
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- 22.42 Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- S2 Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

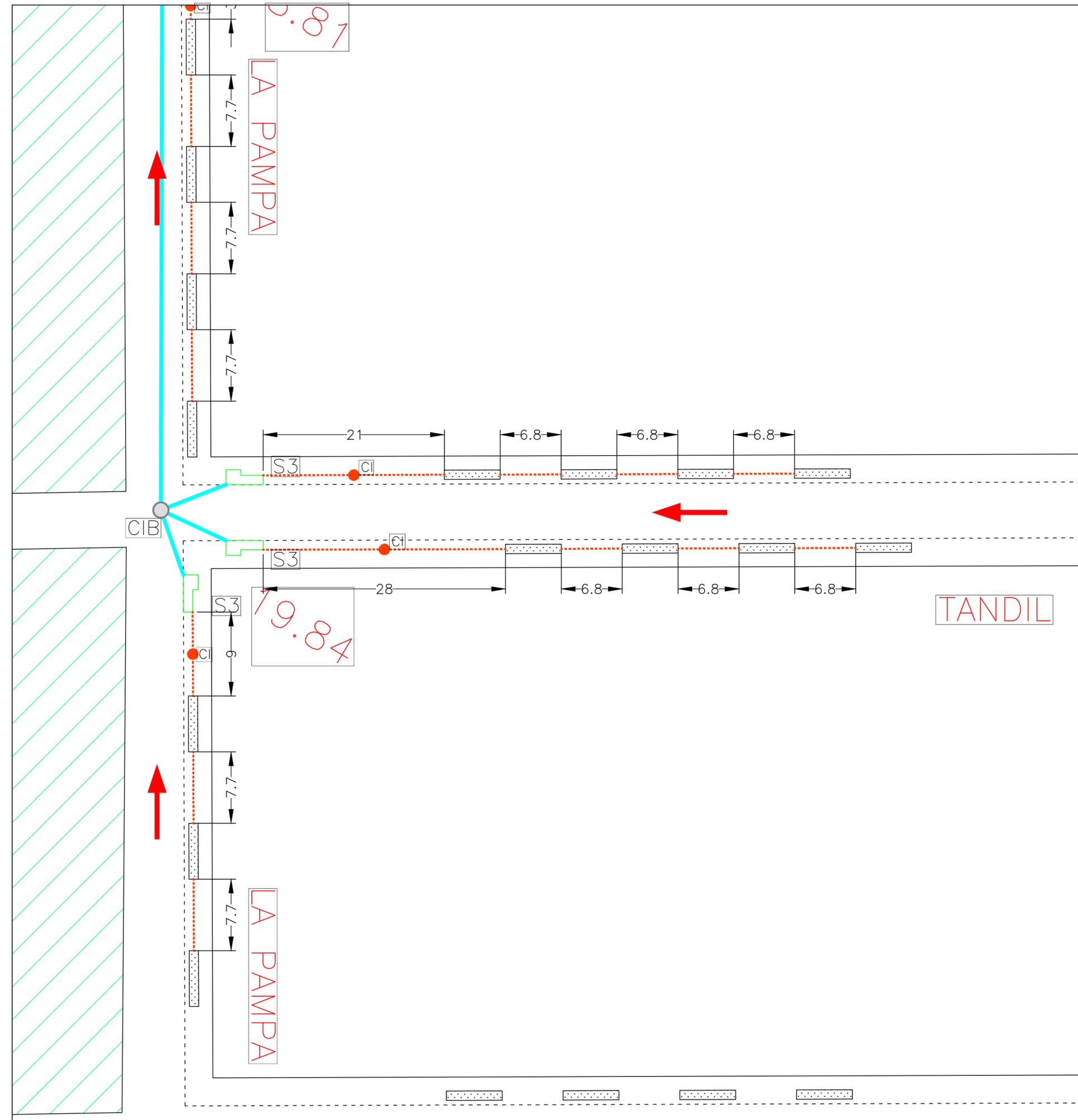
ESCALA: 1:300

PLANO: TF-PG-SUDS-12

ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

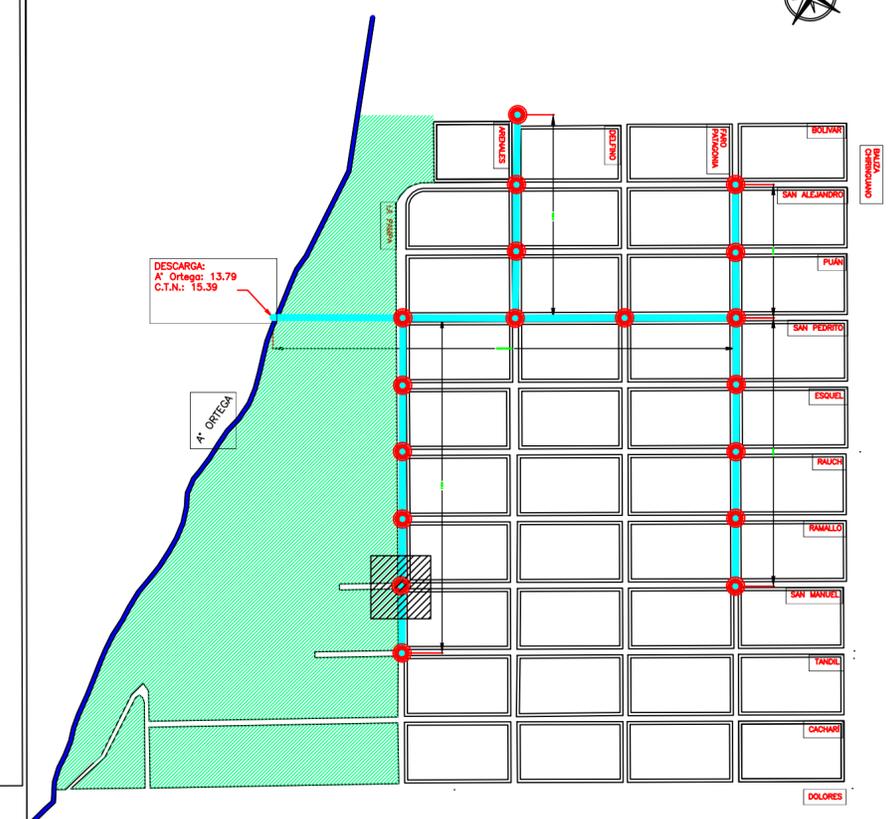
- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

ESCALA: 1:300	PLANO: TF-PG-SUDS-13
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	

RAMALLO

PLANO DE UBICACIÓN



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

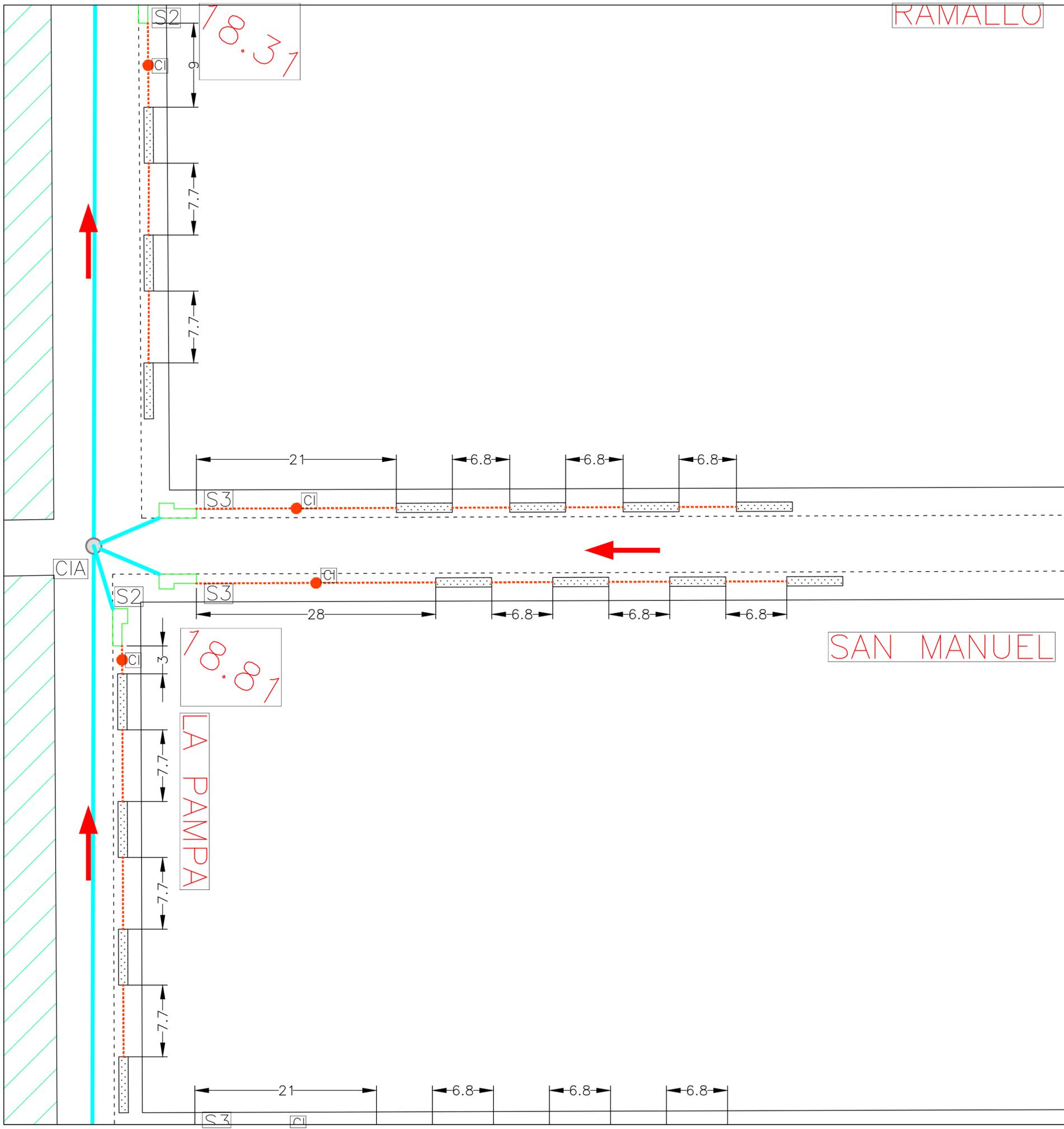
ESCALA: 1:300

PLANO: TF-PG-SUDS-14

ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)



SAN MANUEL

LA PAMPA

PLANO DE UBICACIÓN



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

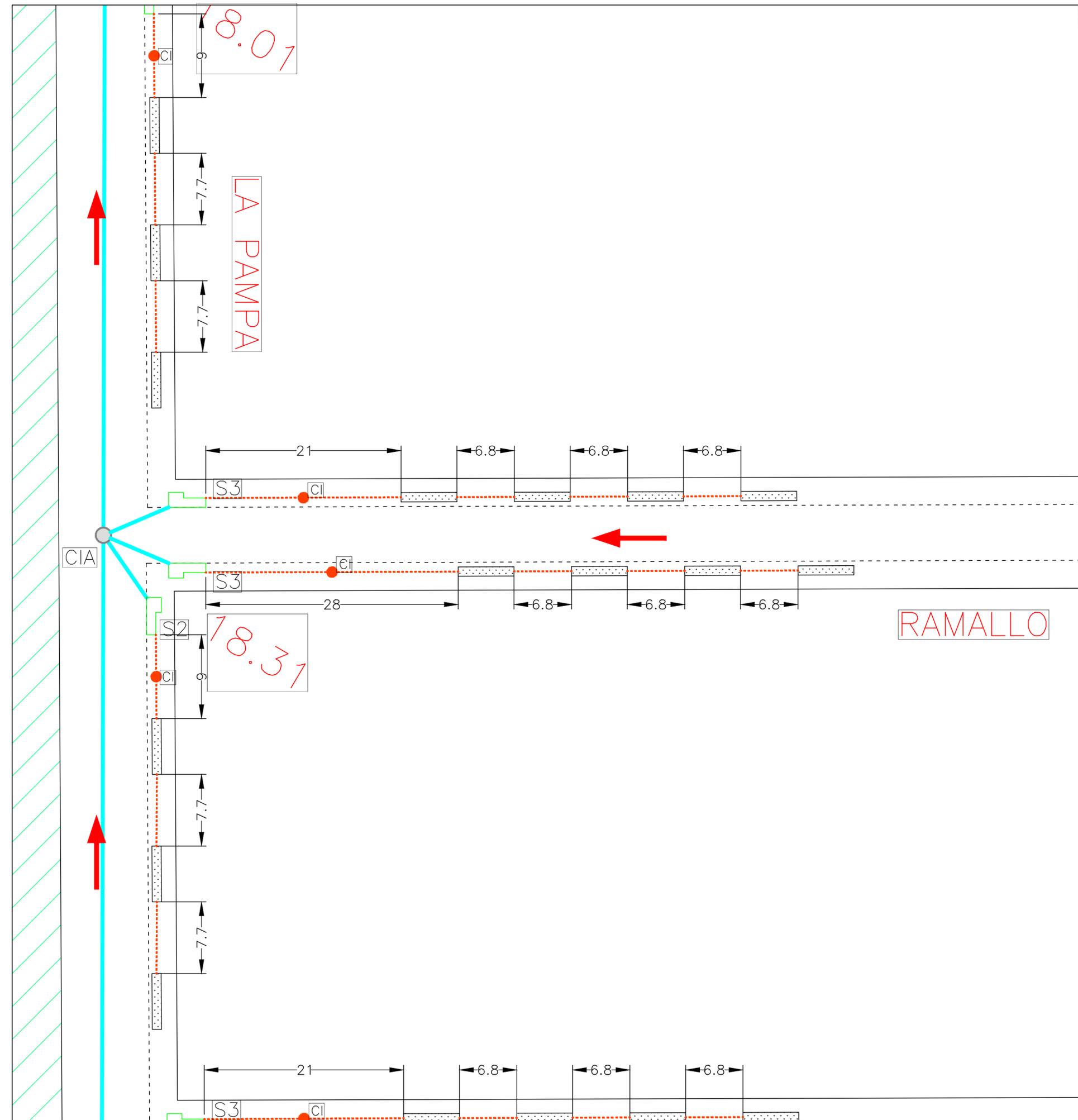
ESCALA: 1:300

PLANO: TF-PG-SUDS-15

ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)



ESQUEL

PLANO DE UBICACIÓN



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

ESCALA: 1:300

PLANO: TF-PG-SUDS-16

ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

N° DE ALUMNA: 64823/4

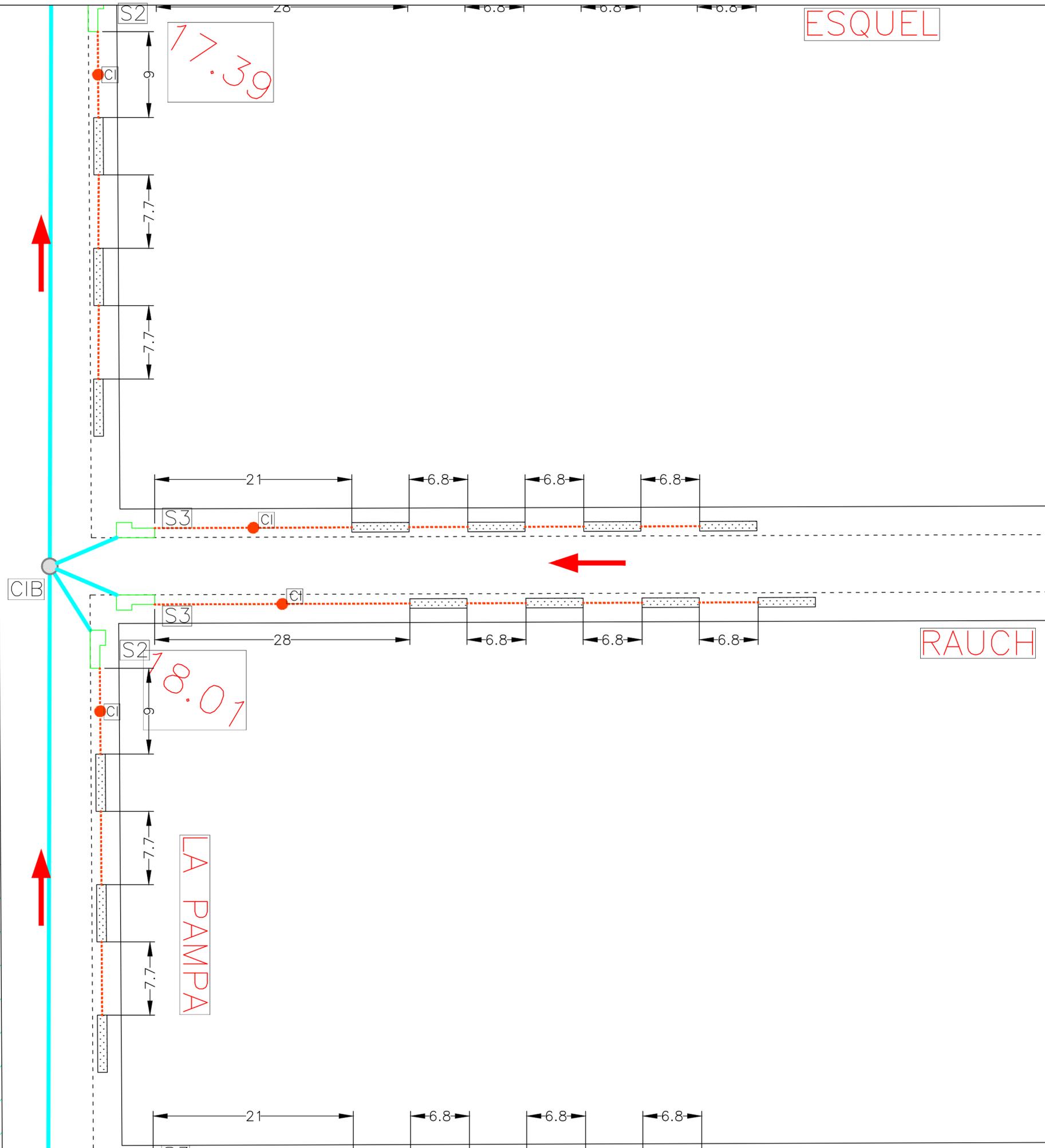
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)

77.39

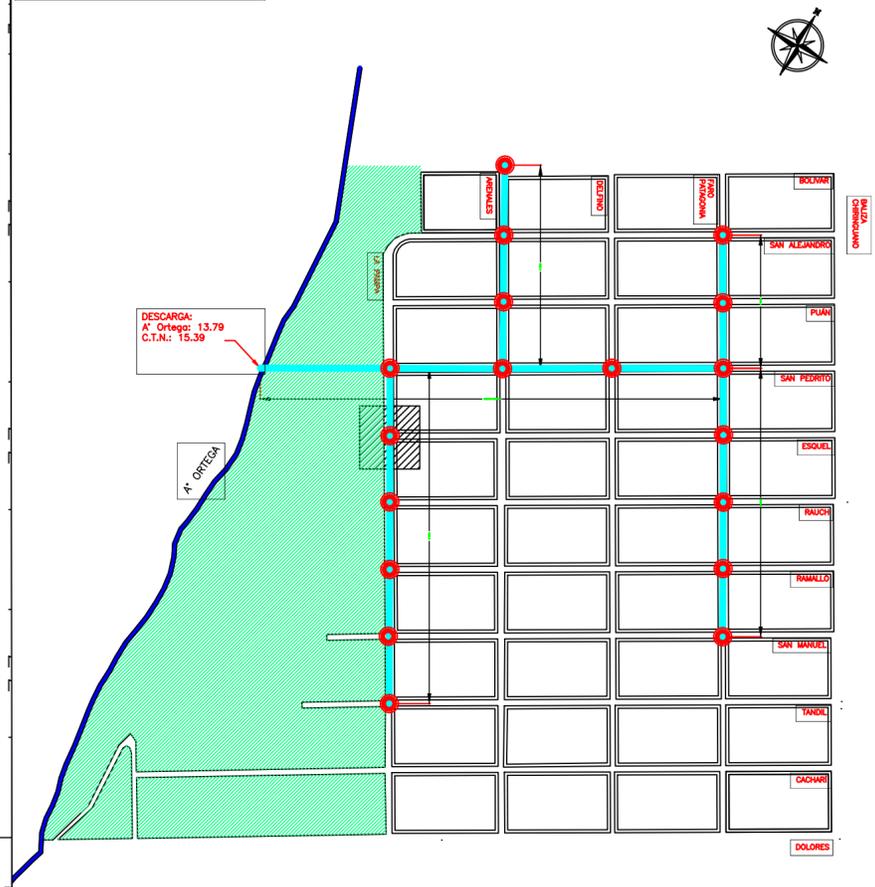
88.07

LA PAMPA

RAUCH



PLANO DE UBICACIÓN



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

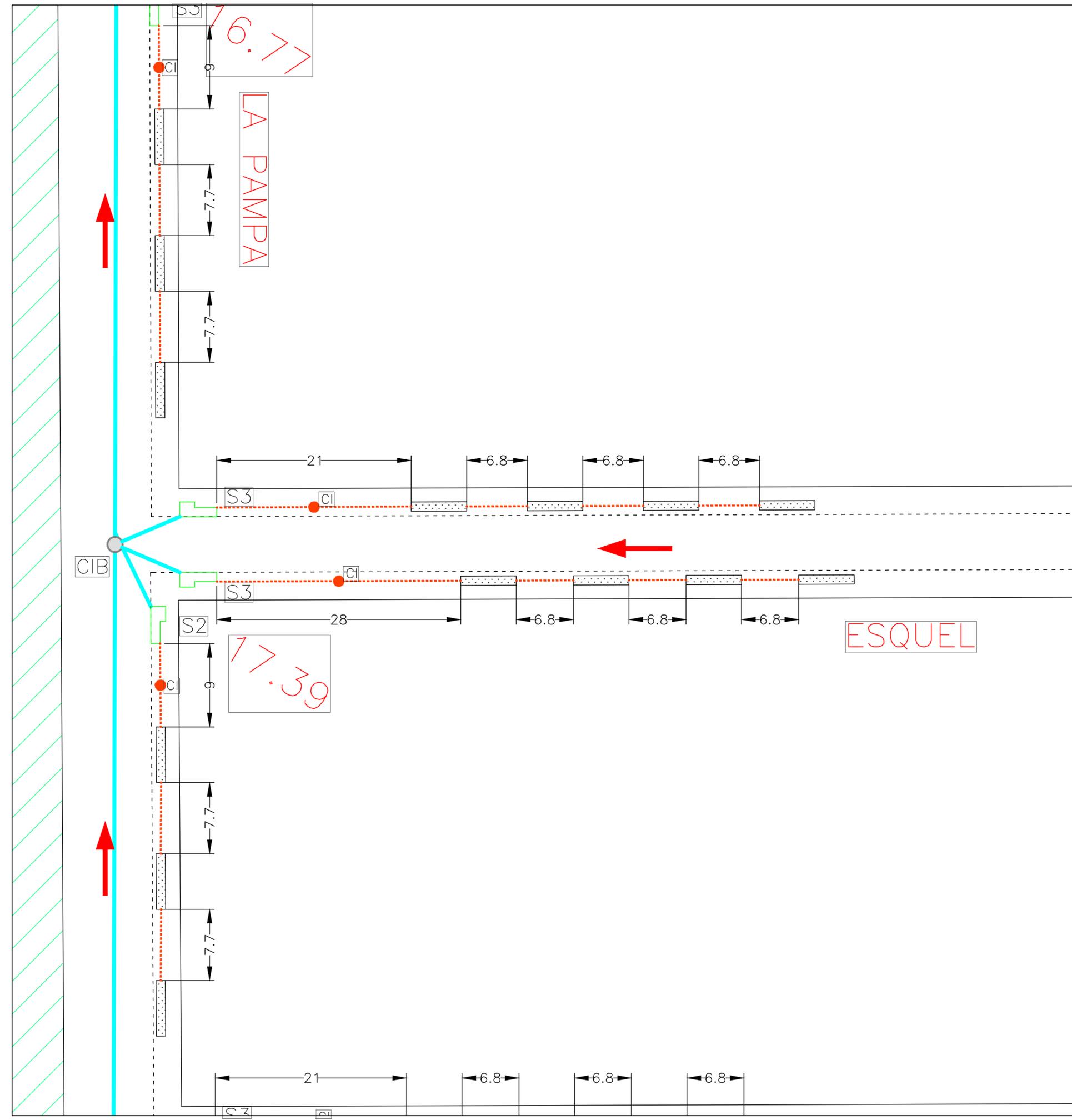
ESCALA: 1:300

PLANO: TF-PG-SUDS-17

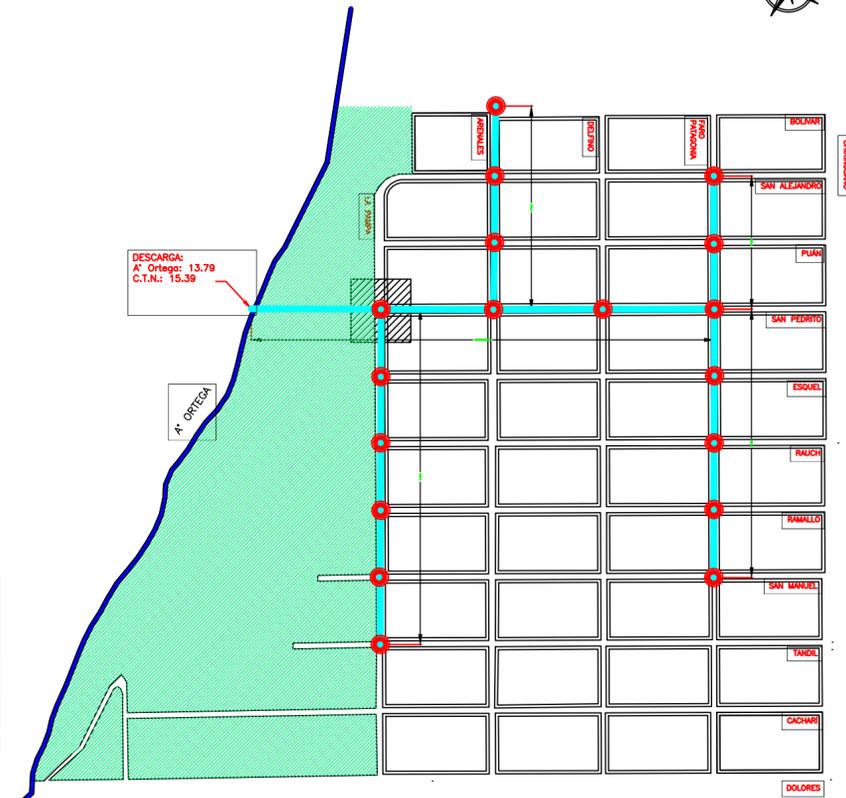
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)



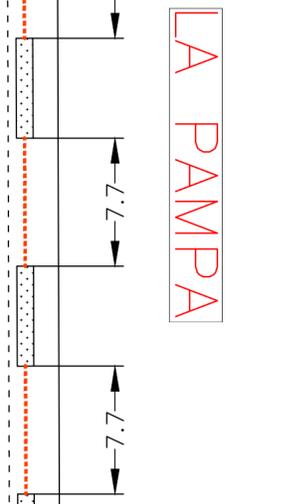
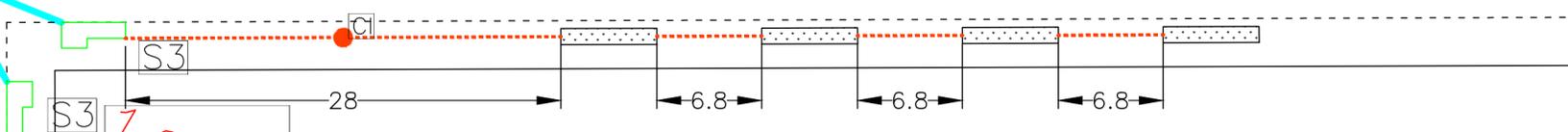
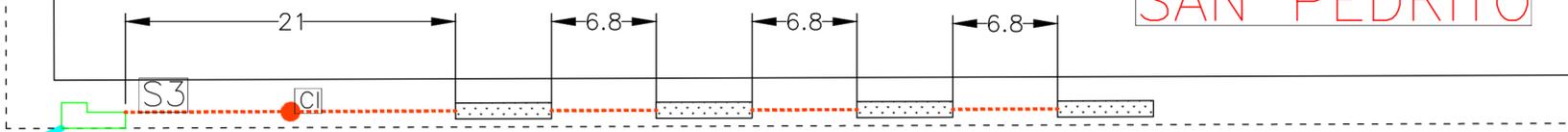
PLANO DE UBICACIÓN



ARENALES

SAN PEDRITO

15.97



LA PAMPA



REFERENCIAS

- Manzana
- Conducto pluvial
- Cota de esquina
- Sentido de escurrimiento
- Vereda
- Sumidero
- Cámara de inspección pluvial
- Celda de biorretención
- Dren de celda
- Cámara de inspección de celdas de biorretención

NOTAS

- Dimensiones expresadas en metros
- Cotas de esquina expresadas en metros IGN

PLANIMETRÍA CON SUDS

ESCALA: 1:300

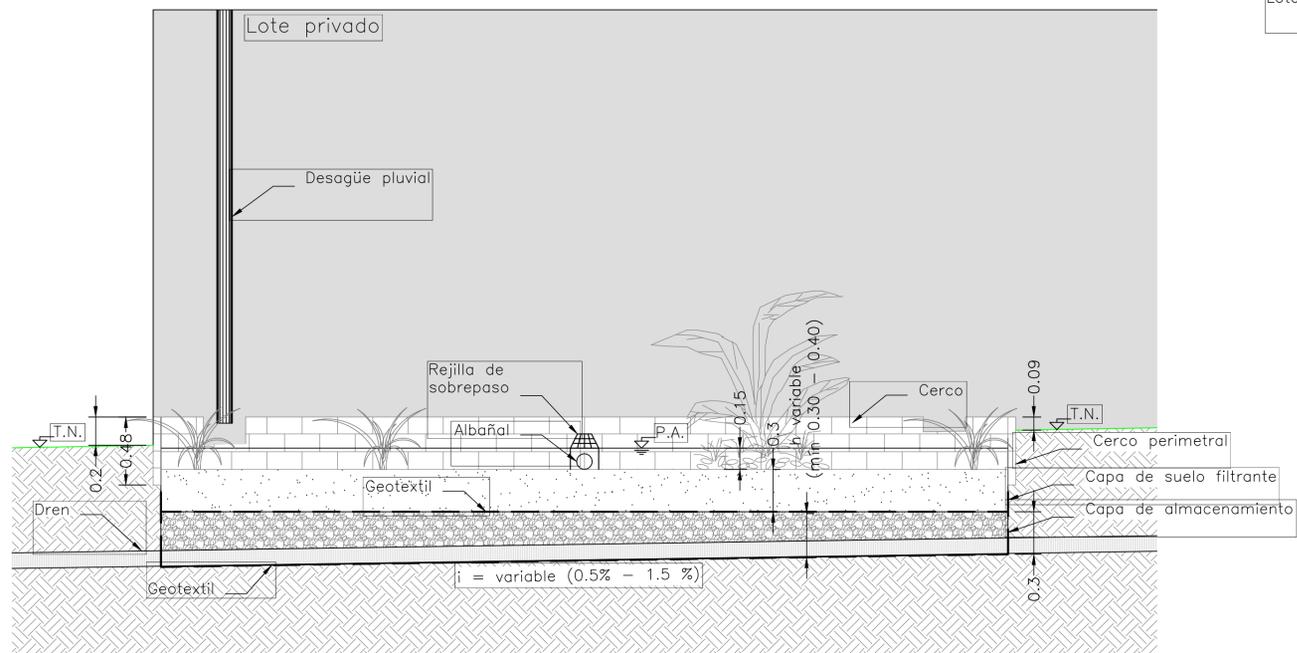
PLANO: TF-PG-SUDS-18

ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

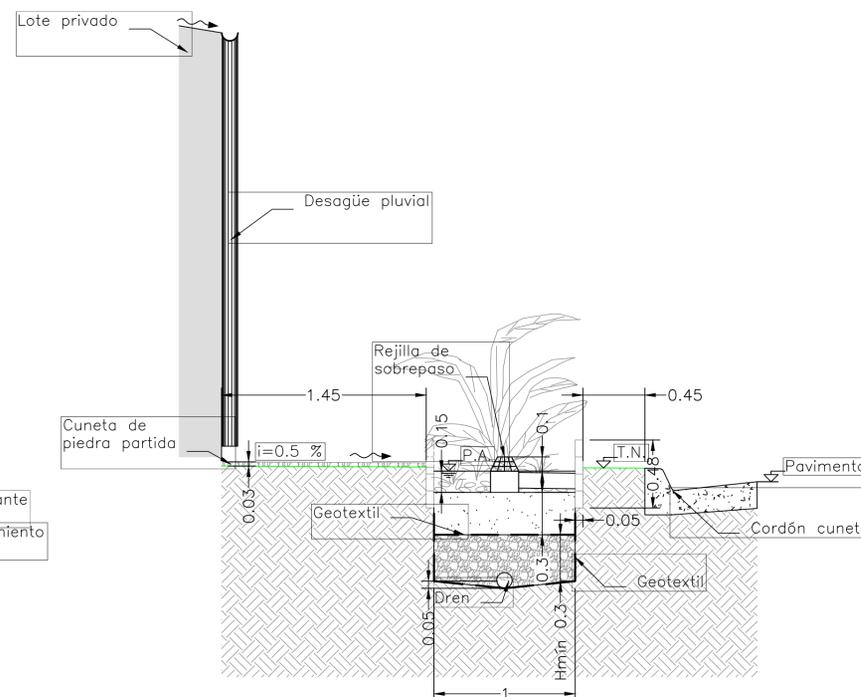
N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)

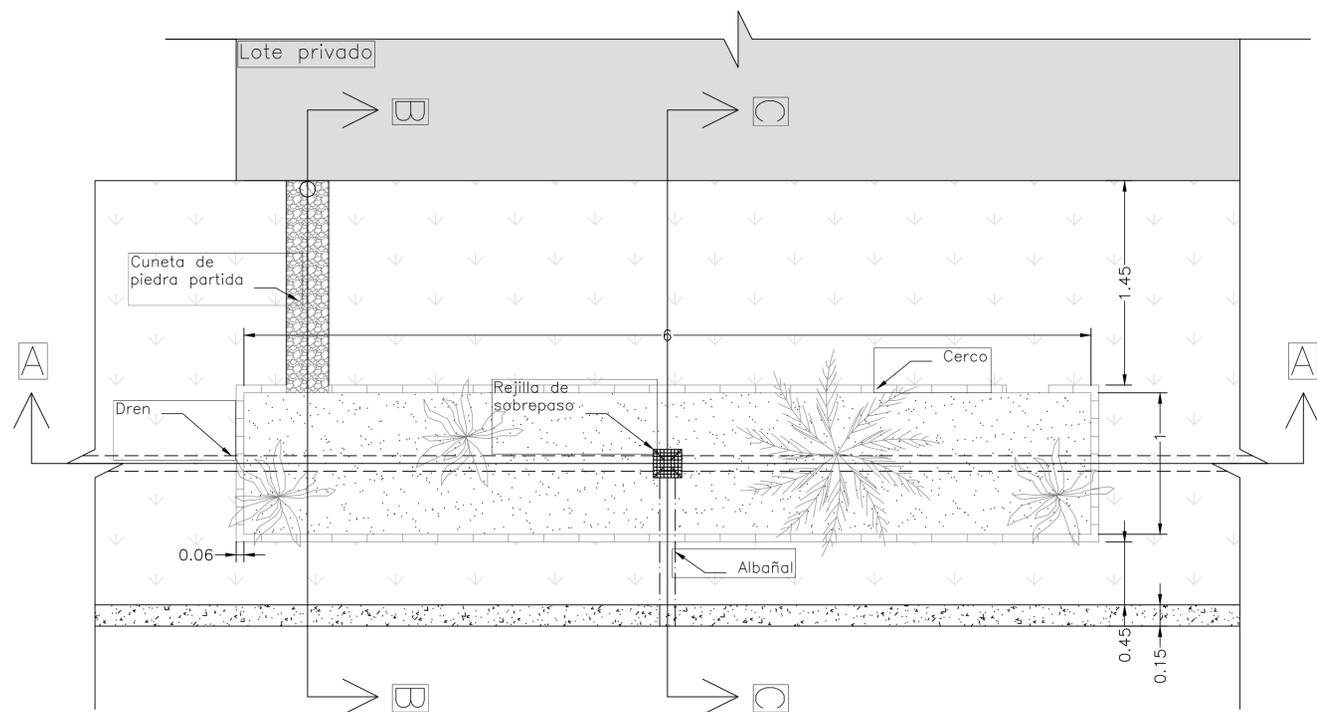
CORTE A-A



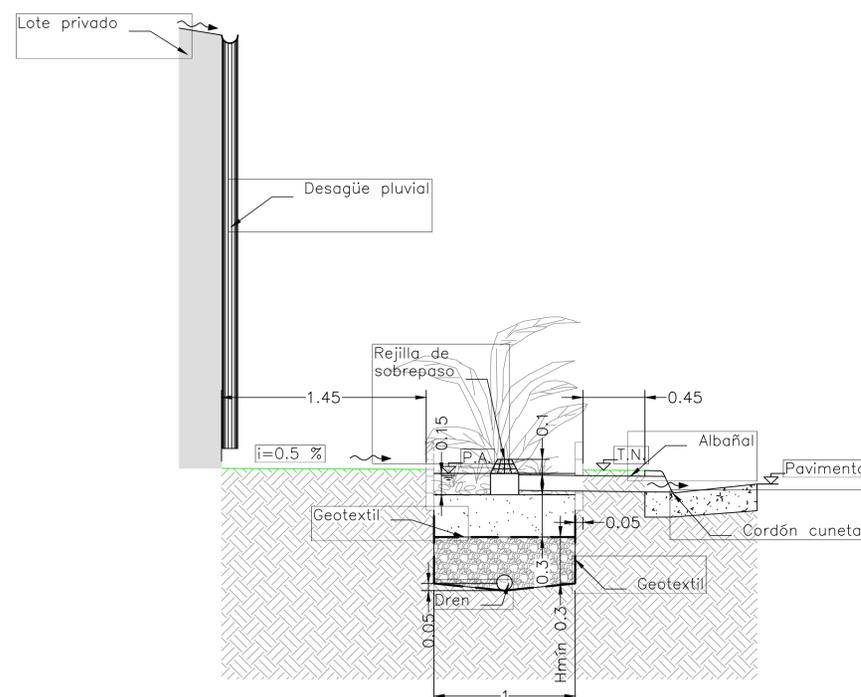
CORTE B-B



PLANTA



CORTE C-C

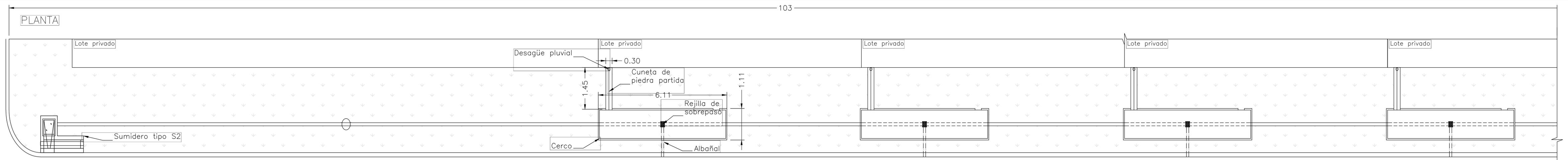


NOTAS

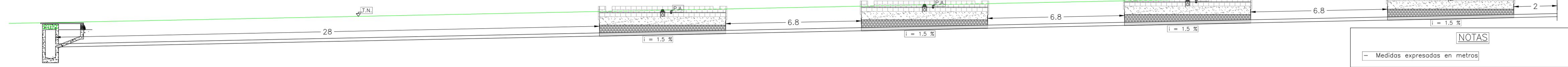
- Medidas expresadas en metros
- **Cuneta de piedra partida:**
 - De sección rectangular (30 x 3 cm), transporta el caudal proveniente del pluvial de la vivienda con la celda de biorretención. Conformado por piedra partida de 6/20 mm.
- **Cerco perimetral:**
 - De mampostería (ladrillo macizo de 12 x 5.5 x 25 cm).
- **Capa de suelo filtrante:**
 - Espesor: 30 cm
 - Composición: 85 % de arena, 5 % de finos (limos y arcillas) y 10 % de materia orgánica
 - PH: 5.5 a 7
- **Capa de almacenamiento:**
 - Espesor: variable según la pendiente longitudinal de las veredas (entre 0.5 y 1.5 %), siendo el mínimo de 30 cm y el máximo de 40 cm.
 - Composición: 100 % de piedra partida de 6/20 mm.
- **Dren:**
 - Caño tipo "drena" (marca "awaduct") de 11 cm diámetro y longitud variable.
- **Rejilla de sobrepaso:**
 - Embudo piramidal de sección de 20 x 20 cm y altura total de 25 cm.
- **Albañal:**
 - Tubería de PVC de 11 cm de diámetro con salida al cordón cuneta.

DETALLE DE CELDA DE BIORRETENCIÓN

ESCALA: 1:30	PLANO: TF-DC-SUDS-19
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	

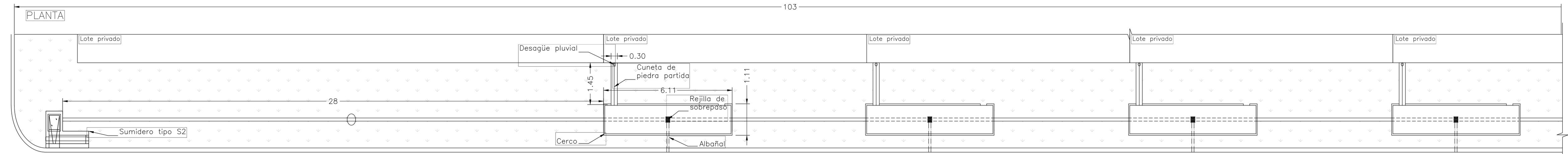


PERFIL LONGITUDINAL - $i = 1.5 \%$

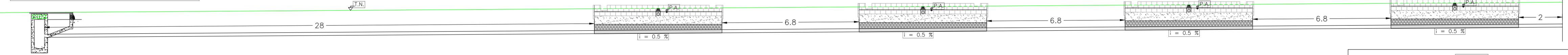


NOTAS	
- Medidas expresadas en metros	
PERFILES LONGITUDINALES	
ESCALA V: 1:2000	PLANO: TF-PL-SUDS-20
ESCALA H: 1.:1500	
ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe	N° DE ALUMNA: 64823/4
TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)	

PLANTA



PERFIL LONGITUDINAL - $i = 0.5\%$



NOTAS

- Medidas expresadas en metros

PERFILES LONGITUDINALES

ESCALA V: 1:2000
ESCALA H: 1.:1500

PLANO: TF-PL-SUDS-21

ALUMNA: Jaca Pozzi, Guadalupe

N° DE ALUMNA: 64823/4

TRABAJO FINAL N° 47 - INGENIERÍA HIDRÁULICA - FI (UNLP)