

Proyecto Plaza España

Diseño del sistema de drenaje



Práctica Supervisada de la Carrera Ingeniería Civil

Lucila Antonella Martinazzo

Supervisor externo: Ing. Oscar Dapas

Tutor docente: Ing. Alejandro G. Baruzzi

Año 2017

Contenido

1.	Introducción	1
2.	Marco Teórico	2
1.	Definición del Proyecto Plaza España	2
2.	Drenaje Urbano	4
a.	Caracterización del drenaje urbano	4
b.	Medidas preventivas y correctivas sobre el drenaje urbano	6
c.	Grado de protección	7
3.	Caudales de diseño	10
a.	Curvas IDF de la Ciudad de Córdoba de series pluviográficas.	11
b.	Cálculo de caudales mediante Modelo DIT.	12
c.	Método racional	14
d.	Tiempo de concentración	15
4.	Diseño hidráulico	16
a.	Ecuaciones generales de cálculo	16
b.	Cunetas	18
c.	Sumideros	19
d.	Cañerías colectoras	24
e.	Cámaras de inspección	26
3.	Relevamiento de campo	28
1.	Levantamiento topográfico	28
2.	Proyecto vial	31
3.	Relevamiento de campo aplicado al diseño del sistema de drenaje	34
4.	Procesamiento de datos	37
1.	Análisis de alternativas	37
2.	Determinación de la lluvia de diseño	41
a.	Período de retorno	41
b.	Aplicación del modelo DIT	41
c.	Aplicación de las curvas IDF de la Ciudad de Córdoba	45
d.	Comparativa entre modelos utilizados	45
3.	Cálculo de la superficie afectada por la precipitación	47
4.	Cálculo del caudal de diseño	48
5.	Verificación de los elementos componentes del drenaje	49

a. Caño de desagüe	49
b. Bocas de tormenta	49
c. Cunetas	51
6. Diseño plani-altimétrico	56
7. Cómputo métrico	58
5. Conclusiones y recomendaciones	63
6. Bibliografía	64

Tabla de Ilustraciones y Tablas

Figura 1: Mapa de Plaza España	2
Figura 2: Relación entre impermeabilización y aumento del escurrimiento	5
Tabla 1: Período de retorno para la función complementaria según uso de suelo para drenaje urbano	8
Tabla 2: Período de retorno para la función complementaria según tipo de vía para drenaje urbano	8
Figura 3: Niveles de inundabilidad en el perfil transversal de una calzada urbana	9
Tabla 3: Niveles de inundabilidad en distintas arterias para la función complementaria.....	10
Tabla 4: Curvas IDF para distintos períodos de retorno	11
Figura 4: División en zonas de la Provincia de Córdoba en función de los siete Pluviógrafos	13
Tabla 5: Datos de las regiones pluviográficas de la provincia de Córdoba.....	14
Tabla 6: Valores promedio del factor de rugosidad de Manning para varios materiales de pared.	18
Tabla 7: Factores de reducción de eficiencia en sumideros.....	20
Figura 5: Tipos de sumideros.....	20
Figura 6: Detalle cámara en sumidero de rejas.....	21
Figura 7: Corte de sumidero de rejas.....	21
Figura 8: Detalle sumidero tipo ventana.....	22
Figura 9: Localización de sumideros.....	23
Figura 10: Ejemplo de localización de sumideros.....	24
Figura 11: Corte de sección típica de sistema de drenaje.....	25
Figura 12: Sección circular trabajando parcialmente llena.....	25
Figura 13: Secciones típicas de colectoras.....	26
Figura 14: Secciones típicas de cámara de inspección.....	27
Figura 15: Red de puntos fijos.....	29
Figura 16: Abalizado de puntos fijos.....	30
Figura 17: Estado actual de Plaza España y hechos existentes.....	30
Figura 18: MDT y curvas de nivel.....	30
Figura 19: Vista de Plaza España.....	31
Figura 20: Planimetría PPE.....	32
Figura 21: Planimetría PPE.....	32
Figura 22: Altimetría PPE.....	33
Figura 23: Perfil transversal progresiva 0+320.....	33
Figura 24: Macrodrenaje en el ingreso al túnel.....	34
Figura 25: Macrodrenaje en la rotonda de Plaza España.....	34
Figura 26: Macrodrenaje en la salida del túnel.....	35
Figura 27: Curva vertical de ingreso al túnel.....	36
Figura 28: Curva vertical en la salida del túnel.....	36
Figura 29: Punto de desagüe, detalle curva vertical.....	37
Figura 30: Alternativa 1 de drenaje.....	38
Figura 31: Alternativa 2 de drenaje.....	39
Tabla 8: Cómputo métrico alternativa 1.....	40
Tabla 9: Cómputo métrico alternativa 2.....	40
Tabla 10: Cálculo de intensidad de precipitación para TR=50 años.	42
Figura 32: Curva i-d-T para TR=50 años.....	42
Tabla 11: Cálculo de intensidad de precipitación para TR=100 años.	43
Figura 33: Curva i-d-T para TR=100 años.....	43
Figura 34: Comparativa de curvas i-d-T para el modelo DIT.....	44
Tabla 12: Cálculo de lámina máxima para distintos TR y d.....	44

<i>Tabla 13: Cálculo de lámina máxima según curvas IDF Córdoba.</i>	45
<i>Figura 35: Comparativa curvas IDF para los dos modelos usados. TR=50 años</i>	46
<i>Figura 36: Comparativa curvas IDF para los dos modelos usados. TR=100 años</i>	46
<i>Tabla 14: Diferencia de P[mm] para los dos modelos utilizados.</i>	47
<i>Figura 37: Planimetría trinchera de ingreso al túnel</i>	47
<i>Figura 38: Planimetría trinchera de egreso del túnel</i>	48
<i>Figura 39: Planta sumideros SV2</i>	50
<i>Figura 40: Corte A-A sumideros SV2</i>	51
<i>Tabla 15: Cálculo de lámina en cuneta.</i>	52
<i>Figura 41: Solución al drenaje con canaleta</i>	52
<i>Tabla 16: Cálculo de caudal en sección de canaleta.</i>	53
<i>Tabla 17: Cálculo de tirante en cuneta y "zy" sobre la calzada.</i>	53
<i>Figura 42: Solución al drenaje con canaleta</i>	54
<i>Tabla 18: Cálculo de caudal en sección de canalización bajo vereda.</i>	54
<i>Tabla 19: Datos de la sección de canalización bajo vereda.</i>	55
<i>Tabla 20: Aplicación de la Ec. de Manning para cálculo del tirante normal en canalización bajo vereda.</i>	55
<i>Figura 43: Diseño definitivo de canalización bajo vereda</i>	55
<i>Tabla 21: Verificación de nivel de inundabilidad de cunetas a la salida del túnel.</i>	56
<i>Figura 44: Planimetría sistema de drenaje</i>	56
<i>Figura 45: Planimetría sistema de drenaje</i>	57
<i>Figura 46: Planimetría sistema de drenaje</i>	57
<i>Figura 47: Altimetría sistema de drenaje</i>	58
<i>Tabla 22: Cálculo de excavación para colocación del caño de desagüe según altimetría de proyecto</i>	59
<i>Tabla 23: Cálculo de volúmenes de cámara de inspección en progresiva 0+310,41</i>	60
<i>Tabla 24: Cálculo de volúmenes de cámara de inspección en progresiva 0+154,4</i>	60
<i>Tabla 25: Cálculo de volúmenes de cámara de inspección en punto de desagüe</i>	60
<i>Tabla 26: Cómputo métrico del sistema de drenaje</i>	61
<i>Figura 48: Altimetría sistema de drenaje con volúmenes de excavación</i>	61
<i>Tabla 27: Cómputo métrico del sistema de drenaje ajustado</i>	62

1. Introducción

La Plaza España constituye un elemento de vital importancia en la vida diaria de los habitantes de la Ciudad de Córdoba. Esta rotonda vial se encuentra emplazada en la zona sur de la ciudad, más precisamente en el barrio Nueva Córdoba, concentrando la mayoría de los desplazamientos que se producen desde el sur y hacia el centro de Córdoba.

Como es de público conocimiento para aquel que le toca transitar diariamente por allí, la capacidad de la rotonda se ve ampliamente superada en horas pico, generando grandes congestiones de tránsito. Esto trae aparejado no sólo demoras para los vehículos particulares y transporte público que por allí circula, sino también un daño ambiental importante en cuanto a contaminación (del aire y sonora) y mayor gasto de recursos (combustible, infraestructura, etc.).

En octubre de 2016, y por pedido de la Municipalidad de Córdoba, el Instituto de Ingeniería del Transporte (ISIT) de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC publicó un extenso informe que contiene el estudio completo de tránsito de la Plaza España. En él no solo se explica el relevamiento realizado en el lugar sino también que se proponen alternativas de solución, utilizando además software de simulación para visualizar el estado actual de la rotonda y el funcionamiento de las distintas alternativas propuestas.

Del análisis de diversas alternativas funcionales y estructurales para disminuir los tiempos de viaje se obtuvo que la propuesta que traía mejores beneficios era plantear una intersección a distinto nivel, más precisamente un túnel que capte el tránsito de la vía de mayor circulación.

Con el fin de poner en práctica las conclusiones obtenidas del estudio de tránsito, la Municipalidad de Córdoba solicitó a la Universidad Nacional de Córdoba el proyecto ejecutivo para la construcción de un túnel en el sentido Yrigoyen Sur-Chacabuco Norte. Este trabajo fue realizado por la Catedra de Diseño Vial Urbano de la Maestría de Ciencias de la Ingeniería, mención en Transporte a partir del anteproyecto de diseño suministrado por la Dirección de Obras Viales de la Municipalidad de Córdoba.

En este informe se detalla el diseño y cálculo del sistema de drenaje para el proyecto en cuestión como parte de la Práctica Supervisada de la carrera de Ingeniería Civil. En una primera etapa se explica el relevamiento bibliográfico y teórico necesario para la definición de criterios a seguir, siguiendo con el relevamiento de campo que contiene los datos necesarios para ajustar el diseño de drenaje, para finalizar con el cálculo propiamente dicho de cada uno de los componentes del sistema.

2. Marco Teórico

En todo proyecto es de fundamental importancia el relevamiento de información de diversas fuentes. Esto permite el conocimiento de las diversas teorías y prácticas, y como deben aplicarse según las condiciones intrínsecas de cada obra.

En este capítulo se dará una introducción teórica al Proyecto Plaza España, con un pequeño repaso del estudio de tránsito realizado para definir cuál era la mejor alternativa de solución para la problemática de tránsito en el sector. Esto es a los fines de reconocer el entorno y el tipo de obra de la que se trata.

Posteriormente, y teniendo en cuenta las características típicas que posee esta obra, se desarrollarán las teorías sobre drenaje urbano y diseño hidráulico aplicables al caso.

1. Definición del Proyecto Plaza España

La Plaza España es una rotonda vial ubicada en el barrio Nueva Córdoba, que nuclea 8 accesos, 6 de los cuales tienen doble sentido de circulación, involucrando en total 21 carriles entrantes y 20 salientes. Estos accesos son:



Figura 1: Mapa de Plaza España

Fuente: Google Maps

- José Manuel Estrada
- Avenida Ambrosio Olmos
- Bulevar Chacabuco Sur

- Avenida Hipólito Yrigoyen Sur
- Deodoro Roca
- Avenida Poeta Lugones
- Bulevar Chacabuco Norte (sentido único)
- Avenida Hipólito Yrigoyen Norte (sentido único)

En hora pico un día de semana, aproximadamente 7300 vehículos y 3300 peatones circulan por la plaza¹. Estos números superan ampliamente la capacidad de la rotonda, lo que genera grandes congestiones de tránsito.

Según el estudio realizado por el ISIT, los mayores problemas se producen en horas de la mañana (aproximadamente entre las 7 y las 9hs) y que la vía más cargada con 1700 a 2000 veh/hs es Yrigoyen Sur. Esta vía canaliza la gran mayoría de los traslados de la zona sureste de la ciudad hacia el centro.

Además, las encuestas de origen y destino realizadas en el marco de este estudio de tránsito dieron como resultado que más del 70% de los vehículos que ingresan por Yrigoyen Sur, salen de la plaza por Chacabuco Norte.

Todo esto indica claramente que la vía donde es más factible realizar una intervención es en el sentido Yrigoyen Sur-Chacabuco Norte, que canaliza la gran mayoría de los desplazamientos dentro de la rotonda.

En el estudio de tránsito del ISIT se evaluaron alternativas de operación y de infraestructura. Dentro de las primeras encontramos dos opciones: eliminar los semáforos existentes y evitar el acceso de las líneas de ómnibus a la rotonda. En las soluciones que implican un cambio de infraestructura se evaluó en primera instancia el agregado de un quinto carril. Posteriormente entre las opciones de intersección a distinto nivel se optó por opciones bajo nivel considerando aspectos ambientales y de conservación del patrimonio cultural, teniendo como direcciones candidatas:

- Yrigoyen Norte – Yrigoyen Sur
- Yrigoyen Sur – Chacabuco Norte
- Olmos – Lugones
- Lugones – Olmos

Los resultados de la simulación arrojaron que el mayor ahorro en tiempos de viaje se produce en el par Yrigoyen Sur – Chacabuco Norte, el par origen – destino que nuclea la mayor cantidad de viajes.

Por este motivo, y teniendo en cuenta además que desde la perspectiva de eficiencia económica su prioridad es evidente, su contribución al escenario de 20 años es aceptable y que canaliza el par OyD de mayor flujo, soluciona el acceso de mayor volumen de tránsito y demoras, el estudio de tránsito concluye que la mejor opción para solucionar los congestiones de tránsito en Plaza España es la construcción de un túnel en la dirección Yrigoyen Sur – Chacabuco Norte.

2. Drenaje Urbano

a. Caracterización del drenaje urbano

Para el análisis del drenaje en una urbanización, es necesario identificar el tipo de inundaciones que pueden presentarse. Éstas son:

- Inundaciones provocadas por el crecimiento urbano tradicional:

Son aquellas en que el aumento de su frecuencia y magnitud se debe fundamentalmente al proceso de ocupación del suelo con superficies impermeables y redes de conductos de escurrimiento. El desarrollo urbano puede producir además obstrucciones al escurrimiento (terraplenes, pilas de puentes, colmatación de conductos y canales, etc.), hecho que agrava también estas inundaciones. Igualmente probables son las obstrucciones debido a hojas, basura, sedimentos u otros elementos, aunque en estos casos las inundaciones no son repetitivas y desaparecen con el mantenimiento del sistema.

- Inundaciones ribereñas:

Se asocian a la urbanización indebida de áreas inundables adenañas a los cursos de agua. En general estas inundaciones se asocian a eventos severos. Las razones por las que ocurre este tipo de inundaciones son: falta de restricciones municipales sobre el loteo de áreas con alto riesgo de inundación, secuencias de años relativamente secos y falta de alternativas de la población de baja renta para acceder a lotes relativamente baratos.

Es preciso además caracterizar los subsistemas que forman parte del sistema de drenaje, que son:

- Macrodrenaje:

Corresponde al sistema natural, comprendiendo todos los cursos de escurrimiento definidos por la topografía de la cuenca. El área de drenaje depende del tamaño de la ciudad y del relieve de la región, por lo general abarcando áreas mayores a 5km². Una característica fundamental es que siempre existe, aun cuando no se ejecuten obras específicas. A los fines de proyecto se utilizan tiempos de recurrencia de 25, 50 o 100 años.

- Microdrenaje:

Constituye el sistema artificial, muy importante para lluvias frecuentes (con períodos de recurrencia menores a 10 años). Comprende las obras en áreas donde el escurrimiento no se encuentra definido, o se encuentra condicionado por la ocupación del suelo. Típicamente incluye las obras de captación, las de conducción superficial y los sistemas de conducción por debajo del nivel de calle como conductos, estructuras de detención, etc.

Al hablar de drenaje urbano, se debe tener en cuenta el impacto que tienen los distintos elementos de las ciudades en el ciclo del agua. Chocat (1997) destaca cinco principales:

- 1) Impermeabilización del suelo
- 2) Aceleración de los escurrimientos
- 3) Construcción de obstáculos al escurrimiento
- 4) "Artificialización" de acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas
- 5) Contaminación de los medios receptores

La urbanización de una cuenca tiende a llenar aquellas áreas bajas que funcionaban como reservorio, y a impermeabilizar otras áreas que proveían infiltración. Como puede observarse en la figura de la siguiente página, los tres primeros impactos de los que habla Chocat son los que tienen mayor incidencia en las inundaciones urbanas, ya que significan un aumento del caudal que debe captar y transportar la infraestructura de drenaje.

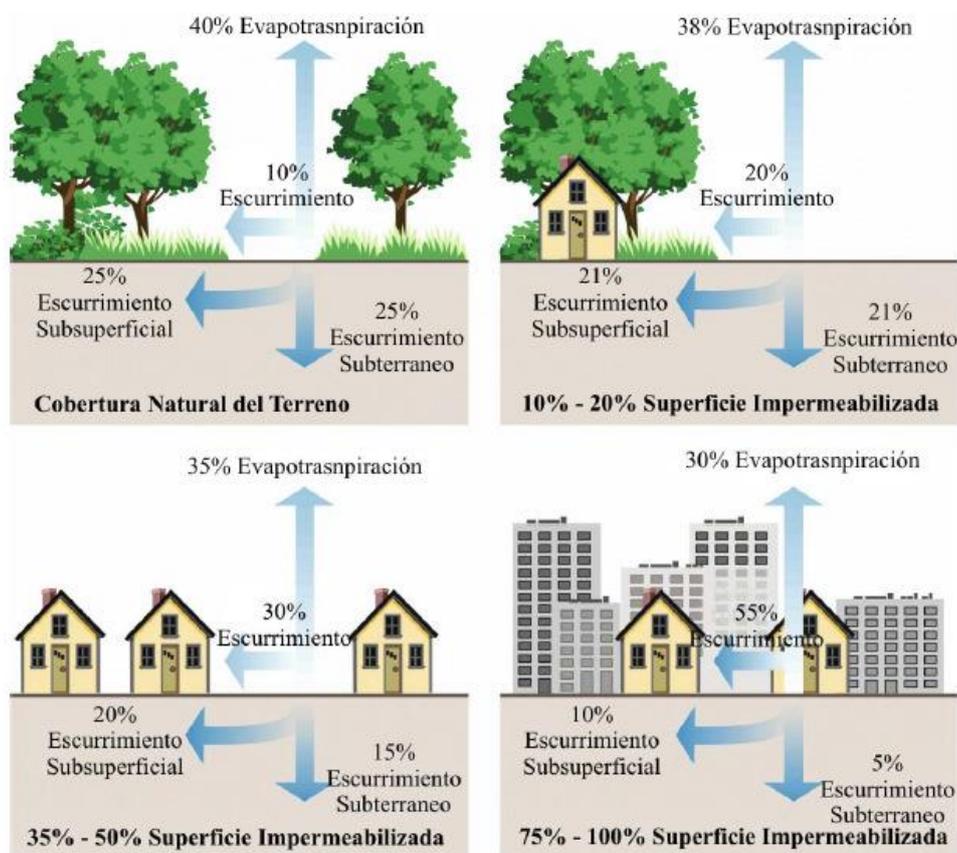


Figura 2: Relación entre impermeabilización y aumento del escurrimiento

Fuente: Clases de Ingeniería Sanitaria, FCEfyN

Por todo lo detallado anteriormente se puede concluir que el análisis no solo debe circunscribirse al dimensionado de los componentes del drenaje urbano como acciones u obras correctivas (visión meramente hidráulica), sino por el contrario debe orientarse a la elaboración de propuestas preventivas con efectos de mínimos costos e impacto ambiental.

b. Medidas preventivas y correctivas sobre el drenaje urbano

Se constituyen como metas del drenaje urbano evitar al máximo posible los daños que las aguas de lluvia puedan ocasionar a las personas y bienes (interés individual), a las propiedades, y al medio ambiente y garantizar el normal desenvolvimiento de la vida diaria y sus actividades en las poblaciones, permitiendo un apropiado tránsito de personas y vehículos durante la ocurrencia de las precipitaciones.²

Con el fin de cumplir estas metas, pueden plantearse dos tipos de medidas a adoptar cuando se desarrolla un sistema de drenaje urbano: medidas preventivas y medidas correctivas. Las primeras actúan modificando directamente el espacio físico a través de obras de ingeniería, normativa, regulación de uso de suelo, de edificación, normas constructivas, educación de la ciudadanía, etc. En cambio, las medidas correctivas (también llamadas no estructurales) son tendientes a armonizar las características naturales de la cuenca con el crecimiento de la ciudad, complementando a las preventivas.

Las acciones intensivas que se pueden llevar a cabo mediante las medidas estructurales son:

- Acelerar el escurrimiento mediante la corrección del cauce y la reducción de la rugosidad del mismo, lo que traslada el problema aguas abajo.
- Retardar el escurrimiento con reservorios de retención, lagunas de almacenamiento o regulación mediante compuertas, solucionando el inconveniente en el lugar.
- Derivar el escurrimiento para transferirlo a sectores que originalmente no tienen problemas, con vertederos o trasvasando cuencas.
- Aumentar la sección de escurrimiento, ensanchándola, profundizándola y limpiando el cauce.

Como medida extensiva estructural se puede optar por la aplicación de normativa para regular el uso del suelo (FOS, FOT, usos alternativos, cultivos, siembra, reforestación, etc.). Estas medidas se aplican a toda la cuenca.

Dentro de las medidas no estructurales se pueden llevar a cabo las siguientes acciones:

- Zonificación de áreas inundables.
- Sistema de alerta y pronóstico de crecidas.
- Ejecución de construcciones adaptadas a la posibilidad de inundación.
- Seguros contra inundaciones.
- Política fiscal que desincentive la ocupación de áreas inundables, gravándolas más.

Si estas posibles tareas no contribuyen a solucionar los problemas de drenaje urbano, la única opción restante es convivir con ellos, estableciendo niveles de inundación aceptables y ejecutando obras específicas para que esto sea posible, como compuertas y barreras.

c. Grado de protección

Las medidas estructurales y no estructurales se llevan adelante con el *objetivo básico* de evitar daños a las personas y propiedades, y como *objetivo complementario* permitir el tránsito normal de personas y vehículos, asegurando así el desenvolvimiento de la vida urbana.

Para cumplir con estos objetivos se debe determinar el *grado de protección*, que define el grado de riesgo de ocurrencia de daños o molestias que se esté dispuesto a asumir.

Es determinado por el período de retorno seleccionado según el tipo de obra a realizar y los eventos considerados y el nivel de inundación aceptable para cada sector. Tratándose de una zona urbana también es de gran incidencia el uso de suelo predominante en el lugar (residencial, comercial, industrial, etc.). A continuación se explicarán cada uno de estos parámetros.

- Período de retorno o recurrencia

Es el número promedio de años entre dos eventos de igual intensidad. Si la probabilidad de ocurrencia anual, P , de un evento es:

$$P = \frac{1}{T_R}$$

Y la probabilidad de no ocurrencia es:

$$P' = 1 - P$$

La probabilidad de que un evento igual o mayor a uno dado, para determinado T_R , ocurra en n años es:

$$j = 1 - (1 - P)^n$$

$$j = 1 - (P')^n \quad 3$$

Los factores que se tienen en cuenta para determinar el período de retorno son:

- 1) Función a satisfacer: para la función básica se considera un T_R mayor que para la complementaria, lo que implica una menor probabilidad de ocurrencia de un evento severo. En general para la primera se utilizan T_R de 50 a 100 años, mientras que para la segunda entre 2 y 10 años.
- 2) Uso de suelo: según la densidad de ocupación y el tipo de actividad predominante. Para cumplimentar con el objetivo básico y según la normativa de la Municipalidad de Córdoba el período de retorno a utilizar es de 100 años, indistintamente del uso de suelo del sector. Los valores para la función complementaria son variables y pueden observarse en la siguiente imagen.

TIPO DE USO DE LA TIERRA	TR (años)
▪ Zona de actividad comercial, edificios públicos y sanitarios y zona de actividad industrial.	25
▪ Zona residencial de alta densidad (más de 150 habitantes por hectárea).	10
▪ Zona residencial de baja densidad (menos de 150 habitantes por hectárea).	5
▪ Zona recreativa de alto valor e intenso uso por el público	3
▪ Otras áreas recreativas y/o rurales.	2

Tabla 1: Período de retorno para la función complementaria según uso de suelo para drenaje urbano

Fuente: Municipalidad de Córdoba

- 3) Clasificación tipológica-funcional de la vía: las calles se clasifican en locales, colectoras y arteriales. Para satisfacer la función complementaria se utilizan los siguientes valores:

TIPOLOGIA DE LA ARTERIA	TR (años)
▪ Avenidas de circulación arterial y accesos a instalaciones especiales y de seguridad.	25
▪ Vías colectoras de la circulación local o que la alimenta.	5
▪ Vías locales cuya importancia no traspasa la zona servida.	3 a 5

Tabla 2: Período de retorno para la función complementaria según tipo de vía para drenaje urbano

Fuente: Municipalidad de Córdoba

- 4) Consideraciones de tipo estratégicas: existencia de hospitales, cuarteles de bomberos, policía, centrales eléctricas o importantes para la seguridad nacional como instalaciones militares, entre otros elementos que se pueden mencionar.

La selección de un determinado período de recurrencia conlleva una tormenta de diseño de una determinada intensidad. Esto repercute directamente en el valor del derrame máximo de la cuenca y esto se encontrará directamente asociado a la magnitud de las obras a construir y por supuesto al costo de las mismas

Por tal motivo, dentro del análisis desarrollado para la elección de un período de recurrencia se deberá incluir un análisis económico de beneficios vs. costos para adoptar el valor definitivo del período de recurrencia que cumpla las condiciones enumeradas anteriormente y además contemple la concreción de obras cuyos costos se encuentren dentro de las posibilidades de la repartición pública.⁴

- Niveles de inundabilidad

Son las alturas máximas de agua aceptables en los diferentes sitios de la ciudad. Están asociadas al cumplimiento de exigencias preestablecidas, que son las funciones básica y complementaria.

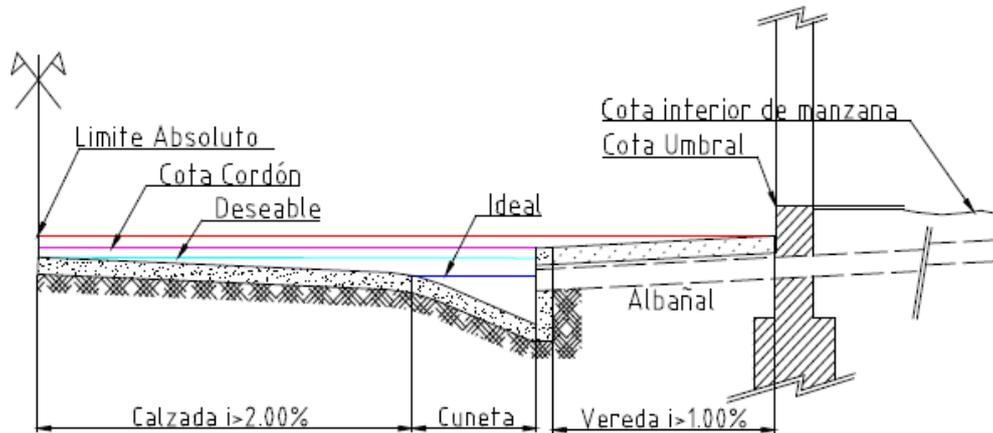


Figura 3: Niveles de inundabilidad en el perfil transversal de una calzada urbana

Fuente: Clases de Ingeniería Sanitaria, FCEfyN

- 1) Nivel de inundabilidad ideal: correspondiente a una ocupación de no más de 0,80 a 1,00 m del ancho de la cuneta; de manera que asegure el tránsito vehicular sin restricciones, y el cruce de las bocacalles por parte de los peatones.
- 2) Nivel de inundabilidad deseable: Posibilita la circulación vehicular con restricciones por el centro de la calzada, y la imposibilidad (transitoria) del cruce de peatones. Se mide entre el nivel anterior y la flecha máxima de la calzada (no se superponen los caudales de ambas cunetas). Se acepta que suceda una vez entre 6 meses a 1 año.
- 3) Nivel de inundabilidad de cota de cordón: nivel superior del cordón, que asegura la ausencia de agua en la vereda. Se restringe más la circulación de vehículos por la calzada hasta el límite de que no debería haber tránsito vehicular ni cruce de peatones. Puede aceptarse un evento de este nivel una o dos veces cada 5 años.
- 4) Nivel de inundabilidad límite absoluto: máxima cota absoluta admisible, en función de los umbrales de acceso a las propiedades (peatonal y vehicular).

Según normativa de la Municipalidad de Córdoba para satisfacer la función básica viviendas residenciales, edificios públicos, industriales y comerciales no deben ser inundados. Además, la altura máxima de inundación admisible es el nivel de umbral de los edificios, jardines, playas y toda zona fuera de los edificios que no esté protegida. La altura de agua sobre el fondo de la cuneta o badén no debe sobrepasar los 0,50 m., y para el caso de las arteriales la altura del agua sobre el coronamiento no superará los 0,15 m.

Respecto a la función complementaria la Municipalidad de Córdoba indica lo siguiente:

CLASIFICACIÓN DE LAS CALLES**LÍMITE ADMISIBLE**

Locales	No sobrepasar la altura del cordón aún cuando se pueda alcanzar el coronamiento
Colectoras	No sobrepasar la altura del cordón debiendo quedar al menos un carril libre de agua.
Arteriales	No sobrepasar la altura del cordón debiendo quedar al menos un carril libre de agua en cada sentido de circulación.

Tabla 3: Niveles de inundabilidad en distintas arterias para la función complementaria

Fuente: Municipalidad de Córdoba

3. Caudales de diseño

Para caracterizar la tormenta de diseño para un determinado proyecto se deben definir dos elementos fundamentales: la lámina total precipitada y su distribución temporal.

En la hidrología de diseño el parámetro de interés es el caudal obtenido de los dos elementos mencionados anteriormente. Su determinación depende fundamentalmente del tipo de información con la que se cuente del área del proyecto, a saber:

- 1) Si hay datos de caudal en la cuenca, se obtienen curvas de caudal vs. tiempo de recurrencia mediante series históricas de caudales.
- 2) Si no existen datos de caudal en la cuenca o cuencas de interés, pero si hay datos de cuencas vecinas de similares características se puede realizar una regionalización de caudales.
- 3) Si los datos con los que se cuenta son de lluvias se procede a graficar curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) mediante el proceso llamado "transformación lluvia-caudal".
- 4) En caso de que los datos de lluvia provengan de cuencas vecinas se puede realizar una regionalización con las lluvias similar al caso de caudales.

En general en el diseño hidrológico no se encuentran series de caudales por lo que se recurre a las transformaciones lluvia-caudal. Para llevarlas a cabo se requiere definir una lluvia de diseño, para lo cual se utilizan las curvas IDF.

En cuencas de pequeño tamaño se considera la duración de la tormenta aproximadamente igual al tiempo de concentración que se definirá a continuación. La determinación de este parámetro de la cuenca resulta de fundamental importancia, debido a que se encuentra directamente vinculado con el caudal proveniente de la tormenta que se utilizará en el proyecto.

a. Curvas IDF de la Ciudad de Córdoba de series pluviográficas.

La determinación de las curvas IDF parte de un trabajo realizado por el C.I.H.R.S.A. y D.I.P.A.S. en Junio de 1994. Este trabajo se desarrolló sobre la base de datos pluviográficos que cuenta la estación del Servicio Meteorológico Nacional en el Observatorio Meteorológico de la Ciudad de Córdoba.

La metodología utilizada para el trazado de las curvas IDF consistió en la determinación de los máximos valores de precipitación anual para distintas duraciones, en este caso particular dichas duraciones fueron de 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 360, 720 y 1440 minutos. Con estos valores, que abarcan todo el período comprendido entre el 1 de septiembre y el 31 de agosto (correspondiente al año pluviométrico) se calcularon las intensidades correspondientes a las mismas. Las series observadas de intensidad máxima se utilizaron posteriormente para la determinación de las curvas IDF.

Los pasos seguidos a fin de determinar las curvas IDF fueron:

- 1) Determinación de las curvas i-d-T mediante la selección de distribuciones de probabilidad adecuadas para cada duración.
- 2) Determinación de las curvas i-d-T mediante ajuste de los valores calculados según una distribución teórica de probabilidad, por posterior aplicación del método de mínimos cuadrados.

Para la realización del punto 1 se probó utilizando distribuciones de Weibull, Gumbel, Pearson, Normal y Lognormal. Luego se realizó una selección en función de diversos test de ajuste. Posteriormente se calcularon los valores de intensidades para cada duración y distintos períodos de recurrencia, dichos intervalos de recurrencia fueron 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años.

De la observación y análisis de los resultados alcanzados por los indicadores de la bondad de ajuste se concluyó que la distribución Lognormal es la seleccionada para el estudio. A continuación se muestran los valores de intensidad duración para los distintos períodos de recurrencia indicados anteriormente.

	Duración (minutos)									
T ret (años)	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
2	116,5	89,6	79,3	54,2	33,2	20	14,5	8,4	4,9	2,7
5	156,1	120,6	107	75,2	45,7	26,3	19,1	10,8	6,2	3,5
10	181,9	140,9	125,3	89,2	54,1	30,5	22,1	12,3	7,1	4
20	206,4	160,2	142,6	102,7	62,1	34,4	24,9	13,7	7,9	4,4
25	214,1	166,3	148,1	107	64,6	35,6	25,8	14,2	8,1	4,6
30	220,4	171,2	152,6	110,6	66,7	36,6	26,5	14,5	8,3	4,7
50	237,9	185	165	120,4	72,5	39,3	28,5	15,5	8,9	5
100	261,6	203,7	181,9	133,9	80,4	43	31,2	16,8	9,6	5,4

Tabla 4: Curvas IDF para distintos períodos de retorno

Fuente: RIHA, César. "Modelación Hidrológica de una cuenca de la Ciudad de Córdoba".

b. Cálculo de caudales mediante Modelo DIT.

La estimación de láminas de diseño demanda conocer una función que relacione la intensidad (i), la duración (d) y la recurrencia (T) de las lluvias, conocida como función i-d-T. Caamaño Nelli y Garcia (1999), desarrollaron un algoritmo conceptual denominado Modelo DIT, que permite encontrar la relación i-d-T a partir de series de lluvias máximas diarias. Fue calibrado utilizando información de más de 150 estaciones de lluvia de la Provincia de Córdoba.

El algoritmo parametriza el rol de la lluvia diaria en el vínculo i-d-T y permite transponer este como una superficie tridimensional continua. El modelo asume distribución probabilística log normal de las láminas máximas anuales de cualquier duración y se calibra sobre ternas i-d-T extraídas de funciones de distribución log normales (FDP) de las duraciones elegidas. El modelo se basa en la ecuación, en forma logarítmica:

$$\ln i_{d,T} = A * \varphi_y - B * \delta_y + C \quad [1]$$

Donde φ_y es el factor de frecuencia normal y δ_y es el factor de persistencia, que depende a su vez de las variables independientes, es decir, la recurrencia y la duración de la lluvia. La aproximación algebraica para ambos es:

$$\varphi_y = 2,584458 * \ln T^{0,375} - 2,252573 \quad [2]$$

$$\delta_y = \ln d^q \quad [3]$$

DIT tiene 4 parámetros: A, B y C de la ecuación [1] y q de la ecuación [3]. Los exponentes q y B son parámetros de cada zona, mientras que A y C dependen de las características locales. Estos últimos fueron deducidos como sumas, entre cuyos términos se encuentran, respectivamente, μ y σ , la media y el desvío estándar de los logaritmos de la serie de láminas máximas diarias anuales.

Para los pluviómetros, la información local sobre lluvias máximas está contenida en esa serie y se expresa a través de sus estadísticos en la función. Esa propiedad permite transponer la i-d-T a cada puesto, sustituyendo los valores de μ y σ para incorporar sus rasgos específicos.

Calibrado DIT para un pluviógrafo, la transposición a los puestos pluviométricos asociados es muy sencilla: basta con sustituir dos estadísticos (de los logaritmos de láminas diarias máximas), la media (μ) y del desvío estándar (s) de la primer serie, por los de la segunda, μ' y s' .

El reemplazo se efectúa en los parámetros C y A de la ecuación [1], ajustada para el pluviógrafo, y se obtienen los correspondientes C' y A' del pluviómetro sin nueva calibración:

$$A' = A - \sigma + \sigma' \quad C' = C - \mu + \mu'$$

Tal proceder es válido debido a que el significado conceptual de los parámetros (y la forma modular resultante de la ecuación), permite identificar que cambia de un sitio a otro, además de incorporar valiosa información local.

Tal como está planteado el modelo, su aplicabilidad está sujeta a cuatro requisitos:

- Las láminas de lluvias máximas, de duración dada, son representables por funciones de densidad log normales.
- La expresión no paramétrica de $\phi\gamma$ permite sustituir en forma biunívoca el factor de frecuencia normal por el periodo de retorno.
- Las relaciones entre láminas (para d y T) se mantienen en la zona de cada pluviógrafo base, lo que permite transponer la función i - d - T a los pluviómetros satélites.
- Por la forma en que está planteado el factor de persistencia, es válido estimar en conjunto todos los términos afectados por la duración de la lluvia.

Para el estudio de las lluvias de diseño (Caamano Nelli, Dasso, 2003) la provincia de Córdoba fue dividida en siete zonas, en función de 141 estaciones pluviométricas existentes, representada cada zona con una estación base pluviográfica. A cada estación base se le asignó representatividad sobre los pluviómetros satélites existentes en cada zona.

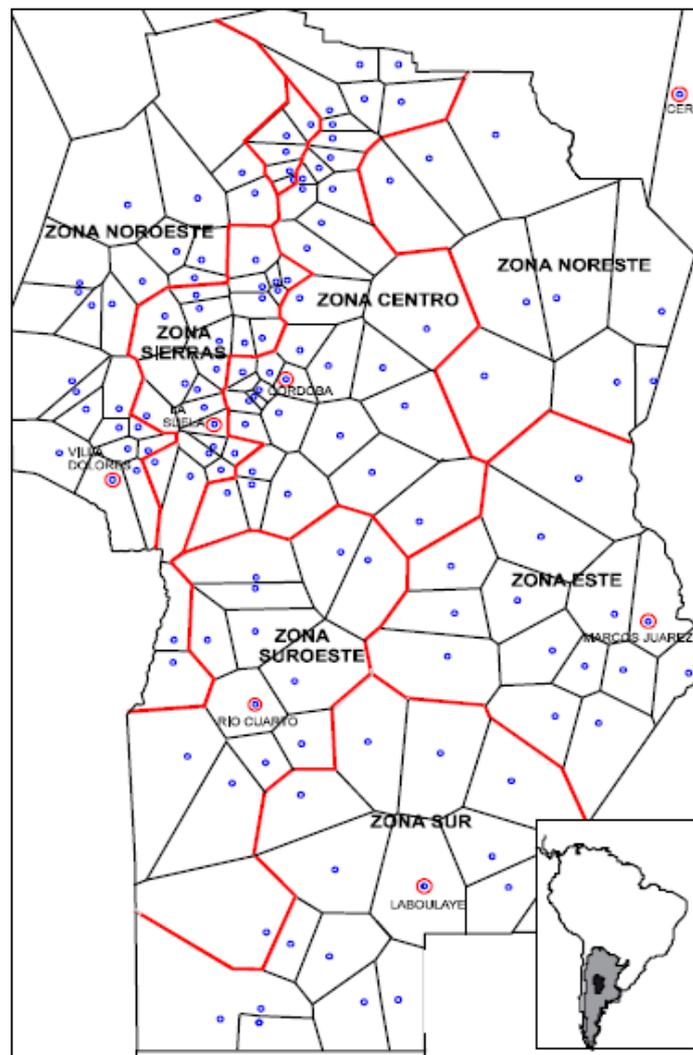


Figura 4: División en zonas de la Provincia de Córdoba en función de los siete Pluviógrafos

Fuente: Caamaño Nelli, Dasso, 2003

Sigla	μ	σ	A	B	C
Puesto	Media	Desvío			
Ceres	4,2549	0,3735	0,2910	0,1443	5,2115
La Suela	4,1863	0,4166	0,3650	0,1363	4,9551
M.Juárez	4,4444	0,3875	0,4100	0,1474	5,1078
V. Dolores	3,9714	0,3226	0,3180	0,1706	5,0586
Córdoba Obs.	4,2476	0,3439	0,3370	0,1591	5,1932
Río Cuarto	4,2772	0,3568	0,3557	0,1483	5,0034
Laboulaye	4,3398	0,3350	0,3940	0,1612	5,2191

Tabla 5: Datos de las regiones pluviográficas de la provincia de Córdoba

Fuente: Caamaño Nelli, Dasso, 2003

c. Método racional

Otro método indirecto para cálculo de caudales de diseño es el método racional. Calcula el caudal pico con base a la intensidad media del evento de precipitación de duración igual al tiempo de concentración y a un coeficiente de escurrimiento o esorrentía.

$$Q = 0,278 * C * i * A$$

Q = Caudal máximo producido por la lluvia. (m³/seg)

C = Coeficiente de esorrentía (tabulado)

i = Intensidad media máxima para la duración establecida (mm/hr).

A = área de aporte de la cuenca (km²).

Las premisas básicas del método racional son:

- 1) El caudal pico corre cuando toda la superficie de la cuenca pasa a contribuir al escurrimiento.
- 2) La lluvia se presenta uniforme temporal y espacialmente en una duración igual al tiempo de concentración.
- 3) Las condiciones de permeabilidad de la cuenca se mantienen constante durante la lluvia.

Como principal ventaja de este método se puede destacar su simplicidad, aunque resulta una limitación el hecho de que se obtiene sólo un caudal pico asociado al período de recurrencia de la lámina utilizada para el cálculo. Además, cuando existen varias sub cuencas, el método se torna complicado y tiende a sobre estimar el caudal, ya que no considera el flujo canalizado, sumado a las incertidumbres en la determinación del parámetro C.

Es aplicable a pequeñas cuencas de hasta una hectárea, y muy utilizado para casos de drenaje urbano.

d. Tiempo de concentración

Se entiende por *tiempo de concentración* de una cuenca como el tiempo que tarda una gota de agua en llegar desde el punto más alejado de la cuenca en términos de tiempo, hasta el punto de aporte o descarga de la cuenca. Es decir, el tiempo de concentración será aquel tiempo en donde toda la cuenca se encuentra aportando al punto de descarga.

En las cuencas urbanas este tiempo se encuentra directamente relacionado con parámetros como la forma de la cuenca, la longitud de su cauce principal, la pendiente longitudinal del mismo, el uso de suelo en el sector y el material de revestimiento de las calzadas.

Debido a las características propias de las cuencas urbanas en donde la gran parte del recorrido del agua se efectúa sobre superficies de muy baja rugosidad, se desprende que los tiempos de concentración de las cuencas urbanas serán considerablemente menores que los tiempos de concentración de cuencas de iguales características pero ubicadas en la zona rural.

Dentro de la bibliografía existente actual sobre el tema, se encuentran infinidad de expresiones para determinar los tiempos de concentración de cuencas urbanas, siendo algunas aplicables solamente a casos con condiciones particulares. A continuación se transcriben algunas de las expresiones más comúnmente utilizadas y que mejor se ajustan a las condiciones locales de nuestra región.

- Fórmula de Kirpich

$$tc = 0.0078 * \left(\frac{L}{\sqrt{i}} \right)^{0.77}$$

Dónde: tc= Tiempo de concentración de la cuenca (min)

L= Longitud del cauce principal (Pies)

i = Pendiente del curso principal

- Fórmula de Benham (S.C.S.)

$$tc = 0.87 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Dónde: tc= Tiempo de concentración de la cuenca (hrs)

L = Longitud del curso principal (km)

H = Desnivel máximo de la cuenca

- Fórmula de Bransby Williams

$$t_c = F * \left(\frac{L}{A^{0.4} * S^{0.2}} \right)$$

Dónde: t_c = Tiempo de concentración de la cuenca (min)

A = Área de la cuenca

S = Pendiente del curso principal (m/km)

F = 58.5 si A (km)

F = 92.7 si A (ha)

La determinación correcta de este parámetro resulta de fundamental importancia para que posteriormente se seleccione aquella tormenta de diseño que cause la condición más desfavorable en términos hidrológicos sobre el área de estudio.

4. Diseño hidráulico

El objetivo del sistema de drenaje es el de gestionar las aguas pluviales, a fin de evitar daños materiales y personales, y permitir el normal desenvolvimiento de la vida urbana. De este sistema depende en gran medida el correcto funcionamiento de las vías durante su vida útil.

Con este objetivo se diseñan diversos componentes hidráulicos que forman parte del mismo:

- 1) Obras de conducción: cunetas, tuberías de conexión, colectoras.
- 2) Obras complementarias: comunes, dentro de las cuales se encuentran los sumideros y cámaras de inspección, o especiales como los sifones, estaciones elevadoras, etc.
- 3) Obras de embalse o regulación: lagunas de retardo o de retención.

a. Ecuaciones generales de cálculo

- 1) Ecuación de continuidad: considerando flujo incompresible y permanente (es decir que sus condiciones no cambian en el tiempo), la ecuación toma la forma:

$$Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

Q =Capacidad (m³/s),

A_{1,2} =Área de las secciones 1 y 2(m²),

V_{1,2} =Velocidad a través de las secciones 1 y 2(m/s),

- 2) Ecuación de Bernoulli: integrando para densidad constante (fluido perfecto) la expresión:

$$\frac{dp}{\rho} + g * dz + v * dv = 0$$

Teniendo en cuenta además que es un fluido no viscoso ($\mu=0$), movimiento irrotacional ($\text{rot}(V)=0$), solo fuerza gravitatoria ($F=(0,0,-g)$) y movimiento permanente $dV/dt=0$.

Se obtiene la siguiente ecuación. Sus términos representan de izquierda a derecha, la energía potencial, la energía de flujo y la energía cinética:

$$g * z + \frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{constante}$$

Esta ecuación establece que la energía es constante a lo largo de la trayectoria.

- 3) Ecuación de Chézy: obtenida experimentalmente por el ingeniero francés Antoine Chézy en 1769 expresa:

$$v = C\sqrt{i * R}$$

Donde el coeficiente de fricción C se conoce como coeficiente de Chézy, y varía desde aproximadamente 30 m^{1/2}/s para pequeños canales rugosos hasta 90 m^{1/2}/s para grandes canales lisos. Es válida si se considera flujo incompresible, turbulento a régimen permanente.

- 4) Ecuación de Darcy-Weisbach: de un razonamiento similar al utilizado para llegar a la ecuación de Chézy, se obtiene esta formulación para el caso de canales de sección circular para régimen permanente y uniforme:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde h_f son las pérdidas debidas a la fricción en un tubo, con D=diámetro y f=coeficiente de fricción determinado experimentalmente.

- 5) Ecuación de Manning: para un flujo incompresible a régimen permanente con profundidad constante en un canal prismático abierto, se usa la fórmula de Manning. Se obtiene de la fórmula de Chézy escribiendo:

$$C = \frac{C_m}{n} * R^{1/6}$$

$$V = \frac{C_m}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

El valor de C_m es igual a 1 (para unidades del Sistema Internacional), V es la velocidad promedio en la sección transversal, R es el radio hidráulico (definido como la relación entre el área de la sección transversal y su perímetro) y S la inclinación de la superficie del agua paralela al fondo del canal. El coeficiente n se consideró como un coeficiente de rugosidad absoluta, es decir,

depende sólo de la rugosidad de la superficie. Los valores del coeficiente n determinados por muchas pruebas en canales reales son los dados en la siguiente tabla⁵:

Material de la pared	n de Manning
Madera cepillada	0,010
Madera sin cepillar	0,011
Hormigón acabado	0,010
Hormigón en bruto	0,012
Hierro fundido	0,012
Ladrillo	0,013
Acero roblonado	0,015
Metal con arrugas	0,018
Mampostería	0,021
Tierra	0,021
Tierra con piedras o hierbas	0,029
Grava	0,024

Tabla 6: Valores promedio del factor de rugosidad de Manning para varios materiales de pared.

Fuente: STREETER, Victor. "Mecánica de los fluidos"

Si se multiplica la ecuación de Manning por el área de la sección se obtiene:

$$Q = V * A = \frac{C_m}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * A$$

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

La expresión $A \cdot R^{2/3}$ se denomina factor de sección para el cálculo del flujo uniforme, y depende solamente de la geometría de la sección. El segundo miembro de la ecuación depende de las características físicas del canal (n y S) y del caudal (Q). Por lo tanto, la ecuación muestra que para una sección geométrica dada hay sólo un tirante posible para mantener el flujo uniforme, ya que los valores de $A \cdot R^{2/3}$ siempre se incrementan con la profundidad.

b. Cunetas

Constituyen la primera etapa del escurrimiento pluvial. Este comienza con la conducción de las aguas por la sección triangular que constituye el cordón de la vereda y los primeros centímetros de calzada, denominada cuneta. Sobre las mismas se localizan las bocas de tormenta que darán entrada a los excedentes hídricos del escurrimiento al sistema de desagüe.

Las cunetas funcionan hidráulicamente como canales abiertos, lo que quiere decir que tiene una superficie libre expuesta a la presión atmosférica. Por este motivo el movimiento del fluido es dado por la diferencia de elevación entre un punto y otro del canal.

Son diseñadas para tormentas cuyas recurrencias varían entre 2 a 10 años según la importancia de la vía, para estas tormentas las cunetas deberán ser capaces de permitir una correcta circulación del tránsito y de los peatones.

Las pendientes transversales y longitudinales de las calles son asimismo de fundamental importancia para lograr una correcta conducción del agua a través de la cuneta como así también para mantener despejada la zona de circulación del tránsito y reducir los daños ocasionados al pavimento por la presencia del agua de lluvia

Las cunetas deberán poseer una pendiente longitudinal mínima del 0,4% para brindar una correcta conducción de la corriente y evitar una sedimentación excesiva que perjudique su funcionamiento, la pendiente transversal deberá tener un valor mínimo del 1%. Además por cuestiones de seguridad (para evitar arrastre de personas y flotabilidad de vehículos) la velocidad del flujo debe ser menor a 3 m/seg. En cuanto a sus dimensiones geométricas su ancho no debe ser mayor de 0,90m en calles donde no se permite el estacionamiento y 0,60m de ancho donde sí se permita estacionar. Además, la altura del cordón es en general de 15 cm.

Para su cálculo, estas estructuras pueden ser asimiladas a canales de sección triangular y su capacidad puede ser determinada mediante la fórmula de Manning modificada por Izzard:

$$Q = V * A = 0,375 * h^{\frac{8}{3}} * i_t * i_l^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q= Caudal (m³/seg)

i_t= Pendiente transversal

i_l= Pendiente longitudinal

h= Tirante (cm)

Para determinar el ancho libre de circulación vehicular, resulta de interés conocer el ancho ocupado por la corriente de agua que escurre por la cuneta, el mismo puede ser determinado mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{h}{i_t} = h * z$$

T= Ancho de la corriente (m)

i_t= Pendiente transversal de la calzada (m/m)

h= Tirante (m)

z= Inversa de la pendiente transversal.

c. Sumideros

En el diseño de los sistemas de desagües pluviales hay tres tipos de bocas de tormenta: a) las que van en la solera de la cuneta; b) las que se abren en la pared vertical del cordón y c) una combinación de ambos, como pueden observarse en la imagen de la página siguiente. La

capacidad de cada una depende de su tamaño, de la pendiente longitudinal, la pendiente transversal, la rugosidad de la calle y la profundidad de depresión (para los tipos a y c).

Prescindiendo del tipo de boca de tormenta hay algunas consideraciones generales para su diseño que deberán ser tenidas en cuenta y que se enuncian a continuación:

- En puntos de pendiente continua: el espaciamiento de las bocas de tormenta deberá ser calculado para que el 90 a 95% de caudal que viene por la cuneta sea interceptado por la boca. Cuando la pendiente longitudinal de la calle supera el 5% se recomienda utilizar bocas de tormenta en solera de cuneta, pudiéndose colocar con depresión o no. Si existe riesgo de obstrucción con residuos se recomienda utilizar una boca de tormenta mixta.
- En puntos bajos: se recomienda la utilización de bocas de tormenta en cordón o combinadas por el riesgo que existe de obstrucción en las bocas de tormenta colocadas en solera de cuneta.
- Eficiencia de las bocas: resulta menor al valor calculado por obstrucciones causadas por residuos, irregularidades de las cunetas junto a las bocas de tormenta e hipótesis de cálculo que no siempre corresponden a la realidad. Por tal motivo se deberá afectar a las capacidades calculadas de los siguientes coeficientes de reducción:

Localización de la cuneta	Tipo de boca de tormenta	Factor de reducción
Punto bajo	En cordón	0,8
	En solera de cuneta	0,5
	Combinadas	0,65
Punto de pendiente continua	En cordón	0,8
	En solera de cuneta	0,6
	Combinada	1,1 del valor de solera de cuneta

Tabla 7: Factores de reducción de eficiencia en sumideros.

Fuente: RIHA, César. "Modelación Hidrológica de una cuenca de la Ciudad de Córdoba".

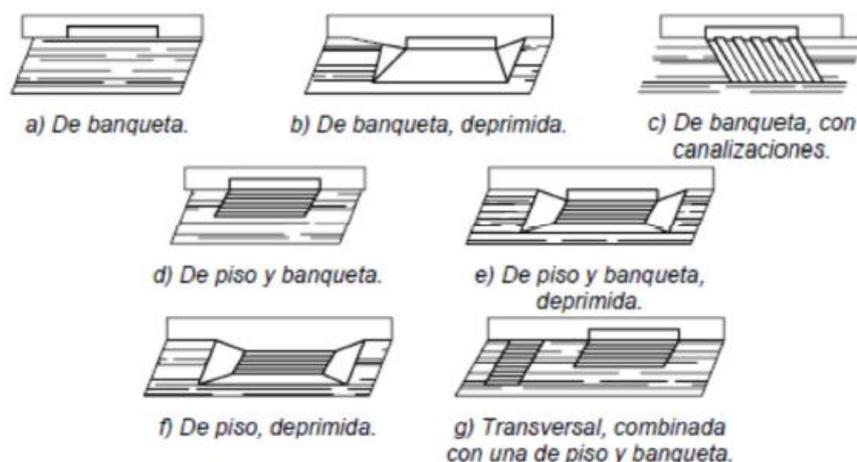


Figura 5: Tipos de sumideros

Fuente: Clases de Ingeniería Sanitaria, FCEfyN

1) Bocas de tormenta en solera de cuneta o sumideros de rejillas.

Es una abertura en la cuneta, a través de la cual el agua es admitida en el sistema de desagüe pluvial. La capacidad de la boca de tormenta decrece con el aumento de la pendiente longitudinal y crece con el aumento de la pendiente transversal, con el ancho y el largo de la reja, y la magnitud de la depresión, si la hubiere. La elección de una boca de tormenta en solera, puede no depender de su capacidad solamente. La interferencia de un tránsito intenso, la posibilidad de taponamiento de la reja con desechos, puede aconsejar el uso de bocas de tormenta en cordón o combinadas. También se debe agregar que las barras longitudinales de la reja pueden ser peligrosas para la circulación de bicicletas y que la depresión para la colocación de la reja puede serlo para un tránsito muy veloz.

Las bocas de tormenta localizadas en un valle actúan como sumideros y todo el caudal concurrente deberá ser captado. El caudal de ingreso será función del tirante de agua sobre la reja. Para tirantes menores de 0,09 metros la boca de tormenta actúa como vertedero, mientras que para tirantes que excedan los 0,12 metros la reja trabaja como un orificio, con las siguientes formulaciones:

$$\text{Vertedero} \rightarrow Q = C * L * H^{2/3}$$

$$\text{Orificio} \rightarrow Q = C * S * \sqrt{2g * H}$$



Figura 6: Detalle cámara en sumidero de rejillas.

Fuente: Clases de Diseño Vial Urbano, FCEfyN

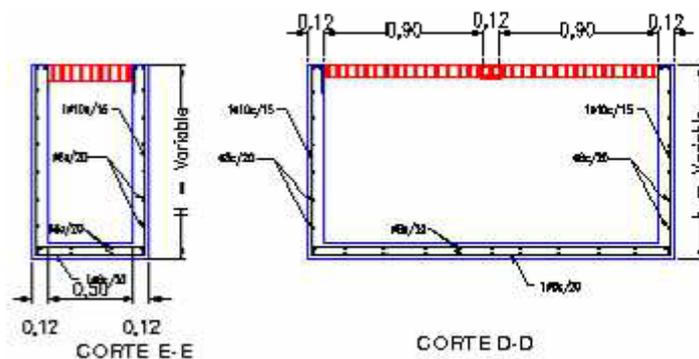


Figura 7: Corte de sumidero de rejillas.

Fuente: Clases de Diseño Vial Urbano, FCEfyN

2) Bocas de tormenta en cordón o sumideros tipo ventana.

Este tipo de bocas está localizado directamente en el cordón, por ello genera menos dificultades en el tránsito que el visto anteriormente. Es también menos susceptible de taponamiento y puede ser utilizado en calles de poca pendiente. La capacidad de estas bocas de tormenta es función de la pendiente transversal, de la pendiente longitudinal, de la rugosidad de la calzada y de la rapidez que tenga el agua que fluye por la cuneta para cambiar de dirección e ingresar a la boca de tormenta, este último parámetro puede incrementarse utilizando una depresión en la cuneta en coincidencia con la abertura de la boca de tormenta, estas estructuras presentan un bajo rendimiento cuando son colocadas en calles con una fuerte pendiente longitudinal.

Estas bocas de tormenta pueden funcionar básicamente en dos regímenes distintos, cuando el tirante se encuentra por debajo de la altura de la abertura trabajarán como vertederos, mientras que cuando el tirante supere el valor de 1,4 veces la altura de la boca trabajarán como orificios, siendo el comportamiento entre h y $1,4 h$ una combinación de ambos. Se utilizan las mismas ecuaciones que para rejas, dependiendo del comportamiento del sumidero.

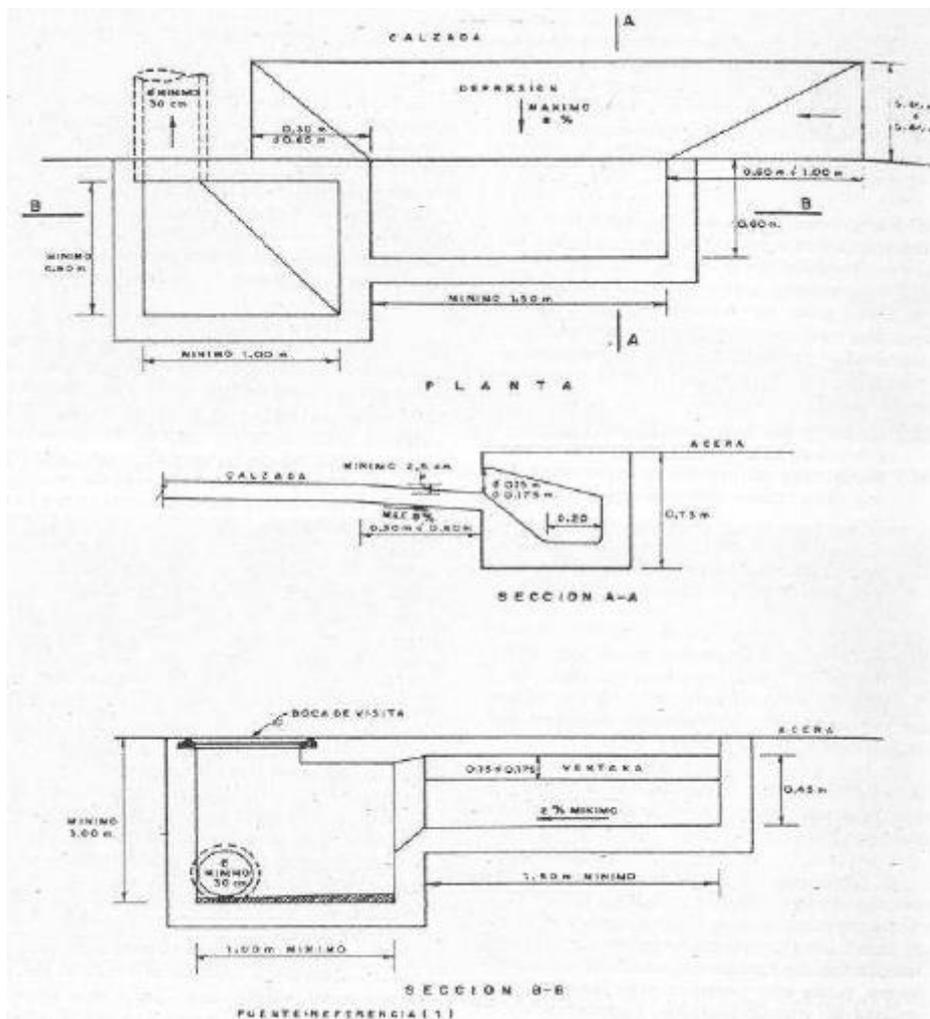


Figura 8: Detalle sumidero tipo ventana.

Fuente: Clases de Diseño Vial Urbano, FCFyN

En general, las bocas de tormenta deben localizarse en todos los puntos bajos del perfil longitudinal de la cuneta y en la intersecciones evitando el cruzamiento de las corrientes de agua con la zona de tránsito vehicular o de paso de peatones; y cuando el caudal que escurre toma valores que excedan los valores deseados del tirante en cuneta o del ancho de ocupación. A continuación se pueden observar imágenes ilustrativas al respecto:

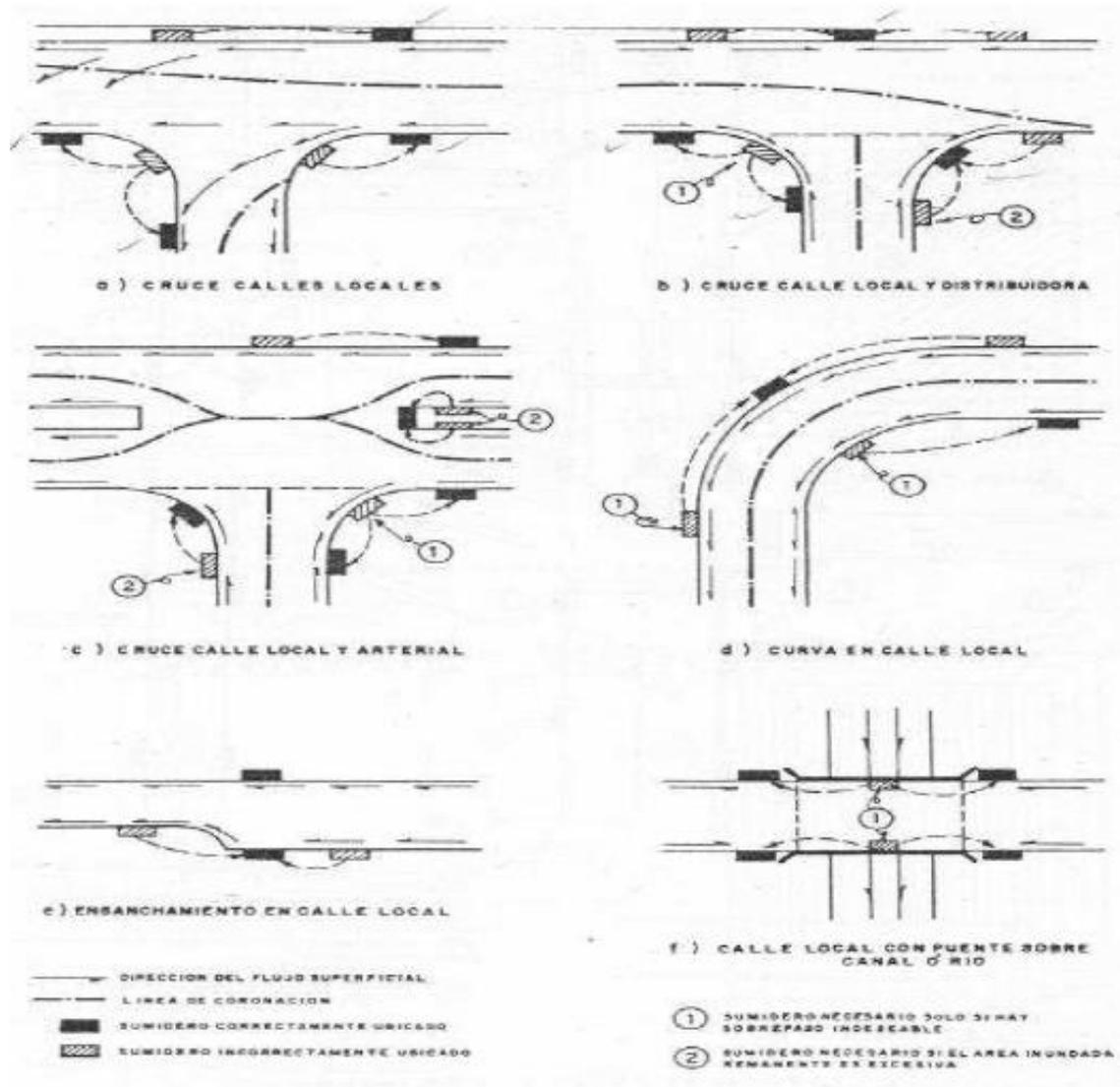


Figura 9: Localización de sumideros

Fuente: Clases de Diseño Vial Urbano, FCEfyN

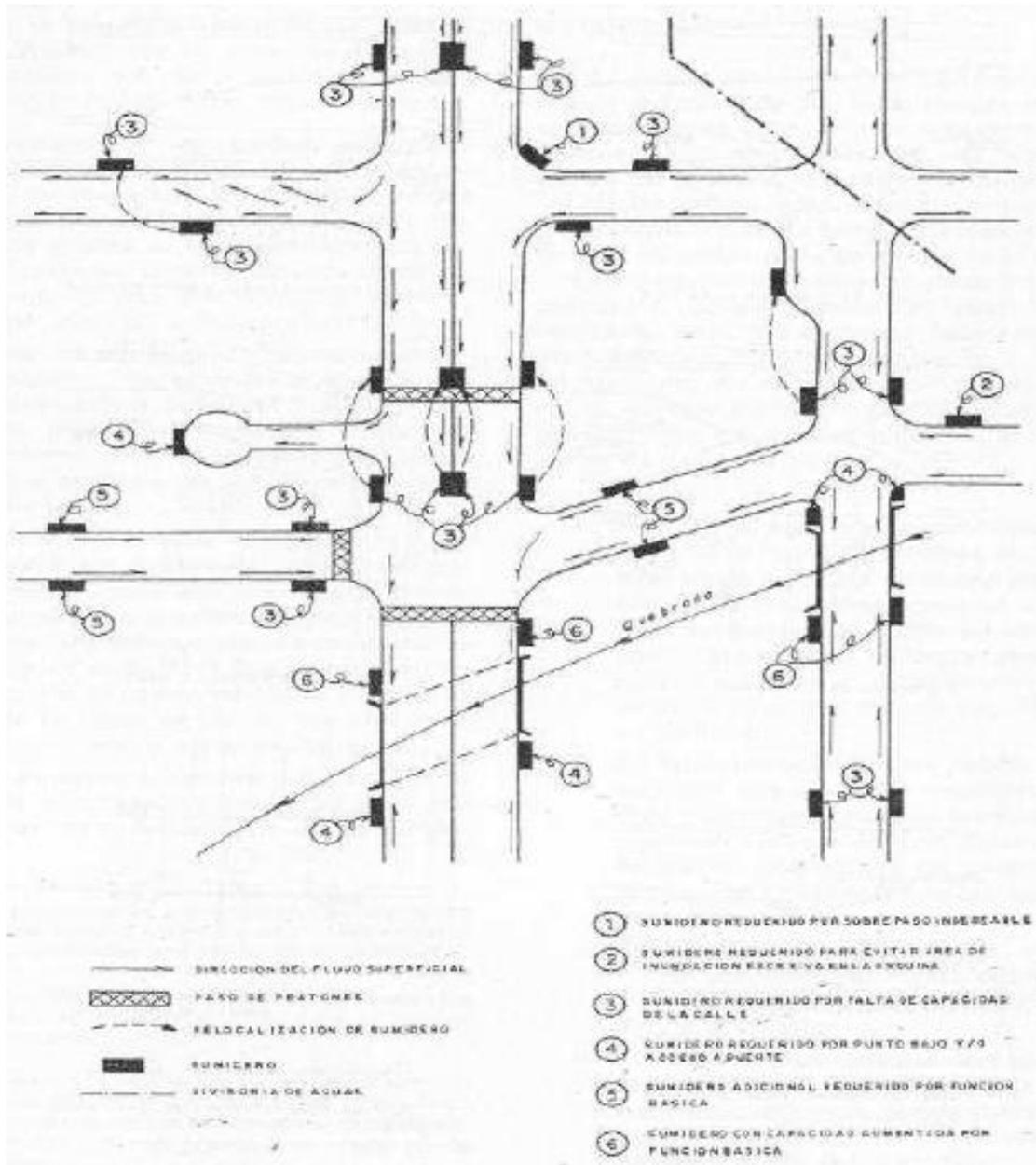


Figura 10: Ejemplo de localización de sumideros

Fuente: Clases de Diseño Vial Urbano, FCEfyN

d. Cañerías colectoras

Son las que transportan las aguas pluviales hasta el punto de descarga seleccionado. Suelen ser de hormigón, pero existen de diversos materiales.

En la siguiente imagen puede observarse un corte de la disposición general de los colectores, con las tuberías de conexión que provienen de los sumideros:

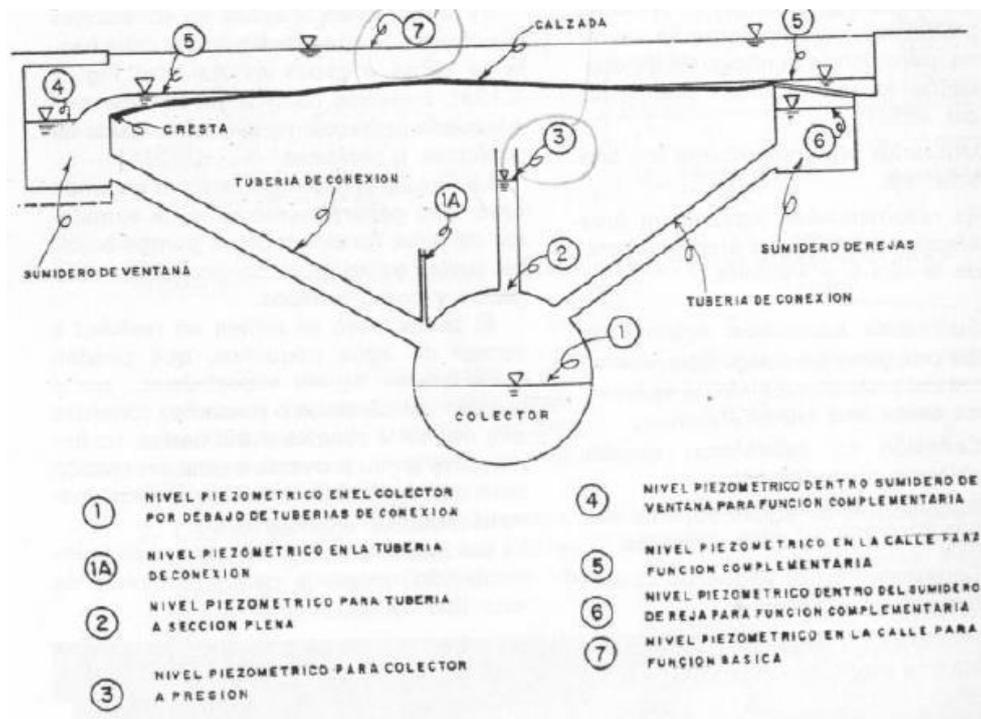
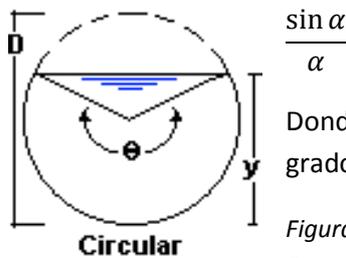


Figura 11: Corte de sección típica de sistema de drenaje

Fuente: Clases de Diseño Vial Urbano, FCEfyN

Considerando que la tubería funciona parcialmente llena, el tirante que proporciona el radio hidráulico máximo (lo que significa caudal máximo a igualdad de otras variables) corresponde al valor de α que hace mínima la expresión:



Donde α = ángulo al centro medido en radianes (ϕ si el ángulo está en grados sexagesimales).

Figura 12: Sección circular trabajando parcialmente llena

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Radio_hidr%C3%A1ulico

La primera solución de esta ecuación (que es la que vale para obtener el ángulo y el calado buscados), obtenida por métodos numéricos es:

$$\alpha = 4,4934 \text{ rad}; \frac{\sin \alpha}{\alpha} = -0,2172$$

Por tanto el *radio hidráulico máximo* de una conducción circular es:

$$R_{max} = r * 0,6086$$

Con r = radio de la tubería.

Se recomienda la utilización de diámetros mayores o iguales a 300mm, verificando velocidades máximas de 5 m/seg, y mínimas de 0,75 m/seg, para evitar obstrucciones, depósitos de sedimentos y daños a la infraestructura. En la siguiente imagen pueden observarse secciones típicas de colectoras:

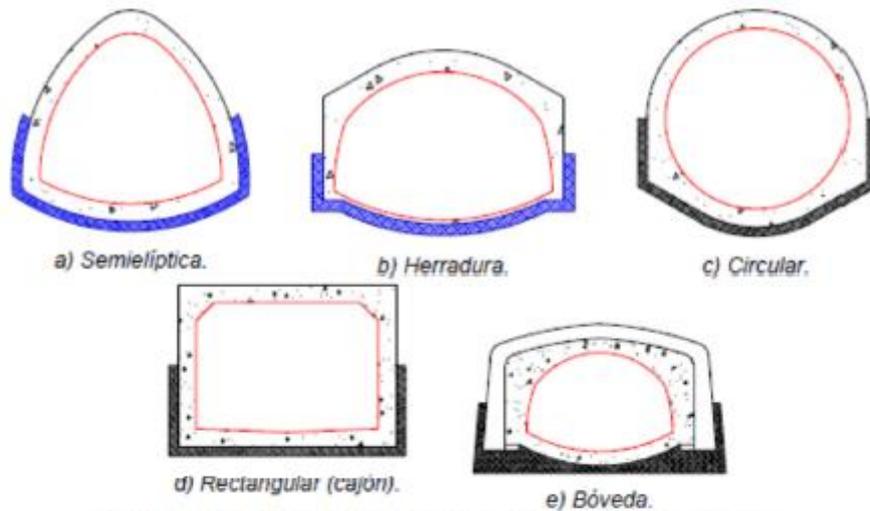


Figura 2.3 Secciones transversales de conductos cerrados

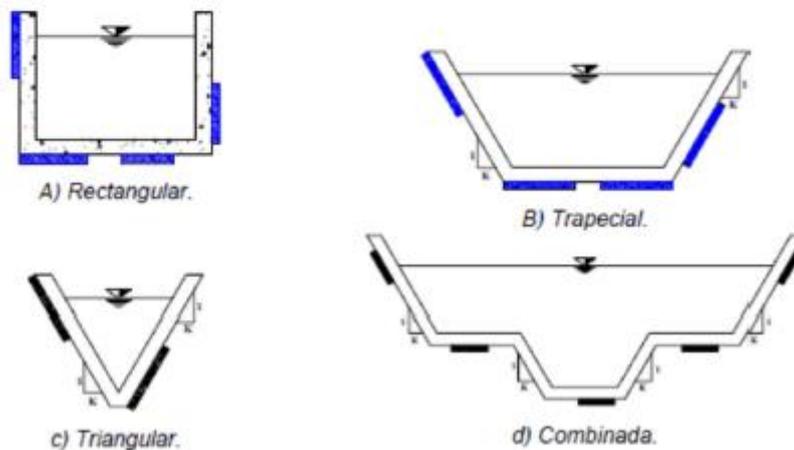


Figura 13: Secciones típicas de colectoras

Fuente: Clases de Ingeniería Sanitaria, FCEfyN

e. Cámaras de inspección

Se utilizan principalmente para tareas de mantenimiento y saneamiento de la red de drenaje urbano. Además se colocan en aquellos lugares que se debe realizar empalme de caños por cambios de pendiente o alineamiento. Debe destacarse además que los sumideros poseen una cámara de inspección para permitir tareas de limpieza y permitir la conexión mediante cañerías a las colectoras.

En la siguiente imagen se puede observar una sección típica de una cámara de inspección. Las dimensiones mínimas recomendadas son de 1,2m de lado interno, con paredes de 15 a 18 cm.

Su dimensionado depende principalmente de las dimensiones de las cañerías que llegan y salen de las mismas.

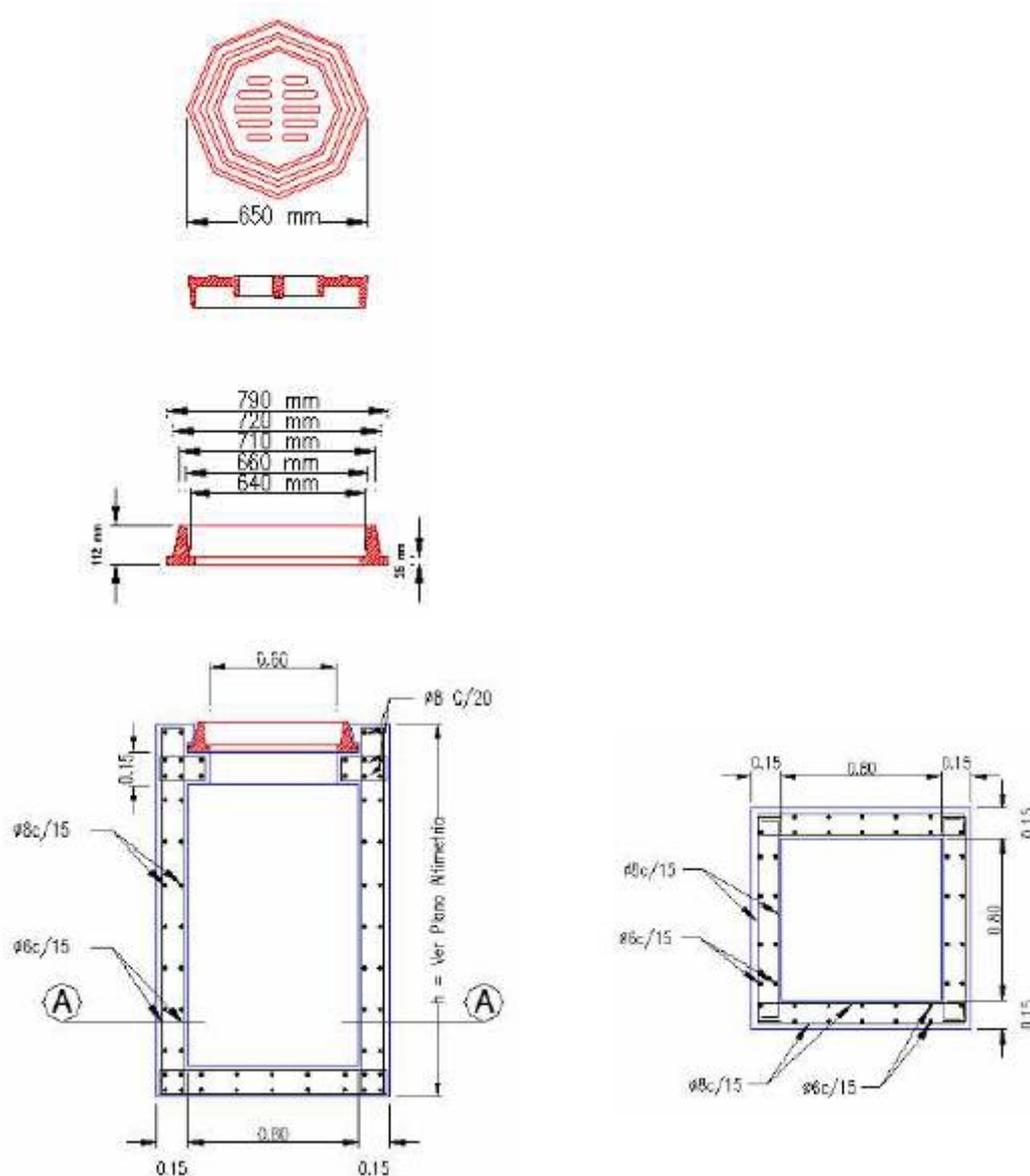


Figura 14: Secciones típica de cámara de inspección

Fuente: Clases de Diseño Vial Urbano, FCFyN

¹ INSTITUTO SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL TRANSPORTE (ISIT) de la FCFyN. “Informe final: Estudio de Tránsito Plaza España”. Convenio con Municipalidad de Córdoba. Octubre de 2016. Página 73.

² UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA. FCFyN. Apuntes de cátedra Diseño Vial Urbano de la Maestría de Ciencias de la Ingeniería, mención en Transporte. S/D

³ FATTORELLI, Sergio y otros. (2011). “Diseño Hidrológico”. Segunda edición. Zaragoza. Página 100.

⁴ RIHA, César. (2003). “Modelación Hidrológica de una cuenca de la Ciudad de Córdoba”. Tesina de Vialidad Urbana, metodología. Córdoba. Página 5.

⁵ STREETER, Victor y otros (1996). “Mecánica de los fluidos”. Octava edición. México, McGraw-Hill. Página 214.

3. Relevamiento de campo

Como se ha comentado en el capítulo anterior, el sistema de drenaje urbano está compuesto por dos subsistemas: el macro y el microdrenaje.

Para poder identificar y detallar estos subsistemas debe tenerse un amplio conocimiento no sólo de la obra proyectada, sino también del entorno donde está emplazada. Esto implica el uso de una herramienta fundamental para el desarrollo de cualquier obra de ingeniería como es el levantamiento topográfico y relevamiento de detalles. En esta etapa se incluye no sólo los datos sobre el terreno natural, sino también otros puntos de interés como líneas de agua y hechos existentes.

Para complementar este relevamiento se debe además recolectar otro tipo de información, como otros servicios y redes que puedan interferir en el proyecto en cuestión (red eléctrica, cloacas, red de gas, otras redes de drenaje existentes, etc.)

En éste capítulo se explicará el relevamiento de campo llevado a cabo para el caso de este proyecto, específicamente el necesario para diseñar la red de drenaje. Además, se expondrán mayores detalles respecto al alineamiento planimétrico y altimétrico del túnel.

1. Levantamiento topográfico

El *levantamiento topográfico* es la realización de un muestreo de puntos del terreno que sean representativos del relieve del terreno natural, es decir, la determinación de la posición respecto a un sistema de referencia de tres ejes ortogonales (x, y, cota en z) de aquellos puntos de importancia para el desarrollo de un proyecto.

El desarrollo científico y tecnológico de los últimos tiempos ha impactado fuertemente en los sistemas de captura y tratamiento de datos espaciales. En este sentido, la cartografía y los planos topográficos, que tradicionalmente consisten en representaciones en dos dimensiones en formato papel, pasaron a ser modelos digitales del terreno en tres dimensiones.

En los *Modelos Digitales de Terreno* (MDT) las relaciones de correspondencia con la realidad se establecen a través de vectores, coordenadas espaciales (X, Y, Z), ecuaciones, matrices y algoritmos matemáticos, que al estar codificados en cifras, permiten su manejo y archivo en computadoras.¹

El MDT es el resultado final, englobando el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), cuya variable principal es la cota, además de otras propiedades del terreno de importancia para el proyectista.

La captación de la información planialtimétrica constituye el paso inicial en el proceso de construcción del MDT y MDE, e incluye la fase de transformación de la realidad geográfica a la estructura digital de datos manipulables por medios informáticos. Sin dudas la calidad del

modelo dependerá del software utilizado, pero principalmente depende de la calidad y densidad de la captura de datos.

Para el caso del Proyecto Plaza España, el método utilizado para el relevamiento de datos fue el levantamiento topográfico terrestre. Esto se justifica por las características de la obra y su emplazamiento, por ser un proyecto muy costoso en una vía principal de la ciudad de Córdoba, ubicado en una zona altamente urbanizada. Todo esto implica que la observación en campo sea fundamental, por la gran cantidad de puntos de interés existentes.

A los fines de esta obra, se buscaban principalmente tres resultados del relevamiento topográfico: un plano de hechos existentes, una red de puntos fijos y un MDT. Estos tres trabajos completos permiten:

- Conocer en detalle el entorno de la obra.
- Evaluar alternativas de trazado con conocimiento del terreno.
- Obtener planimetrías y altimetrías completas del proyecto.
- Obtener perfiles transversales del desarrollo de la obra.
- Conocer el macrodrenaje del sector, mediante el conocimiento de las curvas de nivel que caracterizan el sector.
- Identificar líneas de agua de calles existentes, a fin de definir el microdrenaje.
- Identificar servicios que puedan resultar una interferencia para el proyecto.
- Permitir la georreferenciación del proyecto, atado a puntos fijos que faciliten el reconocimiento de puntos de interés para las tareas de construcción.
- Identificar puntos de control para el drenaje, etc.

El relevamiento de los puntos de interés se realizó con estación total, obteniendo como resultados lo que se observa en las siguientes imágenes:

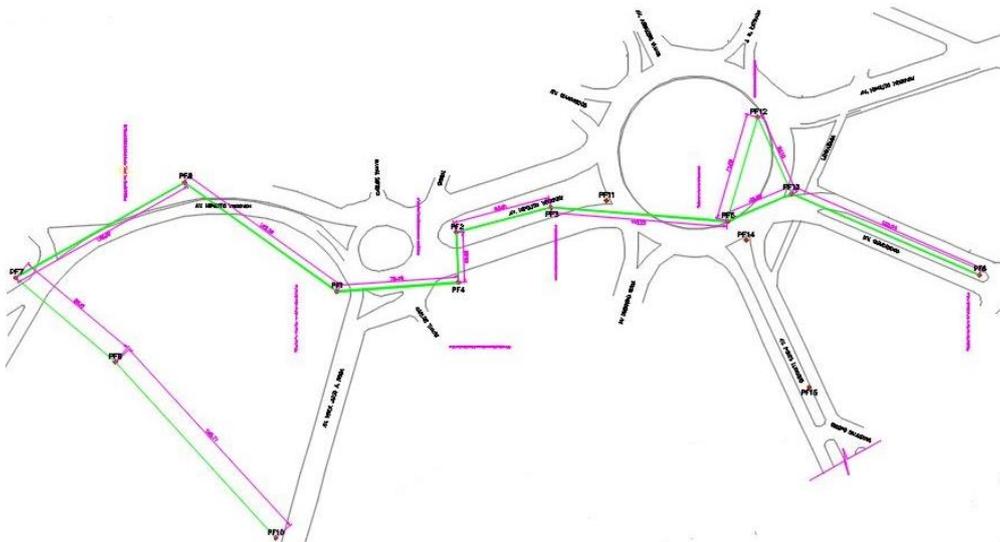


Figura 15: Red de puntos fijos
Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

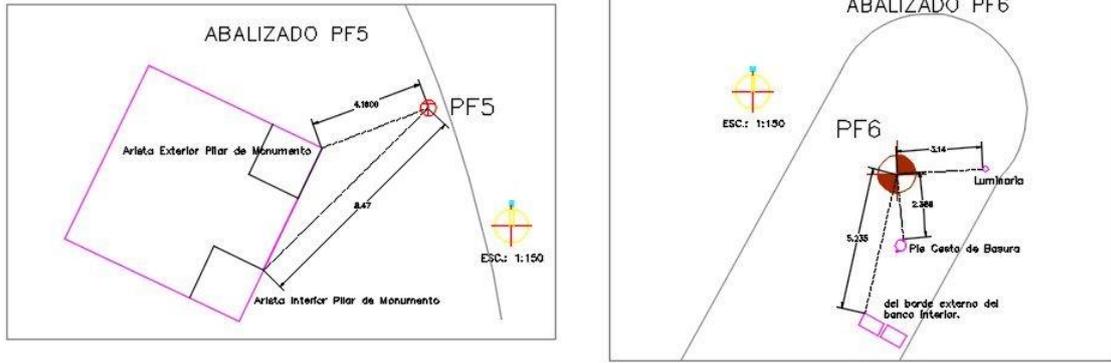


Figura 16: Abalizado de puntos fijos
Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

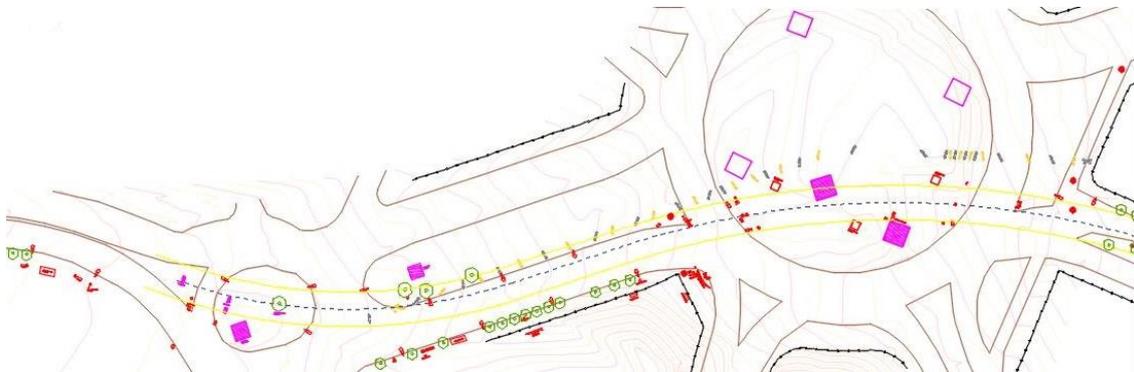


Figura 17: Estado actual de Plaza España y hechos existentes
Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

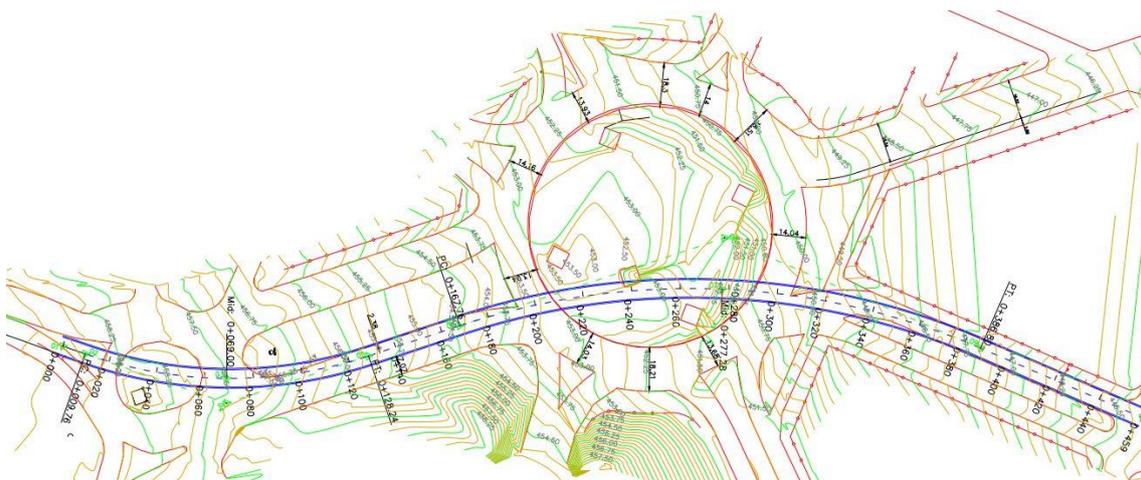


Figura 18: MDT y curvas de nivel
Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

Los resultados finales del relevamiento topográfico fueron múltiples y tienen diversas aplicaciones. Para el caso del diseño del sistema de drenaje se utilizó principalmente el plano de MDT y curvas de nivel, y el de hechos existentes, que se encuentran adjuntos en el anexo de este informe.

2. Proyecto vial

Como se ha mencionado en el marco teórico, el Proyecto Plaza España busca solucionar los problemas de congestión de tránsito en este sector tan importante de la Ciudad de Córdoba. La alternativa adoptada luego de un riguroso estudio de tránsito es la construcción de un túnel en el sentido Yrigoyen Sur-Chacabuco Norte, con dos carriles de circulación. Al ser la vía de mayor tránsito se espera que esta intersección a distinto nivel descongestione el resto de los accesos y la circulación general en la rotonda.

La definición del trazado definitivo de esta alternativa fue muy dificultoso. Esto se debe por un lado a las características del tránsito, no sólo por el gran caudal de vehículos, sino también porque muchas líneas de transporte público circulan por esta vía. Por otro lado, y como condicionante fundamental, debe mencionarse que el lugar donde se emplaza la obra es altamente urbanizado, siendo Nueva Córdoba un barrio consolidado de la ciudad y el sector específico de Plaza España centro de lugares importantes para la vida urbana, como museos y edificios públicos.

Un punto de control importante para la definición del trazado es el patrimonio cultural y arquitectónico que representa la Plaza España, por lo que debe preservarse todo lo posible su estructura y elementos distintivos.



Figura 19: Vista de Plaza España

Fuente: <http://www.miquelangelroca.com.ar/plaza-espaa?lightbox=image16ea>

Sin dudas que para lograr este objetivo el alineamiento debió basarse en el relevamiento topográfico explicado en el punto anterior. Sumado al estudio de tránsito a fin de evaluar las mejores alternativas para el transporte público, se llegó a un trazado que sigue los siguientes puntos generales:

- La rampa sur del túnel ingresa al bajo nivel por el lado izquierdo de la Avenida Yrigoyen Sur, atravesando la rotonda de Crisol.
- El bajo nivel cruza la calle Crisol y atraviesa la Plaza España por el este de la misma. Se recalca la importancia de cuidar la afectación del patrimonio cultural en el sector.
- La salida del túnel se produce por el lado izquierdo de Bulevar Chacabuco, ocupando la totalidad de la calzada. Esto cierra el acceso a calle Derqui Oeste, que se transforma en una “calle de uso vial restringido”, posiblemente con un pavimento especial.
- En el sector del puente peatonal ubicado en el ingreso a la rotonda por Yrigoyen Sur deberá colocarse un control de gálibo para los vehículos que ingresen al túnel.
- Se materializará una dársena de colectivos al sur del puente peatonal. El espacio de esta dársena es del orden de 60 metros, por 3 metros de ancho.

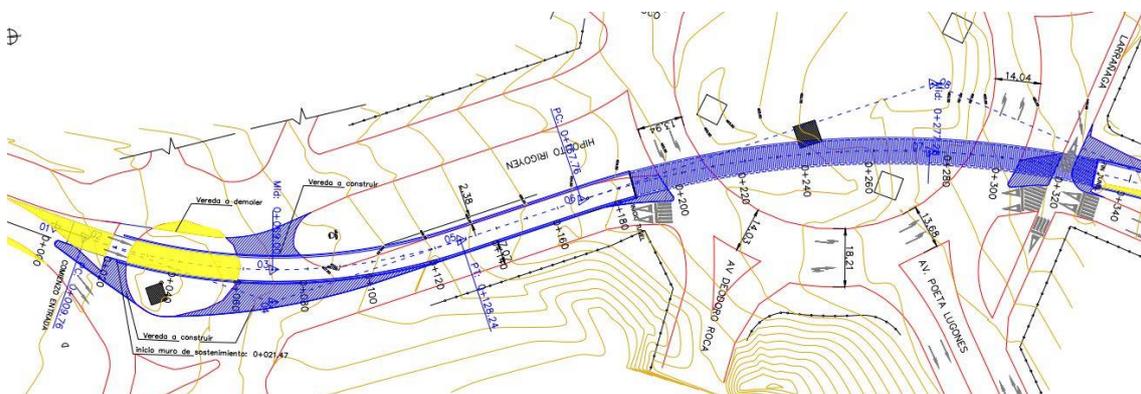


Figura 20: Planimetría PPE

Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

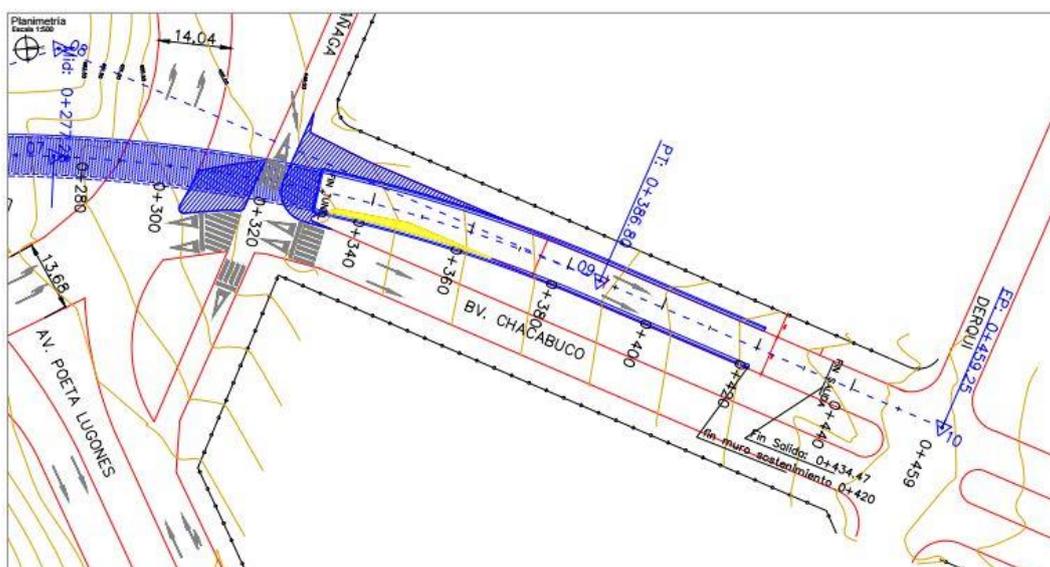


Figura 21: Planimetría PPE

Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

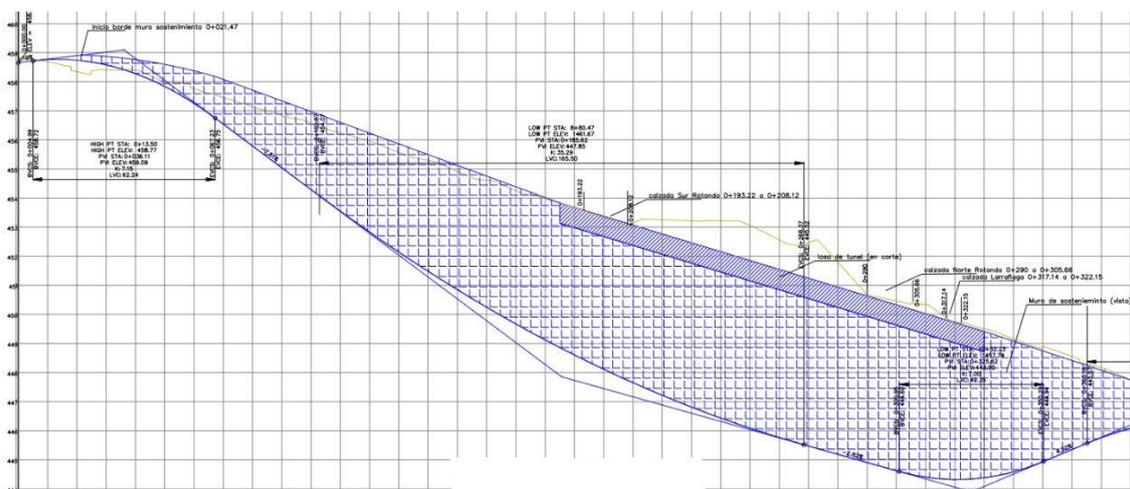


Figura 22: Altimetría PPE

Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

Por el importante uso que tuvieron estos planos para el proyecto se incluyen adjuntos en el anexo al final de este informe.

Otra información importante obtenida del proyecto vial son las secciones transversales en cada progresiva de la traza. Son importantes para conocer características como cunetas, espacio disponible para obras de arte, área del túnel afectada por la precipitación, etc.

Como ejemplo en la siguiente imagen puede observarse el perfil transversal en el punto más bajo del túnel, correspondiente a la progresiva 0+320. Se adjunta plano de sección transversal típica en los anexos de este informe.

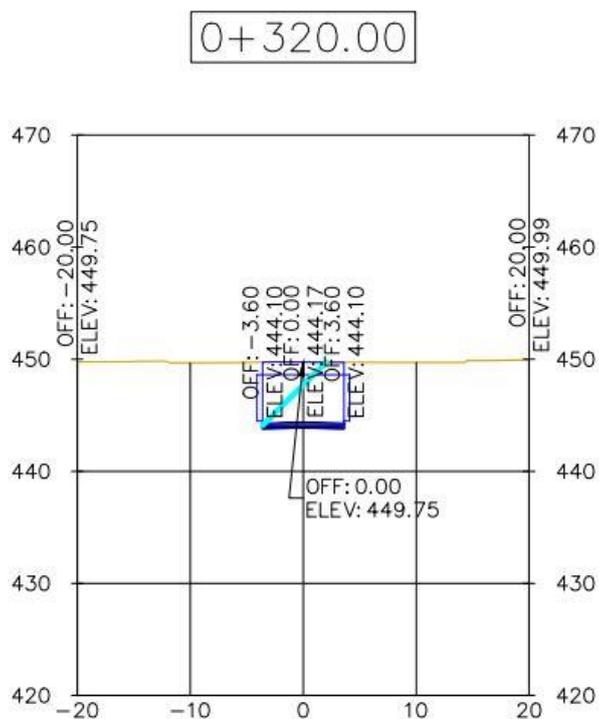


Figura 23: Perfil transversal progresiva 0+320

Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

3. Relevamiento de campo aplicado al diseño del sistema de drenaje

De los datos obtenidos de lo explicado en los dos puntos anteriores, pudo definirse el macro y microdrenaje intrínseco en el sector.

Respecto al macrodrenaje puede observarse que la pendiente general del sector es hacia el norte, especialmente hacia la Avenida Yrigoyen Norte y el Bulevar Chacabuco Norte. Siguiendo Yrigoyen Sur, que es la calle que afecta la construcción del túnel, al comienzo del trazado las aguas bajan hacia el norte e ingresan al parque Sarmiento que se encuentra a la derecha. Una vez que pasa la rotonda que se observa en la siguiente imagen, los escurrimientos se concentran en la mano derecha de Yrigoyen Sur y hacia el norte.

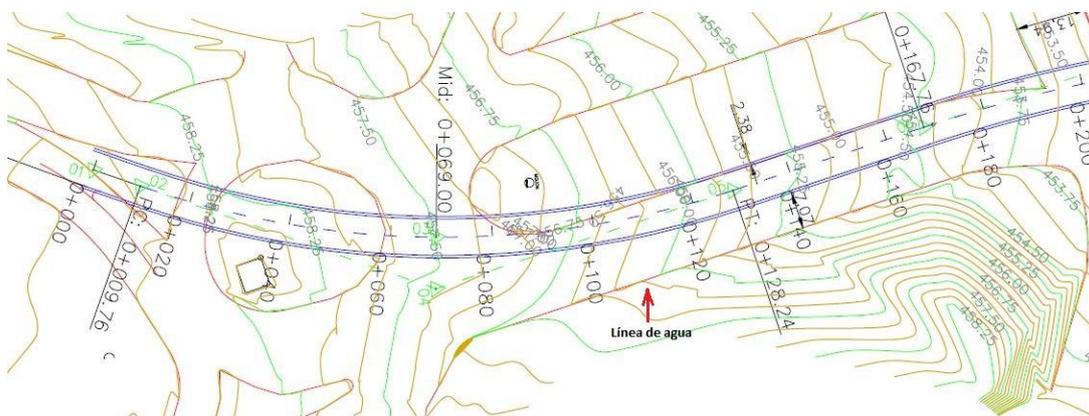


Figura 24: Macrodrainaje en el ingreso al túnel

Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

Al ingresar a Plaza España, la línea de agua se ubica en el borde interno de la calzada que rodea la rotonda, observando que los escurrimientos que provienen del parque Sarmiento (en la parte inferior de la imagen), se dirigen hacia la plaza:

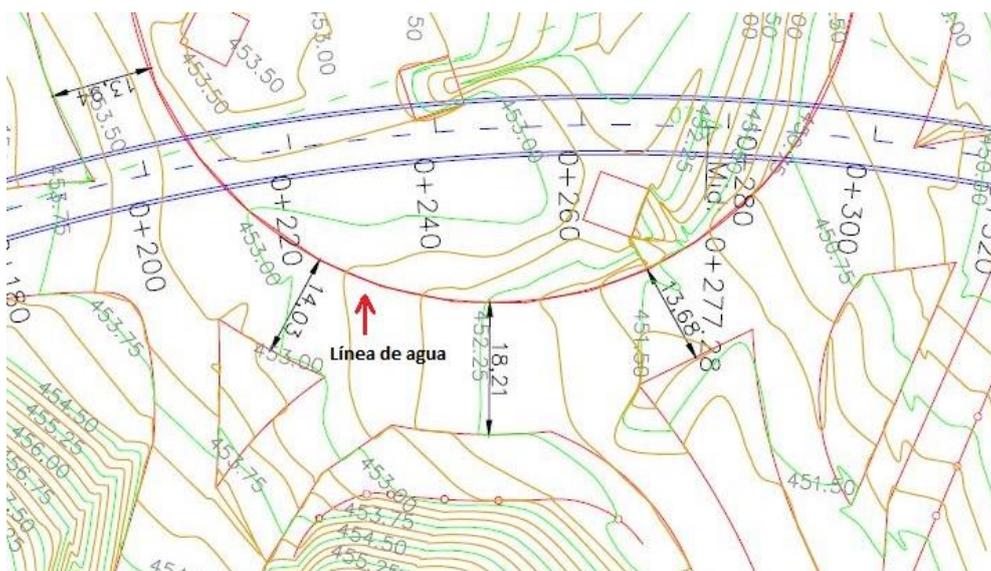


Figura 25: Macrodrainaje en la rotonda de Plaza España

Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

Atravesada la plaza, los escurrimientos en la mano izquierda de Chacabuco Norte se ubican en el margen izquierda de la calzada, bajando también hacia el norte:

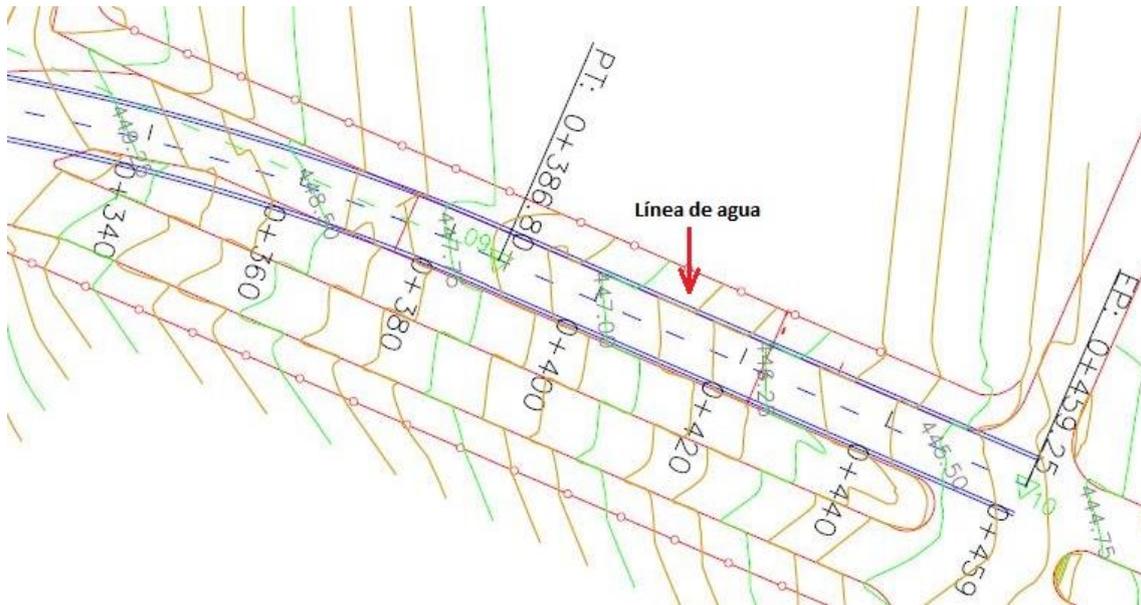


Figura 26: Macrodrenaje en la salida del túnel
Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

De la observación general de las curvas de nivel en el lugar de emplazamiento de la obra, se puede apreciar que la rotonda de Plaza España concentra los escurrimientos de varias calles alrededor de ella. Para evitar que el túnel, al resultar el punto más bajo del sector, concentre todos estos escurrimientos se buscará aislar esta macrocuenca que aporta a la zona de la rotonda. Para hacerlo efectivo se resolvió materializar curvas verticales tanto al ingreso como a la salida del túnel, para así lograr mantener los escurrimientos proveniente de calles y lugares aledaños en superficie, impidiendo su ingreso al túnel.

Esto permite considerar, a los fines del diseño del sistema de drenaje del túnel, solo el caudal proveniente de la precipitación sobre el área específica que ocupa el túnel. Al constituirse por dos trincheras, una de ingreso y otra de salida, con un sector intermedio que se encontrará techado, el área de interés para calcular el caudal de diseño será el de las dos trincheras.

En las siguientes imágenes pueden observarse las características de las curvas verticales mencionadas:

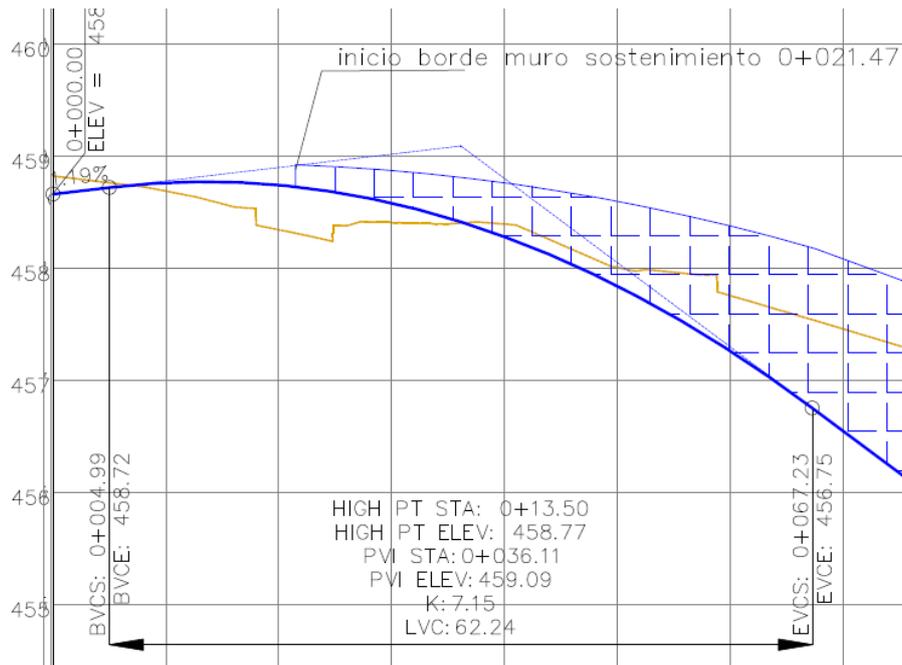


Figura 27: Curva vertical de ingreso al túnel
Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

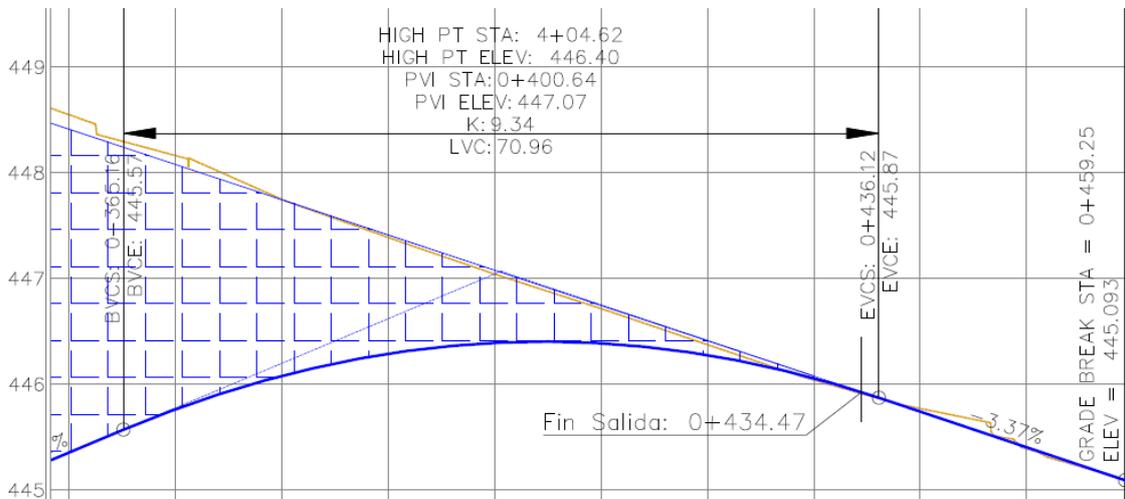


Figura 28: Curva vertical en la salida del túnel
Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

¹ BERARDO, María Graciela y otros (2015). "Manual de Diseño Geométrico Vial". Primera edición. Córdoba, Editorial Brujas. Página 84.

4. Procesamiento de datos

En este capítulo se desarrollará el trabajo realizado sobre el diseño y cálculo del sistema de drenaje completo, desde el análisis de las diversas alternativas posibles hasta el cómputo métrico del sistema diseñado, verificando cada uno de sus elementos componentes.

Lo que se expone a continuación tiene como base todo lo explicado en capítulos anteriores, teniendo en cuenta el marco teórico para la adopción de criterios y el relevamiento de campo para los detalles del diseño.

1. Análisis de alternativas

Teniendo en cuenta el componente topográfico o macrodrenaje del terreno existente, el microdrenaje definido por las componentes viales y el trazado planialtimétrico de la obra en cuestión, se define como punto de desagüe aquel correspondiente a la cota más baja dentro del túnel. Este punto coincide con el punto más bajo de la curva vertical correspondiente a la progresiva 0+320, con una cota de rasante 444,318.

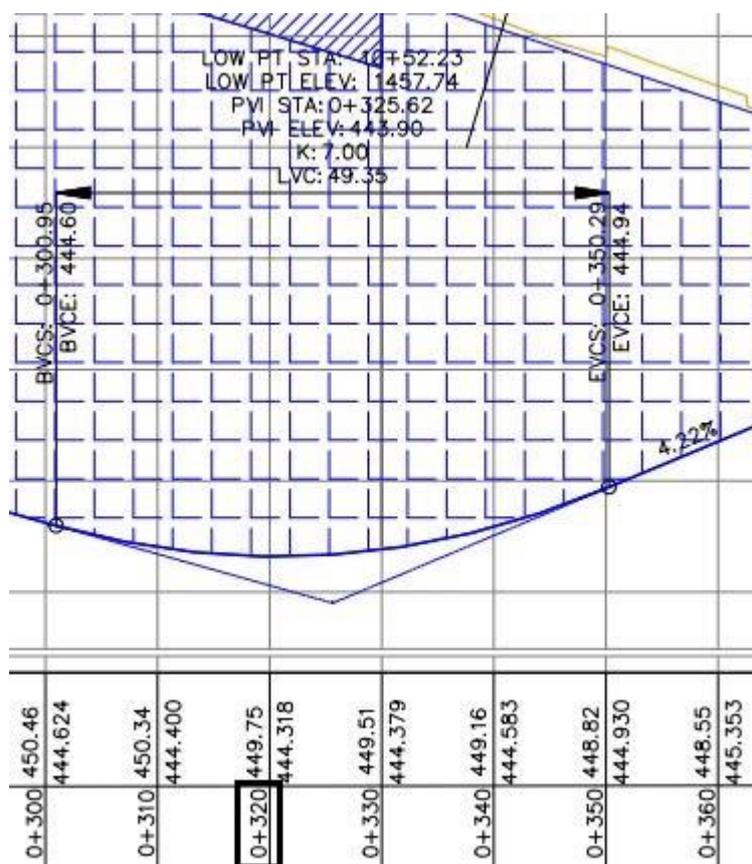


Figura 29: Punto de desagüe, detalle curva vertical

Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

Considerando el lugar de emplazamiento de la obra se plantean tres opciones posibles para el punto de descarga del sistema:

- 1) Descarga por Av. Hipólito Yrigoyen hasta cámara ubicada en cercanías al Paseo del Buen Pastor (sobre calle Buenos Aires).
- 2) Descarga por Av. Poeta Lugones.
- 3) Extraer el caudal de agua que ingresa al túnel mediante bombeo hasta el nivel de superficie. Ésta opción fue descartada en primera instancia debido a la dificultad que supone el mantenimiento del sistema de bombeo.

La captación de las aguas dentro del túnel se realizará mediante dos sumideros tipo SV2, ubicados a cada lado de la calzada, conectados entre sí al conducto de desagüe de 800mm de diámetro mediante una cámara ubicada a la izquierda de la calzada. Esto corresponde a la propuesta existente en el anteproyecto realizado por la Municipalidad de Córdoba.

La opción de descarga por Av. Yrigoyen consiste en un conducto paralelo a calle Larrañaga conectando la cámara de los sumideros a otra cámara en la intersección de Larrañaga con Av. Yrigoyen. Allí se desprende otro conducto paralelo esta vía, con su eje en coincidencia con el eje de la bicisenda que se encuentra a mano izquierda. En un principio el conducto de desagüe tiene una pendiente de 0,3%, hasta la progresiva 0+160 donde cambia para adecuarse a la pendiente natural del terreno; por este motivo puede apreciarse que no tendrá grandes volúmenes de excavación. Esta opción para la descarga tiene una longitud total de 380 metros.

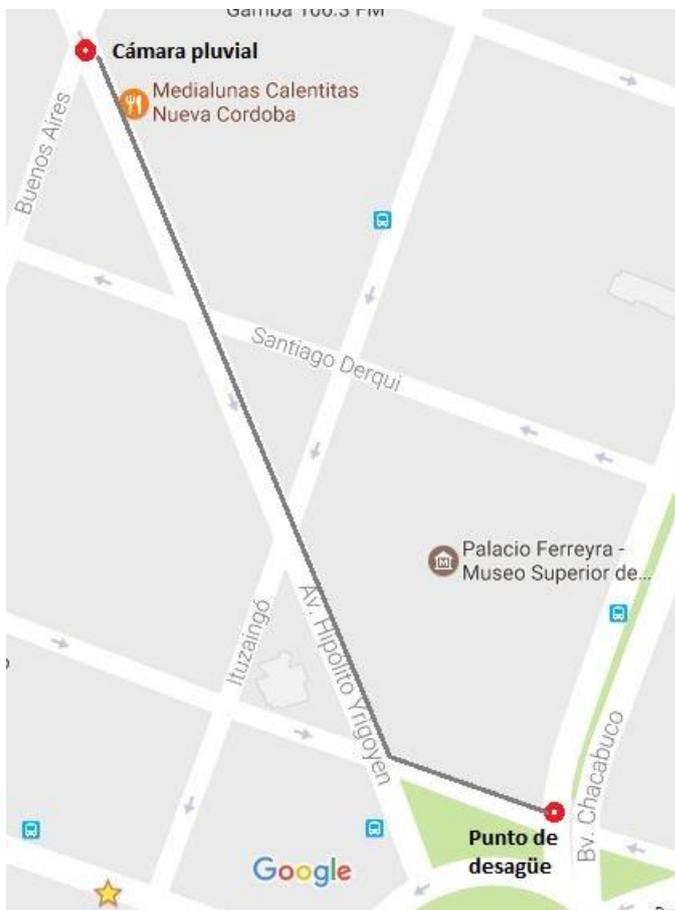


Figura 30: Alternativa 1 de drenaje
Fuente: Google Maps

En la segunda opción, dado que el terreno en superficie asciende hasta Av. Lugones, el conducto va en contrapendiente, lo que incrementa la profundidad de excavación hasta 8 metros por una longitud de aproximadamente 250 metros. Posterior a este tramo la pendiente aumenta significativamente, lo que hace disminuir la profundidad de excavación. La longitud total del conducto es de aproximadamente 614 metros hasta el cuenco de salida del desagüe interno del parque Sarmiento, que es el punto de descarga.



Figura 31: Alternativa 2 de drenaje

Fuente: Google Maps

Con estos datos y un trazado tentativo de ambas opciones se realizó un cómputo a fines de poder compararlas cuantitativamente, considerando los siguientes ítems:

- Rotura de pavimento existente
- Excavación
- Provisión y colocación de conducto
- Relleno y compactación
- Reposición de pavimento
- Hormigón armado de cámaras y conducto bajo calzada

Los resultados obtenidos para ambas opciones son:

Desagüe Alternativa por Hipólito Yrigoyen

Ítem	Designación	Unidad	Cantidad
I	Rotura de Pavimento Existente	m2	988
II	Excavación	m3	3198
III	Provisión y colocación de Conducto	ml	380
IV	Relleno y Compactación	m3	3198
V	Reposición de pavimento	m2	988
VI	Hº Aº de Cámaras y Conducto bajo calzada	m3	16,81

Tabla 8: Cómputo métrico alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia

Desagüe por Alternativa Poeta Lugones

Ítem	Designación	Unidad	Cantidad
I	Rotura de Pavimento Existente	m2	1593,8
II	Excavación	m3	12040,6
III	Provisión y colocación de Conducto	ml	613,96
IV	Relleno y Compactación	m3	12040,6
V	Reposición de pavimento y/o solado	m2	1593,8
VI	Hº Aº de Cámaras y Conducto bajo calzada	m3	39,86

Tabla 9: Cómputo métrico alternativa 2.

Fuente: Elaboración propia

A simple vista puede apreciarse que la opción más económica es la alternativa de descarga por Av. Yrigoyen, principalmente porque los volúmenes en los ítems "excavación" y "relleno y compactación" son mucho menores que los obtenidos para la segunda opción. Además de una cuestión económica, el movimiento de grandes volúmenes de suelo plantea un problema operativo y de almacenamiento, al encontrarse la obra emplazada en una zona urbana de gran tránsito.

Por estos motivos se resuelve que la mejor alternativa como punto de descarga para el sistema de drenaje es la cámara ubicada en la intersección de calle Buenos Aires y Av. Yrigoyen, disponiendo dos tramos de conducto (sobre calle Larrañaga y sobre Av. Yrigoyen) con una cámara intermedia para la conexión de ambos conductos y para la realización de tareas de mantenimiento.

2. Determinación de la lluvia de diseño

a. Período de retorno

Debido a la importancia que tiene la obra para la circulación de la ciudad de Córdoba, teniendo en cuenta la gran cantidad de vehículos que circularán por la misma y las características especiales que posee, deberán adoptarse tiempos de recurrencia mayores que los propuestos por la Municipalidad de Córdoba, explicados en el capítulo 2, inciso 2 sub. c, en la página 7 de este informe.

Se adopta este criterio a fin de conseguir un mejor resguardo frente a eventos de tamaño considerable. Por este motivo se realiza la evaluación de la tormenta de diseño para períodos de recurrencia de 50 y 100 años.

b. Aplicación del modelo DIT

Se utiliza el modelo propuesto por Caamaño Nelli y García (1999) para estimar la relación i-d-T entre intensidad (i) de lluvia, su duración (d) y el período de retorno (T) a partir de series pluviográficas con distribución Log-normal, desarrollado oportunamente en el capítulo 2, inciso 3 sub. b, en la página 12 de este informe.

Al tratarse del caso de la ciudad de Córdoba que cuenta con un pluviógrafo (Córdoba Observatorio), no deberá realizarse la transposición para estaciones pluviométricas, utilizando como datos para la aplicación del método:

- $\mu=4,2476$
- $\sigma=0,3439$
- $A=0,370$
- $B=0,1591$
- $C=5,1932$

Utilizando la formulación dada por el modelo DIT para pluviógrafo se obtienen los siguientes resultados:

TR	50
ϕ	2,057851116

Duración [mins]	δ	$\ln i$	i [mm/hs]
5	2,210329631	5,53503238	253,4
10	4,015067164	5,24789864	190,2
15	5,261317593	5,04962020	156,0
30	7,692244149	4,66285978	105,9
60	10,47869775	4,21953501	68,0
120	13,59920112	3,72306293	41,4
180	15,57248268	3,40911383	30,2
360	19,18874431	2,83376661	17,0
720	23,10082279	2,21135492	9,1

Tabla 10: Cálculo de intensidad de precipitación para TR=50 años.

Fuente: Elaboración propia

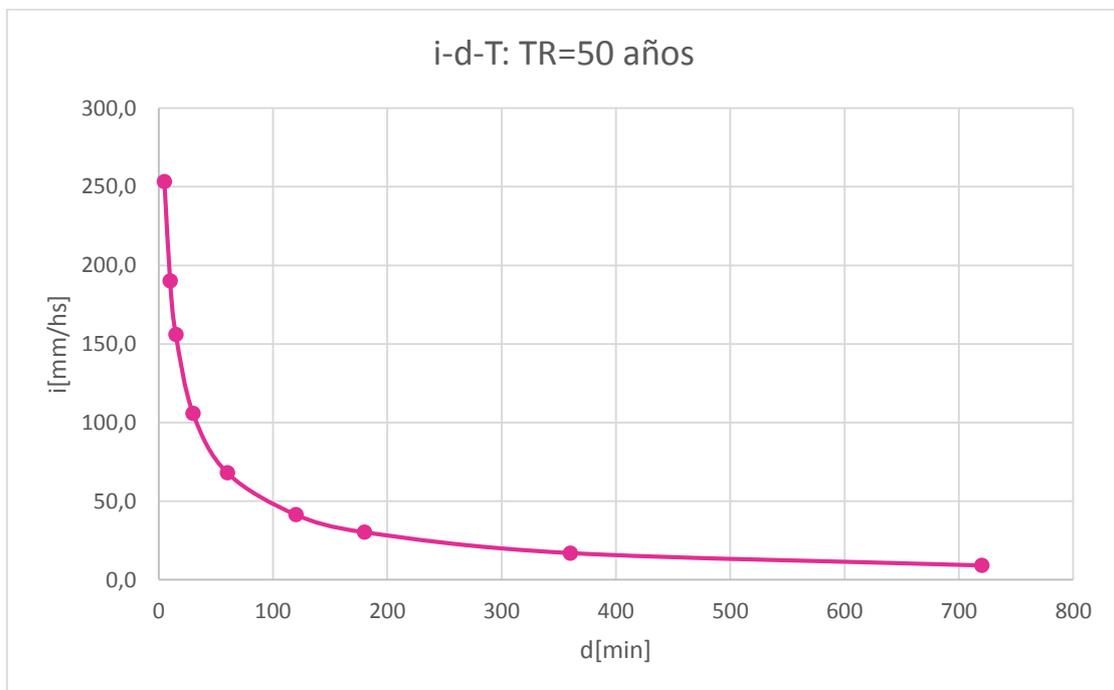


Figura 32: Curva i-d-T para TR=50 años

Fuente: Elaboración propia

TR	100
ϕ	2,329759621

Duración [mins]	δ	$\ln i$	i [mm/hs]
5	2,210329631	5,62666555	277,7
10	4,015067164	5,33953181	208,4
15	5,261317593	5,14125336	170,9
30	7,692244149	4,75449295	116,1
60	10,47869775	4,31116818	74,5
120	13,59920112	3,81469609	45,4
180	15,57248268	3,50074700	33,1
360	19,18874431	2,92539977	18,6
720	23,10082279	2,30298809	10,0

Tabla 11: Cálculo de intensidad de precipitación para TR=100 años.

Fuente: Elaboración propia

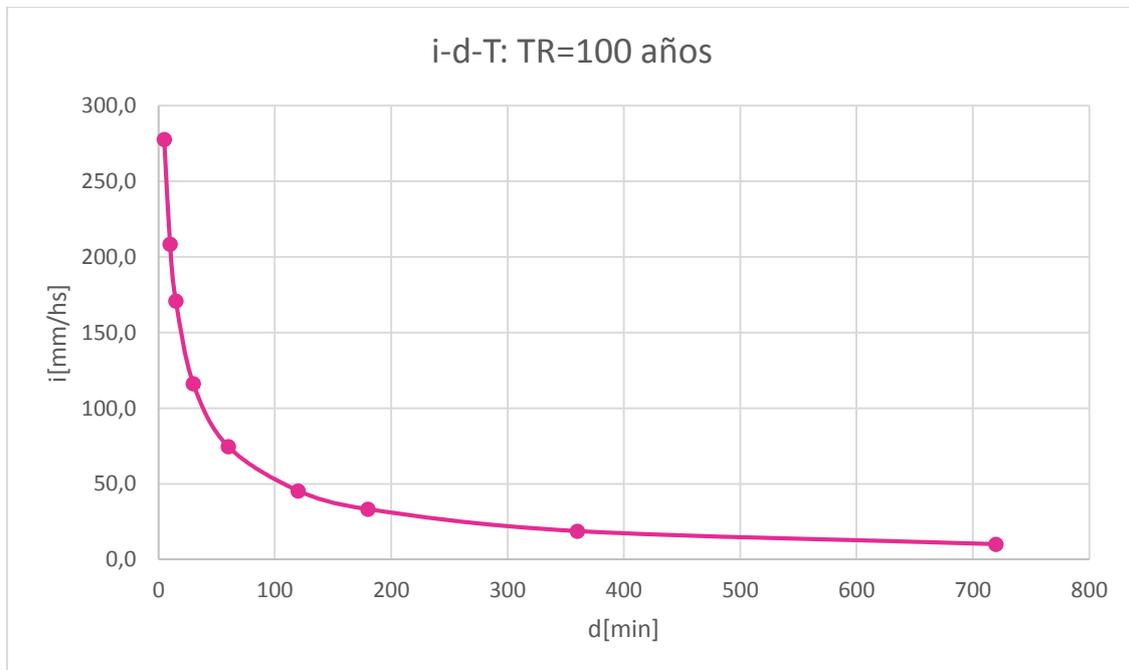


Figura 33: Curva i-d-T para TR=100 años

Fuente: Elaboración propia

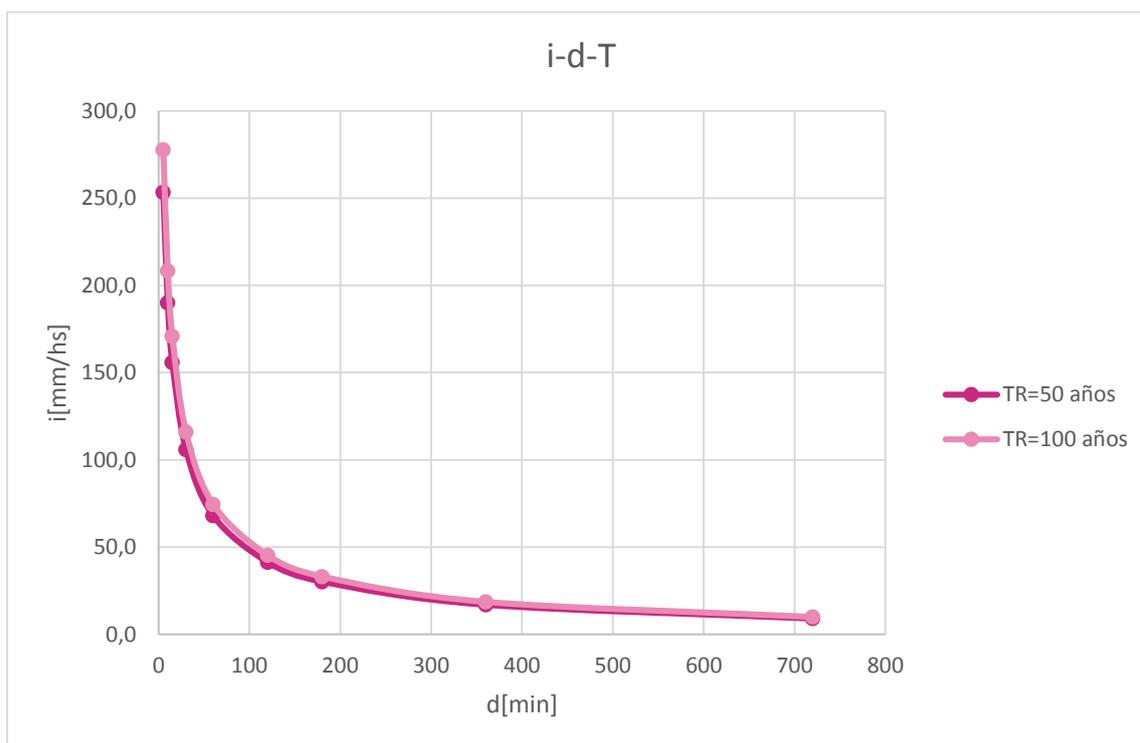


Figura 34: Comparativa de curvas i-d-T para el modelo DIT

Fuente: Elaboración propia

En los estudios realizados por el CRSA (1994) se establecieron distintas características en las precipitaciones de la Zona Sierras y Centro a partir del análisis de los eventos registrados en las estaciones pluviográficas de La Suela y Córdoba Observatorio respectivamente. De las conclusiones de dicho estudio se desprende que las duraciones de tormentas más frecuentes superan 1 hora, ubicándose la mayor cantidad de eventos entre las 3 y 6 horas.

Por este motivo se tomarán tormentas de duración 2, 3 y 6 horas, evaluando posteriormente cual situación es la más desfavorable.

TR[Años]	Duración[hs]	i[mm/hs]	P[mm]
50	2	41,4	82,8
	3	30,2	90,7
	6	17,0	102,1
100	2	45,4	90,7
	3	33,1	99,4
	6	18,6	111,9

Tabla 12: Cálculo de lámina máxima para distintos TR y d.

Fuente: Elaboración propia

c. Aplicación de las curvas IDF de la Ciudad de Córdoba

Siguiendo recomendaciones del personal de desagües de la Municipalidad de Córdoba, se utilizaron las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) obtenidas para la Ciudad de Córdoba, cuya determinación parte de un trabajo realizado por el C.I.H.R.S.A. y DI.P.A.S. en Junio de 1994. Este trabajo se desarrolló sobre la base de datos pluviográficos que cuenta la estación del servicio meteorológico nacional en el Observatorio Meteorológico de la Ciudad de Córdoba, y fue explicado en el capítulo 2, inciso 3 sub. a, de la página 11 de este informe.

Tomando valores de intensidad para períodos de recurrencia de 50 y 100 años, se calcularon las láminas máximas para tormentas de diseño de distinta duración, incorporando d=10 minutos por recomendación de la especialista en desagües de la Municipalidad de Córdoba.

TR[Años]	Duración[hs]	i[mm/hs]	P[mm]
50	0,17	185	30,8
	2	39,3	78,6
	3	28,5	85,5
	6	15,5	93,0
100	0,17	203,7	34,0
	2	43	86,0
	3	31,2	93,6
	6	16,8	100,8

Tabla 13: Cálculo de lámina máxima según curvas IDF Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

d. Comparativa entre modelos utilizados

Si se traza una comparativa entre las IDF de la Ciudad de Córdoba del punto anterior y las obtenidas con el modelo DIT, puede observarse que los valores de lámina máxima difieren muy poco, especialmente para una tormenta de diseño de duración 10 minutos, que será la utilizada para diseñar el desagüe del túnel:

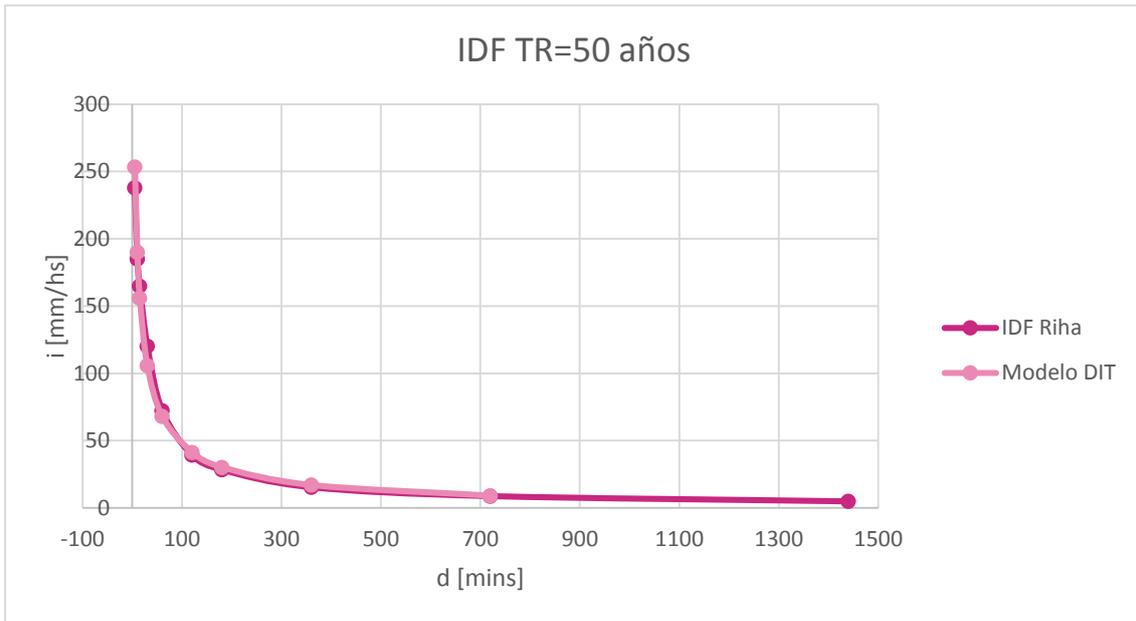


Figura 35: Comparativa curvas IDF para los dos modelos usados. TR=50 años
Fuente: Elaboración propia

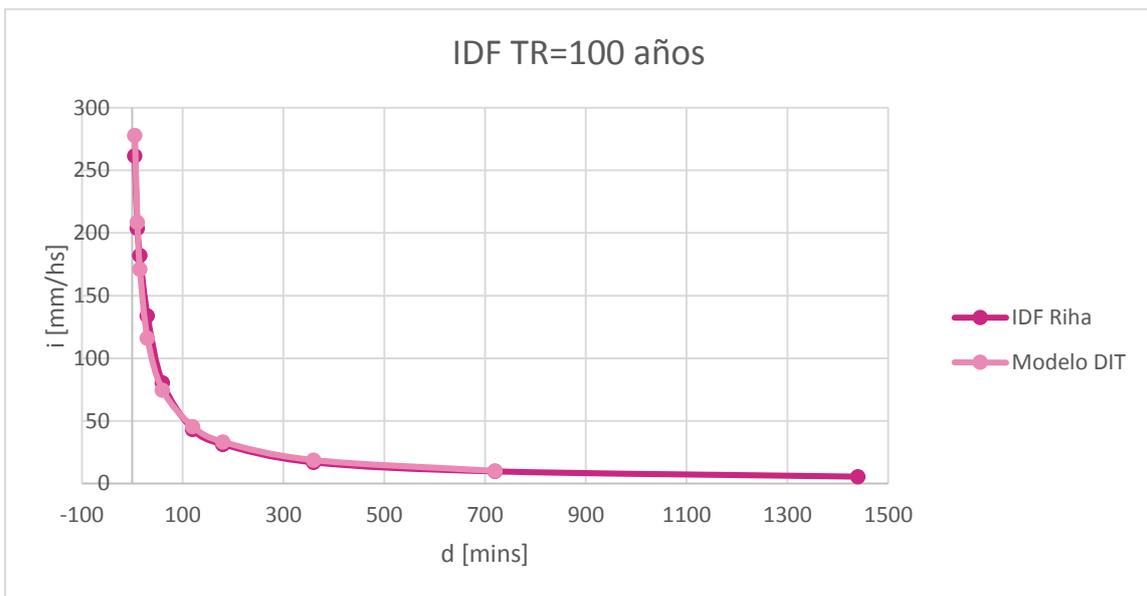


Figura 36: Comparativa curvas IDF para los dos modelos usados. TR=100 años
Fuente: Elaboración propia

TR[Años]	Duración[hs]	i[mm/hs] IDF	P[mm] IDF	i[mm/hs] DIT	P[mm] DIT	Dif. P [mm]
50	0,17	185	30,83	190,17	31,69	-0,86
	2	39,3	78,60	41,39	82,78	-4,18
	3	28,5	85,50	30,24	90,72	-5,22
	6	15,5	93,00	17,01	102,06	-9,06
100	0,17	203,7	33,95	208,42	34,74	-0,79
	2	43	86,00	45,36	90,73	-4,73
	3	31,2	93,60	33,14	99,42	-5,82
	6	16,8	100,80	18,64	111,85	-11,05

Tabla 14: Diferencia de P[mm] para los dos modelos utilizados.

Fuente: Elaboración propia

3. Cálculo de la superficie afectada por la precipitación

Tal como se trató en el capítulo 3, inciso 3, una vez evaluado el macrodrenaje en Plaza España y alrededores, se definió el trazado de curvas verticales al ingreso y a la salida del túnel a fin de aislar la macrocuenca que escurre sus aguas hacia la rotonda.

Por ello la superficie considerada como afectada por la lámina de precipitación será solamente la de las trincheras de ingreso y egreso al túnel, que puede observarse en las siguientes imágenes:

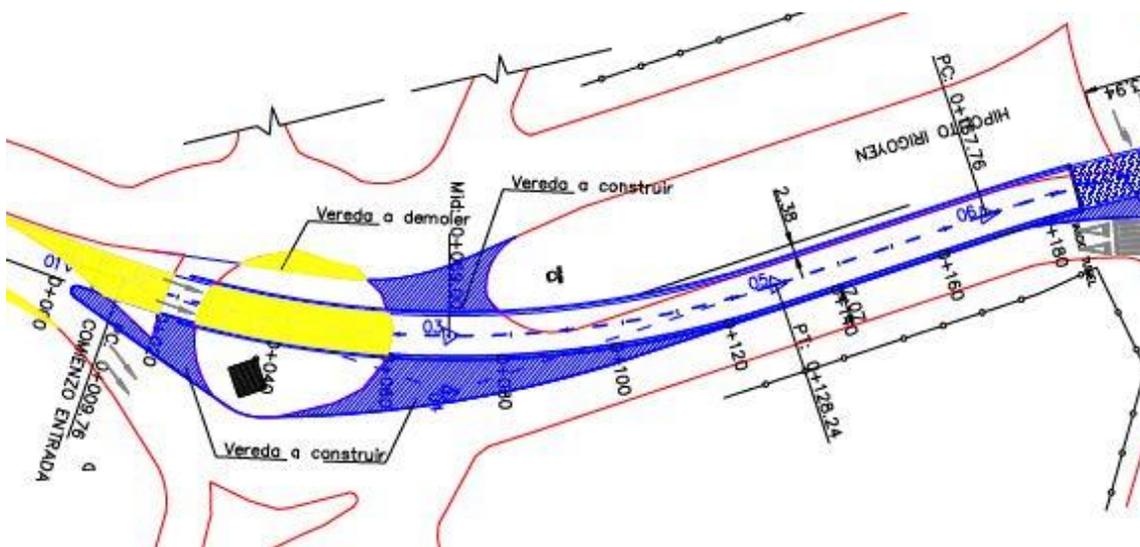


Figura 37: Planimetría trinchera de ingreso al túnel

Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

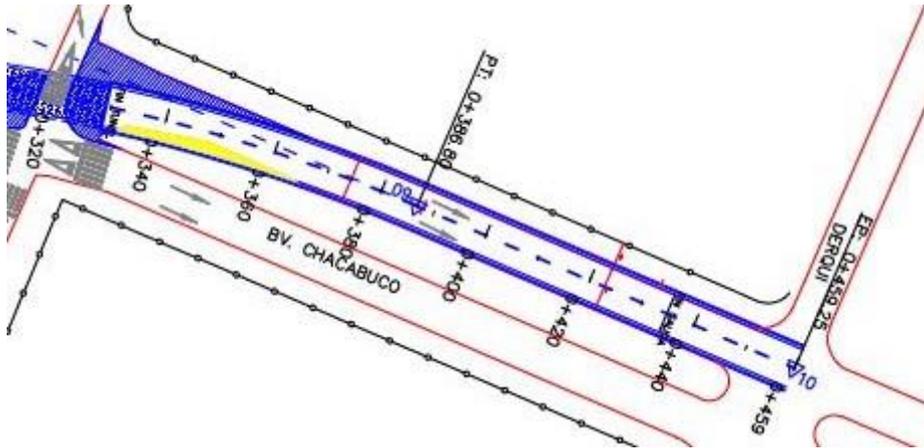


Figura 38: Planimetría trinchera de egreso del túnel

Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

Entonces, el sector que aportará lluvia al interior de esta estructura y que el sistema de desagüe deberá evacuar estará comprendida por:

- Rama de ingreso:

Comprendida entre las progresivas (P0+055 hasta P0+130) con una longitud de 75 m.

- Rama de egreso:

Comprendida entre las progresivas (P0+275 hasta P0+447) con una longitud de 172 m.

Con lo cual tendremos $75 \text{ m} + 172 \text{ m} = 247 \text{ m}$. A los fines del cálculo adoptaremos 250 m. Así siendo el ancho de la vía de 8,20 m, obtenida de los planos de perfiles transversales del proyecto vial, se tendrá una superficie de aporte de 2050 m^2 .

4. Cálculo del caudal de diseño

Considerando una intensidad máxima de 203,7mm/hs (tabla 13, página 45), obtenida para una tormenta de diseño de duración 10 minutos con un período de retorno de 100 años, se realiza el cálculo del caudal que debe evacuarse del túnel.

$$Q = 0,2037 \frac{\text{m}}{\text{hs}} * 2050\text{m}^2 = 417,6 \frac{\text{m}^3}{\text{hs}} = 0,12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cong 116 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

5. Verificación de los elementos componentes del drenaje

a. Caño de desagüe

Se considera utilizar un conducto de 800mm, funcionando a sección parcialmente llena. Para considerar el conducto con la máxima eficiencia hidráulica tal como fue explicado en el capítulo 2, inciso 4 sub. b, de la página 24 de este informe, se adoptan las siguientes características de la sección:

- D=800 mm=0,8 m
- $\Theta=4,4934 \text{ rad}=257,45^\circ$
- S=0,003m/m
- n=0,012

Por Manning¹:

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Con:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\frac{r^2}{2}(\alpha - \sin\alpha)}{\alpha * r} = 0,24$$

$$\Rightarrow V = \frac{0,24^{2/3} * 0,003^{1/2}}{0,012} = 1,78m/seg$$

$$Q = V * A = V * \alpha * r = 3,2m^3/seg$$

Debido a que el caudal a transportar obtenido de la tormenta de diseño adoptada es mucho menor que la capacidad del conducto podemos concluir que es correcta la utilización del conducto propuesto.

Este conducto a pesar de ser de una capacidad de conducción mucho mayor de lo que se estimó como caudal a desaguar se empleará debido a que con este diámetro es posible inspeccionarlo y mantenerlo en forma adecuada.

b. Bocas de tormenta

Como medio de captación del agua de lluvia circulante por cordón cuneta, se consideran bocas de tormenta de tipo ventana en cordón². Estas se ubicarán en el punto más bajo del túnel, posición en la cual aumenta su eficiencia. Se prescinde del empleo de llamadas para no afectar el confort de marcha del usuario.

La capacidad de estas bocas de tormenta es función de la pendiente transversal, de la pendiente longitudinal, de la rugosidad de la calzada y de la rapidez que tenga el agua que fluye por la cuneta para cambiar de dirección e ingresar a la boca de tormenta.

Se verificarán los sumideros como vertedero y no como orificio, debido a que este último funcionamiento supone que la cuneta está colmada de agua, condición que no se espera que suceda dentro del túnel. Además el sumidero funcionando como orificio es más eficiente que funcionando como vertedero, y lo que se busca es evaluar la condición más desfavorable.

Empleando la siguiente formula se tiene que:

$$\frac{Q(\frac{m^3}{s})}{L(m)} = 1,707 * h^{\frac{3}{2}} ; h = 0,20m$$

$$\frac{Q(\frac{m^3}{s})}{L(m)} = 0,153 \approx 0,15$$

Siendo:

- y= altura máxima del agua a la salida de las cunetas (m).
- h= Abertura de la boca (m).
- L = longitud de la abertura de la boca de tormenta (m).
- Q(m³/s)= caudal que ingresa por la boca de tormenta.

Así se observa que la capacidad de evacuación de este tipo de sumidero es de aproximadamente 150 litros por segundo, por cada metro lineal de sumidero.

Se optará por la utilización de bocas de tormenta SV2 de 2 m de longitud cada una a fin de que su capacidad de evacuación sea congruente con el caudal que puede transportar el conducto de desagüe dispuesto. Se dispondrán dos sumideros ubicados uno a cada lado de la calzada a fines de que al menos uno se encuentre en funcionamiento permanentemente.

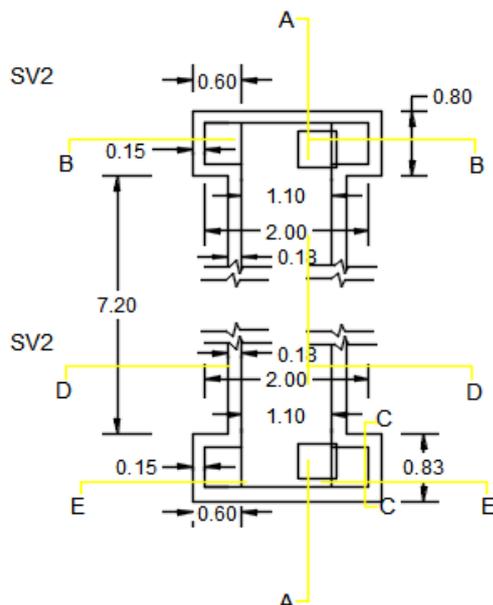


Figura 39: Planta sumideros SV2
Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

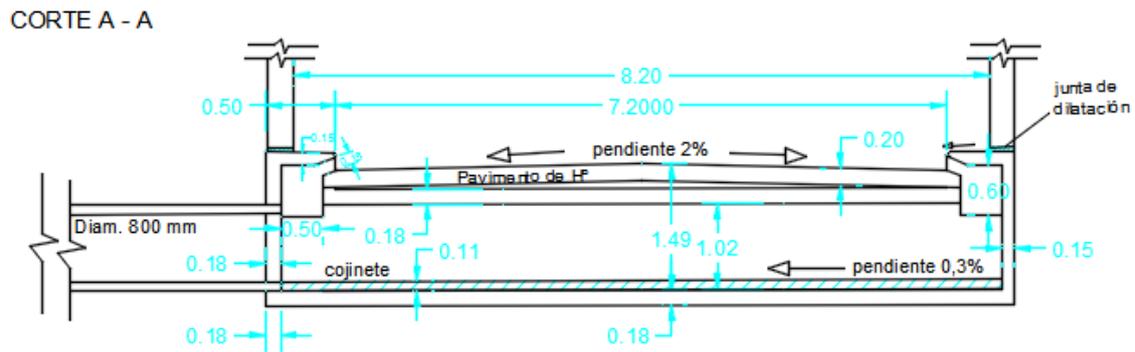


Figura 40: Corte A-A sumideros SV2

Fuente: Capturas de planos de proyecto vial

Se adjunta en anexo el plano completo del sumidero utilizado, incluyendo planta, cortes, detalles de armaduras y tapas.

c. Cunetas

El perfil transversal del pavimento del túnel no cuenta con cunetas propiamente dichas, por lo que es la misma calzada la que oficia de conducción de las aguas pluviales que ingresan al mismo. Por este motivo, se considera que la sección a verificar es triangular, con pendiente transversal de 2% y longitudinal de 2,8%, obtenida del perfil longitudinal de la obra.

Considerando que el caudal que ingresa al túnel es 116 litros por segundo, se calcula según la superficie de cada trinchera el caudal que deberán transportar las cunetas de ambos sectores. La trinchera de acceso al túnel tiene una superficie de 1435m², lo que multiplicado por la lámina de diseño considerada de 203,7mm/hs da como resultado un caudal al ingreso de 0,081m³/seg. Para el caso de la trinchera de salida, que tiene un área de 615m², se obtiene un caudal de 0,035m³/seg. Se supone que éste caudal se divide en partes iguales entre la cuneta izquierda y derecha.

Utilizando la ecuación de Manning-Izzard (1946) para el caso de cunetas en "V"³, puede obtenerse el tirante que llevará la cuneta para el caso más desfavorable, que son las cunetas al ingreso que transportan mayor caudal:

$$Q = V * A = 0,375 * h^{\frac{8}{3}} * i_t * i_l^{\frac{1}{2}}$$

$i_t[m/m]=$	0,02
$i_i[m/m]=$	0,0283
$i_i^{1/2}=$	0,1682
$Q_o[m^3/seg]=$	0,04
$h[cm]=$	3,68

Tabla 15: Cálculo de lámina en cuneta.

Fuente: Elaboración propia

Considerando una pendiente $z = \frac{1}{0,02} = 50$, la distancia sobre la calzada que alcanza la lámina de agua es de 1,84m. Éste valor no es aceptable si tenemos en cuenta un nivel de inundabilidad ideal de 0,8 a 1 metro, debido a la jerarquía de la obra y a que se trata de una vía principal de la ciudad⁴.

Por este motivo se propone como posible solución la realización de una canaleta de desagüe paralela al cordón dentro de la calzada de una profundidad de 5cm por debajo de la cota de la carpeta de rodamiento y de un ancho de 20cm, como puede observarse en la siguiente figura. La misma no representa un obstáculo para el flujo de tránsito.

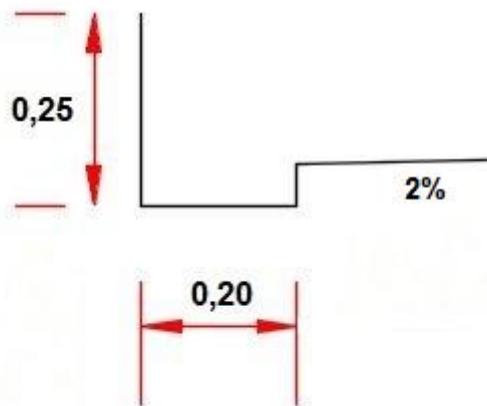


Figura 41: Solución al drenaje con canaleta

Fuente: Elaboración propia

Se calcula entonces el caudal que puede transportar la nueva sección considerada, suponiendo que la intersección de las secciones de cuneta y canaleta es despreciable, por lo que ambas trabajan completas:

b[m]=	0,2
y[m]=	0,05
A ₁ [m ²]=	0,01
R=	0,03
n=	0,014
$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$	
V[m/seg]=	1,2446
Q ₁ [m ³ /seg]=	0,01
Q ₁ [l/seg]=	12,45

Tabla 16: Cálculo de caudal en sección de canaleta.

Fuente: Elaboración propia

Restando el caudal transportado por la canaleta al caudal total que debe llevar la cuneta puede recalcularse la longitud que ocupa la lámina de agua sobre la calzada:

i _t [m/m]=	0,02
i _i [m/m]=	0,0283
i _i ^{1/2} =	0,1682
Q ₀ [m ³ /seg]=	0,03
h[cm]=	3,20
z=	50,0
zy[cm]=	160
zy[m]=	1,60

Tabla 17: Cálculo de tirante en cuneta y “zy” sobre la calzada.

Fuente: Elaboración propia

Puede observarse que la influencia de la canaleta en el funcionamiento de la cuneta es mínimo, y no reduce la lámina lo suficiente para verificar el nivel de inundabilidad deseado.

Se observa que la sección de la canalización bajo vereda transporta aproximadamente 20 litros por segundo más que el caudal de diseño, por lo que en este caso no habría escurrimiento en la cuneta.

Para realizar un diseño más ajustado, se verifica el tirante necesario para transportar exactamente el caudal de diseño de la cuneta de 0,04m³/seg, utilizando la fórmula de Manning para una sección rectangular:

$$\frac{Q * n}{0,2 * S^{1/2}} = \frac{0,34 * y^{5/3}}{(0,2 + 2y)^{2/3}}$$

Q[m ³ /seg]=	0,04
b[m]=	0,2
S[m/m]=	0,0283
n=	0,013

Tabla 19: Datos de la sección de canalización bajo vereda.

Fuente: Elaboración propia

y	1º término	2º término
1	0,015	0,201
0,11	0,015	0,015

Tabla 20: Aplicación de la Ec. de Manning para cálculo del tirante normal en canalización bajo vereda.

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el tirante necesario para transportar todos los escurrimientos dentro del túnel con los datos considerados es de 11cm. El diseño final puede verse en la siguiente figura, adoptando un tirante de 12cm:

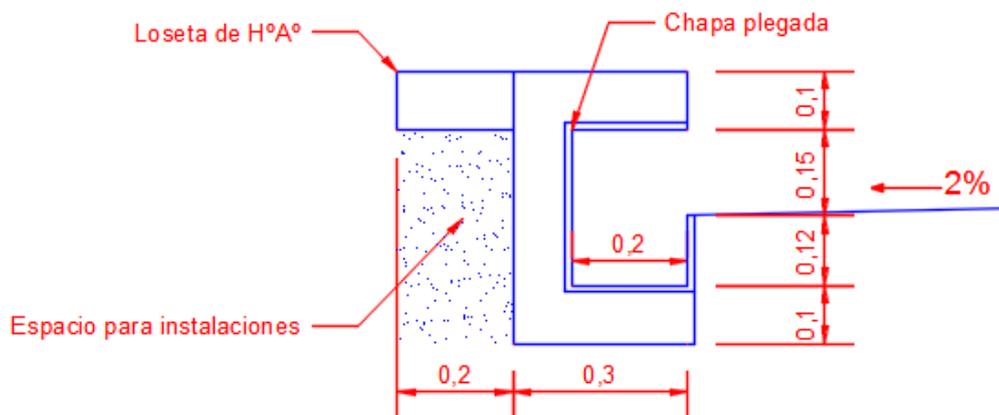


Figura 43: Diseño definitivo de canalización bajo vereda

Fuente: Elaboración propia

Además, se verificaron las cunetas a la salida para el nivel de inundabilidad deseable, siguiendo los mismos criterios adoptados en la verificación de cunetas anterior:

$i_t[m/m]=$	0,02
$i_l[m/m]=$	0,0423
$i_l^{1/2}=$	0,206
$Q_o[m^3/seg]=$	0,02
$h[cm]=$	2,48
$z=$	50,0
$zy[cm]=$	124
$zy[m]=$	1,24

Tabla 21: Verificación de nivel de inundabilidad de cunetas a la salida del túnel.

Fuente: Elaboración propia

Ya que la lámina invade la calzada más de los 0,8 a 1m del nivel de inundabilidad ideal, se concluye que la canalización bajo vereda debe realizarse en las cunetas de mano derecha e izquierda, tanto en la trinchera de entrada como la de salida.

6. Diseño plani-altimétrico

El diseño definitivo del sistema de drenaje se observa en las siguientes imágenes, que incluyen el desarrollo en planta y altimetría de la cañería de desagüe y las cámaras ubicadas en los cambios de alineamiento y pendiente de la tubería.

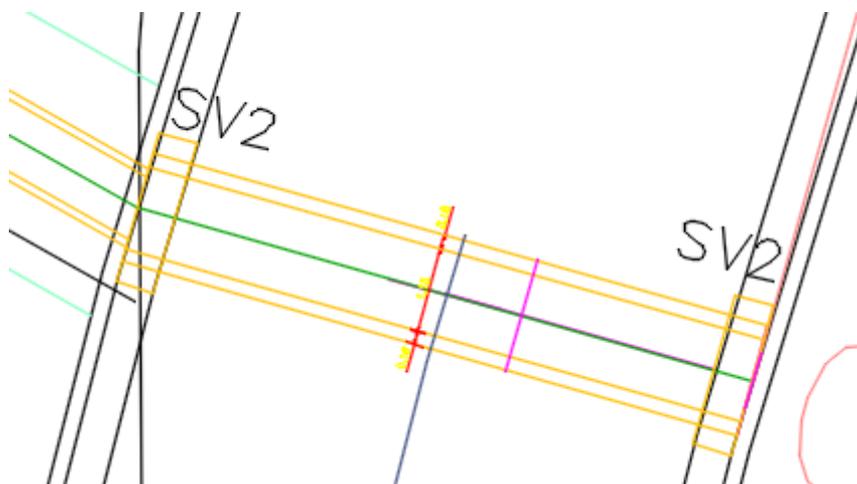


Figura 44: Planimetría sistema de drenaje

Fuente: Elaboración propia



Figura 45: Planimetría sistema de drenaje

Fuente: Elaboración propia

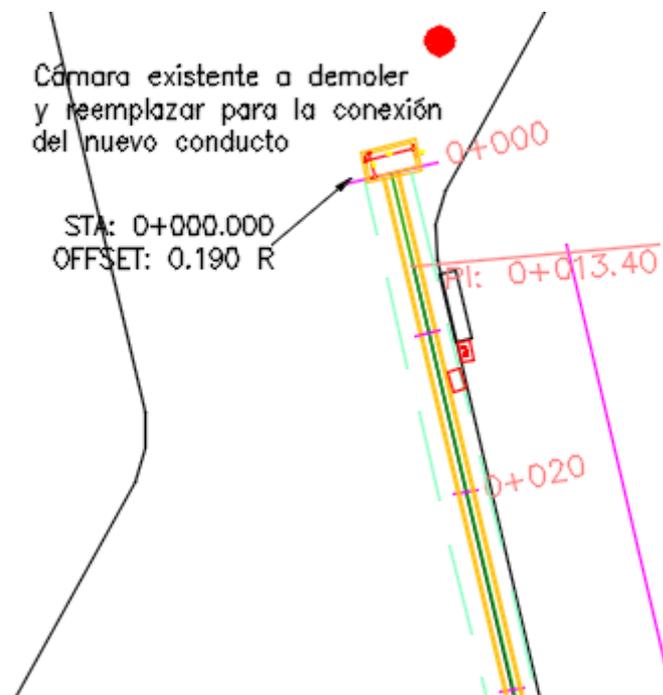


Figura 46: Planimetría sistema de drenaje

Fuente: Elaboración propia

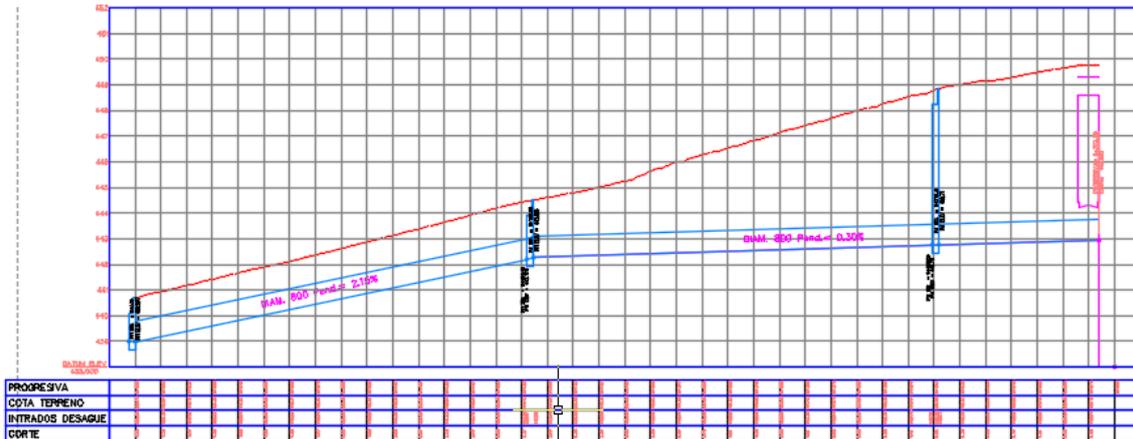


Figura 47: Altimetría sistema de drenaje

Fuente: Elaboración propia

Estos planos se incluyen en el anexo al final de este informe.

7. Cómputo métrico

Una vez definidas todas las características del sistema de drenaje, se procedió a la realización del cómputo de materiales que conlleva la colocación del conducto de 800mm hasta el punto de desagüe, teniendo en cuenta los siguientes ítems:

- Remoción y reposición de adoquines
- Rotura de pavimento de hormigón
- Rotura de pavimento asfáltico
- Excavación
- Provisión y colocación de conducto
- Relleno y compactación
- Reposición de pavimento de hormigón
- Reposición de pavimento asfáltico
- Hormigón armado de cámaras

A continuación se muestran las tablas de cálculo de cantidades según planos y del cómputo final.

Progresiva	0+000	0+010	0+020	0+030	0+040	0+050	0+060	0+070
Cota terreno	440,78	440,94	441,18	441,42	441,67	441,90	442,11	442,37
Cota invertido	439,00	439,21	439,42	439,63	439,84	440,05	440,26	440,47
Diámetro caño	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Pared caño	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Excavación	1,67	1,62	1,65	1,68	1,72	1,74	1,74	1,79
Corte	1,78	1,73	1,76	1,79	1,83	1,85	1,85	1,90
Excavación [m2]		16,45	16,35	16,65	17,00	17,30	17,40	17,65

0+080	0+090	0+100	0+110	0+120	0+130	0+140	0+150	0+160	0+170
442,62	442,87	443,13	443,38	443,64	443,91	444,19	444,42	444,61	444,80
440,68	440,89	441,10	441,31	441,52	441,73	441,94	442,15	442,31	442,34
0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
1,83	1,87	1,92	1,96	2,01	2,07	2,14	2,16	2,19	2,35
1,94	1,98	2,03	2,07	2,12	2,18	2,25	2,27	2,30	2,46
18,10	18,50	18,95	19,40	19,85	20,40	21,05	21,50	21,75	22,70

0+180	0+190	0+200	0+210	0+220	0+230	0+240	0+250	0+260	0+270
445,01	445,24	445,63	446,00	446,28	446,53	446,83	447,13	447,42	447,70
442,37	442,40	442,46	442,46	442,49	442,52	442,55	442,58	442,61	442,64
0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2,53	2,73	3,06	3,43	3,68	3,90	4,17	4,44	4,70	4,95
2,64	2,84	3,17	3,54	3,79	4,01	4,28	4,55	4,81	5,06
24,40	26,30	28,95	32,45	35,55	37,90	40,35	43,05	45,70	48,25

0+280	0+290	0+300	0+310	0+320	0+330	0+340	0+350	0+360	0+370	0+380
447,99	448,25	448,54	448,80	449,02	449,15	449,29	449,49	449,65	449,76	
442,67	442,70	442,73	442,76	442,79	442,82	442,85	442,88	442,91	442,94	
0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	
5,21	5,44	5,70	5,93	6,12	6,22	6,33	6,50	6,63	6,71	
5,32	5,55	5,81	6,04	6,23	6,33	6,44	6,61	6,74	6,82	TOTAL
50,80	53,25	55,70	58,15	60,25	61,70	62,75	64,15	65,65	66,70	1283,00

Tabla 22: Cálculo de excavación para colocación del caño de desagüe según altimetría de proyecto

Fuente: Elaboración propia

Cámara progresiva 0+310,41

Lado[m]	1,80
Área[m ²]	3,24
Profundidad[m]	6,04
Volumen[m ³]	19,57
Volumen Hº[m ³]	9,36

Tabla 23: Cálculo de volúmenes de cámara de inspección en progresiva 0+310,41

Fuente: Elaboración propia

Cámara progresiva 0+154,4

Lado[m]	1,60
Área[m ²]	2,56
Profundidad[m]	2,25
Volumen[m ³]	5,76
Volumen Hº[m ³]	2,52

Tabla 24: Cálculo de volúmenes de cámara de inspección en progresiva 0+154,4

Fuente: Elaboración propia

Cámara progresiva 0+000

Lado[m]	3,40
	1,90
Área[m ²]	6,46
Profundidad[m]	1,78
Volumen[m ³]	11,52
Volumen Hº[m ³]	3,49

Tabla 25: Cálculo de volúmenes de cámara de inspección en punto de desagüe

Fuente: Elaboración propia

ÍTEM	DESIGNACIÓN	Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]	Área [m ²]	UNID	Cantidades
							Totales
1	Rotura						
1.1	Remoción y reposición de adoquines	54,20	3,00	-	162,60	m ²	162,60
1.2	Rotura de pavimento de hormigón	313,00	0,90	-	281,70	m ²	281,70
1.3	Rotura de pavimento asfáltico	308,70	3,00	0,12	926,10	m ³	111,13
2	Construcción						
2.1	Excavación	362,90	3,00	-	1.333,22	m ³	4.036,51
2.2	Provisión y colocación de conducto	362,90	-	-	-	ml	362,90
2.3	Relleno y compactación	362,90	3,00	-	1.333,22	m ³	4.036,51
2.4	Reposición de adoquines	54,20	3,00	-	162,60	m ²	162,60
2.5	Reposición de pavimento de hormigón	313,00	0,90	-	-	m ²	281,70
2.6	Reposición de pavimento asfáltico	308,70	3,00	0,12	926,10	tn	264,49
2.7	Hormigón armado de cámaras	-	-	-	-	m ³	15,38

Tabla 27: Cómputo métrico del sistema de drenaje ajustado

Fuente: Elaboración propia

Éste cómputo corresponde sólo a la colocación de la cañería de desagüe, por lo que resta computar los materiales necesarios para la ejecución de los sumideros y la cámara que conecta a los mismos. Además, se debe computar el ítem “reposición de hechos existentes”, luego de realizar un relevamiento de aquellos elementos que interfieran con la ejecución de la obra.

¹ Capítulo 2, inciso 4 sub. a, página 17

² Capítulo 2, inciso 4 sub. c, página 22

³ Capítulo 2, inciso 4 sub. b, página 19

⁴ Capítulo 2, inciso 2 sub. c, página 8

5. Conclusiones y recomendaciones

En el desarrollo de este informe se ha explicado el diseño completo de un sistema de drenaje urbano, desde el planteo del problema y la evaluación de alternativas hasta el diseño y verificación de cada uno de sus componentes.

Sin dudas el trabajo no termina aquí, ya que es importante, a partir del diseño final del drenaje, identificar el impacto que tiene la construcción de la obra en el funcionamiento actual de la Plaza España, considerando principalmente dos aspectos:

- La forma en que se produce el escurrimiento superficial de las aguas pluviales antes y después del proyecto, identificando puntos de control para evitar inconvenientes posteriores a la construcción del túnel.
- Interferencias que pueden afectar o verse afectadas por la obra, debido a la gran cantidad de redes de servicio existentes en el lugar (redes de agua, gas, cloacas, etc.), realizando un relevamiento completo de la información que posee la Municipalidad de Córdoba.

Tener en cuenta estos ítems es fundamental para que el proyecto esté completo, ya que se toman previsiones a futuro que eviten posteriores inconvenientes.

El Proyecto Plaza España, como la obra pública en general, es de vital importancia para la vida cotidiana de los habitantes de una urbanización. Su emplazamiento neurálgico y la gran cantidad de movimientos diarios que agrupa la hacen aún más fundamental para la Ciudad de Córdoba.

En el desarrollo completo de este proyecto ejecutivo, no solo en lo que abarca este informe, se ve reflejada la gran capacidad técnica con la que cuenta la región, y más especialmente la Universidad Nacional de Córdoba.

Como conclusión general de la Práctica Supervisada, puedo destacar la importancia que tiene para la correcta inserción del joven profesional en el ámbito laboral, aprendiendo no sólo los conceptos técnicos necesarios para realizar cada labor sino también valores muy importantes para el desarrollo humano.

Personalmente, me siento orgullosa por los resultados que pueden obtenerse cuando un grupo comprometido de personas pone manos a la obra en pos del bien común y, además, agradecida por haber podido formar parte de un proyecto que puede mejorar la calidad de vida general de muchas personas.

Como reflexión final, puedo destacar la importancia de la Ingeniería Civil como herramienta para «*hacer cosas*», sobre todo en un país como el nuestro, tan necesitado de profesionales con valores y compromiso social, que trabajen para que todos, día a día, podamos vivir mejor.

6. Bibliografía

- BERARDO, María Graciela y otros (2015). "Manual de Diseño Geométrico Vial". Primera edición. Córdoba, Editorial Brujas.
- CHOW, V.T. (2004). "Hidráulica de Canales Abiertos". Colombia, Editorial Nomos.
- FATTORELLI, Sergio y otros. (2011). "Diseño Hidrológico". Segunda edición. Zaragoza.
- FRENCH, Richard. (1993). "Hidráulica de Canales Abiertos". México, McGraw-Hill/Interamericana de México.
- INSTITUTO SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL TRANSPORTE (ISIT) de la FCEFyN. "Informe final: Estudio de Tránsito Plaza España". Convenio con Municipalidad de Córdoba. Octubre de 2016.
- RICCARDI, Gerardo y otros. (2012). "III Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas". Rosario.
- RIHA, César. (2003). "Modelación Hidrológica de una cuenca de la Ciudad de Córdoba". Tesina de Vialidad Urbana. Córdoba.
- STREETER, Victor y otros (1996). "Mecánica de los fluidos". Octava edición. México, McGraw-Hill.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA. FCEFyN. Apuntes de cátedra Diseño Vial Urbano de la Maestría de Ciencias de la Ingeniería, mención en Transporte. S/D
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA. FCEFyN. Apuntes de cátedra Ing. Sanitaria. S/D

ANEXOS

- 1) Planimetría situación actual
 - a. Rotonda Dean Funes
 - b. Plaza España
 - c. Yrigoyen Norte y Chacabuco Norte

- 2) Planimetría de T.I.N. Curvas de Nivel
 - a. Progresiva 0+000 a 0+180
 - b. Progresiva 0+180 a 0+360
 - c. Progresiva 0+360 a 0+459,25

- 3) Sección transversal típica del túnel. Progresiva 0+210

- 4) Detalle de sumideros. Progresiva 0+320.

- 5) Detalle cámara 1

- 6) Detalles cámaras 2 y 3

- 7) Planimetría sistema de drenaje

- 8) Altimetría sistema de drenaje

- 9) Cálculo de volumen de excavación