RED DE ACCESOS A CÓRDOBA

Caminos de las Sierras

ANTEPROYECTO PARA LICITACIÓN

OBRA: CONEXIÓN VIAL RUTA E 53 - RUTA 9 (N) - RUTA A 174

Tramo: RUTA NACIONAL N°9 NORTE - RUTA PROVINCIAL N°A 174

INFORME DE ANTEPROYECTO

ANEXO 3.1 - INFORME HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

OCTUBRE 2018

ANEXO 3.1. INFORME HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO 3
1 INTRODUCCIÓN 3
2 ANTECEDENTES Y DATOS DISPONIBLES 4
3 Gestión Administrativa ante Los Distintos Entes durante los Trabajos 5
4 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS 5
4.1 Delimitación de las Subcuencas 8
5 ESTUDIO HIDROLÓGICO 9
5.1 LLUVIA DE DISEÑO 9
5.2 PROCESO DE TRANSFORMACIÓN LLUVIA-CAUDAL 13
5.3 MODELO HIDROLÓGICO Y CAUDALES DE DISEÑO 19
6 ESTUDIO HIDRÁULICO 21
7 CONCLUSIONES 25

ANEXO 3.1. INFORME HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe describe los trabajos realizados con el objetivo de analizar el sistema de drenaje general de las cuencas de aporte a la obra de conexión Vial Ruta E 53 - Ruta 9 (N) - Ruta A 174 en el tramo comprendido entre la ruta nacional N°9 (N) y la ruta provincial N° A 174.

Previo al diseño hidráulico se realiza una presentación del análisis hidrológico incluyendo la descripción del funcionamiento del sistema en general, la delimitación de cuencas, la caracterización de las mismas, recurrencias, lluvias utilizadas y caudales obtenidos. Posteriormente se desarrollará la verificación hidráulica de los distintos elementos que componen el sistema.

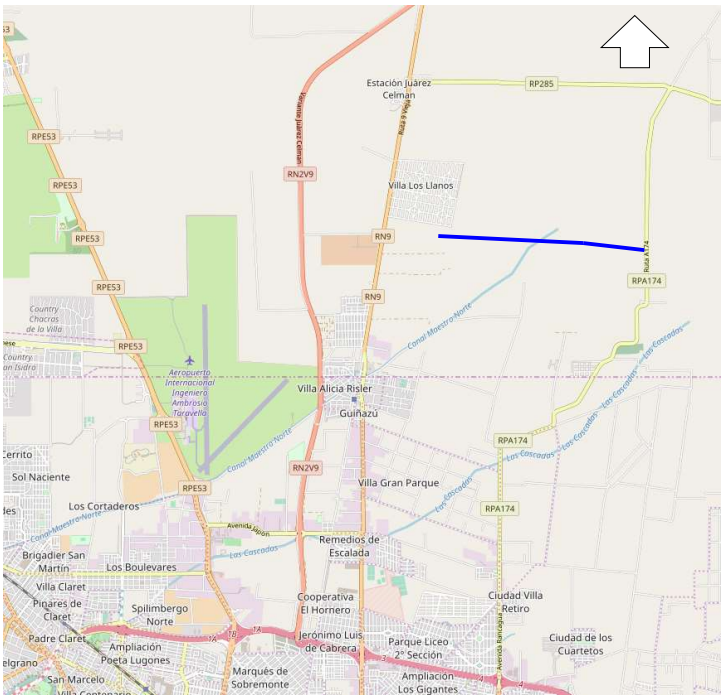

Figura 1.1. Ubicación tramo bajo estudio

2 ANTECEDENTES Y DATOS DISPONIBLES

Para la elaboración del presente estudio se consultaron antecedentes de datos disponibles y estudios previos realizados en la región. Entre ellos puede mencionarse:

- Cartas del Instituto Geográfico Nacional
- Imágenes satelitales de la región
- INFORME HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO – OBRA: DUPLICACIÓN Y REHABILITACIÓN DE CALZADA VARIANTE JUÁREZ CELMAN. Tramo: AV. CIRCUNVALACIÓN- DISTRIBUIDOR EMPALME RNN°9 NORTE (Km 724).
- ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DE RETARDO DEL FLUJO EN LA CUENCA AEROPUERTO - GUIÑAZÚ (AUTOPISTA JUAREZ CELMAN) de la Red de Accesos a Córdoba, elaborado por Consultoría Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T, SETEC S.RL. y ATEC.
- ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DE RETARDO DEL FLUJO ALEDAÑAS A LA AV. CIRCUNV (TRAMO CV1)de la Red de Accesos a Córdoba, elaborado por Consultoría Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T, SETEC S.RL. y ATEC.
- Informe de Ingeniería de Desagües Pluviales del Arco Noreste de la Av. De Circunvalación – Red de Accesos a Córdoba. Febrero 1999
- ESTUDIOS HIDRÁULICOS RUTA PROVINCIAL Nº E-53 TRAMO A-019-RIO CEBALLOS – OBRAS DE DRENAJE EN ZONA URBANA
- Estudio Hidrológico – Obra Av. Circunvalación tramo Distribuidor El Tropezón – Av. Spilimbergo. Sección B desde pr. 44+380 hasta pr. 46+650.
- Cuencas de aportes sector norte del área metropolitana de Córdoba – Análisis del estado de situación actual. Estudios hidrológicos, hidráulicos, proyectos y plan de obras. Vanoli y Asociados. Mayo 2010.
- Evaluación Hidrológica del estado actual del sistema norte de desagües pluviales – sistema Aeropuerto, Guiñazú y Chachapoyas, realizado por Vanolli y Asociados. Mayo 2001
- Autopista Juárez Celman (Primera etapa) – Memoria de Ingeniería. Red de Accesos a Córdoba.
- ESTUDIOS DE DRENAJES PLUVIALES AVENIDA JAPÓN TRAMO RP E-53 - RN N°9 NORTE. Mayo 2014
- ESTUDIO HIDROLÓGICO e hidráulico proyecto licitatorio proyecto duplicación Variante Juárez Celman realizado por Ecoing. Julio 2016

3 GESTIÓN ADMINISTRATIVA ANTE LOS DISTINTOS ENTES DURANTE LOS TRABAJOS

Durante el desarrollo de esta etapa se han llevado adelante reuniones con la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba y la Dirección de Irrigación de la Administración Provincial de Recursos Hídricos con la finalidad de consensuar entre las partes los criterios de diseño a adoptar.

4 CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS

La zona de estudio presenta un sistema de escurrimiento superficial de sentido noroeste-sureste que desemboca en el Río Suquía. La traza de la conexión Vial Ruta E 53 - Ruta 9 (N) - Ruta A 174 se desarrolla en dirección oeste-este cortando las líneas de flujo de la cuenca, como puede observarse en la carta IGN mostrada a continuación.

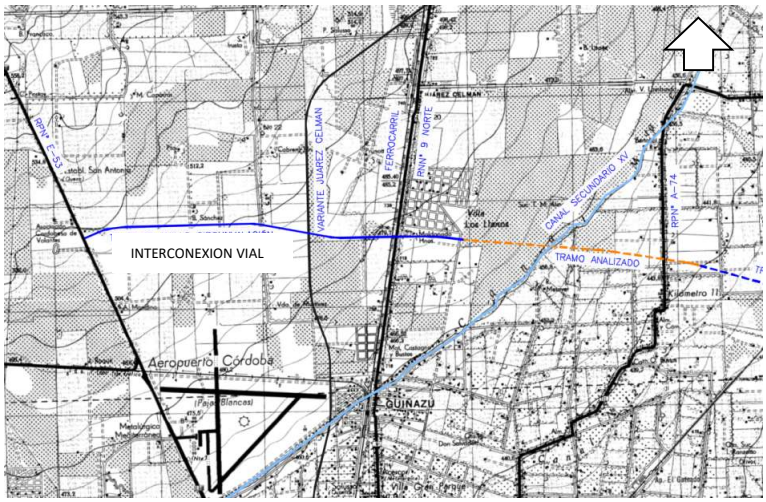

Figura 4.1. Carta IGN

Para el proyecto del tramo inicial de este tramo (RPNº E-53 – RNNº 9 Norte) la Secretaría de Recursos Hídricos estableció el criterio de colectar los excedentes en las cunetas de la autopista dándoles conducción hacia el este y de esta manera evitar su continuidad hacia la Ciudad de Córdoba.

Para el análisis del tramo que se desarrolla en este informe se considera como punto de partida los caudales conducidos en el tramo anterior y, continuando con el mismo criterio, se incorporan los excedentes de las cuencas que aportan al mismo. La conducción deberá continuar hasta donde el terreno permita derivarlos fuera del anillo o bien hasta su descarga en el río Suquía, según se defina en el proyecto de los tramos siguientes.

La cuenca se encuentra limitada por el río Salsipuedes al norte y la ruta provincial E-53 al oeste. Desde allí comienza el aporte que es colectado por las cunetas de la autopista.

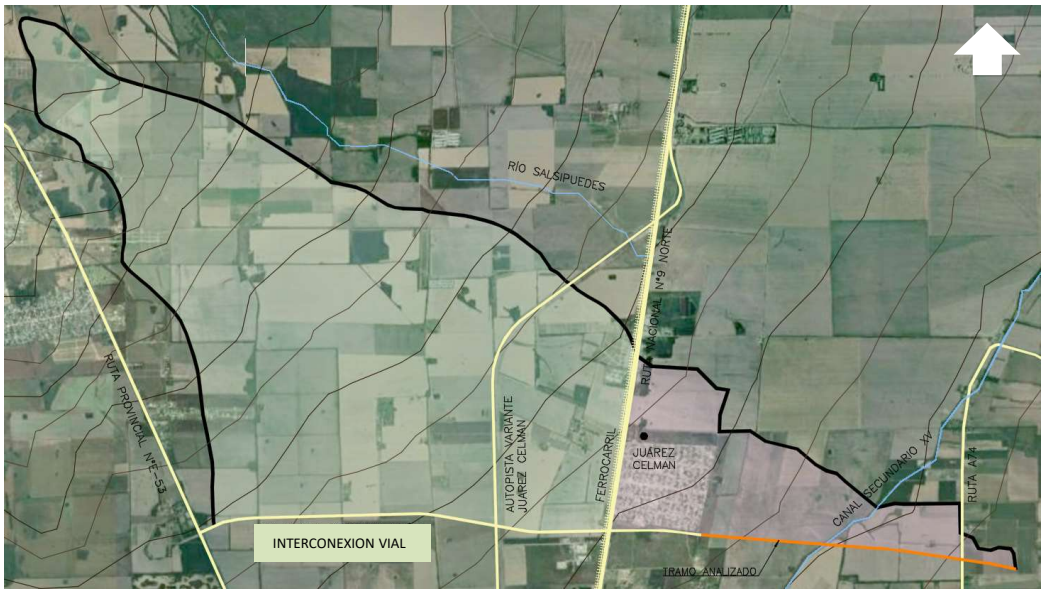

Figura 4.2. Cuencas

El tramo comprendido entre la Ruta Provincial E-53 y la Variante a Juárez Celman es regulado por dos lagunas de retardo diseñadas junto con el Ajusto de Proyecto Ejecutivo de la obra de duplicación de calzada de la Variante. Para la lluvia de diseño de los vertederos el caudal desbordado es derivado, hacia el río Salsipuedes para el caso de la laguna que regula la cuenca alta, y hacia el este por medio de la cuneta sur de la interconexión vial para la cuenca media. Para lluvias ordinarias, el caudal erogado por ambas es conducido por la cuneta oeste de dicha autopista hacia el sur.

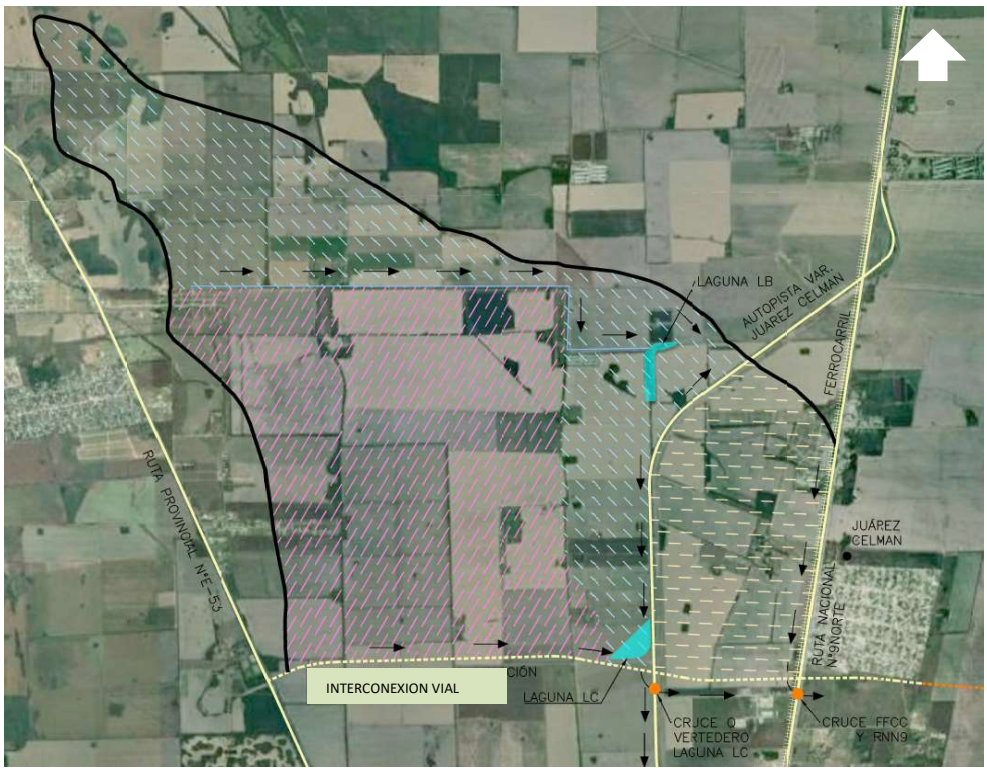

Figura 4.3. Escurrimiento al oeste del ferrocarril

Los aportes generados en el área comprendida entre la Variante Juárez Celman y el Ferrocarril Gral. Belgrano son interceptados por el terraplén de las vías y escurren laminarmente hasta su intersección con la conexión Vial Ruta E 53 - Ruta 9 (N) - Ruta A 174. El excedente a la capacidad de conducción de la cuneta del ferrocarril cruza la autopista por medio de una alcantarilla que desemboca a un cuenco de hormigón cuya descarga deriva el caudal hacia el este por medio de un cruce bajo el ferrocarril y la RNNº9 norte, alejándolo de la zona urbanizada. Este caudal es conducido por la cuneta sur de la conexión Vial Ruta E 53 - Ruta 9 (N) - Ruta A 174.

Al este de la RNN9 la cuenca presenta un alto grado de urbanización debido a la presencia del barrio Los Llanos de la localidad de Juárez Celman. Continuando hacia el este se desarrolla en un área rural hasta el final del tramo. En la progresiva 1+800 la traza es interceptada por el Canal Secundario XV, del cual se desprende una red de canales terciarios y acequias que también interceptan el tramo en distintos puntos.

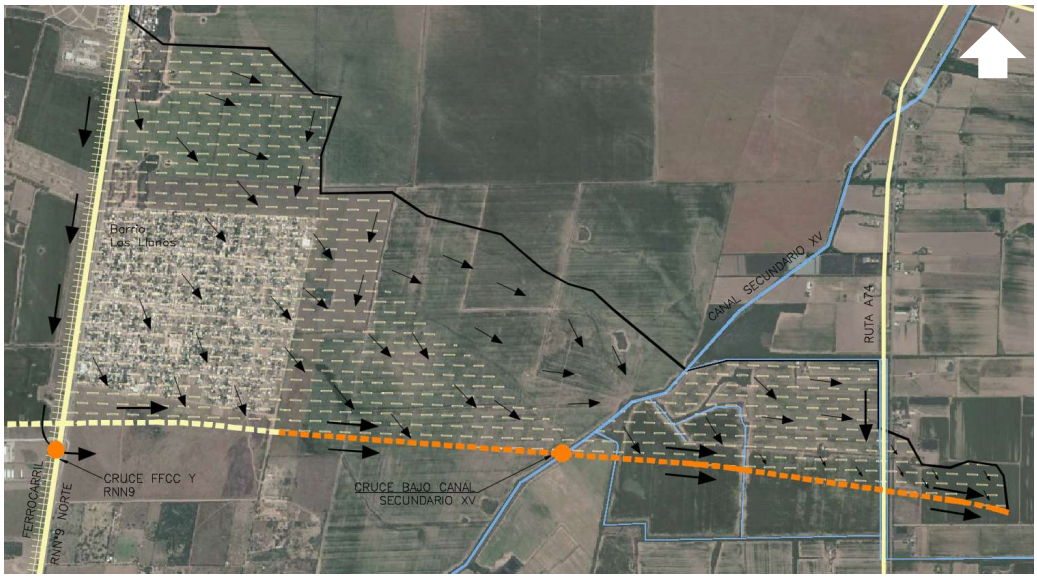

Figura 4.4. Escurrimiento al este del ferrocarril

El día 17 de septiembre de 2018 se concretó una reunión en la Dirección de Irrigación de la Administración Provincial de Recursos Hídricos presenciada por su Director, Ing. Gonzalo Plencovich y Mauro Hrenadiez, los ingenieros Gabriel Pressacco y Luciana Degutis de Caminos de la Sierras y los ingenieros Lucía Otero y Mario Salduna de Consular S.A., donde se obtuvo información de la red de riego existente y se acordaron las soluciones a los cruces de los canales en funcionamiento, los cuales se detallan en el punto 5 de este informe.. En la siguiente imagen se muestra un esquema general de los partidores y canales terciarios derivados del canal Secundario XV provisto por dicha repartición.

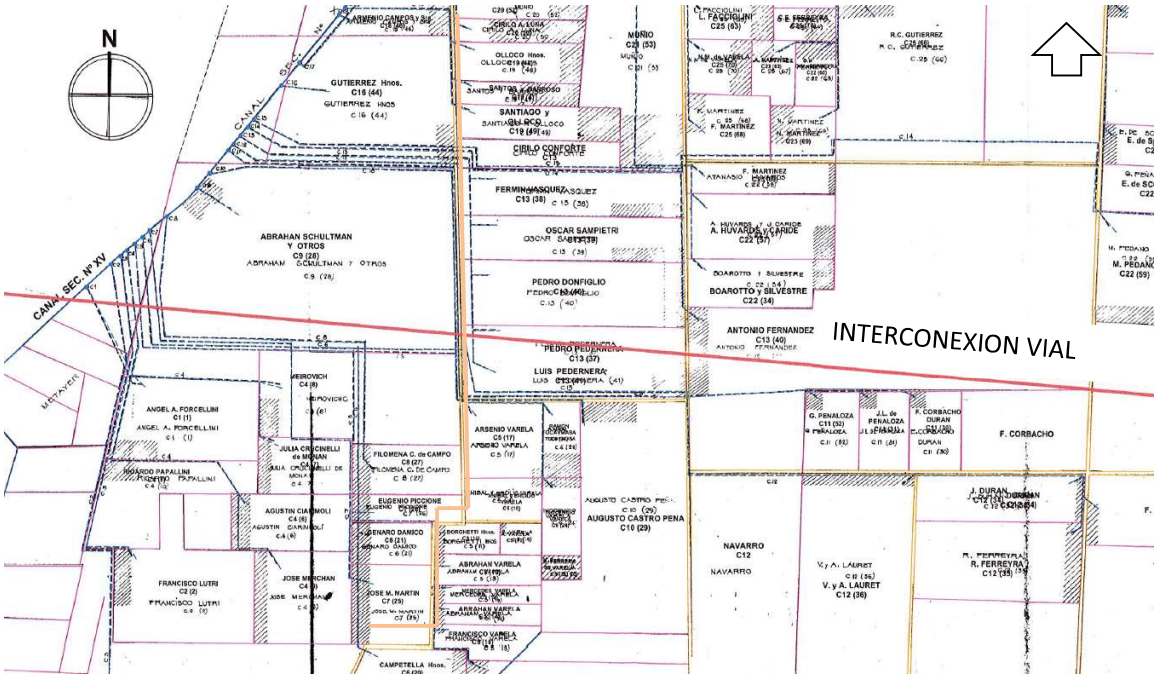

Figura 4.5. Canales de riego y acequias interceptadas por el tramo

4.1 Delimitación de las Subcuencas

La tarea de delimitación de las cuencas de aporte se efectuó mediante el análisis de diversos elementos, como:

- Cartas digitales del Instituto Geográfico Nacional
- Imágenes satelitales encontradas en la base de datos del servidor vinculado al programa Google Earth
- Modelos digitales de elevación obtenidos a partir de imágenes de radar SRTM
- Análisis de proyectos antecedentes
- Recorrido de la zona en estudio y consultas con los habitantes de región.

Las subcuencas definidas se observan en la imagen presentada a continuación.

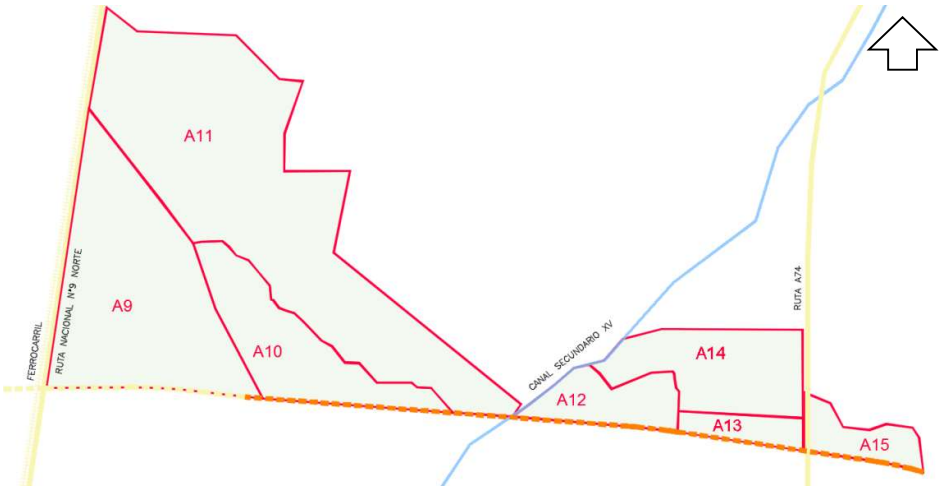

Figura 4.6. Subcuencas

En la siguiente tabla se detalla cada una de las subcuencas identificadas y sus características físicas.

Tabla 4.1.Subcuencas

Nombre	Area [km²]	Long [km]	Cota Sup	Cota Inf	i %
A9	1.47	2.02	490	474	0.79%
A10	0.66	1.47	481	470	0.75%
A11	2.48	4.24	495	464	0.73%
A12	0.31	0.31	462	459	0.97%
A13	0.15	0.14	456	455	0.70%
A14	0.62	1.72	460	453	0.41%
A15	0.21	0.36	449	445	1.11%

5 ESTUDIO HIDROLÓGICO

5.1 LLUVIA DE DISEÑO

Para determinar la lluvia de diseño se utilizó el Modelo DIT desarrollado por Caamano Nelli y García (1999). Este modelo se basa en un algoritmo conceptual que permite encontrar la relación intensidad-duración-recurrencia 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 modelo plantea el logaritmo de la intensidad como una función lineal del *factor de frecuencia* Φ (Chow, 1951) y de un *factor de persistencia* δ (Caamaño Nelli y García, 1998), vinculados mediante dos parámetros locales, propios de la estación de medición, **A** y **C**, y uno zonal, **B.**

$$\ln i = A * \phi - B * \delta + C$$

Con base en la hipótesis de distribución probabilística lognormal de los máximos de lluvia anual, el factor de frecuencia tiene una relación biunívoca con el período de retorno, **T**[años].

$$\phi_y = 2.584458 * (\ln T)^{0.375} - 2.252573$$

El factor de Persistencia δ, en tanto, depende de la duración de la lluvia, **d** [minutos].

$$\delta = (\ln d)^{5/3}$$

Se utilizaron lluvias de 3 y 6 horas de duración de 25 años de recurrencia para el diseño hidráulico y lluvias de 3 horas de duración y 100 años de recurrencia para la verificación.

Para la determinación de las lluvias de diseño se utilizaron los parámetros locales de la estación Observatorio de la Ciudad de Córdoba.

Tabla 5.1.Parámetros locales

A	*B*	*C*
0.3370	0.1591	5.1932

Los factores de frecuencia para las recurrencias establecidas son los siguientes:

Tabla 5.2. Factores de frecuencia

Tiempo de Recurrencia [años]	25	100
Factor de Frecuencia	1.75	2.33

A continuación se muestran los valores de intensidad y lámina precipitada para distintas duraciones y las curvas IDF obtenidas para las recurrencias definidas.

Tabla 5.3.Valores de Intensidad y Lámina Precipitada de la Estación Observatorio

	Intensidad [mm/h]		**Lámina [mm]**	
Duración [min]	**TR 25**	**TR 100**	**TR 25**	**TR 100**
60	61.38	74.53	61.38	74.53
120	37.36	45.36	74.72	90.73
180	27.29	33.14	81.88	99.42
240	21.62	26.25	86.49	105.01
300	17.94	21.79	89.72	108.94
360	15.35	18.64	92.12	111.85
420	13.42	16.30	93.96	114.08
480	11.92	14.48	95.40	115.83
540	10.73	13.03	96.55	117.23

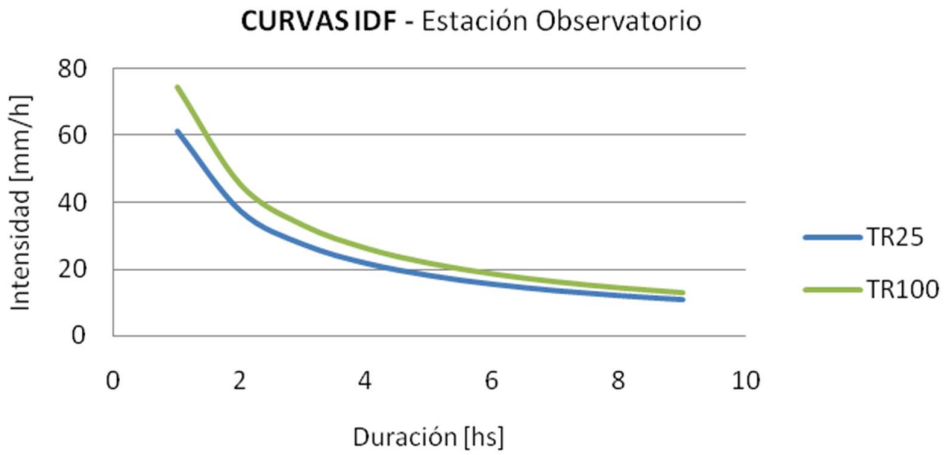

Figura 5.1. Curvas IDF de la Estación Observatorio

La distribución temporal de la lluvia se realizó en sextiles, ubicando la máxima intensidad en el segundo sextil, de acuerdo a la distribución temporal que caracteriza a las lluvias de Córdoba (Caamaño en et al 2003). A continuación se detallan los factores de peso recomendados para cada sextil.

Tabla 5.4.Distribución temporal de las lluvias de Córdoba

Sextil	%
1	12%
2	49%
3	23%
4	9%
5	4%
6	3%

Debido al tamaño de las cuencas es recomendable realizar un abatimiento areal de la lluvia, ya que la lámina obtenida de la función IDF es representativa de un área en torno al pluviómetro que varía entre 2.5 y 25 Km²según características climáticas y topográficas de la región. Para ello se utilizó el algoritmo de atenuación espacial denominado *CoDA* desarrollado y calibrado por García, Catalini y Caamano Nelli para una cuenca serrana de la Provincia de Córdoba, relacionando el decaimiento areal, con el área **A**[Km²] y la duración de la lluvia **d** [minutos]. El modelo de atenuación es una función potencial del área y responde a la expresión:

$$CoDA = 25^{-k} * A^{k}$$

$$-k = 2.1438 * d^{-0.4774}$$

La superficie de aporte del tramo en cuestión no supera los 25km², por lo que no es posible realizar un abatimiento areal de la lluvia.

A continuación se muestran las lluvias utilizadas para el diseño y verificación de las obras hidráulicas del proyecto:

Lluvias de 3hs de duración y 25 años de recurrencia

Tabla 5.5. Lluvia de 3hs– TR25– Cuenca Juárez Celman

Sextil	%	T Acum [min]	Lámina P [mm]	P Acum [mm]
1	12%	30	9.83	9.83
2	49%	60	40.12	49.95
3	23%	90	18.83	68.78
4	9%	120	7.37	76.15
5	4%	150	3.28	79.43
6	3%	180	2.46	81.88

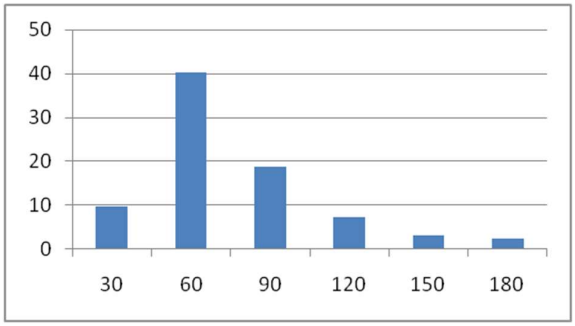

Figura 5.2. Hietograma lluvia de 3hs– TR25– Cuenca Juárez Celman

Lluvias de 6hs de duración y 25 años de recurrencia

Tabla 5.6. Lluvia de 6hs– TR25– Cuenca Juárez Celman

Sextil	%	T Acum [min]	Lámina P [mm]	P Acum [mm]
1	12%	60	11.05	11.05
2	49%	120	45.14	56.19
3	23%	180	21.19	77.38
4	9%	240	8.29	85.67
5	4%	300	3.68	89.36
6	3%	360	2.76	92.12

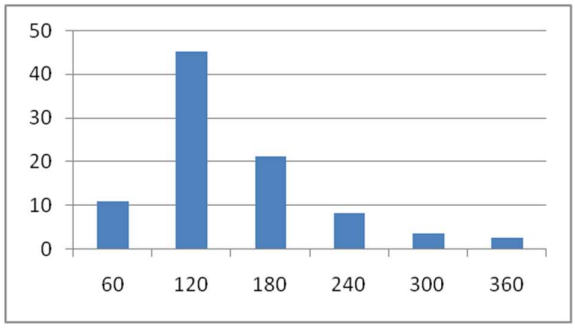

Figura 5.3. Hietograma lluvia de 6hs– TR25– Cuenca Juárez Celman

Lluvias de 3hs de duración y 100 años de recurrencia

Tabla 5.7. Lluvia de 3hs– TR100– Cuenca Juárez Celman

Sextil	%	T Acum [min]	Lámina P [mm]	P Acum [mm]
1	12%	30	11.93	11.93
2	49%	60	48.72	60.65
3	23%	90	22.87	83.51
4	9%	120	8.95	92.46
5	4%	150	3.98	96.44
6	3%	180	2.98	99.42

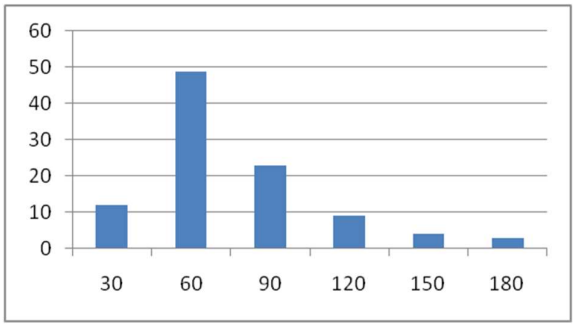

Figura 5.4. Hietograma lluviade 3hs– TR100– Cuenca Juárez Celman

5.2 PROCESO DE TRANSFORMACIÓN LLUVIA-CAUDAL

El proceso mediante el cual la precipitación ocurrida sobre una cuenca deviene en escurrimiento superficial se denomina Transformación Lluvia-Caudal. El mismo consta de una combinación de dos funciones, una Función de Producción y una Función de Transferencia.

La Función de Producción define qué porcentaje del total de la precipitación escurre superficialmente, es decir, determina la precipitación efectiva. Existen diversos métodos para determinar esta precipitación efectiva, por ejemplo, el método del Índice Φ, Horton, Green y Ampt, CN – SCS etc.

La Función de Transferencia define cómo se transporta ese volumen (la precipitación efectiva) a través de la cuenca, es decir, determina el hidrograma a la salida de la cuenca provocado por una precipitación efectiva. La determinación de caudales se obtiene usualmente mediante la implementación de modelos hidrológicos.

Ante la inexistencia de registros históricos de caudales para cuencas de características similares a la analizada, resulta habitual relacionar las escorrentías con registros de precipitación, mediante la transformación lluvia – caudal, asumiendo que las tormentas de proyecto y los picos de caudales que éstas generan, poseen la misma recurrencia.

La determinación de la tormenta de diseño tiene como finalidad el cálculo de los hidrogramas de proyecto, que permiten obtener los picos de caudal y establecer la forma del mismo. En ese orden, los valores máximos permiten el cálculo o verificación de las obras de captación y conducción, mientras que los hidrogramas sirven al dimensionado de los almacenamientos (embalses o lagunas) y sus obras de descarga.

Estos análisis tienden a definir la Descarga Máxima (caudal asociado a un cierto riesgo de ser igualado o superado, utilizado para el cálculo de canales, alcantarillas, etc.) y el Hidrograma de Proyecto (secuencia de caudales, caracterizada por su volumen, distribución temporal y caudal pico, requerido para definir tiempos de inundación, alturas de reservorios y diseño de obras hidráulicas).

Función de Producción

Para poder determinar la lámina efectiva, en este estudio se utilizó el método desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS).

La hipótesis del método del SCS consiste en que la relación entre la lámina de lluvia efectiva (Pe) y la lámina precipitada total (P-Ia) es igual a la relación entre la lámina total retenida por la cuenca (Fa) y la máxima retención potencial (S), es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Suponiendo relaciones entre los término de la misma, se llega a la siguiente ecuación:

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

Ésta es la ecuación básica para el cálculo de escorrentía directa de una tormenta utilizando el método del SCS.

La relación entre P y Pe está representada por curvas para las cuales se define un número adimensional CN, tal que 0≤CN≤100. Para superficies impermeables y superficies de agua, CN = 100; para superficies naturales, CN < 100.

El número de curva y S se relacionan por:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Los números de curva han sido tabulados por el SCS con base en el grupo hidrológico del suelo y el uso de la tierra. Se definen cuatro grupos hidrológicos de suelo:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas pocos profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Para el análisis realizado se consideró un grado de humedad del suelo del tipo II. Para ésta condición el SCS ha tabulado los valores de CN con base en tipo de suelo y el uso de la tierra, lo cual puede observarse en la siguiente tabla:

Tabla 5.8.Valores CN

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2S$)

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada[1]:	sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques:	troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
	cubierta buena[2]	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más		39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial[3]:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable[4]				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.[5]		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados[5]		98	98	98	98
grava		76	85	89	91
tierra		72	82	87	89

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

Los Suelos típicos del lugar son suelos profundos depositados por el viento, limos y limos arenosos. Estos suelos pertenecen al grupo hidrológico situado entre los tipos A o B. Asimismo se trata de terrenos cultivados con algún tratamiento de conservación.

Para determinar el valor CN de las cuencas se tuvo en cuenta la Ordenanza Nº 687 donde se establece el nuevo ordenamiento de uso de suelo de la Municipalidad Ciudad Estación Juárez Celman. Para las zonas residenciales se optó por un valor de 83, mientras que para las zonas no urbanizables, cuyo uso de suelo es rural, se determinó un CN de 65. En los casos donde las cuencas presentan un uso de suelo mixto, se consideró un valor ponderado.

Función de Transferencia – Modelos Hidrológicos

Como se mencionara anteriormente, la función de transferencia y la determinación de caudales se realizan mediante la implementación de modelos hidrológicos computacionales. Estos modelos obtienen, a partir de la aplicación de hidrogramas unitarios, los hidrogramas de respuesta de la cuenca ante diferentes láminas precipitadas

Para la implementación de un modelo computacional se debe tener una correcta interpretación de la dinámica hidrológica – hídrica del funcionamiento del sistema. Todas las obras de infraestructura

mencionadas han alterado el ambiente natural, generando un sistema hidrológico – hidráulico altamente complejo que, para lograr una modelación ajustada, fue necesario realizar un detallado relevamiento y análisis de las influencias que cada una de estas intervenciones ejercen sobre los escurrimientos.

Con esta premisa se ha empleado el modelo HEC-HMS para la modelación de la transformación lluvia – caudal, en tanto que para el análisis hidráulico se empleó el modelo EPA-SWMM v.5 en su módulo de transporte. A continuación, se describen estos modelos.

5.2.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO HEC-HMS

La obtención de los hidrogramas de escorrentía para lluvias de distintas recurrencias se obtuvo a través del Modelo HEC-HMS. Este modelo permite simular la transformación de lluvias históricas o hipotéticas en escurrimiento, a través de un sistema que integra diferentes métodos hidrológicos para encontrar la lluvia en exceso, transformarla en caudal y transitarla por los cauces. Las siglas HEC significan Hidrologic Engineering Center (Centro de Ingeniería Hidrológica), del Centro de Investigación del U. S. Army Corps of Engineers en Davis, California, donde fue desarrollado.

El planteamiento del modelo consiste en esquematizar conceptualmente el sistema hidrológico en estudio, poniendo de manifiesto los procesos involucrados en el fenómeno de transformación lluvia-caudal mediante la simplificación de la realidad.

La ejecución de una simulación con el programa operativo HEC-HMS (Versión 4.0) requiere de las siguientes especificaciones:

- El primer conjunto, llamado Modelo de Cuenca (Basin Model), contiene parámetros y datos conectados para elementos hidrológicos.
- El segundo conjunto, llamado Modelo Meteorológico, consiste en datos meteorológicos, en especial precipitación y de la información requerida para procesarlos.
- El tercer conjunto, llamado Especificaciones de Control, con el cual se especifica información para efectuar la simulación.

Modelo de Cuenca

Con objeto de poder representar adecuadamente el comportamiento hidrológico de una determinada cuenca, es preciso, en primer lugar, llevar a cabo una representación esquemática de la misma que refleje de la mejor manera posible su morfología y las características de su red de drenaje. En dicha representación esquemática se utilizan generalmente diversos tipos de elementos, dentro de los cuales se desarrollan los procesos hidrológicos. En este sentido, el programa HEC-HMS incluye los siguientes elementos:

- Subcuenca: Este tipo de elemento se caracteriza porque no recibe ningún flujo entrante y da lugar a un único flujo saliente, que es el que se genera en la subcuenca a partir de los datos meteorológicos, una vez descontadas las pérdidas de agua, transformado el exceso de precipitación en escorrentía superficial y añadido el flujo base. Se utiliza para representar cuencas vertientes de muy variado tamaño.

- Tramo de cauce: Se caracteriza porque recibe uno o varios flujos entrantes y da lugar a un solo flujo saliente. Los flujos entrantes, que provienen de otros elementos de la cuenca, tales como subcuencas u otros tramos de cauce, se suman antes de abordar el cálculo del flujo saliente. Este tipo de elementos se suele utilizar para representar tramos de ríos o arroyos en los que se produce el tránsito de un determinado hidrograma.
- Embalse: Es un tipo de elemento que recibe uno o varios flujos entrantes, procedentes de otros elementos, y proporciona como resultado del cálculo un único flujo saliente. Se utiliza para poder representar fenómenos de laminación de avenidas en lagos y embalses.
- Confluencia: Se caracteriza porque recibe uno o varios flujos entrantes y da lugar a un solo flujo saliente, con la particularidad de que el flujo saliente se obtiene directamente como suma de los flujos entrantes, considerando nula la variación del volumen almacenado en la misma. Permite representar la confluencia propiamente dicha de ríos o arroyos, aunque ello no es imprescindible, ya que los flujos entrantes pueden proceder también de subcuencas parciales.
- Derivación: Este tipo de elemento se caracteriza porque da lugar a dos flujos salientes, principal y derivado, procedentes de uno o más flujos entrantes. Se puede utilizar para representar la existencia de vertederos laterales que derivan el agua hacia canales o zonas de almacenamiento separadas del cauce propiamente dicho.
- Fuente: Junto con la subcuenca, es una de las dos maneras de generar caudal en el modelo de cuenca. Se suele utilizar para representar condiciones de contorno en el extremo de aguas arriba, y el caudal considerado puede proceder del resultado del cálculo efectuado en otras cuencas.
- Sumidero: Recibe uno o varios flujos entrantes y no da lugar a ningún flujo saliente. Este tipo de elemento puede ser utilizado para representar el punto más bajo de una cuenca endorreica o el punto de desagüe final de la cuenca en cuestión.

La combinación de estos tipos de elementos, con las adecuadas conexiones entre ellos, constituye finalmente la representación esquemática de la cuenca total.

Modelo Meteorológico

Precipitación: por lo general la entrada a un sistema de cálculo es la precipitación ya sea de un evento histórico o uno hipotético con una probabilidad asociada.

Cuantificación de las pérdidas de agua: contempla diferentes alternativas:

- Establecimiento de un umbral de precipitación, por debajo del cual no se produce escorrentía superficial, y una tasa constante de pérdidas por encima del citado umbral.
- Utilización del concepto de número de curva (CN), desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service (SCS), teniendo en cuenta los usos del suelo, el tipo de suelo y el contenido de humedad previo al episodio lluvioso que se considera.
- Método de Green y Ampt, que tiene en cuenta, entre otros, aspectos tales como la permeabilidad del suelo y el déficit inicial de humedad del mismo.
- Modelo SMA (Soil Moisture Accounting), que permite simular el movimiento del agua a través del suelo y del subsuelo, su intercepción y almacenamiento en diferentes zonas, y el escurrimiento superficial del exceso.

En cuanto a la evapotranspiración no se requiere de información cuando se simula eventos ya que este proceso se considera despreciable mientras ocurre una precipitación. Como se mencionara en el apartado anterior se utilizará el método CN del SCS.

Determinación del hidrograma Unitario: El programa HEC-HMS contempla dos posibles alternativas, basadas en modelos de tipo empírico o conceptual, respectivamente. Entre los modelos de tipo empírico, basados todos ellos, en mayor o menor medida, en el concepto de hidrograma unitario, propuesto originalmente por Sherman en 1932, el programa permite seleccionar uno de los siguientes:

- Hidrograma unitario definido por el usuario.
- Hidrograma sintético de Snyder.
- Hidrograma del Soil Conservation Service.
- Hidrograma de Clark (original y modificado).

En el presente trabajo se adoptó el método del Hidrograma Unitario del SCS, para lo cual es necesario definir el tiempo de retardo para cada cuenca, Tlag. Éste se determinó a partir del tiempo de concentración calculado con el mismo método:

$$Tlag = 0.6 * Tc$$

$$Tc = 3.42 * L^{0.8} * \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7} * i^{-0.5}$$

Donde L es la longitud del cauce principal [km], i la pendiente de la cuenca [%] y CN el número de la curva SCS.

Tránsito del hidrograma por el cauce: La agrupación de caudales de agua de diversa procedencia (superficial, etc.) en un punto de un cauce y su variación a lo largo del tiempo constituye un hidrograma. El discurrir de estos caudales hacia aguas abajo, a lo largo de un determinado tramo de cauce, da lugar a un nuevo hidrograma en el extremo de aguas abajo del mismo. El programa permite escoger entre los siguientes modelos a la hora de tratar de representar la transformación que experimenta la onda de crecida entre el inicio y final de un tramo de cauce:

- Lag.
- Puls modificado.
- Muskingum.
- Muskingum-Cunge.
- Onda cinemática

Para el tránsito de los caudales se utilizó el método de Muskingum-Cunge, el cual obliga definir la sección transversal del canal, su longitud, pendiente y coeficiente de rugosidad.

En la siguiente tabla se resumen las características físicas de cada una de las subcuencas introducidas en el modelo y sus tiempos de concentración y de retardo.

Tabla 5.9.Valores CN y Tiempos de concentración y Retardo de cada subcuenca

									SCS-Lag Fórmula	
Nombre	Area [km²]	Long [km]	Cota Sup	Cota Inf	ΔH [m]	i %	CN	Coef Escorr	Tc [hs]	Tlag [min]
A9	1.47	2.02	490	474	16	0.79%	83	0.70	2.5	88
A10	0.66	1.47	481	470	11	0.75%	77	0.60	2.4	85
A11	2.48	4.24	495	464	31	0.73%	77	0.60	5.6	200
A12	0.31	0.31	462	459	3	0.97%	65	0.30	0.8	30
A13	0.15	0.14	456	455	1	0.70%	65	0.30	0.5	19
A14	0.62	1.72	460	453	7	0.41%	65	0.30	5.0	182
A15	0.21	0.36	449	445	4	1.11%	65	0.30	0.9	31

Control del Modelo

Además de establecer un modelo de cuenca y un modelo meteorológico, es preciso definir, previamente a la ejecución del programa un conjunto de variables de control:

- Fecha y hora del comienzo del período de tiempo que se pretende analizar.
- Fecha y hora del final del período de tiempo que se pretende analizar.
- Incremento de tiempo de cálculo.

Es importante resaltar que esta estructuración del programa en tres bloques independientes es muy versátil, ya que permite representar diferentes situaciones de manera muy sencilla, sin más que realizar modificaciones en alguno de los bloques. Así, por ejemplo, se pueden tener diferentes modelos de cuenca, con distintos valores de parámetros, o modelos meteorológicos, correspondientes a distintas lluvias, o bien conjuntos de variables de control, con distintos períodos de tiempo o incrementos de tiempo de cálculo, todos susceptibles de ser combinados entre sí. Con respecto al tiempo de cálculo, su valor está definido por el usuario y determina la resolución del modelo, es decir, el intervalo de tiempo en el que se proporcionan los resultados correspondientes a una determinada ejecución. Aunque el rango de valores posibles se sitúa, en principio, entre 1 minuto y 24 horas, pueden existir restricciones directas o indirectas, en función del modelo concreto que se considere en la representación de algunos de los procesos. La utilización del modelo de Muskingum para representar el tránsito de hidrogramas a lo largo de tramos de cauce introduce una restricción de tipo indirecto, en relación con el incremento de tiempo de cálculo. En este caso, con objeto de garantizar la precisión y la estabilidad de la solución, se recomienda dividir la longitud total del tramo de cauce considerado en una serie de subtramos, de manera que la longitud de cada uno coincida aproximadamente con la distancia recorrida por el flujo durante el incremento de tiempo de cálculo.

5.3 MODELO HIDROLÓGICO Y CAUDALES DE DISEÑO

El modelo hidrológico se realizó considerando el criterio establecido de conducción de los excedentes hacia el este. A continuación se muestra el esquema realizado con el programa HEC-HMS y los resultados obtenidos.

Figura 5.5. Modelo hidrológico de las cuencas de aporte sobre el tramo bajo estudio

Tabla 5.10.Resultados modelo hidrológico

		Lluvia de 3hs TR25 años			*Lluvia de 6hs TR25 años*			*Lluvia de 3hs TR100años*		
Elemento	Área [km²]	Q [m³/s]	Tiempo del Pico	Volumen [x1000m³]	Q [m³/s]	Tiempo del Pico	Volumen [x1000m³]	Q [m³/s]	Tiempo del Pico	Volumen [x1000m³]
A11	2.48	**4.30**	01ene2000, 04:30	77.40	**4.70**	01ene2000, 06:00	96.10	**6.10**	01ene2000, 04:30	109.90
A09	1.47	**6.00**	01ene2000, 02:30	60.80	**5.80**	01ene2000, 03:30	73.40	**8.30**	01ene2000, 02:30	82.60
Cun1	1.47	**6.00**	01ene2000, 03:00	60.80	**5.70**	01ene2000, 04:00	73.30	**8.10**	01ene2000, 03:00	82.60
A10	0.66	**2.10**	01ene2000, 02:30	20.60	**2.00**	01ene2000, 04:00	25.60	**3.00**	01ene2000, 02:30	29.30
pr.0+000	2.13	**8.00**	01ene2000, 03:00	81.40	**7.70**	01ene2000, 04:00	98.90	**11.00**	01ene2000, 03:00	111.90
Cun2	2.13	**7.80**	01ene2000, 03:00	81.20	**7.50**	01ene2000, 04:00	98.80	**10.80**	01ene2000, 03:00	111.90
pr.1+400	4.61	**10.80**	01ene2000, 03:30	158.70	**10.90**	01ene2000, 04:30	194.90	**14.90**	01ene2000, 03:30	221.80
Cun3	4.61	**10.70**	01ene2000, 03:30	158.80	**10.80**	01ene2000, 04:30	195.00	**14.80**	01ene2000, 03:30	222.00
pr.1+800	4.61	**10.70**	01ene2000, 03:30	158.80	**10.80**	01ene2000, 04:30	195.00	**14.80**	01ene2000, 03:30	222.00
Cun4	4.61	**10.50**	01ene2000, 03:30	158.90	**10.70**	01ene2000, 05:00	195.00	**14.60**	01ene2000, 03:30	222.20
A12	0.31	**0.70**	01ene2000, 02:00	4.80	**0.70**	01ene2000, 03:00	6.50	**1.20**	01ene2000, 02:00	7.70
pr.2+900	4.92	**10.60**	01ene2000, 03:30	163.70	**10.90**	01ene2000, 05:00	201.50	**14.90**	01ene2000, 03:30	229.90
Cun5	4.92	**10.60**	01ene2000, 03:30	163.80	**10.90**	01ene2000, 05:00	201.60	**14.80**	01ene2000, 03:30	230.00
A14	0.62	**0.60**	01ene2000, 04:30	9.60	**0.70**	01ene2000, 06:00	12.90	**0.90**	01ene2000, 04:30	15.40
A13	0.15	**0.40**	01ene2000, 01:30	2.30	**0.40**	01ene2000, 03:00	3.10	**0.70**	01ene2000, 01:30	3.70
RP-A74	5.69	**11.10**	01ene2000, 03:30	175.70	**11.60**	01ene2000, 05:00	217.60	**15.60**	01ene2000, 03:30	249.10
Cun6	5.69	**11.00**	01ene2000, 04:00	175.90	**11.60**	01ene2000, 05:00	217.80	**15.30**	01ene2000, 03:30	249.40
A15	0.21	**0.50**	01ene2000, 02:00	3.30	**0.50**	01ene2000, 03:00	4.40	**0.80**	01ene2000, 02:00	5.20
Fin	5.90	**11.00**	01ene2000, 04:00	179.20	**11.70**	01ene2000, 05:00	222.10	**15.50**	01ene2000, 03:30	254.70

Los resultados obtenidos corresponden a la cuneta izquierda y se adoptan como caudales de diseño los de la lluvia de 6 horas de duración y 25 años de recurrencia.

Para el caso de la cuneta derecha los caudales de diseño y verificación son los obtenidos del modelo EPA-SWMM desarrollado en el Anexo 4.1 Informe Hidrológico e Hidráulico del Informe de Proyecto, Obra: Conexión Vial Ruta E 53 - Ruta 9 (N) - Ruta A 174, Tramo: Ruta Provincial NºE-53 – Ruta Nacional Nº9 Norte.

Tabla 5.11. Caudal derivado por cuneta derecha

Escenario	Caudal Máx. [m³/s]	Tiempo del Pico
3hsTR25	4.97	día 0, 05:20
6hsTR25	6.58	día 0, 06:29
3hsTR100	6.19	día 1, 00:25
6hsTR100	10.17	día 0, 06:12

6 ESTUDIO HIDRÁULICO

El funcionamiento hidráulico del sistema es principalmente longitudinal por lo que es necesario garantizar la conducción de los caudales de diseño por las cunetas de la autopista sin producir su desborde y evitando velocidades erosivas. En la zona del distribuidor de la ruta provincial Nº A-74 las cunetas se desarrollan entre las ramas y las colectoras.

ALCANTARILLAS LONGITUDINALES

Para dar continuidad a las cunetas se deben colocar alcantarillas longitudinales bajo el canal secundario XV y la ruta provincial. En la siguiente planilla se detallan las secciones propuestas, lo cual consiste en un predimensionado. Las dimensiones y cotas definitivas se ajustarán en la etapa de proyecto ejecutivo cuando se cuente con un relevamiento de detalle.

Tabla 6.1. Alcantarillas Longitudinales

Progresiva	Ubicación	Descripción	Nº Bocas	Ancho L [m]	Altura H [m]
1+727.00	Cuneta Derecha	Bajo canal secundario XV	2	2.00	1.00
1+822.70	Cuneta Izquierda	Bajo canal secundario XV	3	2.00	1.00
3+818.94	Cuneta Izquierda	Distr. RPNº A-74	3	2.00	1.25
3+900.49	Cuneta Derecha	Distr. RPNº A-74	2	2.00	1.25

CANALES DE RIEGO EXISTENTES

La intersección de la traza con los canales y acequias de riego existentes se resolvieron de distintas maneras. A continuación se lista cada uno de los caso y la solución propuesta:

✓ Pr. 1+776 Canal Secundario XV. Se plantea hormigonar el canal en la zona de camino respetando su sección y cotas. Para dar continuidad a las cunetas de la autopista será necesario profundizarlas y darles paso bajo el canal, lo que requiere saltos de gaviones y alcantarillas en ambas cunetas.

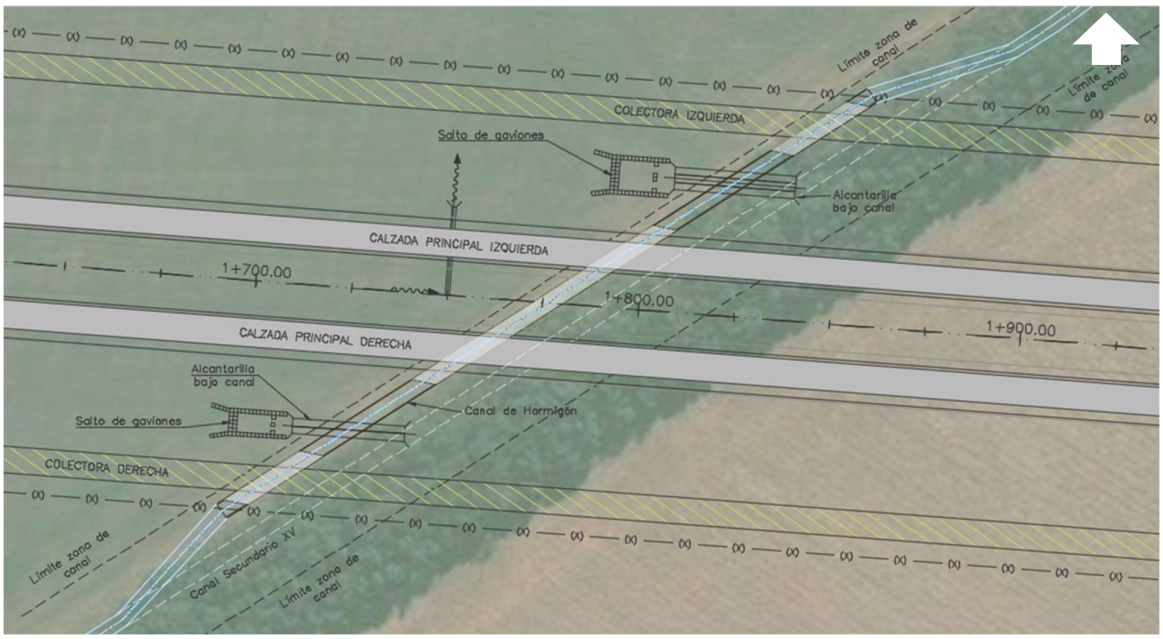

Figura 6.1. Cruce Canal Secundario XV

✓ Pr. 2+100 Canales terciarios. En este punto la traza intercepta 8 canales terciarios de los cuales 5 se encuentran en funcionamiento (línea continua). Se propone cruzar cada uno de ellos por medio de un sifón bajo la zona de camino.

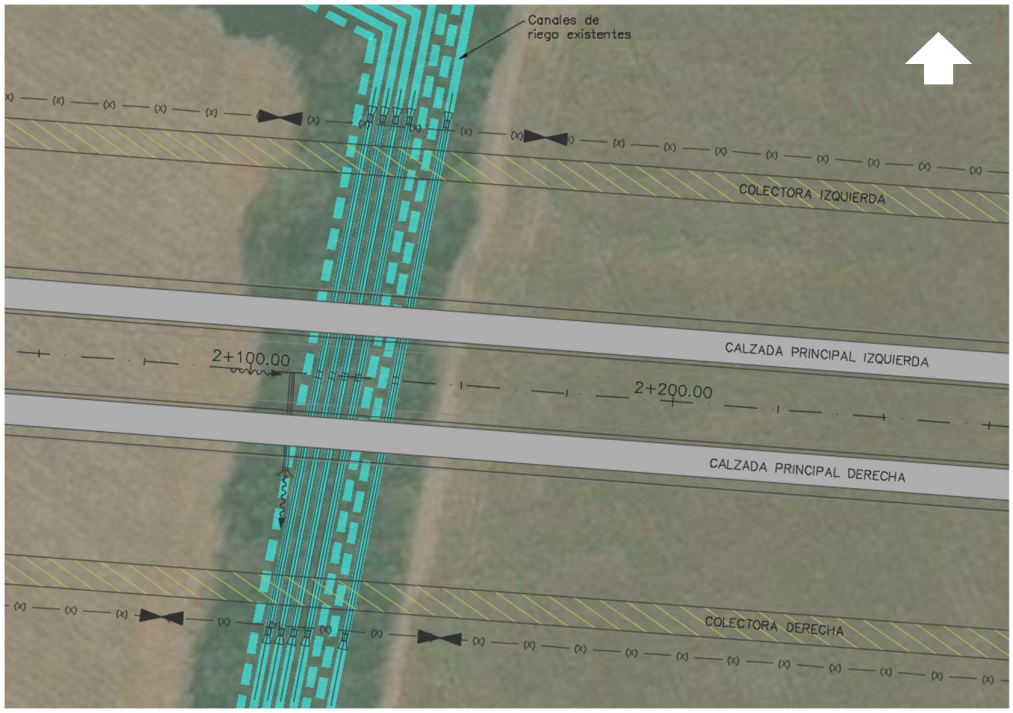

Figura 6.2. Cruce canales terciarios

✓ Pr. 2+921 Acequia privada. Se propone la misma solución descripta en el párrafo anterior.

✓ Pr. 3+800. Paralelos a la Ruta Provincial A 174 se observan 3 canales terciarios de sentido norte-sur, dos al oeste de la misma (canales C10 y C11) y uno al este (canal C13). A la altura del km 9.5 de esta ruta estos canales cambian su sentido 90º dirijiendose hacia el este. Unos metros antes el canal C5 de sentido oeste-este se une a C10 y C11 antes del cruce bajo la ruta. En la figura 5.3 se muestra la situación actual recién descripta.

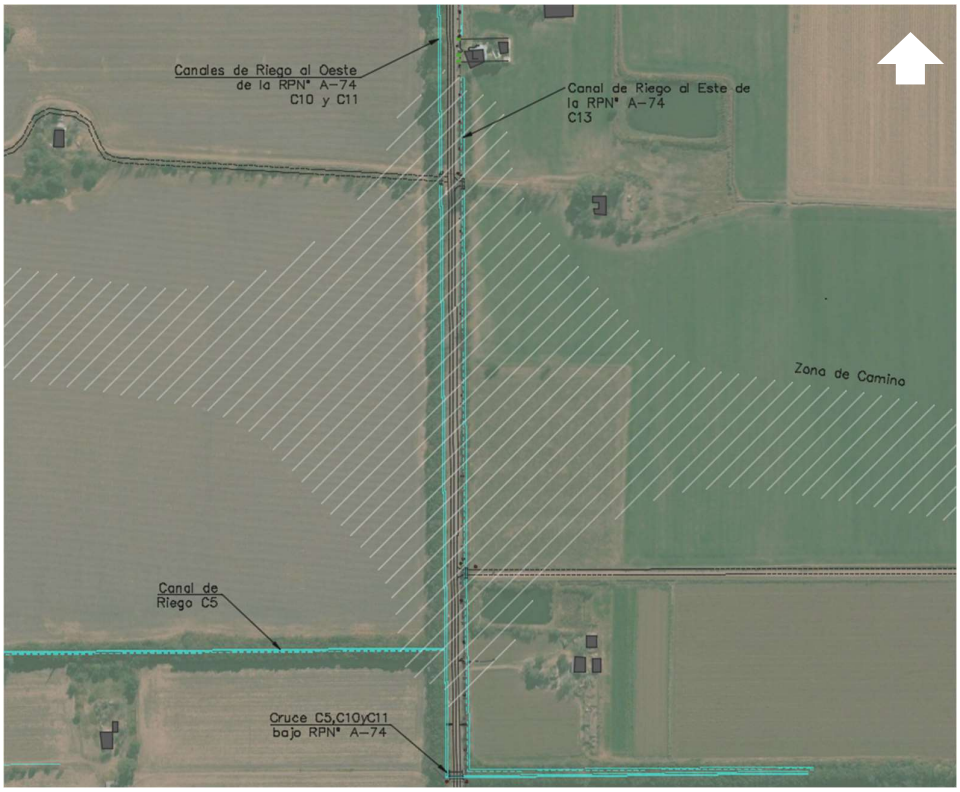

Figura 6.3. Situación actual en la zona del distribuidor de la RPNº A 174

En la situación de proyecto (figura 5.4) los canales son interrupidos por los accesos a colectoras y los terraplenes del puente de la RPNº A 174 sobre la autopista. Se propone realizar el cruce de los canales C10 y C11 al norte del distruidor por medio de alcantarillas bajo la ruta provincial y conducir sus caudales junto al del C13 por nuevos canales bordeando las colectoras que se encuentran al este de la ruta hasta empalmar con su cauce original. El cruce bajo la zona de camino se realiza por medio de sifones. Los mismos tendrán cámaras de inspección intermedias para su mantenimiento. Para garantizar la continuidad del canal C5 hasta el cauce existente es necesario realizar un canal paralelo a la colectora derecha en el sector suroeste del distribuidor.

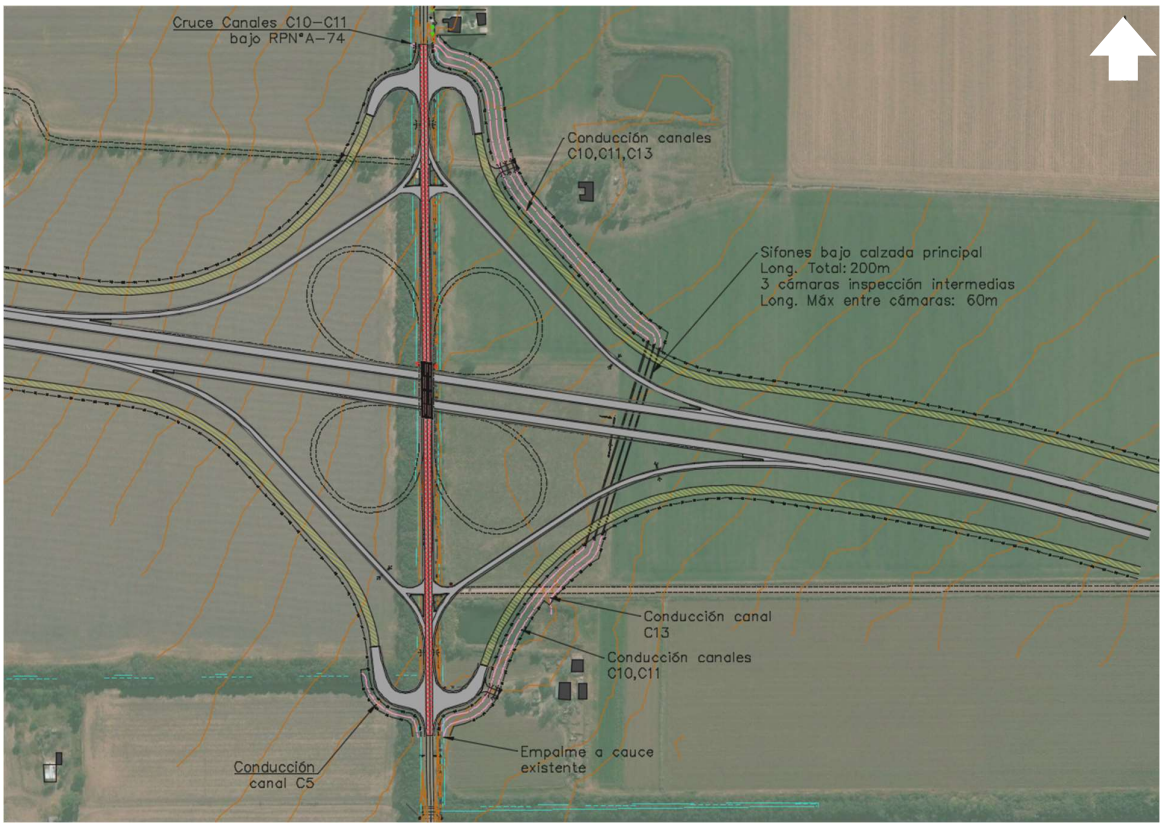

Figura 6.4. Situación de proyecto en la zona del distribuidor de la RPNº A 174

CANTERO CENTRAL

El cantero central presenta una sección triangular de taludes 1:6. El caudal de aporte es aquel que recibe de la calzada. Se ha considerado el ancho total de la misma en los sectores con curvas peraltadas, así como los distintos coeficientes de escorrentía para el sector pavimentado y no pavimentado. La capacidad de conducción de cada tramo se calculó utilizando la ecuación de Manning para canales abiertos. Como criterio de verificación se estableció que el tirante generado no supere los 0.60m para la lluvia de 25 años de recurrencia.

Tabla 6.2. Verificación Cantero Central

Caracterísitcas de la Cuneta								*Verificación TR25*							
Inicio	Fin	Long	Pend	Coef Manning	Ancho Solera	Talud	Contra talud	Q [m³/s]	Tirante y [m]	Área hidr.	Perím. hidr.	Radio hidr.	Qn/S^1/2	AR^2/3	Veloc. [m/s]
0+000.00	0+100.00	1985	-0.47%	0.035	0.00	6	6	0.59	0.39	0.91	4.73	0.19	0.30	0.30	0.65
0+100.00	1+500.00	1400	-0.65%	0.035	0.00	6	6	0.42	0.32	0.62	3.92	0.16	0.18	0.18	0.68
1+500.00	1+750.00	250	-0.70%	0.035	0.00	6	6	0.49	0.34	0.68	4.09	0.17	0.20	0.20	0.72
1+750.00	1+775.00	25	-0.15%	0.035	0.00	6	6	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
1+980.00	2+105.00	125	-1.20%	0.035	0.00	6	6	0.09	0.16	0.16	1.96	0.08	0.03	0.02	0.58
2+105.00	2+150.00	45	-0.73%	0.035	0.00	6	6	0.01	0.08	0.04	0.94	0.04	0.00	0.03	0.28
2+150.00	2+750.00	600	-0.63%	0.035	0.00	6	6	0.41	0.32	0.62	3.90	0.16	0.18	0.00	0.66
2+750.00	2+905.00	155	-0.46%	0.035	0.00	6	6	0.51	0.37	0.82	4.49	0.18	0.26	0.18	0.62
2+905.00	3+476.50	571	-0.65%	0.035	0.00	6	6	0.38	0.31	0.58	3.77	0.15	0.16	0.26	0.66
3+476.50	3+849.00	372	-0.65%	0.035	0.00	6	6	0.49	0.34	0.70	4.15	0.17	0.21	0.16	0.70
3+849.00	4+050.00	201	-1.04%	0.035	0.00	6	6	0.55	0.33	0.64	3.97	0.16	0.19	0.21	0.86
4+050.00	4+600.00	550	-0.62%	0.035	0.00	6	6	0.37	0.31	0.58	3.77	0.15	0.16	0.19	0.64

La cota de inicio del cantero central da continuidad al cantero del proyecto del tramo anterior (entre la RPNº E-53 y la RNNº 9 Norte). Para la verificación se ha considerado el aporte correspondiente al mismo.

Como consecuencia del estudio, se han incorporado alcantarillas para desaguar el cantero central. Algunas de ellas se colocaron aguas arriba de los sifones que cruzan las calzadas principales para evitar el ingreso de agua pluvial a los mismos.

Tabla 6.3. Alcantarillas Cantero Central

Progresiva	Descarga	Nº de Bocas	Ancho L [m]	Alto H [m]
0+100.00	Cuneta Derecha	1	1.00	1.25
1+750.00	Cuneta Izquierda	1	1.00	1.00
2+105.00	Cuneta Derecha	1	1.00	1.25
2+905.00	Cuneta Derecha	1	1.00	1.25
4+050.00	Cuneta Derecha	1	1.00	1.00

7 CONCLUSIONES

En el presente informe se realizó una caracterización de la zona donde se desarrolla la traza desde el punto de vista hidrológico, determinando las cuencas de aporte y los caudales de diseño. Dando continuidad al criterio de conducción establecido por la Secretaría de Recursos Hídricos para el tramo anterior, se propusieron las obras necesarias para garantizar el correcto funcionamiento hidráulico del sistema, las cuales deberán ser verificadas en la instancia de proyecto ejecutivo.

Las soluciones propuestas respecto a los canales de riego existentes fueron consensuadas con la Dirección de Irrigación de la Administración Provincial de Recursos Hídricos.