



Universidad
Nacional
de Córdoba



Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales

INFORME TÉCNICO FINAL

ESTUDIO HIDROLÓGICO

***CENTRO DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN
FINAL - CORMECOR***

Alumno: Gastón Federico Rampone Castelló

Tutor docente: Ing. Mariano A. Corral

Supervisor Externo: Ing. Gustavo D. Vanoli

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos por su inmenso esfuerzo, compañía incondicional, apoyo y motivación desde siempre y sobre todo durante esta etapa, en la cual sin ellos hubiese sido imposible concretar.

A mis abuelos, tíos y primos los cuales fueron un importante sostén emocional y quienes cerca o lejos siempre estuvieron presentes alentándome a seguir.

A mi novia Evelyn, cuya presencia me fue y es fundamental para enfrentar los obstáculos y quien hace que todo, con ella, sea más fácil.

A Agustín y Andrés, compañeros y amigos, que esta carrera me permitió conocer y quienes sin su compañía el paso por la facultad no hubiese sido igual.

A Fernando, Rodrigo y Santiago, amigos del pueblo, con quien compartí gratos momento antes y durante mi paso por la facultad, quienes siempre estuvieron.

Al Ingeniero Gustavo Vanoli por abrirme las puertas de su empresa y a mi tutor el Ingeniero Mariano Corral por la paciencia y predisposición por explicarme, aclarar dudas y guiarme durante el desarrollo de la práctica.

Al grupo Vanoli & Asociados y las personas que allí trabajan, por la excelente experiencia laboral, por hacerme sentir uno más y por su buena voluntad para ayudarme frente a dudas que fueron surgiendo en la ejecución de la práctica.



RESUMEN

El presente informe es un estudio hidrológico, realizado sobre el terreno natural en el que se construirá el centro de tratamiento y disposición final de residuos urbanos "CORMECOR", al sur de la ciudad de Córdoba. A su vez, constituye el marco de referencia teórico de la práctica profesional que todo alumno debe realizar y presentar para obtener el grado de Ingeniero Civil.

En la primera mitad del informe se lleva a cabo el estudio hidrológico, para lo cual se caracteriza el terreno donde se construirá el predio y se determinan sus parámetros hidrogeomorfológicos. Con esto se evalúa así el comportamiento de los escurrimientos superficiales que se producen en la actualidad, y se los contrasta con los escurrimientos futuros. Estos últimos difieren de los actuales debido a que la construcción del predio altera las condiciones naturales del suelo modificando así el escurrimiento superficial. En la segunda mitad del informe se evalúa el comportamiento de una serie de estructuras hidráulicas ubicadas aguas abajo del predio, frente a la variación de caudales de la situación actual y la futura, y se verifica que en las mismas no se vea afectado su correcto funcionamiento. Finalmente se incluye al final del informe las conclusiones acerca de los resultados obtenidos, de las hipótesis empleadas y de la experiencia adquirida en el ámbito profesional.



ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	6
2	METODOLOGÍA.....	7
2.1	Estudio Hidrológico.....	7
2.2	Impacto en obras hidráulicas aguas abajo.....	7
3	ESTUDIO HIDROLÓGICO HASTA PREDIO CORMECOR.....	8
3.1	Ubicación.....	8
3.2	Régimen Hidrológico y Térmico.....	9
3.3	Determinación de las Cuencas del Predio y aguas arriba del mismo.....	11
3.4	Lluvia de Diseño.....	17
3.4.1	Periodo de Retorno (<i>TR</i>).....	19
3.4.2	Duración (<i>d</i>).....	19
3.4.3	Distribución Temporal.....	21
3.4.4	Distribución Espacial.....	22
3.4.5	Lluvia Neta o Efectiva. Pérdidas.....	22
4	ESTIMACIÓN DE CAUDALES.....	23
4.1	Método Racional Clásico.....	23
4.2	Modelo HEC-HMS (Hydrologic Modeling System).....	24
5	IMPACTO SOBRE OBRAS AGUAS ABAJO.....	28
5.1	Cuencas de aporte hasta Canal Los Molinos-Córdoba.....	29
5.2	Parámetros de las cuencas C7 a C21.....	29
5.3	Lluvia de diseño en la macro cuenca.....	31
5.4	Análisis De Duración De Lluvia De Diseño Y Tiempo De Recurrencia.....	32
5.5	ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL.....	34
5.5.1	Situación actual Obras en Ruta Nacional 36.....	34
5.5.1.1	Alcantarilla N°1.....	35
5.5.1.2	Alcantarilla N°2.....	36
5.5.1.3	Alcantarilla N°3.....	37
5.5.1.4	Alcantarilla N°4.....	38
5.5.1.5	Comportamiento de las Alcantarillas en la Situación Actual.....	38
5.5.1.6	Resultados del análisis en Hy 8.....	40
5.5.2	Situación actual Obras en FFCC G.B.M.....	41
5.5.2.1	Alcantarilla N°1.....	42
5.5.2.2	Alcantarilla N°2.....	42
5.5.2.3	Comportamiento de las Alcantarillas en la Situación Actual.....	43
5.5.3	Situación actual Obras en Canal Los Molinos-Córdoba.....	44
5.5.3.1	Comportamiento del Canal Los Molinos-Córdoba en la Situación Actual.....	45
5.5.3.2	Perfil 1-1.....	46
5.5.3.3	Perfil 2-2.....	47
5.5.3.4	Perfil Calle-Canal.....	48
5.5.3.5	Análisis de los Perfiles para los Caudales de 25 y 100 años.....	49
5.5.3.6	Resultados de HEC-RAS.....	49
5.5.3.7	Sección 1-1.....	50
5.5.3.8	Sección 2-2.....	50
5.5.3.9	Sección Calle-Canal.....	51
5.6	ANÁLISIS SITUACIÓN FUTURA.....	52
5.6.1	Situación futura Obras en Ruta Nacional 36.....	54
5.6.2	Situación futura Obras en FFCC G.B.M.....	56

5.6.3	Situación futura Obras en Canal Los Molinos-Córdoba	57
5.6.3.1	Sección 1-1	57
5.6.3.2	Sección 2-2	58
5.6.3.3	Sección Calle-Canal	58
6	CONCLUSIONES	59
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
8	ANEXOS.....	62

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del predio.	8
Figura 2: Precipitación y Temperatura Media Mensual (ACASE – INTA, 2003).	9
Figura 3: Balance Hídrico (ACASE – INTA, 2003).	10
Figura 4: Canales de salida de agua del predio.	11
Figura 5: Camino de ingreso al predio.	12
Figura 6: Ubicación de cuencas sobre cartas del I.G.M.	12
Figura 7: Ubicación de cuencas sobre Google Earth (equidistancia 5 m).....	13
Figura 8: Laguna de regulación existente	14
Figura 9: Obra de descarga Norte de laguna de regulación existente.....	15
Figura 10: Obra de descarga Sur de laguna de regulación existente.....	15
Figura 11: Ubicación alcantarillas de RN N°36.....	16
Figura 12: Batería de alcantarillas sobre Ruta Nacional N°36.....	16
Figura 13: Curvas IDT estación Córdoba Observatorio.....	18
Figura 14: Distribución temporal adoptada para la lluvia de diseño.....	21
Figura 15: Esquema de modelación en HEC-HMS	26
Figura 16: Hidrogramas de ingreso y salida en laguna de regulación – Tr = 10 años .	26
Figura 17: Hidrogramas de ingreso y salida en laguna de regulación - Tr = 25 años ..	27
Figura 18: Macro cuenca	29
Figura 19: Cuencas CE7 a CE21	31
Figura 20: Recurrencia vs Duración en Nodo “Z”	33
Figura 21: Alcantarillas sobre Ruta N° 36	34
Figura 22: Alcantarilla 1	35
Figura 23: Alcantarilla 2	36
Figura 24: Alcantarilla 3	37
Figura 25: Alcantarilla 4	38
Figura 26: Modelo Macro Cuenca en HEC-HMS-Situación Actual	39
Figura 27: Salida HEC-HMS Alcantarillas Ruta 36-Situación Actual -Tr25 Años	39
Figura 28: Salida HEC-HMS Alcantarillas Ruta 36-Situación Actual -Tr100 Años	40
Figura 29: Esquema de alcantarillas en el FFCC	41
Figura 30: Alcantarilla 1- FFCC.....	42
Figura 31: Alcantarilla 2- FFCC.....	42
Figura 32: FFCC -Altura de Embalse– Situación Actual-Tr 25 y 100 Años.....	44
Figura 33: Intersección Canal Los Molinos-Córdoba con Macro Cuenca	45
Figura 34: Canal Los Molinos-Córdoba – Perfiles de Análisis.	46
Figura 35: Croquis esquemático-Perfil 1-1	46
Figura 36: Perfil 1-1	47
Figura 37: Croquis esquemático-Perfil 2-2	47
Figura 38: Perfil 2-2	48
Figura 39: Croquis esquemático-Perfil Calle Canal	48
Figura 40: Perfil Calle Canal	49
Figura 41: Sección 1-1- Nivel de Inundación – Situación Actual	50
Figura 42: Sección 2-2- Nivel de Inundación – Situación Actual	50
Figura 43: Sección Calle Canal - Nivel de Inundación - Situación Actual	51
Figura 44: Predio CORMECOR- Subcuencas CI1, CI2, CI3	53
Figura 45: Modelo Macro Cuenca en HEC-HMS-Situación Futura.....	54
Figura 46: Salida HEC-HMS Alcantarillas Ruta 36-Situación Futura - Tr25 Años.....	54
Figura 47: Salida HEC-HMS Alcantarillas Ruta 36-Situación Futura -Tr100 Años.....	55
Figura 48: Sección 1-1- Nivel de Inundación – Situación Futura	57
Figura 49: Sección 2-2- Nivel de Inundación – Situación Futura	58
Figura 50: Sección Calle Canal - Nivel de Inundación - Situación Futura.....	58

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros físicos de las cuencas externas (CE) e internas (CI).....	13
Tabla 2: Intensidad (mm//h) para estación Córdoba Observatorio.	18
Tabla 3: Tiempo de concentración de las cuencas externas (CE) e internas (CI)	20
Tabla 4: Caudales para recurrencia de 10 años.....	23
Tabla 5: Caudales para recurrencia de 25 años.....	24
Tabla 6: Caudales máximos en nodos hidrológicos	27
Tabla 7: Parámetros de Cuencas CE7 a CE21	30
Tabla 8: Tiempos de Concentración Cuencas CE7 a CE21	30
Tabla 9: Parámetros Macro Cuenca	31
Tabla 10: Tiempo de Recurrencia vs Duración de Lluvia en Nodo "Z"	32
Tabla 11: Resultados HY8 - Situación Actual- Tr. 25 Años	40
Tabla 12: Resultados HY8 - Situación Actual - Tr. 100 Años	41
Tabla 13: Cota máxima nivel de agua en Alcantarillas 1-FFCC	43
Tabla 14: Cota máxima nivel de agua en Alcantarillas 2-FFCC	43
Tabla 15: Caudales Situación Actual en Canal Los Molinos-Córdoba.....	49
Tabla 16: Porcentaje de impermeabilización de cuencas CI1, C2, C2	53
Tabla 17: Situación Futura -Control de Entrada y Salida -Alcantarillas - Tr. 25 Años ..	55
Tabla 18: Situación Futura -Control de Entrada y Salida -Alcantarillas - Tr. 100 Años	55
Tabla 19: Caudales Situación Actual vs Futura-Tr 25Años	56
Tabla 20: Caudales Situación Actual vs Futura-Tr 100Años	56
Tabla 21: Cota máxima nivel de agua en Alcantarillas 1-FFCC	56
Tabla 22: Cota máxima nivel de agua en Alcantarillas 2-FFCC	57
Tabla 23: Caudales Situación Futura en Canal Los Molinos-Córdoba	57

ANEXO

Anexo 1: Salida de HEC-HMS	62
Anexo 2: Resultados de Análisis en Hy 8 –Alcantarillas Ruta N°36	68
Anexo 3: Resultados de HEC-HMS- Puentes-Alcantarillas sobre FFCC.....	80
Anexo 4: Resultados de HEC-RAS- Canal Los Molinos-Córdoba	84

ESTUDIO HIDROLÓGICO

CENTRO DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL - CORMECOR

1 INTRODUCCIÓN

La Corporación Intercomunal para la Gestión Sustentable de los Residuos del Área Metropolitana de Córdoba Sociedad Anónima, en adelante CORMECOR, tiene como objetivo el tratamiento y la disposición final de los residuos sólidos urbanos generados en la ciudad de Córdoba. En ese sentido recibirá en cesión por parte del Gobierno de la Provincia un predio destinado a la instalación de un Centro de Tratamiento y Disposición Final (CTyDF) ubicado al Sur de la ciudad de Córdoba, entre la Ruta Nacional N° 36 y la Provincial N° 5.

El presente estudio hidrológico tiene por objetivo principal realizar la caracterización hidrológica superficial del predio del CTyDF y la cuenca donde se emplaza, definir los puntos de concentración de excedentes y los caudales que se evacúan por las obras de drenaje, establecer las cotas de inundación o áreas inundables, evaluar y verificar las condiciones futuras de las cuencas y obras hidráulicas de drenaje que se encuentran aguas abajo del predio.

En este estudio hidrológico fueron delimitadas y subdivididas las cuencas de aporte externas e internas del predio. Se han definido los parámetros físicos de las subcuencas y las características de las lluvias de diseño. A su vez para llevar a cabo la transformación lluvia – caudal en las cuencas pequeñas, se utilizó el método racional clásico, mientras que para las cuencas mayores fue aplicado el programa computacional HEC-HMS, obteniendo los caudales para diferentes recurrencias, sobre todo en la evaluación de los posibles impactos que pueden acompañar la ejecución del predio.

2 METODOLOGÍA

El desarrollo metodológico en el que se incluye la recopilación, clasificación y análisis de antecedentes, comprende las siguientes etapas y las implicancias de cada una de ellas, la mayoría de las cuales se encuentran intrínsecamente relacionadas. Estas etapas pueden ser contempladas en dos grandes capítulos, tales como: el “estudio hidrológico” y estudio de los “impacto de ejecución del predio en obras hidráulicas aguas abajo”.

2.1 ESTUDIO HIDROLÓGICO

- Caracterización Hidrogeomorfológica de las Cuencas de Aporte Hídrico
 - definición de la red de escurrimientos
 - definición de áreas deprimidas
 - delimitación de las subcuencas
 - tipo de suelos y cobertura vegetal en los sectores rurales
 - uso del suelo y grado de urbanización en las áreas con asentamiento poblacional
 - infraestructura actual relacionada con los escurrimientos
- Determinación de la Lluvia de Proyecto
 - período de retorno o recurrencia / probabilidad de ocurrencia
 - duración
 - lámina total
 - distribución temporal
 - distribución espacial
- Transformación Lluvia – Caudal y Propagación de Caudales
 - lluvia neta o efectiva
 - determinación de los caudales picos para los distintos períodos de recurrencia adoptados
 - determinación de niveles de escurrimiento para los distintos períodos de recurrencia adoptados

2.2 IMPACTO EN OBRAS HIDRÁULICAS AGUAS ABAJO

- Redefinición de la Cuenca Aguas Arriba Del Predio Y Aguas Abajo
 - Evaluación del sistema existente de alcantarillas, canales y lagunas de regulación
 - Determinación de las características hidrológicas de las nuevas cuencas.
 - Modelado en HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)
 - Verificación de obras hidráulicas aguas abajo del predio, para la situación actual y futura

3 ESTUDIO HIDROLÓGICO HASTA PREDIO CORMECOR

3.1 UBICACIÓN

El CTyDF se ubica 15 Km al Sudoeste de la ciudad de Córdoba (Depto. Santa María) entre la Ruta Nacional N° 36 y la Provincial N° 5 (remarcado en color verde en la siguiente Figura). Este predio tiene su ingreso por camino rural desde la Ruta Nacional N° 36 recorriendo 1200 metros hacia el Oeste y posee una superficie aproximada de 340 Hectáreas.

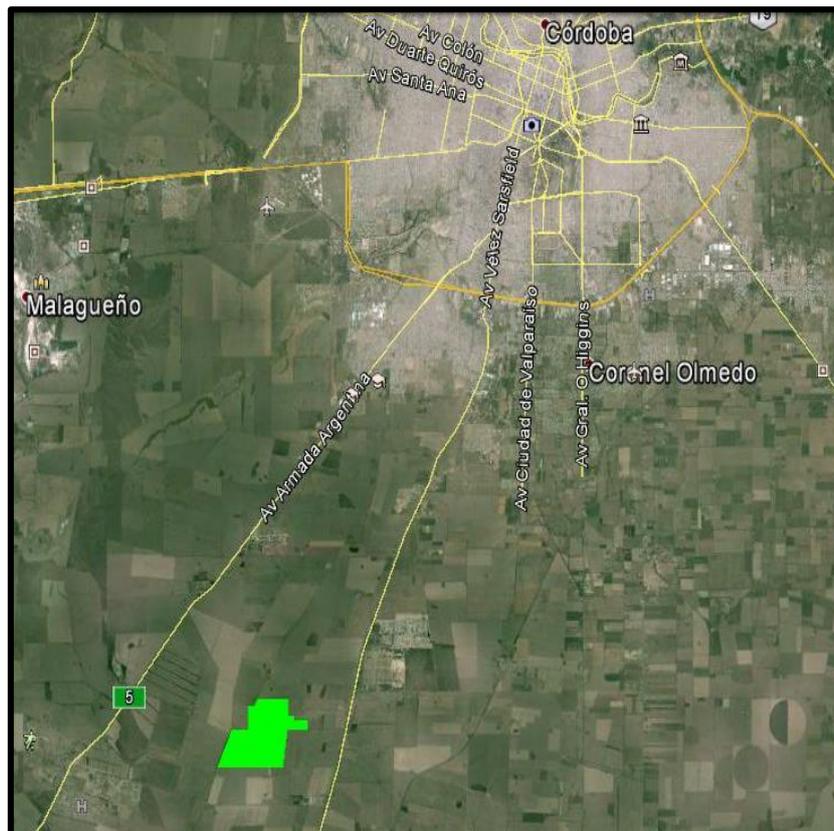


Figura 1: Ubicación del predio.

En general las cuencas del sector tienen sus nacientes en una pequeña zona montañosa ubicada hacia el Oeste de la Ruta Provincial N°5, que separa los excedentes hacia el Oeste a la cuenca de aporte del Arroyo La Cañada en el bajo la Lagunilla y las cuencas que se generan para el Este, escurren en sentido hacia el Sureste afectando en primer lugar la Ruta Provincial N° 5, la Nacional N°36 y la Provincial C45.

Estas cuencas han sido ampliamente estudiadas por la Dirección Provincial de Vialidad (DPV), el Centro de la Región Semiárida (CIRSA)–Instituto Nacional del Agua (INA), la cátedra de Fotointerpretación de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEFyN) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) y desde el punto de vista hidrológico por la DPV.

3.2 RÉGIMEN HIDROLÓGICO Y TÉRMICO

Tomando como referencia algunas localidades próximas al área de estudio, el Libro Los Suelos (2003) [1] define un clima templado para la región, debido a que la temperatura estival, representada por el valor térmico de enero es de 25,3 °C y la temperatura invernal (julio) posee un valor de 10,3 °C, con una amplitud anual de 15,0°C.

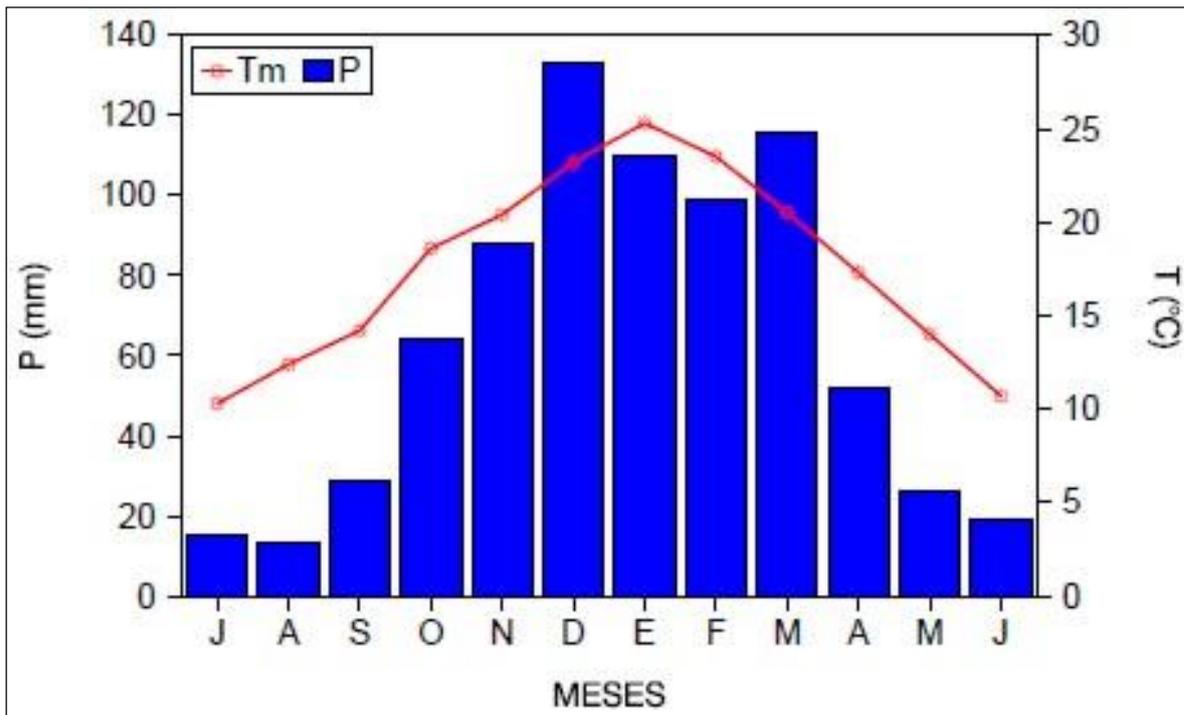


Figura 2: Precipitación y Temperatura Media Mensual (ACASE – INTA, 2003).

La acumulación de grados-días, como expresión de las disponibilidades calóricas para el crecimiento vegetal alcanza a 2760 grados-días. Las heladas ocurren todos los años con fecha media de ocurrencia el 29 de Mayo, para las primeras heladas y el 4 de Septiembre para las últimas heladas. El período medio libre de heladas es de 267 días.

En la siguiente Figura se presenta el balance hídrico climático. Cabe destacar las variaciones estacionales de la precipitación, la evapotranspiración potencial y real demarcándose períodos de déficit prácticamente todo el año excepto en marzo. Los porcentajes de distribución estacional de las precipitaciones son los siguientes: Verano (DEF): 45%, Otoño (MAM): 25%, Invierno (JJA): 6% y Primavera (SON): 24%. Esta distribución pluviométrica es característica de un régimen monzónico.

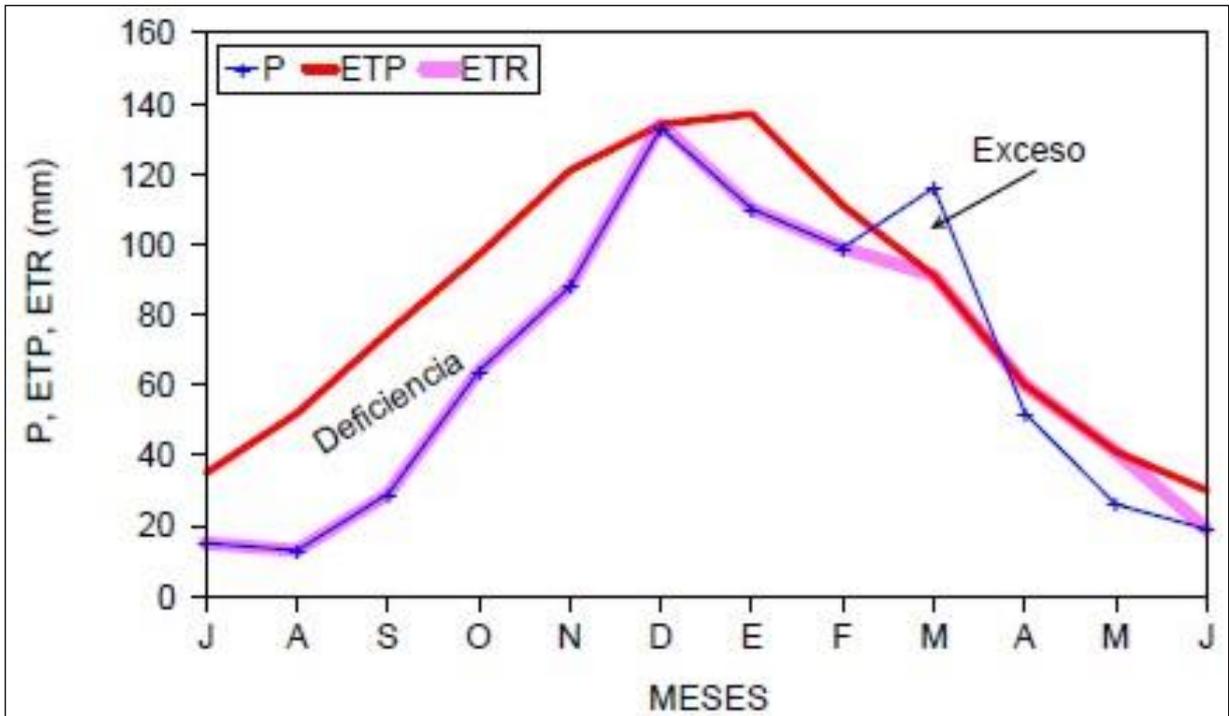


Figura 3: Balance Hídrico (ACASE – INTA, 2003).

3.3 DETERMINACIÓN DE LAS CUENCAS DEL PREDIO Y AGUAS ARRIBA DEL MISMO

La delimitación de las cuencas y su red de escurrimiento fue realizada en una primera instancia sobre la base de los datos de las cartas topográficas del IGM a escala 1:50.000, comprendida en su totalidad en la Carta Alta Gracia 3163 – 25 – 3 y la Carta Toledo 3163-25-4.

En forma complementaria y para lograr más detalle de los cierres de las subcuencas se tomaron las imágenes y curvas de nivel disponibles en el programa Google Earth, además de un recorrido en detalle por la cuenca relevando las obras de drenaje como alcantarillas, cunetas y lagunas de regulación existentes, lo que permitió definir las diferentes subcuencas y los puntos de concentración de caudales. Estas tareas en general se realizaron para determinar las cuencas externas al predio, las que se denominarán como CE con su correspondiente número.

Por otro lado se han determinado las cuencas internas del predio, denominadas como CI, en función del relevamiento topográfico disponible, allí se observan tres sectores en donde se concentran los caudales de salida del predio (Figura 4).

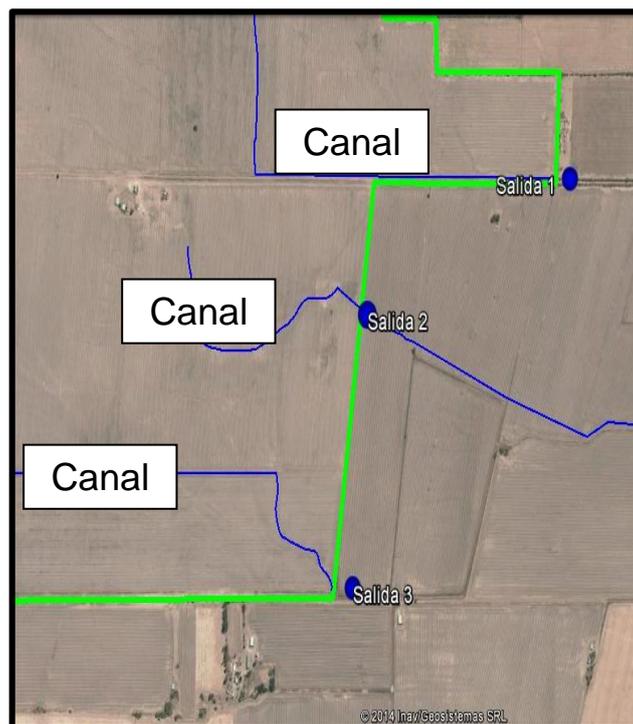


Figura 4: Canales de salida de agua del predio.

Los caudales que llegan hasta la Salida 1 se dirigen hacia el Este por el camino de ingreso al predio, el que se encuentra encajonado y aproximadamente a 1 m por debajo del terreno natural (Figura 5) que se comporta como un canal. De acuerdo a observaciones de los pobladores este camino/canal se llena de agua durante la ocurrencia de eventos extremos.

El flujo se dirige encajonado en el camino de ingreso hasta llegar a la cuneta Oeste de la Ruta Nacional N° 36 y luego se dirige hacia el Sur, pasando por 3 alcantarillas rectangulares de 2,0 x 1,5 m en un camino de ingreso. Aguas debajo del mismo se junta con las descargas de la Salida 2 y 3 para llegar a las alcantarillas sobre la RN N° 36, las cuales se comentarán más adelante.



Figura 5: Camino de ingreso al predio.

En las siguientes figuras se presentan las cuencas, cauces principales y nodos hidrológicos sobre las cartas del IGM por un lado y por otro sobre las curvas de nivel del Google Earth, mientras que en los planos adjuntos se las presenta a una escala más conveniente para su visualización.

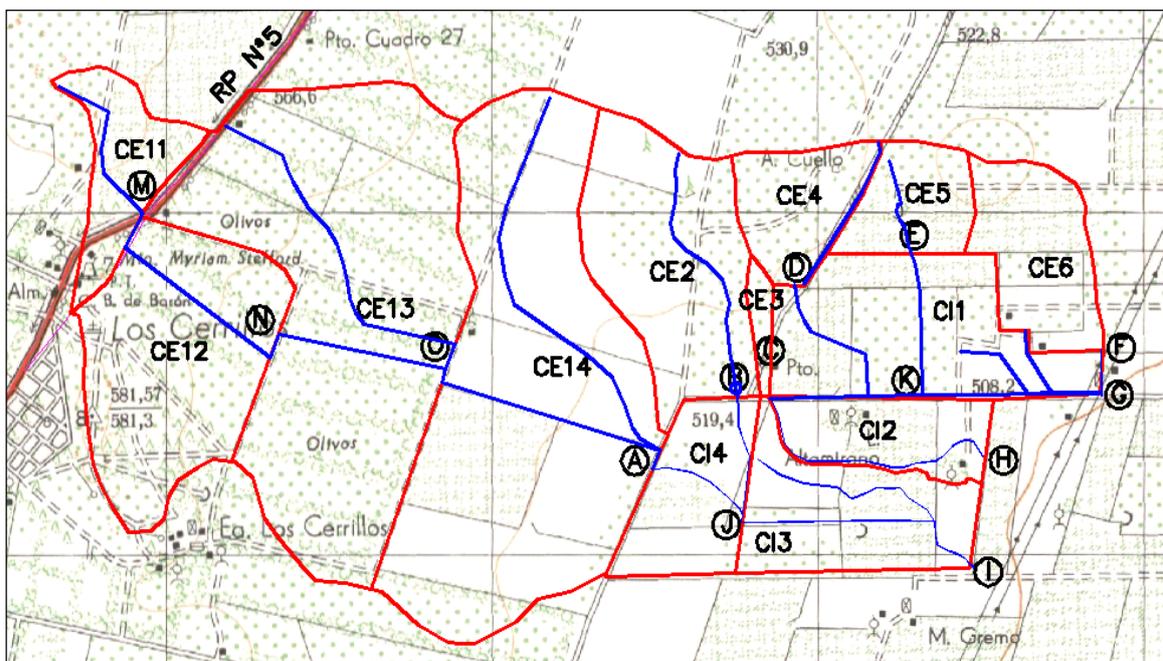


Figura 6: Ubicación de cuencas sobre cartas del I.G.M.

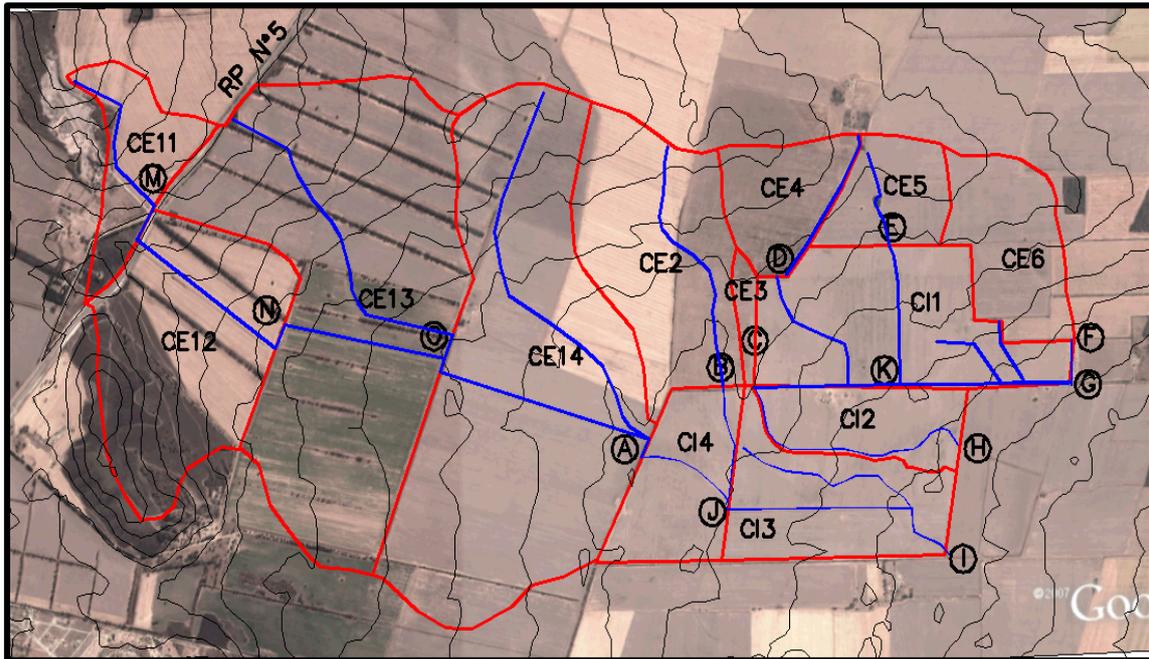


Figura 7: Ubicación de cuencas sobre Google Earth (equidistancia 5 m)

Entre la lluvia y el caudal escurrido a la salida de la cuenca ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre ambos y que básicamente están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca y su cobertura. Dichas características se clasifican en dos tipos: las que condicionan el *volumen* de escurrimiento, como el área y tipo de suelo; y las que determinan la *velocidad de respuesta*, como son la pendiente de la cuenca y de los cursos de agua, la cubierta, etc. De las cuencas delimitadas fueron determinados los parámetros físicos más importantes tales como el Área de la Cuenca (A), Longitud del Cause Principal (L), Desnivel Medio del Cause Principal (H), Pendiente Media del Cause Principal (Sc). Los parámetros se resumen en la siguiente tabla.

Cuenca	A (Km ²)	L (Km)	H (m)	Sc (%)
CE11	0.54	1.28	45.00	3.51
CE12	1.59	1.26	15.00	1.19
CE13	3.46	2.25	40.00	1.78
CE14	3.42	2.57	30.00	1.17
CE2	1.34	1.60	17.00	1.06
CE3	0.09	0.78	5.00	0.65
CE4	0.51	0.96	9.00	0.93
CE5	0.45	0.67	8.00	1.19
CE6	0.69	1.24	21.00	1.69
CI1	1.32	2.58	20.00	0.77
CI2	0.55	1.63	15.00	0.92
CI3	0.91	1.60	13.00	0.81
CI4	0.66	0.73	4.00	0.55

Tabla 1: Parámetros físicos de las cuencas externas (CE) e internas (CI)

Como se puede observar las cuencas externas CE2 a CE6 y las internas CI1 a CI4 son consideradas pequeñas desde el punto de vista hidrológico, ya que no superan los 2,5 Km², mientras que la cuenca externa CE1, comprende una superficie de 9 Km² y es considerada hidrológicamente como una cuenca mediana, por lo que se la ha dividido en 4 cuencas menores las que se han denominado CE11 a CE14.

Las principales obras de drenaje que modifican o alteran el escurrimiento natural existen en la Cuenca Externa 1. Comenzando desde aguas arriba la subcuenca CE11 pasa por debajo de las dos calzadas de la RP N°5, en una de ellas lo hace con una alcantarilla de diámetro 0,8 m y en la otra con una alcantarilla rectangular de 1 m x 1 m. Aguas abajo se desarrolla un canal hacia el Este que incorpora el aporte de las cuencas CE12, CE13 y CE14 llegando en forma concentrada al límite Oeste del predio (nodo hidrológico A). A partir del punto A se dirige hacia el Este incorporando la cuenca externa CE2 y la interna CI4 y llegan a una laguna de regulación en el predio.

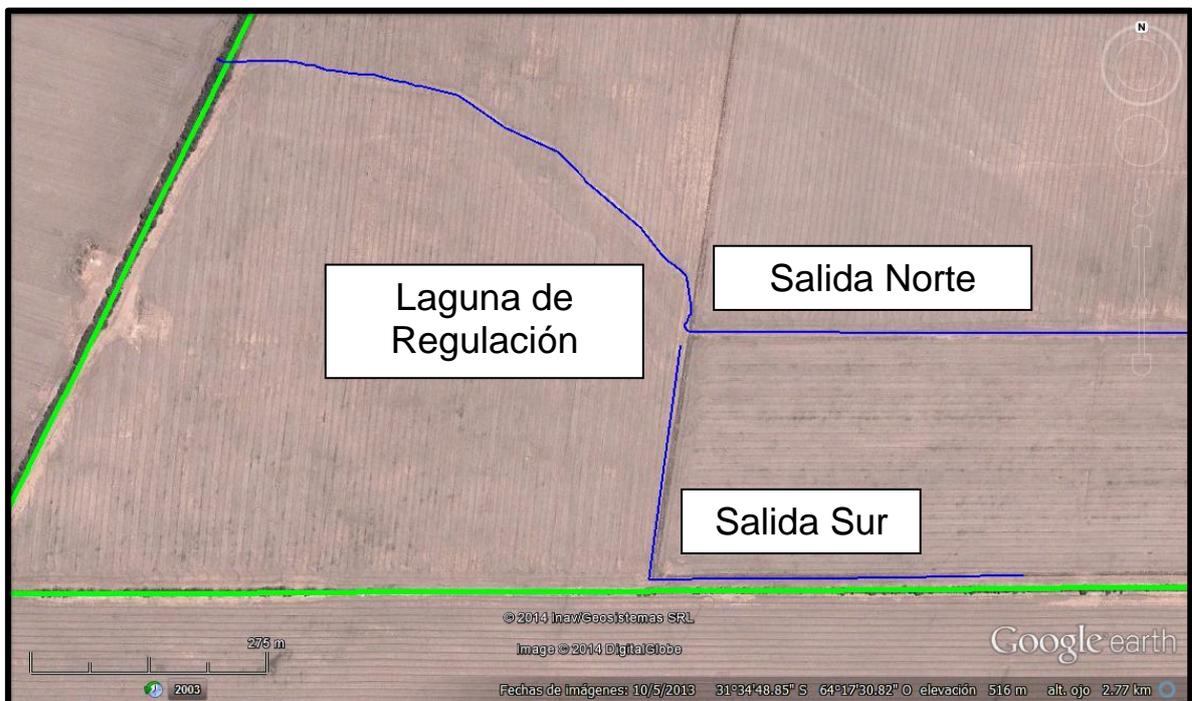


Figura 8: Laguna de regulación existente

La laguna de regulación se compone de un terraplén orientado en sentido Norte – Sur de altura variable entre 1 y 2 metros copiando la pendiente natural del terreno, con dos sectores de descargas o salidas. La descarga Norte se realiza por una estructura tipo alcantarilla sin techo, con un ancho entre muros laterales de 3,90 m y altura 1,15 m. La descarga Sur es directamente una interrupción del terraplén con un ancho promedio de 12 m y altura menor a 1 m.



Figura 9: Obra de descarga Norte de laguna de regulación existente



Figura 10: Obra de descarga Sur de laguna de regulación existente

Aguas debajo de cada una de estas estructuras se desarrollan canales de baja altura aproximadamente de 0,70 m y con un ancho de 8 y 12 m para la Salida Norte y Sur respectivamente. Estos canales continúan en la dirección Este hasta juntarse en el

extremo Sureste del predio o Salida 3 en Figura 4. Este canal continúa en dirección Este y sumado a otras cuencas pequeñas llega hasta una batería de 8 alcantarillas sobre la Ruta Nacional N°36, que se compone de 2 alcantarillas rectangulares de 2 x 1 m más 6 de 2,9 x 1,4 m.

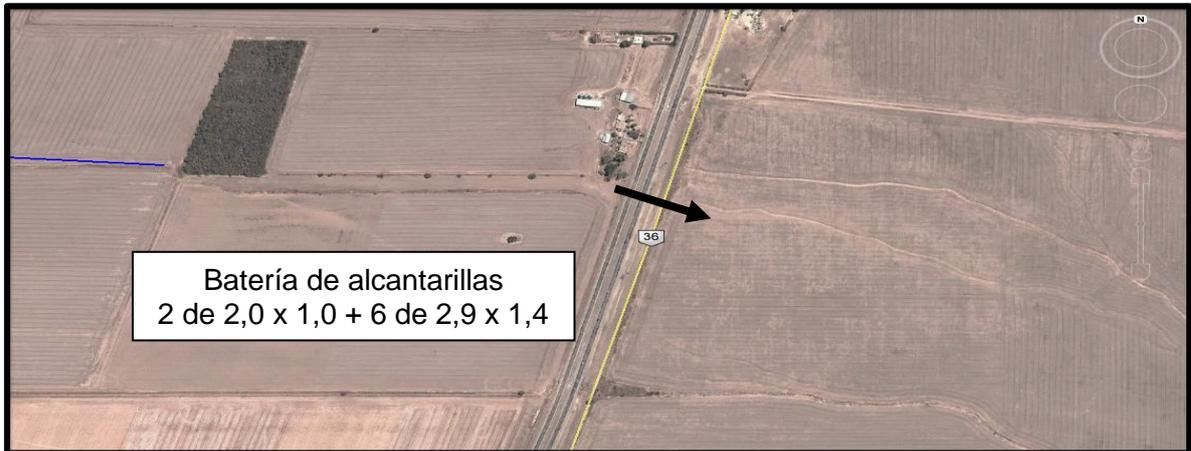


Figura 11: Ubicación alcantarillas de RN N°36



Figura 12: Batería de alcantarillas sobre Ruta Nacional N°36

3.4 LLUVIA DE DISEÑO

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

La provincia de Córdoba cuenta actualmente con valiosos estudios sobre lluvias de diseño realizados por el CIRSA perteneciente al Instituto Nacional del Agua. Esta repartición elaboró el trabajo "*Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba*"[4] a partir de los registros de 141 estaciones pluviométricas y 7 pluviográficas en toda la provincia.

Según este análisis del CIRSA, el área en estudio queda comprendida en la Zona Centro, la cual tiene como pluviógrafo base a la estación de Córdoba Observatorio. Dada la disponibilidad de datos de esta última estación, serán empleados a la cuenca analizada respetando todas las condiciones de aplicabilidad dadas por el CIRSA, las que se enuncian a continuación:

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

Los valores de intensidad de la lluvia en función del tiempo de retorno y duración de la lluvia se presentan en la Tabla 2 y Figura 13.

Duración "d" min.	Intensidad de Precipitación "mm/h"					
	Recurrencia "Años"					
	2	5	10	25	50	100
10	101.71	121.71	139.43	166.86	191.14	218.95
20	75.13	89.91	103.00	123.26	141.20	161.74
30	59.92	71.71	82.15	98.31	112.62	129.00
40	50.02	59.86	68.57	82.07	94.01	107.69
50	43.04	51.51	59.00	70.61	80.88	92.65
60	37.84	45.28	51.87	62.08	71.11	81.46
70	33.81	40.46	46.35	55.46	63.53	72.78
80	30.59	36.60	41.93	50.18	57.48	65.85
90	27.95	33.45	38.32	45.86	52.53	60.18
100	25.76	30.82	35.31	42.25	48.40	55.44
110	23.89	28.59	32.75	39.20	44.90	51.44
120	22.29	26.68	30.56	36.58	41.90	47.99
130	20.91	25.02	28.66	34.30	39.29	45.00
140	19.69	23.56	26.99	32.30	37.00	42.38
150	18.61	22.27	25.51	30.53	34.97	40.06
160	17.65	21.12	24.20	28.96	33.17	38.00
170	16.79	20.09	23.02	27.54	31.55	36.14
180	16.01	19.16	21.95	26.27	30.09	34.47

Tabla 2: Intensidad (mm/h) para estación Córdoba Observatorio.

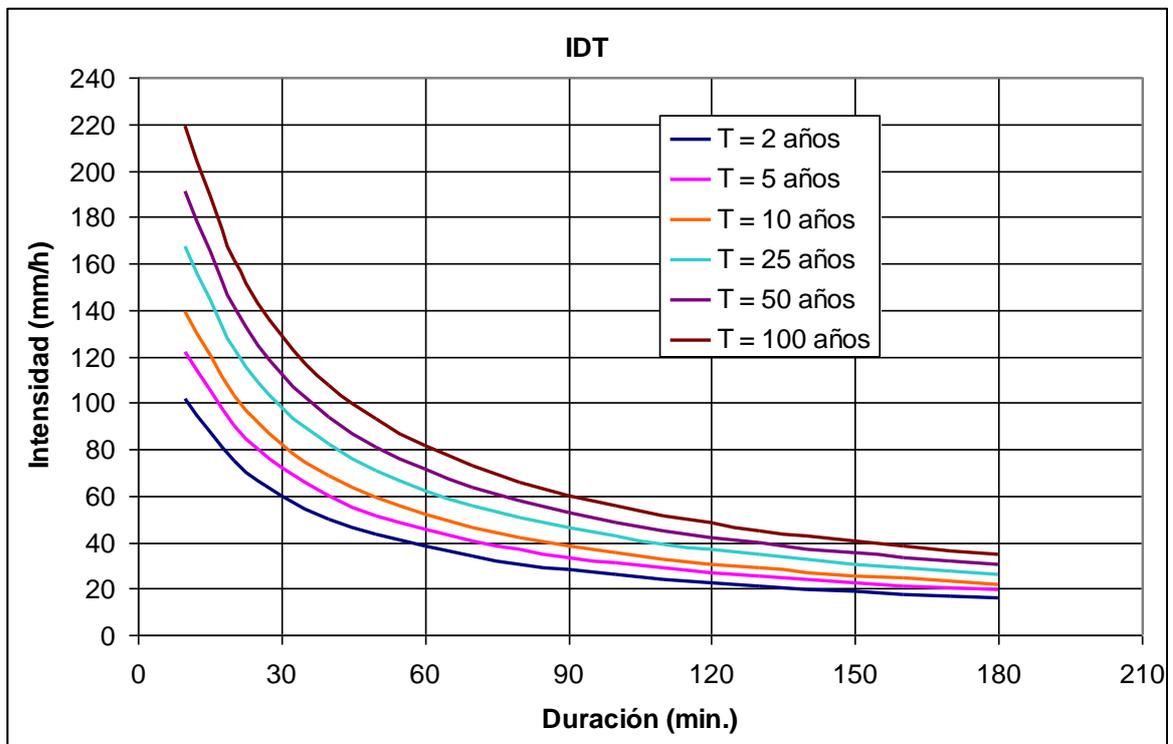


Figura 13: Curvas IDT estación Córdoba Observatorio.

3.4.1 Período de Retorno (TR)

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

En el presente trabajo se han determinado los caudales para una recurrencia de 10 y 25 años, para evaluar el comportamiento hidrológico actual de las cuencas que contienen al predio CORMECOR y las que se encuentran aguas arriba del mismo. Para la verificación de las obras aguas abajo del predio en la situación futura, se utilizarán TR de 25 y 100 años.

3.4.2 Duración (d)

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

Para la estimación del tc de las cuencas se evaluaron varias fórmulas empíricas basadas en las características físicas de las subcuencas. La mayoría de dichas fórmulas son descriptas en algunas de las referencias bibliográficas citadas [8], de las cuales se destacan algunas de las más usadas: Método Racional Generalizado, Pilgrim, Témez, Kirpich, Bransby Williams, Cartas de Velocidad Promedio, etc.

Se presentan algunas de las fórmulas utilizadas:

Método Racional Generalizado (MRG): origen EEUU, adoptado por la ingeniería vial en la Argentina. Se sugiere adoptar k próximo a la unidad.

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

Donde:

- L = longitud del cauce principal [m]
- H = Diferencia de nivel de la cuenca [m]
- k = Rugosidad relativa del cauce

Kirpich (K): Desarrollada para cuencas urbanas.

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

Donde:

- L = longitud del cauce principal [m]

H = Diferencia de nivel de la cuenca [m]

Pilgrim (P): Desarrollada para cuencas rurales de Australia

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

Donde:

T_c = Tiempo de concentración [hs]

A = Área de la cuenca [Km²]

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

Cuenca	MRG (min)	K (min)	P (min)	BW (min)	CVP (min)	Promedio (min)
CE11	27	17	36	39	23	28
CE12	37	26	54	42	38	40
CE13	49	35	73	65	56	56
CE14	61	46	73	81	79	68
CE2	45	33	51	56	52	47
CE3	32	23	18	39	32	29
CE4	33	23	35	38	33	33
CE5	24	16	34	26	21	24
CE6	33	23	40	42	32	34
CI1	69	54	51	97	98	74
CI2	48	35	36	64	57	48
CI3	49	36	44	62	59	50
CI4	32	23	39	31	33	31

Tabla 3: Tiempo de concentración de las cuencas externas (CE) e internas (CI)

Como se puede observar, los tiempos de concentración adoptados para las cuencas externas CE2 a CE6 y las internas abarcaron en general valores menores a 1 hora, pero en el caso de la Cuenca Externa C1 (suma de cuencas C11 a C14) que tiene una superficie de 9 Km² se ha considerado para esta cuenca completa un t_c del orden de 3 horas, lo cual proporciona una estimación de la duración de lluvia más crítica para esta cuenca en particular.

Por otro lado, en los estudios realizados por el CIRSA se establecieron distintas características en las precipitaciones de la Zona Centro a partir del análisis de los

eventos registrados en la estación pluviográfica de Córdoba Observatorio. De las conclusiones de dicho estudio se desprende que las duraciones de lluvias *más frecuentes* superan 1 hora, ubicándose la mayor cantidad de eventos entre las 3 y 6 horas.

En resumen en este primer análisis de las cuencas se ha adoptado una duración de lluvia de 3 horas. Más adelante cuando se adicionen al sistema de cuenca que se vienen analizando, las subcuencas que se encuentran aguas abajo del predio, se volverá a evaluar cuál es la duración más apropiada, puesto que esta va a depender del tamaño de la cuenca total de análisis.

3.4.3 Distribución Temporal

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

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

En la estación Córdoba Observatorio, el CIRSA ha determinado la posición del pico en función de la duración de la lluvia, clasificándolas en lluvias cortas (duración menor o igual a 2 horas) y largas (duración mayor a 2 horas).

Para el caso de la estación Córdoba Observatorio, la suma de las probabilidades de ocurrencia para los patrones temporales con pico en el 1º y 2º sextil supera el 70%. De ambos patrones fue adoptado el que contiene el pico en el 2º sextil (Figura 14), dado que este patrón es en general más desfavorable para la generación de caudales.

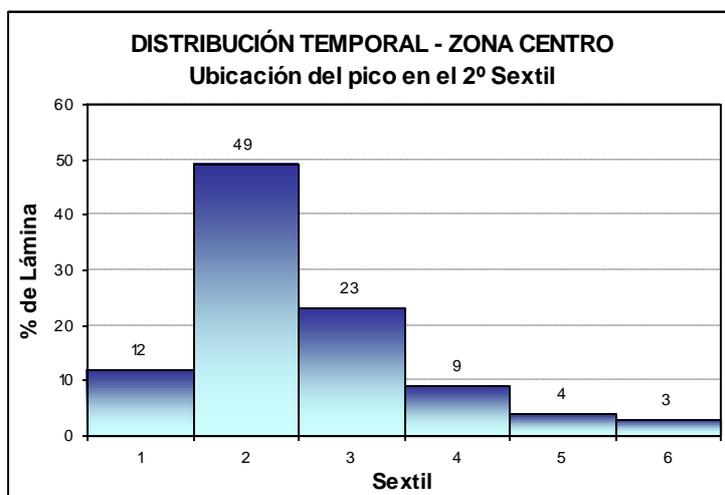


Figura 14: Distribución temporal adoptada para la lluvia de diseño

3.4.4 Distribución Espacial

A través del tratamiento de información pluviográfica es posible establecer una relación entre la Lámina Precipitada, el Área abarcada y la Duración de la Lluvia (Curvas A-A-D, Altura - Área - Duración), que permiten definir límites espaciales asociados a cada duración de lluvia.

Generalmente, son consideradas como cuencas intermedias y grandes cuando el área de la misma supera los 20 o 25 km², en estos casos es posible reducir los valores puntuales en función del área evaluadas. Considerando que la máxima cuenca en estudio (CE1) posee un área de 9 Km², se debe desestimar una reducción de la lámina puntual.

3.4.5 Lluvia Neta o Efectiva. Pérdidas

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

Existen diversos métodos para estimar estas pérdidas a lo largo de una lluvia, en general están basados en índices simplificados (α , Φ , W), relaciones funcionales (Método del Número de Curva – CN del SCS) y ecuaciones de infiltración (Horton, Philip, etc.). En el presente trabajo fue adoptado para la estimación de pérdidas el método del Número de Curva – CN del US Soil Conservation Service, descripto, entre otros, por Ven Te Chow (1994) "Hidrología Aplicada" [8].

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

La valoración del parámetro CN para las cuencas analizadas fue realizada en función de los distintos tipos de suelos, los cuales fueron casi en su totalidad tierras cultivadas, y en menor proporción pastizales y monte. Según la bibliografía consultada [8], los valores del parámetro CN para todas las cuencas resultaron en promedio de 73.

4 ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Desde el punto de vista hidrológico se ha planteado como objetivo determinar los caudales en los puntos de interés de las subcuencas que conforman el predio y aquellas que se encuentran aguas arriba del mismo, con el fin de comprender cómo se comportan las mismas en la actualidad y cómo es el funcionamiento del sistema de drenajes que allí se encuentran. Para esto se han aplicado dos metodologías diferentes, en el caso de cuencas medianas, es decir que exceden una superficie de 2,5 Km² y tiempo de concentración mayor a 1 hora, tal como es el caso de la Cuenca Externa C1 la modelación con el programa HEC-HMS que permite sumar subcuencas, realizar tránsitos, etc. A su vez para el resto de las cuencas consideradas “pequeñas”, se ha utilizado el método racional clásico que resulta más adecuado en estos casos.

4.1 MÉTODO RACIONAL CLÁSICO

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

La expresión del método racional es:

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

Donde:

- Q: caudal en m³/s.
- C: coeficiente de escorrentía.
- i: intensidad de la lluvia en mm/h.
- A: área de la cuenca en Ha.

El coeficiente C ha sido estimado en función de los propuestos por la literatura específica, como por ejemplo en Ven Te Chow (1994) [8] para tierras cultivadas de baja pendiente.

Los resultados se presentan en las siguientes tablas:

PUNTO	CUENCAS	A (Ha)	tc (min)	i (mm/h)	C	Q [m3/s]
B	CE2	133.9	47	61.1	0.36	8.2
C	CE3	8.9	29	84.1	0.36	0.8
D	CE4	51.4	33	78.1	0.36	4.0
E	CE5	45.0	24	93.4	0.36	4.2
F	CE6	69.1	34	76.3	0.36	5.3
G (Salida 1)	CE3 a CE6 + C11	306.8	106	33.7	0.36	10.3
H (Salida 2)	CI2	54.9	48	60.7	0.36	3.3

Tabla 4: Caudales para recurrencia de 10 años

PUNTO	CUENCAS	A (Ha)	tc (min)	i (mm/h)	C	Q [m3/s]
B	CE2	133.9	47	73.15	0.40	10.9
C	CE3	8.9	29	100.66	0.40	1.0
D	CE4	51.4	33	93.45	0.40	5.3
E	CE5	45.0	24	111.83	0.40	5.6
F	CE6	69.1	34	91.33	0.40	7.0
G (Salida 1)	CE3 a CE6 + CI1	306.8	106	40.28	0.40	13.7
H (Salida 2)	CI2	54.9	48	72.58	0.40	4.4

Tabla 5: Caudales para recurrencia de 25 años

4.2 MODELO HEC-HMS (HYDROLOGIC MODELING SYSTEM)

El modelo empleado para la simulación hidrológica fue HEC-HMS, antes denominado HEC-1. Este modelo fue desarrollado para simular la respuesta precipitación-escorrentía de una cuenca, representando la misma como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos. Un componente puede representar una entidad de escorrentía superficial (cuenca), un canal de escurrimiento o un reservorio.

Este modelo es considerado mundialmente como el estándar de los modelos hidrológicos de cuenca. De los modelos existentes de eventos hidrológicos, HEC-HMS es uno de los que ofrecen mayor cantidad de opciones para la simulación de los distintos componentes hidrológicos e hidráulicos, que lo hacen totalmente adaptable al sistema analizado.

HEC-HMS utiliza para el tránsito de los hidrogramas "métodos hidrológicos" (Muskingum, Muskingum-Cunge, Onda Cinemática) y no considera las ecuaciones de Saint-Venant más que en sus formas más reducidas (Onda Cinemática). Esto implica la imposibilidad de que las condiciones aguas abajo puedan propagarse hacia aguas arriba, viajando las perturbaciones únicamente en la dirección del flujo. La limitación más importante se debe a que analiza sólo una lluvia simple puesto que no incluye la recuperación de la humedad del suelo durante los períodos en que no ocurren precipitaciones.

Elementos en el modelado de Cuenca en HEC-HMS:

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:

- a) 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.
- b) 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.
- c) 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.
- d) 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.
- e) 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.

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

En la siguiente figura se presenta el esquema de modelación para las cuencas externas e internas que llegan a la laguna de regulación.

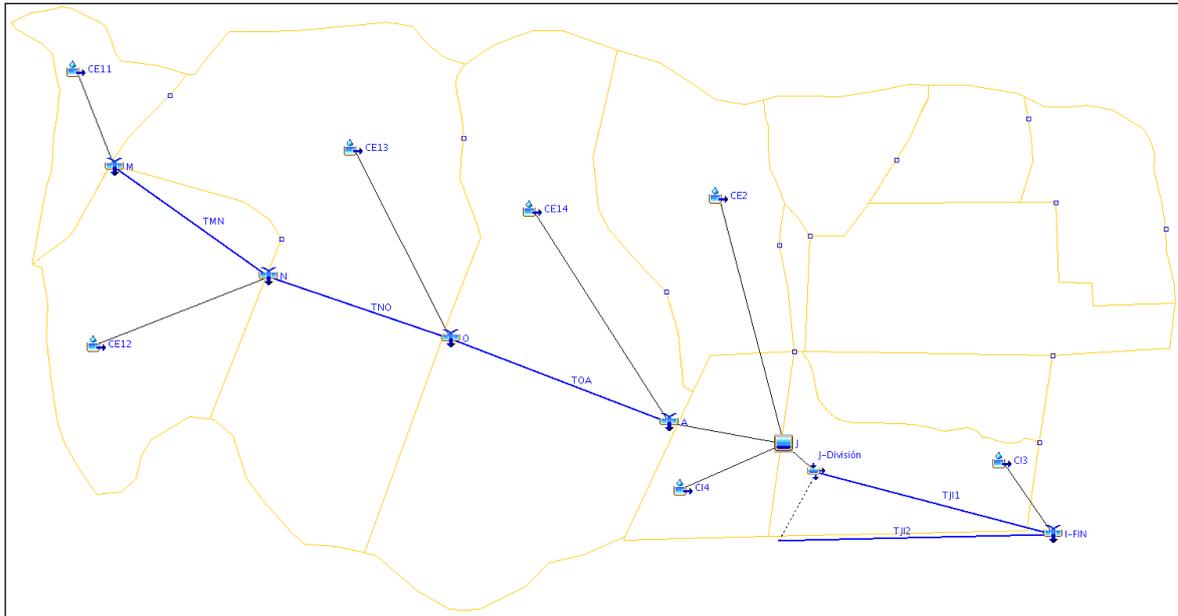


Figura 15: Esquema de modelación en HEC-HMS

En la siguiente figura se presentan los hidrogramas de ingreso y salida a la laguna de regulación para recurrencia de 10 y 25 años, mientras que en la tabla siguiente un resumen de los caudales en diferentes puntos de interés.

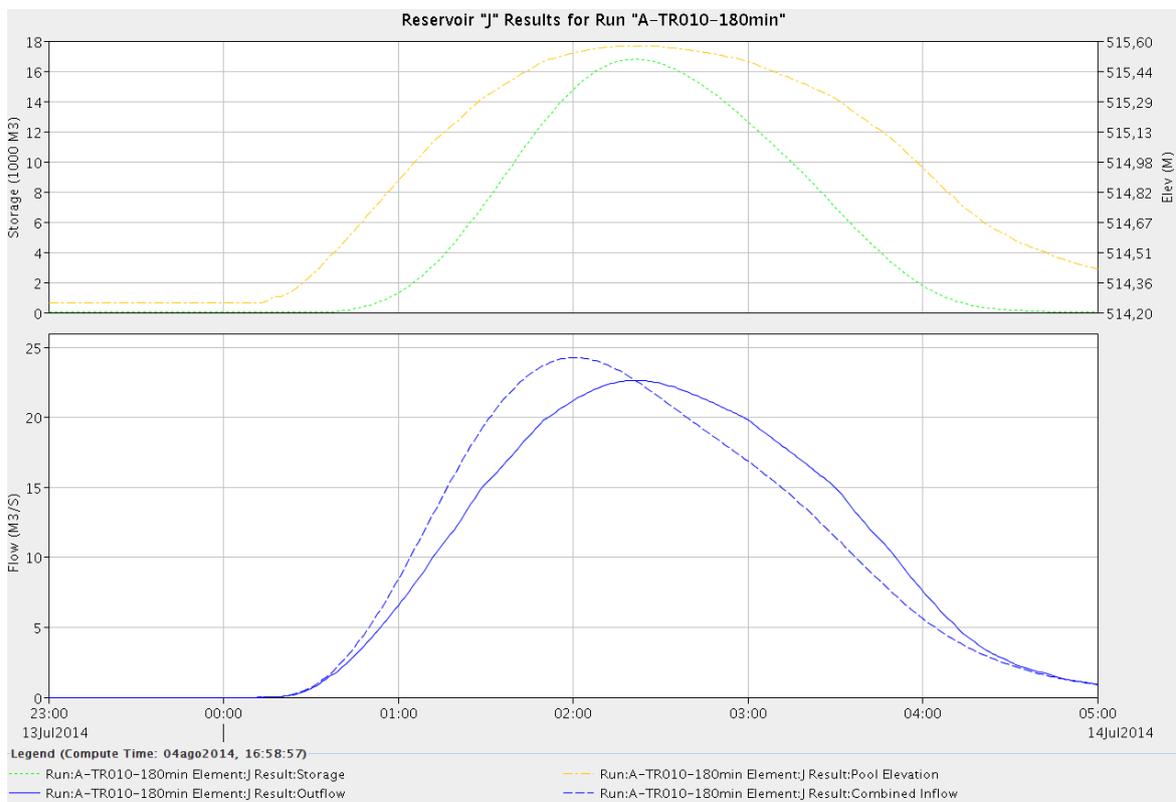


Figura 16: Hidrogramas de ingreso y salida en laguna de regulación – $T_r = 10$ años

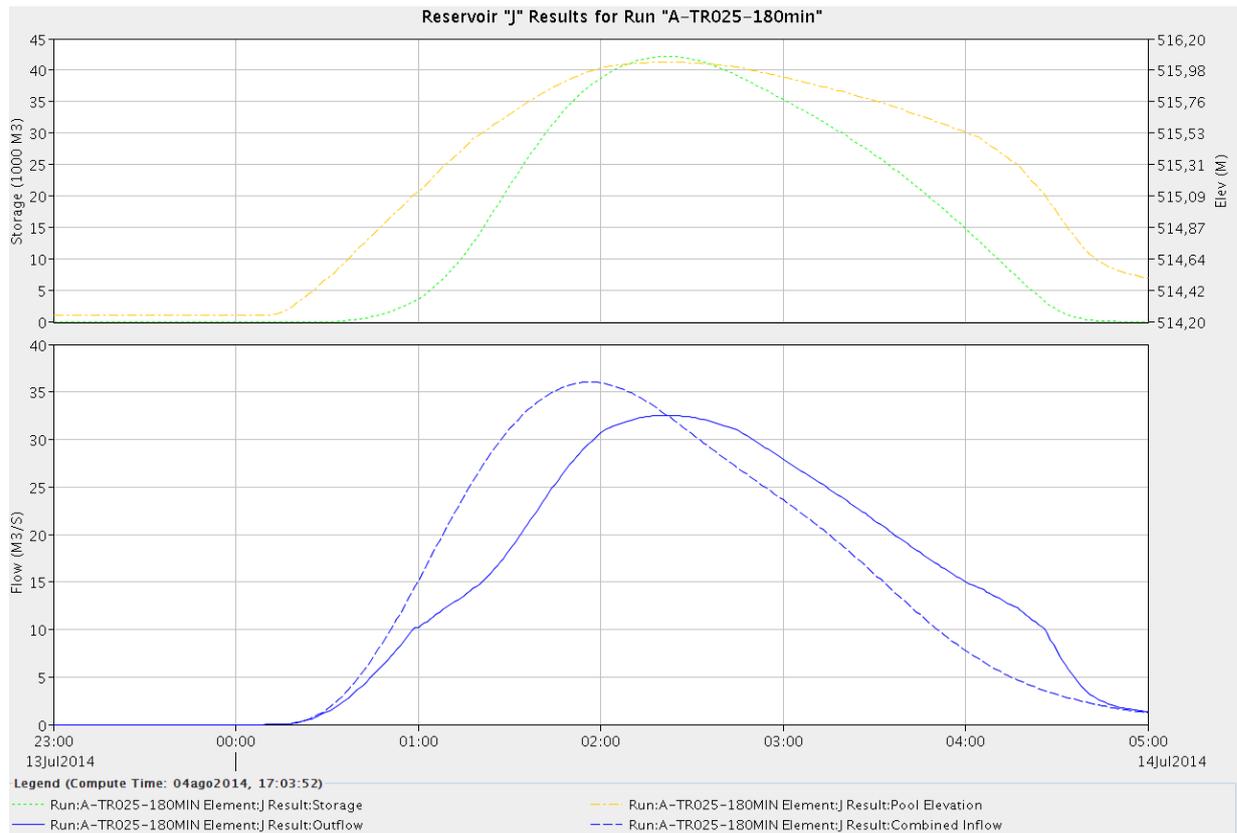


Figura 17: Hidrogramas de ingreso y salida en laguna de regulación - Tr = 25 años

Tr (años)	Nodo A	Nodo J (ingreso laguna)	Nodo J (salida laguna)	Canal Norte (TIJ1)	Canal Sur (TIJ2)	Nodo I (Salida 3)	Cota Laguna (m)
10	19,7	24,3	22,6	7,5	15,1	24,3	515,57
25	29,3	36,0	32,5	10,8	21,7	34,8	516,03

Tabla 6: Caudales máximos en nodos hidrológicos

A modo de conclusión de cómo se encuentra trabajando en la actualidad la laguna de retención se puede observar en la tabla anterior, que debido a que las estructuras de descarga son de dimensiones importantes, por ejemplo la salida Sur es una interrupción del terraplén y la Norte posee un ancho inferior de 3,90 m, es muy leve el efecto de regulación que producen estas estructuras (menos del 10%), por lo que si se quiere mejorar o aumentar el proceso de regulación se deberán dimensionar las correspondientes obras de descarga, descargador de fondo, vertederos y recrecer la altura del terraplén.

5 IMPACTO SOBRE OBRAS AGUAS ABAJO

Todo el análisis realizado en los capítulos anteriores permitieron evaluar y comprender como se comportan las cuencas que contienen al predio y aquellas que se encuentran aguas arriba del mismo, definiendo así por donde escurrirán los caudales y cuál será la magnitud de los mismos en las condiciones previas a la construcción del predio.

Es menester verificar que la ejecución de CORMECOR no afectará el correcto funcionamiento de las obras hidráulicas que actualmente se encuentran aguas abajo del mismo, las cuales son:

- Alcantarillas sobre Ruta Nacional 36
- Obras de desagüe sobre el FFCC General Bartolomé Mitre
- Canal Los Molinos-Córdoba

A fin de evaluar los efectos que tendrá la construcción del predio, se deberá adicionar a las cuencas referidas anteriormente, un nuevo conjunto de cuencas que conducirán los caudales hasta las obras mencionadas, para lo cual se deberá determinar todos los parámetros hidrológicos relevantes (áreas de aporte, longitud y pendiente de cause principal, tiempo de concentración, etc.) de las mismas.

Consecuentemente, al sumar cuencas se adicionarán caudales, los cuales a diferencia del apartado 4, en este punto la dificultad de analizar todo el sistema como una unidad (cuencas, tránsitos, embalses, etc.), hace que el procedimiento de cálculo se vuelva demasiado complejo, por lo cual se deberá realizar el estudio mediante el programa computacional HEC-HMS, tanto de la situación actual como la futura.

Para realizar este análisis primero se debe caracterizar la nueva configuración de la cuenca y los aspectos pertinentes al predio CORMECOR, que modificarán las condiciones de permeabilidad del suelo, generando un incremento de los caudales aguas abajo. Aquí es necesario conocer convenientemente cómo será la configuración del predio determinando las superficies que generarán una impermeabilización y aquellas que modificarán en forma parcial o nula las condiciones de escurrimiento del suelo.

Una vez conocidos los caudales actuales y futuros que circularán a lo largo de la cuenca, se determinará en qué medida alcanzan las obras aguas abajo, tanto para la situación actual como la futura y se evaluará cómo se comportan las mismas frente a estos caudales. Con esto se conseguirán dos medidas de contraste para evaluar, cuál será el impacto que tendrá construir el predio.

5.1 CUENCAS DE APORTE HASTA CANAL LOS MOLINOS-CÓRDOBA

Como se puede observar en la figura 19, al sistema inicial de cuencas se le adicionan quince cuencas más, de la CE7 a la CE21, a partir de lo cual, al conjunto de todas las cuencas se lo denominará “macro cuenca”. Para delimitar estas cuencas y las redes de escurrimiento, se implementaron las cartas IGM de Alta Gracia 3163 – 25 – 3 y Toledo 3163-25-4, más curvas de nivel de Google Earth como elemento de referencia auxiliar.

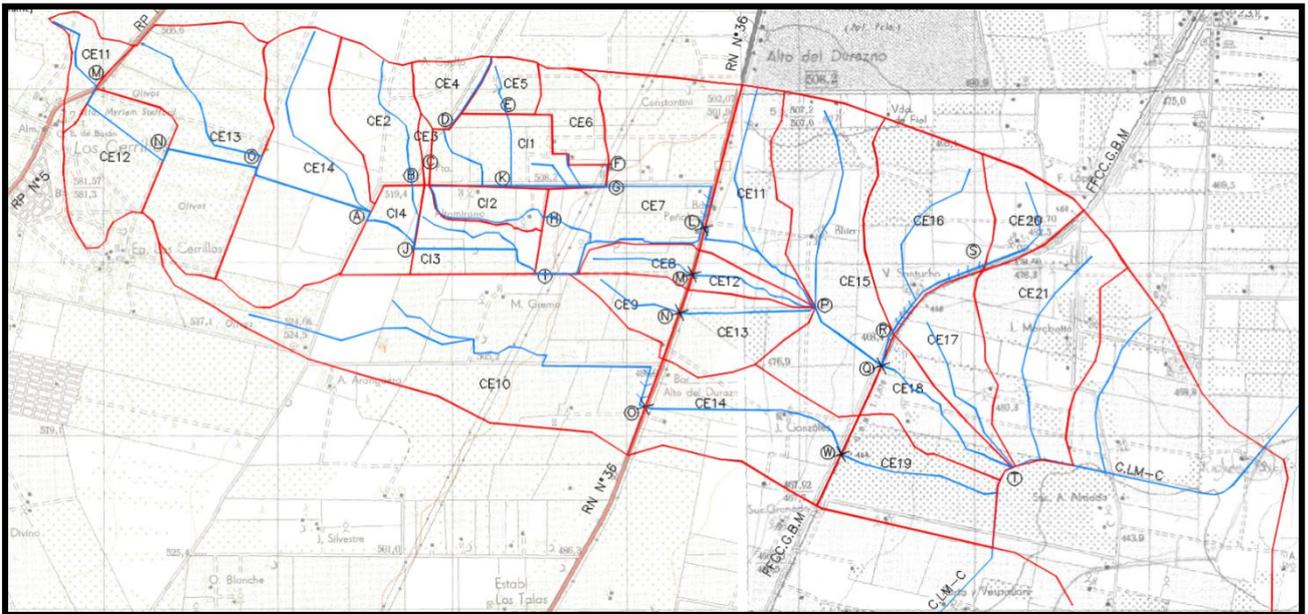


Figura 18: Macro cuenca

5.2 PARÁMETROS DE LAS CUENCAS C7 A C21

Para poder entender el comportamiento de las cuencas, es preciso determinar los parámetros físicos e hidrológicos necesarios y de esta manera calcular los volúmenes de escurrimiento que se obtendrán de las mismas.

En la tabla 8 se aprecian el área de las cuencas, la longitud, el desnivel y la pendiente de los causes principales.

Cuenca	Parámetros Físicos			
	A	L	ΔH	Sc
	(Ha)	(km)	(m)	(%)
CE7	301,8	2,34	17,00	0,7
CE8	47,4	1,19	9,00	0,8
CE9	62,4	1,03	14,00	1,4
CE10	641,1	5,73	45,00	0,8
CE11	160,9	2,87	32,00	1,1
CE12	37,6	1,49	9,00	0,6
CE13	113,5	1,43	11,00	0,8

CE14	238,3	2,43	16,00	0,7
CE15	368,4	3,42	38,00	1,1
CE16	251,6	2,37	17,00	0,7
CE17	125,2	2,02	15,00	0,7
CE18	104,1	2,02	14,00	0,7
CE19	188,3	1,89	13,00	0,7
CE20	84,8	1,37	10,00	0,7
CE21	305,4	2,65	16,00	0,6

Tabla 7: Parámetros de Cuencas CE7 a CE21

A igual que los estudios realizados para las cuencas C11 a C14, se determinó los tiempos de concentración para las CE7 a CE21, y con estos evaluar los posibles valores de duración de lluvia de diseño.

Cuenca	MRG	K	P	BW	CVP	Promedio
	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)	(min)
CE7	66	51	69	82	92	72
CE8	41	30	34	50	46	40
CE9	31	21	38	37	29	31
CE10	121	99	92	183	216	142
CE11	67	51	55	98	91	72
CE12	51	39	31	67	64	50
CE13	46	34	48	54	54	47
CE14	70	55	63	89	100	75
CE15	76	58	75	108	108	85
CE16	67	52	65	85	93	72
CE17	59	45	50	77	78	62
CE18	60	46	46	79	81	63
CE19	58	44	58	70	76	61
CE20	45	34	43	54	53	46
CE21	76	60	70	96	114	83

Tabla 8: Tiempos de Concentración Cuencas CE7 a CE21

Los resultados obtenidos en la tabla anterior reflejan un tiempo de concentración promedio de 60 minutos, y en el caso particular de la cuenca CE10 un tiempo de 142 minutos, el cual tiene un comportamiento lógico de acuerdo al tamaño de la cuenca.

Estos valores dan una noción de las características físicas e hidráulicas de cada una de ellas, pero para determinar un tiempo de concentración, el cual permitirá definir la

duración de la lluvia de diseño, se deben considerar todas las cuencas como una unidad, lo cual se analiza en el apartado siguiente.

5.3 LLUVIA DE DISEÑO EN LA MACRO CUENCA

Debido a que la extensión de la macro cuenca se incrementa en más del doble, pasando de un área de 15.5 kilómetros cuadrados a 45.9 kilómetros cuadrados, el tiempo de concentración de la misma aumentará, al igual que los caudales evacuados aguas abajo. De acuerdo a lo mencionado, es necesario rever los valores de la duración de la lluvia de diseño, ya que en el extremo Este de las cuencas, se encuentran las obras hidráulicas a evaluar para la situación actual y futura.

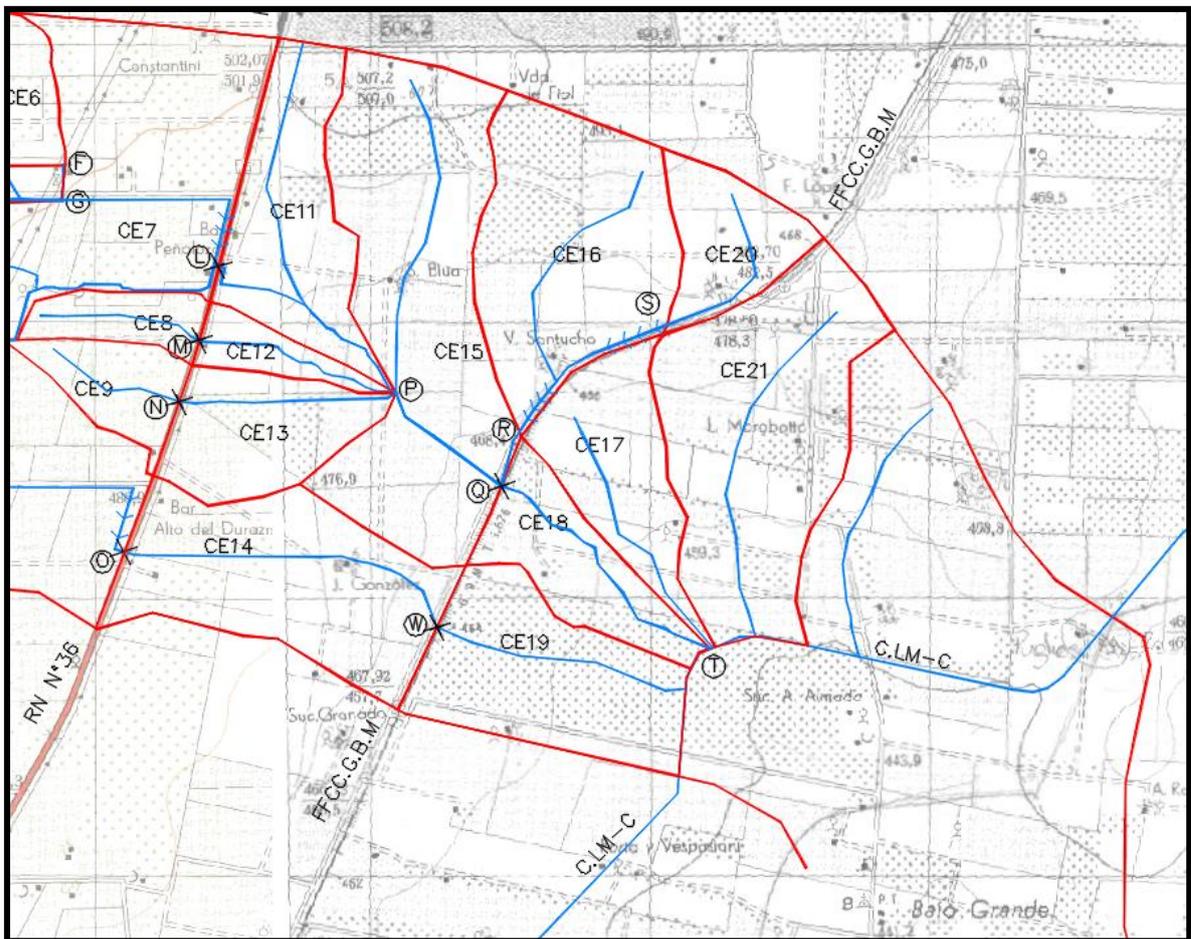


Figura 19: Cuencas CE7 a CE21

Determinando los parámetros de la macro cuenca y evaluándolos, se determinó el tiempo de concentración de la misma:

Cuenca	Parámetros Físicos				Tc- Ajustado(hs)
	A (Ha)	L (km)	ΔH (m)	Sc (%)	
Macro cuenca	4590	15	134	1	5

Tabla 9: Parámetros Macro Cuenca

Como puede observarse en la tabla 10, el tiempo de concentración de la macro cuenca es de 5hs, y debido a que la duración de la lluvia de diseño, que se implementó en los análisis anteriores era de 3hs, es necesario elegir una que sea mayor o igual a 5hs, para garantizar que toda la cuenca aporte, y de este modo conseguir el máximo caudal.

Por lo ya mencionado, a continuación, se analizarán qué efectos tiene tomar valores de duración de 6hs, 12hs y 24hs

5.4 ANÁLISIS DE DURACIÓN DE LLUVIA DE DISEÑO Y TIEMPO DE RECURRENCIA

Con el fin de entender la respuesta global de la macro cuenca, para distintos tiempos de recurrencia y duraciones de las lluvias de diseño, se modeló con HEC-HMS el sistema hidrológico y se analizaron los resultados en el punto más deprimido de éste, el cual es el nodo de control "Z", en donde se produce la intersección de las cuencas con el canal Los Molinos – Córdoba (ver en figura 20).

Los datos obtenidos se reflejan en la siguiente tabla:

Punto de Control - UZ		
TR(años)	Duración(hs)	Qmax(m ³ /s)
5	0,5	6,1
5	1	12,3
5	2	18,8
5	3	21,9
5	6	24,3
5	12	23,8
5	24	21,6
10	0,5	15,5
10	1	19,7
10	2	24,6
10	3	28
10	6	30
10	12	29,8
10	24	26,7
25	0,5	19,7
25	1	27,4
25	2	32,1
25	3	36,3
25	6	38,2
25	12	38
25	24	33,4
100	0,5	29,1
100	1	39,9
100	2	44,7
100	3	50,1
100	6	50,5
100	12	50
100	24	44,7

Tabla 10: Tiempo de Recurrencia vs Duración de Lluvia en Nodo "Z"

A fin de sintetizar los datos de la tabla 11, se introdujo la información analizada en el gráfico de la figura 21. En el mismo queda claro que para tiempos de recurrencia mayores, los caudales máximos crecen, y que a medida que aumenta la duración de la lluvia, en un mismo tiempo de recurrencia no se alcanzan los caudales máximos.

Es notable observar que el caudal máximo ocurre en una duración de seis horas, sin importar el tiempo de recurrencia que se tome. Esta duración es aproximadamente el tiempo de concentración de cinco horas calculado para la macro cuenca, para el cual, en teoría, toda la misma se encuentra aportando. En función de estos resultados, es que se adopta una duración de lluvia de diseño de seis horas para determinar los caudales máximos y así verificar las obras hidráulicas existentes.

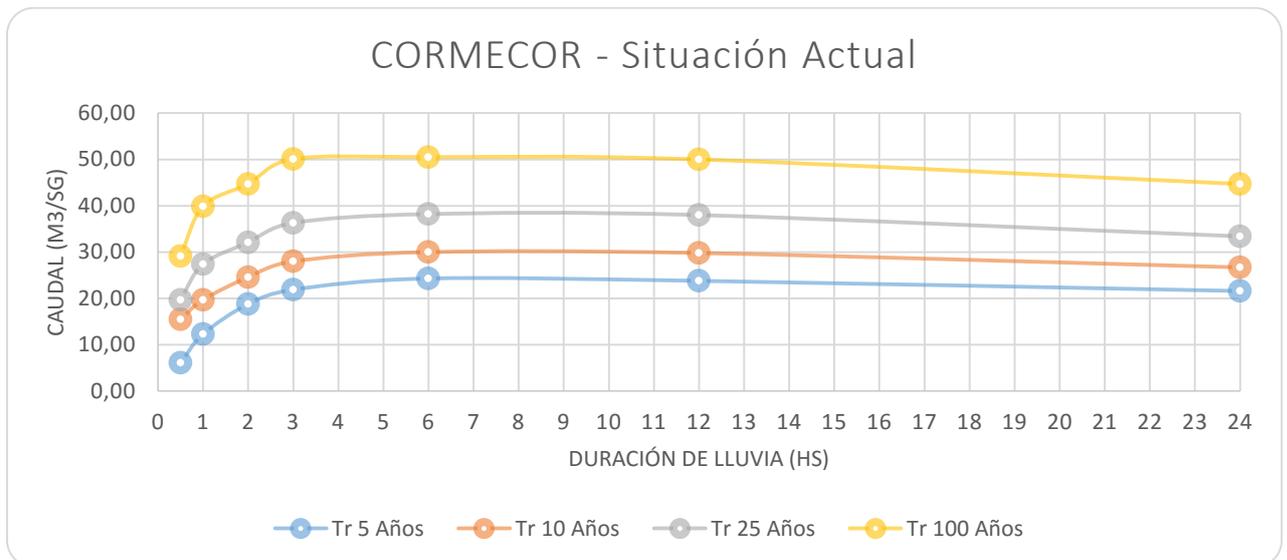


Figura 20: Recurrencia vs Duración en Nodo "Z"

5.5 ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL

El análisis de la situación actuales todo lo mencionado en el informe previo, más la evaluación de cómo las obras hidráulicas, aguas abajo del predio, se encuentran funcionando en la actualidad. Los resultados de este análisis se tomarán como un punto de partida para entender cómo funciona la cuenca sin la existencia del predio CORMECOR, y cómo la construcción de éste modificará las condiciones actuales de la cuenca repercutiendo, así, en los escurrimientos futuros aguas abajo.

5.5.1 Situación actual Obras en Ruta Nacional 36

La Ruta Nacional N°36 divide la macro cuenca por la mitad. Sobre esta existe un sistema de obras hidráulicas de drenaje, que conducen los caudales provenientes del extremo Oeste del sistema de cuenta, al extremo Este de la misma.

El sistema completo de obras de drenajes se compone por alcantarillas transversales y longitudinales a la ruta. En este trabajo se verificarán las transversales, puesto que las mismas presentan mayor jerarquía, además se encargan de regular y marcar el límite de los caudales que pueden atravesar la calzada.

A continuación se describen las características más importantes de cada una de las alcantarillas. Para evaluar su funcionamiento se implementó programa HY8 (el cual se describirá más adelante) cuyos datos de ingreso para el escenario actual se obtuvieron a través del modelado con HEC-HMS.

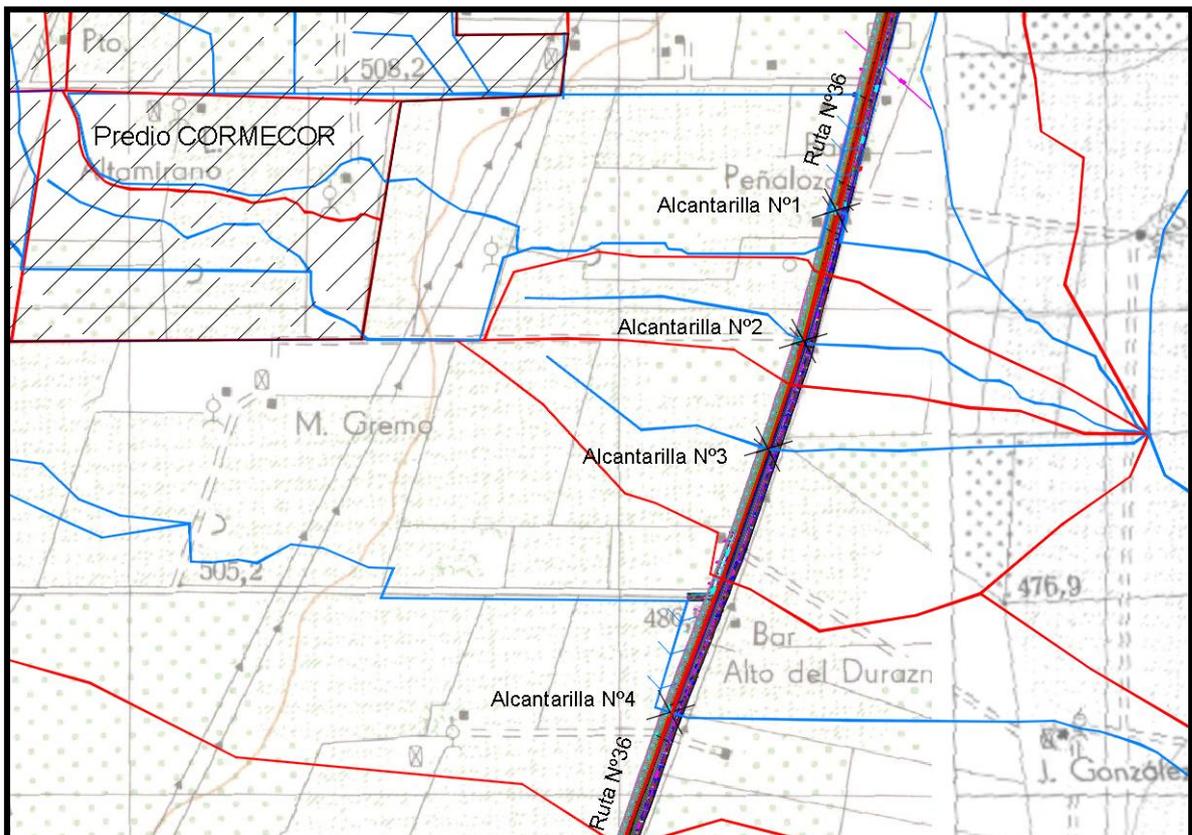


Figura 21: Alcantarillas sobre Ruta N° 36

5.5.1.1 Alcantarilla N°1

Esta alcantarilla está conformada por una batería de 8 alcantarillas tipo cajón de hormigón.



Figura 22: Alcantarilla 1

Los datos de la alcantarilla se presentan a continuación:

Alcantarilla 1						
Nº de Bocas	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Área (m ²)	Área Total(m ²)	Hadm(m)
6	2.85	1.37	14.30	3.90	23.43	2.45
2	2.00	0.95	14.30	1.90	3.80	1.95

5.5.1.2 Alcantarilla N°2

La alcantarilla "2" se encuentra conformada por una batería de 3 alcantarillas tipo cajón de hormigón.



Figura 23: Alcantarilla 2

Los datos de la alcantarilla se presentan a continuación:

Alcantarilla 2						
Nº de Bocas	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Área (m ²)	Área Total(m ²)	Hadm(m)
3	1.50	1.00	14.30	1.50	4.50	1.85

5.5.1.3 Alcantarilla N°3

La siguiente alcantarilla se conforma por una alcantarilla tipo cajón de hormigón.



Figura 24: Alcantarilla 3

Los datos de la alcantarilla se presentan a continuación:

Alcantarilla 3						
Nº de Bocas	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Área (m ²)	Área Total(m ²)	Hadm(m)
1	1.50	1.00	14.30	1.50	1.50	1.56

5.5.1.4 Alcantarilla N°4

Finalmente la alcantarilla “4” se conforma por una batería de 5 alcantarillas tipo cajón.



Figura 25: Alcantarilla 4

Los datos de la alcantarilla se presentan a continuación:

Alcantarilla 4						
Nº de Bocas	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Área (m ²)	Área Total(m ²)	Hadm(m)
4	2.90	1.40	14.30	4.06	16.24	2.65
1	1.50	1.20	14.30	1.80	1.80	2.35

5.5.1.5 Comportamiento de las Alcantarillas en la Situación Actual

Para poder verificar el funcionamiento actual de las alcantarillas y de acuerdo con los caudales obtenidos en la modelación en HEC-HMS, se realizó un análisis a cada una, para determinar si frente a las condiciones actuales, el pelo de agua no sobrepasa el nivel de coronamiento de la calzada, afectando el correcto funcionamiento de la ruta y generando una situación de peligro para quienes la transitan.

Tanto para la situación actual como para la futura, se evaluarán las alcantarillas para una lluvia de tiempo de recurrencia de 25 y 100 años, con una duración de 360min, como se determinó en el apartado 5.4.

La siguiente imagen muestra el modelo realizado en HEC-HMS, en la cual se aprecian las nuevas cuencas con intersecciones y tramos de tránsito.

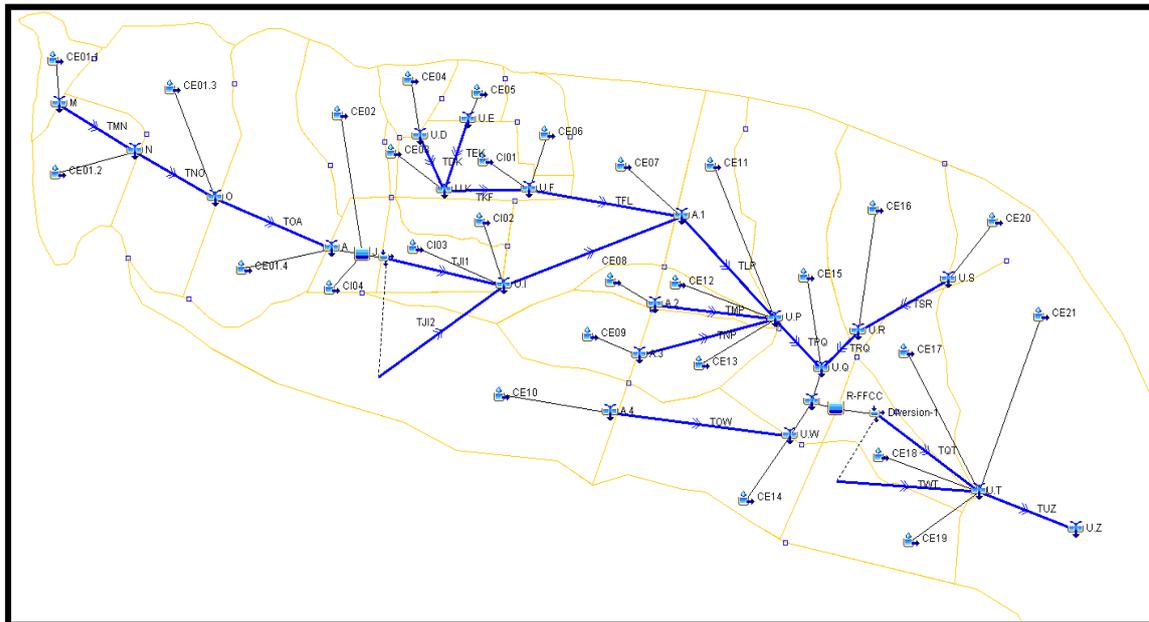


Figura 26: Modelo Macro Cuenca en HEC-HMS-Situación Actual

Los resultados obtenidos en HEC-HMS para un tiempo de recurrencia de 25 y 100 años, para las cuatro alcantarillas, sobre la Ruta 36, se observan en las siguientes imágenes.

Global Summary Results for Run "A-TR025-0360min"

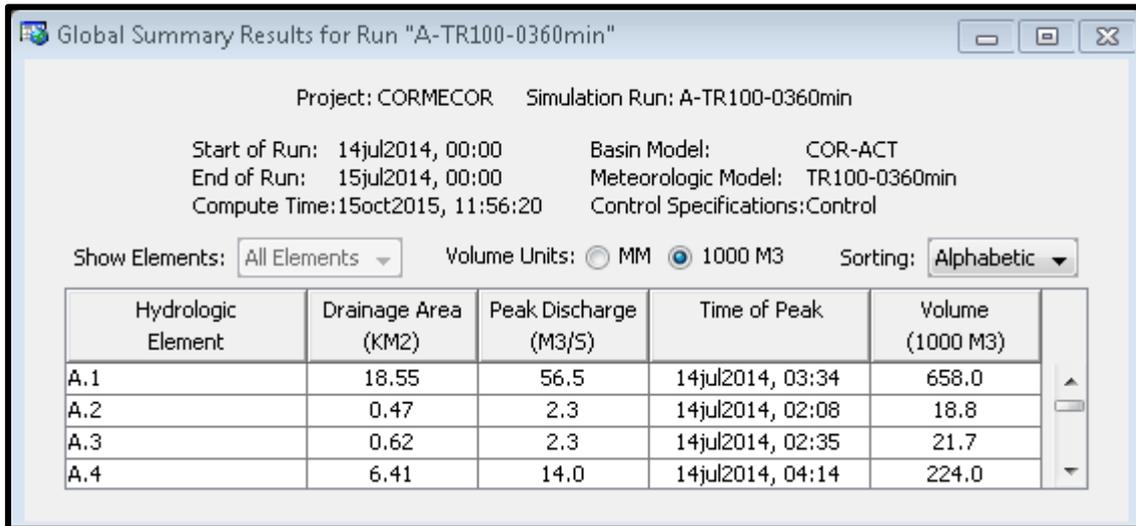
Project: CORMECOR Simulation Run: A-TR025-0360min

Start of Run: 14jul2014, 00:00 Basin Model: COR-ACT
 End of Run: 15jul2014, 00:00 Meteorologic Model: TR025-0360min
 Compute Time: 20oct2015, 11:47:16 Control Specifications: Control

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Alphabetic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
A.1	18.55	39.7	14jul2014, 0 :34	465.8
A.2	0.47	1.7	14jul2014, 02:11	13.6
A.3	0.62	1.6	14jul2014, 02:41	15.3
A.4	6.41	9.8	14jul2014, 04:19	158.1

Figura 27: Salida HEC-HMS Alcantarillas Ruta 36-Situación Actual -Tr25 Años



Project: CORMECOR Simulation Run: A-TR100-0360min

Start of Run: 14jul2014, 00:00 Basin Model: COR-ACT
End of Run: 15jul2014, 00:00 Meteorologic Model: TR100-0360min
Compute Time: 15oct2015, 11:56:20 Control Specifications: Control

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Alphabetic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
A.1	18.55	56.5	14jul2014, 03:34	658.0
A.2	0.47	2.3	14jul2014, 02:08	18.8
A.3	0.62	2.3	14jul2014, 02:35	21.7
A.4	6.41	14.0	14jul2014, 04:14	224.0

Figura 28: Salida HEC-HMS Alcantarillas Ruta 36-Situación Actual -Tr100 Años

Las variables que intervienen en el comportamiento hidráulico de una alcantarilla son las dimensiones (ancho y altura de la boca de entrada y salida), el material de la misma (alcantarillas de hormigón, metal corrugado, etc.), el caudal que la atraviesa y las condiciones de entrada y de salida del flujo.

Para realizar el análisis en forma sistemática se implementó el software "Hy 8", el cual es un programa de Análisis Hidráulico de Alcantarillas, desarrollado por la Universidad Estatal de Pensilvania, en cooperación con la Administración Federal de Carreteras, pertenecientes al Departamento de Transporte de Estados Unidos.

El HY-8 permite determinar la profundidad del flujo aguas arriba de la alcantarilla, para diferentes configuraciones de las mismas. Este programa se basa en el documento HDS-5 (Hydraulic Design Series Number 5) publicado por la FHWA (Administración Federal de Carreteras) para los métodos de cálculo.

5.5.1.6 Resultados del análisis en Hy 8

A continuación se resumen los valores de altura del nivel del pelo de agua, en la boca de entrada de cada una de las alcantarillas y su verificación con la altura máxima admisible, la cual en este caso es el nivel de coronamiento de la calzada. La recurrencia adoptada en la modelación es de 25 y 100 años, como fue mencionado en apartados anteriores.

Alcantarilla	Unidades	Caudal(m3/s)	Altura Disponible (m)	Salida del HY8	
				He (m)	Hadm > He
Nº1	8	39.70	2.45	1.35	verifica
Nº2	3	1.70	1.85	0.47	verifica
Nº3	1	1.60	1.56	0.87	verifica
Nº4	5	9.80	2.65	0.74	verifica

Tabla 11: Resultados HY8 - Situación Actual- Tr. 25 Años

Alcantarilla	Unidades	Caudal(m ³ /s)	Altura Disponible (m)	Salida del HY8	
				He (m)	Hadm > He
Nº1	8	56.50	2.45	1.80	verifica
Nº2	3	2.30	1.85	0.56	verifica
Nº3	1	2.30	1.56	1.11	verifica
Nº4	5	14.00	2.65	0.91	verifica

Tabla 12:Resultados HY8 - Situación Actual - Tr. 100 Años

En la tablas 12 y 13 se observa que tanto para una recurrencia de 25 y 100 años, el nivel de pelo de agua no supera la altura admisible para ninguna de las cuatro alcantarillas analizadas. Los resultados obtenidos además de denotar el correcto funcionamiento de las alcantarillas, sirven como parámetros de control para evaluar la calidad de la modelación de la macro cuenca y las características que se tomaron de cada subcuenca.

Al final del informe en el apartado de anexos se encuentran los gráficos y tablas obtenidas en el programa.

5.5.2 Situación actual Obras en FFCC G.B.M.

Aproximadamente a dos kilómetros y medio al este de la ruta nacional Nº 36, se encuentra un tramo del ferrocarril General Bartolomé Mitre, el cual en la actualidad no se halla en funcionamiento, pero es de interés para el análisis hidrológico, puesto que se trata de un obstáculo para los caudales que escurren en la macro cuenca.

La línea del ferrocarril, al igual que la ruta nacional Nº 36, divide al sistema de cuencas en dos, actuando como una resistencia para todos los caudales que hasta ahí llegan, generando un embalsecon el terraplén del FFCC y descargando a través de dos puentes-alcantarillas.

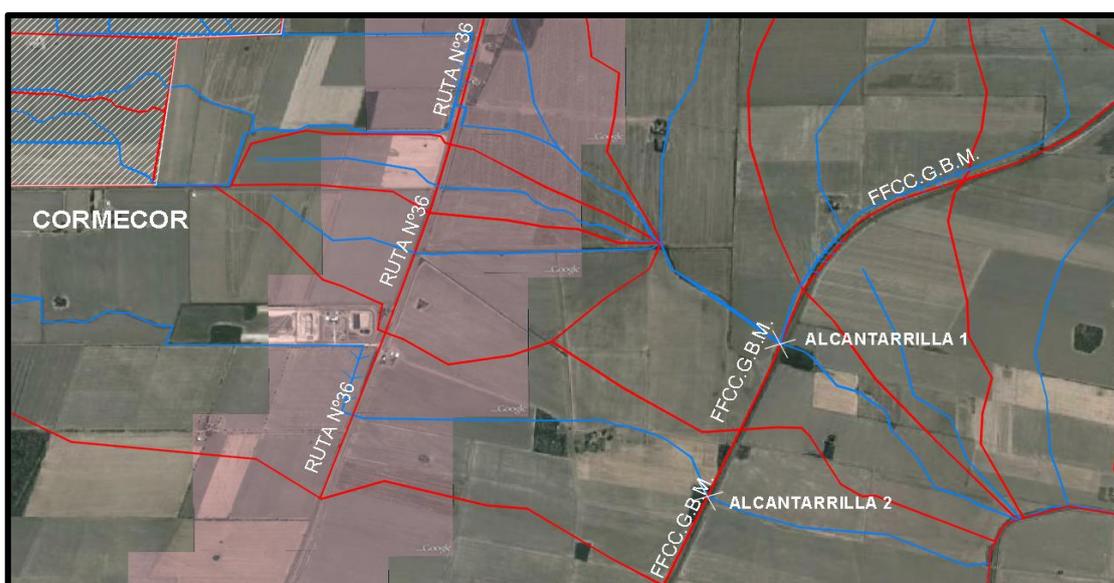


Figura 29: Esquema de alcantarillas en el FFCC

5.5.2.1 Alcantarilla N°1

La alcantarilla “1” se trata de un puente conformado por dos luces, cada una de 5.0m de ancho, 1.7m de alto, 4.2 m de profundidad y una altura al coronamiento de 2.7m.



Figura 30: Alcantarilla 1- FFCC

5.5.2.2 Alcantarilla N°2

La alcantarilla “2” se trata de un puente con 5.0m de ancho, 1.1m de alto, 4.2 m de profundidad, y una altura al coronamiento de 2.0m.



Figura 31: Alcantarilla 2- FFCC

5.5.2.3 Comportamiento de las Alcantarillas en la Situación Actual

En la actualidad, aledaño al terraplén del ferrocarril, se encuentra una calle que colecta el agua que escurre de la cuenca aguas arriba y la conduce hasta las alcantarillas anteriormente mencionadas.

Para entender el comportamiento de todo el conjunto se determinó mediante las curvas SRTM y el programa HEC-HMS cómo se produce el almacenamiento del embalse (definiendo una función: superficie – altura), generado por el terraplén del FFCC y el terreno agua arriba, y cómo descarga los caudales que finalmente llegarán al canal de Los Molinos-Córdoba.

Conociendo la cota de las alcantarillas y las alturas admisibles de cada una de ellas, se evaluó si se produce un desborde de los caudales sobre el terraplén para un tiempo de recurrencia de 25 años y se verificó del mismo modo para 100 años.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede calcular que para una lluvia de 25 años la cota máxima que alcanza el embalse no supera ninguna de las alturas de coronamiento de las dos alcantarillas. Para el caso de los 100 años, la alcantarilla 1 sigue sin ser superada su altura máxima, mientras que para la alcantarilla 2 se ve sobrepasada en aproximadamente unos 40cm, lo cual se considera razonable para la recurrencia de 100 años.

A continuación se resumen los resultados obtenidos en tablas.

Alcantarilla 1-FFCC			Situación Actual	
Cota(m)	Hadm(m)	Cota Max(m)	Cota N.A.HEC25(m)	Cota N.A. HEC100(m)
666.70	2.70	669.40	668.70	669.20

Tabla 13:Cota máxima nivel de agua en Alcantarillas 1-FFCC

Alcantarilla 2-FFCC			Situación Actual	
Cota(m)	H adm(m)	Cota Max(m)	Cota N.A.HEC25(m)	Cota N.A. HEC100(m)
666.80	2.00	668.80	668.70	669.20

Tabla 14:Cota máxima nivel de agua en Alcantarillas 2-FFCC

En la figura 33, se observan los niveles de inundación que se generan en el embalse mencionado para los caudales con recurrencia de 25 y 100 años.

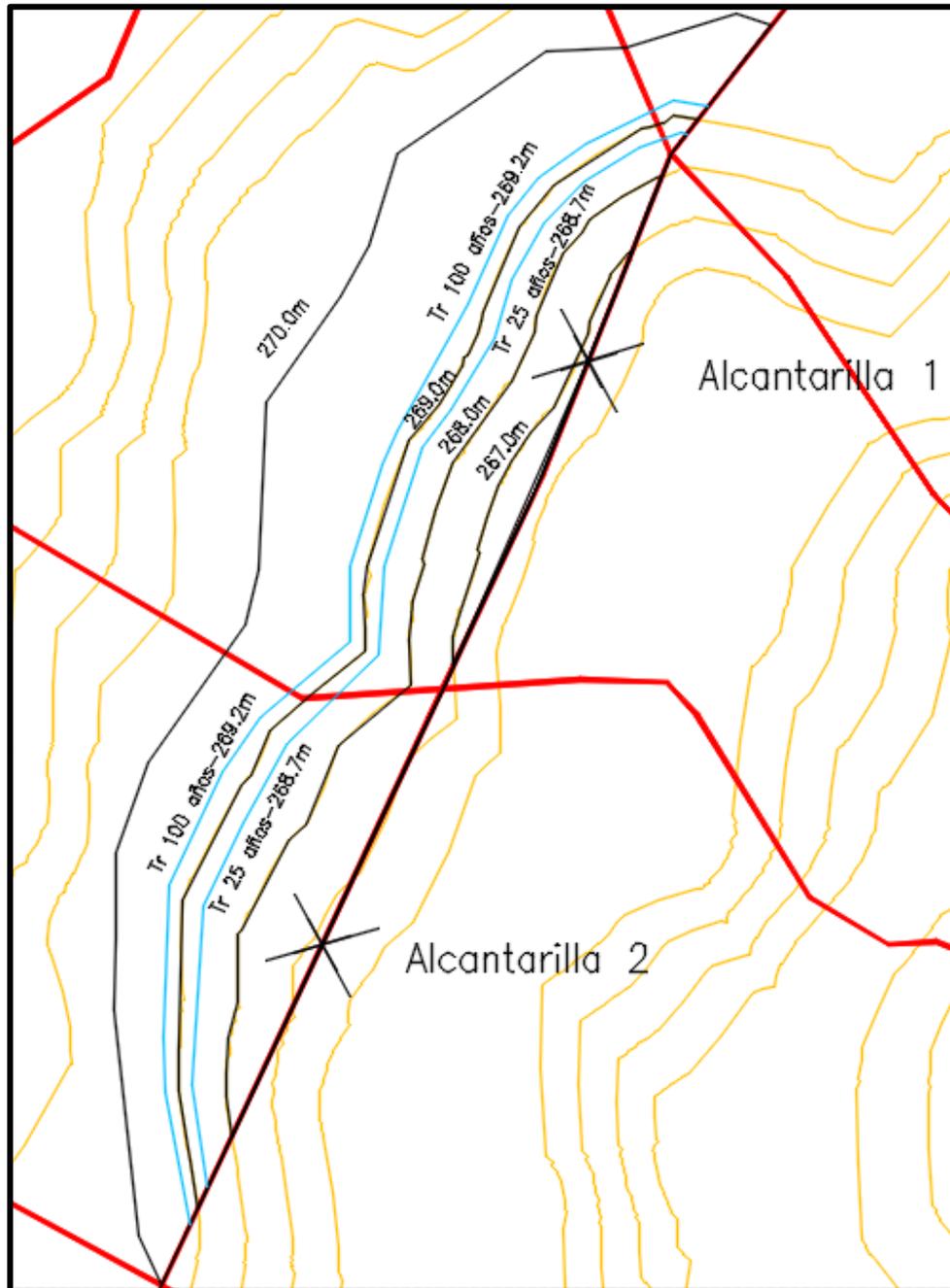


Figura 32: FFCC -Altura de Embalse- Situación Actual-Tr 25 y 100 Años

5.5.3 Situación actual Obras en Canal Los Molinos-Córdoba

Al final de la macro cuenca se encuentra el Canal Los Molinos – Córdoba, el cual es el encargado de abastecer parte del agua de consumo de la ciudad de Córdoba. Esta obra es el punto de confluencia de todos los caudales que se genera en las cuencas aguas arriba. En el análisis de verificar las consecuencias que puede tener la construcción del predio CORMECOR, el Canal Los Molinos-Córdoba es un punto crítico, ya que aquí, debido a la suma de los escurrimientos pluviales en su transcurso aguas abajo, arriban los caudales de mayor magnitud.

5.5.3.1 Comportamiento del Canal Los Molinos-Córdoba en la Situación Actual

En la actualidad el canal, en su intersección con la macro cuenca analizada, posee un canal de tierra aguas arribas del mismo que trabaja como obra de protección.

Esta obra de protección circula paralela al canal de Los Molinos y se encuentra separada del mismo por un terraplén. Éste actúa como una pantalla para impedir que el flujo que se aproxima de aguas arriba no lo sobrepase, afectando el correcto funcionamiento del canal.

En la siguiente imagen se observa como el canal atraviesa la cuenca y como aguas arriba del mismo, el caudal que se recolecta por el canal de tierra mencionado, evacúa por medio de una calle de tierra, cuyo nivel de coronamiento se encuentra aproximadamente 1,5 metro por debajo del canal.



Figura 33: Intersección Canal Los Molinos-Córdoba con Macro Cuenca

En campo se recorrió todo el canal entre los puntos de intersección de éste con la macro cuenca y se relevó esquemáticamente como variaba la sección del canal de tierra, el bordo o terraplén y el canal de hormigón en todo el trayecto. El objetivo de esto fue entender cómo los caudales llegaban al canal y eran evacuados del mismo.

En la siguiente imagen se marcan tres perfiles relevados en campo y a partir de estos se analizará su comportamiento con los caudales determinados en HEC-HMS para la situación actual.



Figura 34: Canal Los Molinos-Córdoba – Perfiles de Análisis.

5.5.3.2 Perfil 1-1

Este perfil es el que se encuentra en el tramos de dirección este-oeste, el mismo posee, en la actualidad, baja vegetación, un terraplén de aproximadamente dos metros y medio de alto y una pendiente aproximada del cuatro por mil (0,4%).

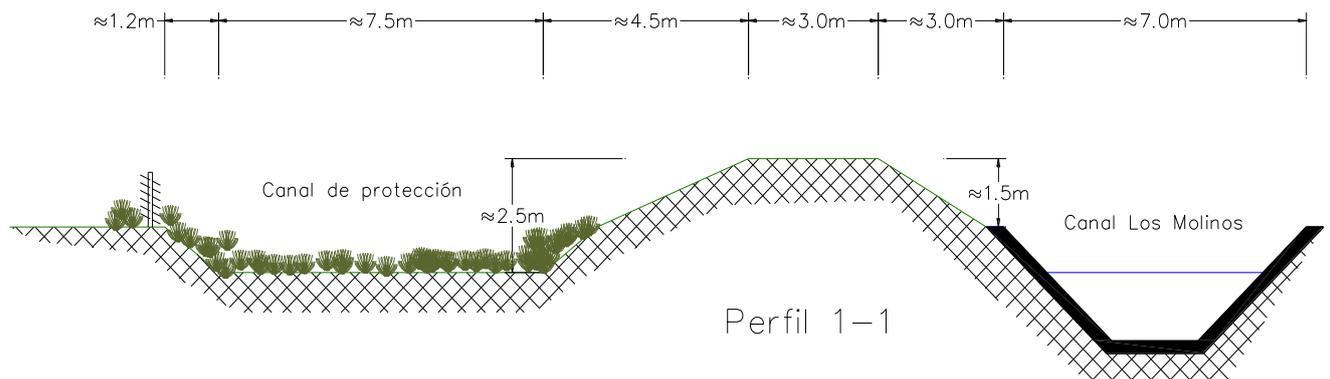


Figura 35: Croquis esquemático-Perfil 1-1



Figura 36: Perfil 1-1

5.5.3.3 Perfil 2-2

Este perfil es el que se encuentra en el punto de inicio del tramo de análisis, dirección sur-norte, el mismo posee alta vegetación, un terraplén de aproximadamente tres metros y medio de altura y una pendiente aproximada del uno por mil (0,1%).

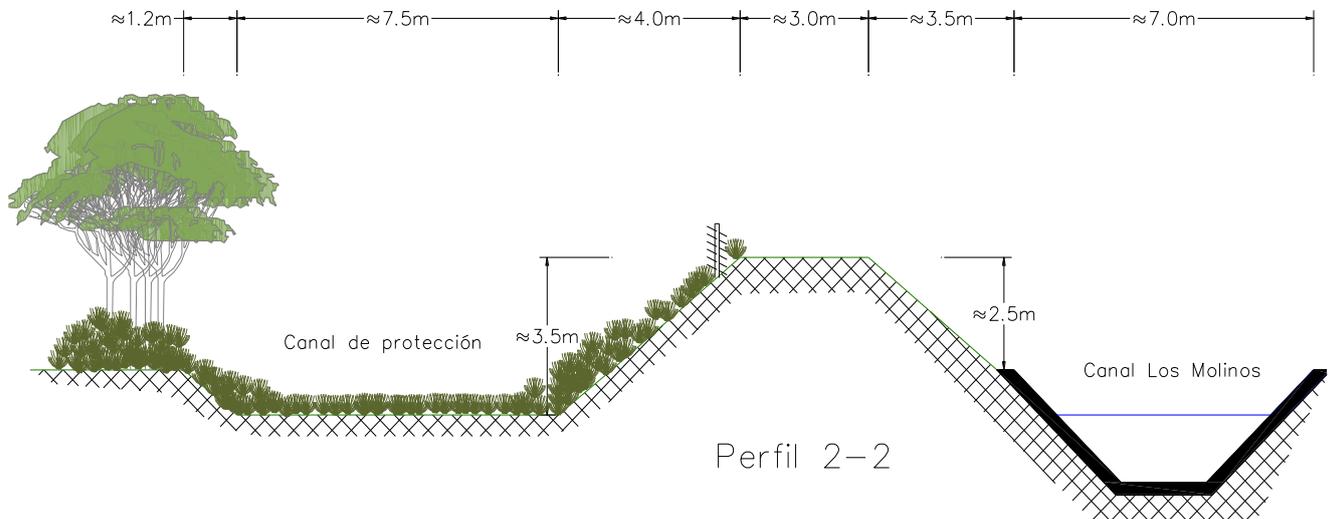


Figura 37: Croquis esquemático-Perfil 2-2



Figura 38: Perfil 2-2

5.5.3.4 Perfil Calle-Canal

Este es el punto final de toda la macro cuenca de análisis, todos los caudales recolectado por las subcuencas para los distintos tiempos de recurrencia, concluyen en esta sección. Aquí se encuentra una calle rural que corre en dirección norte-sur.

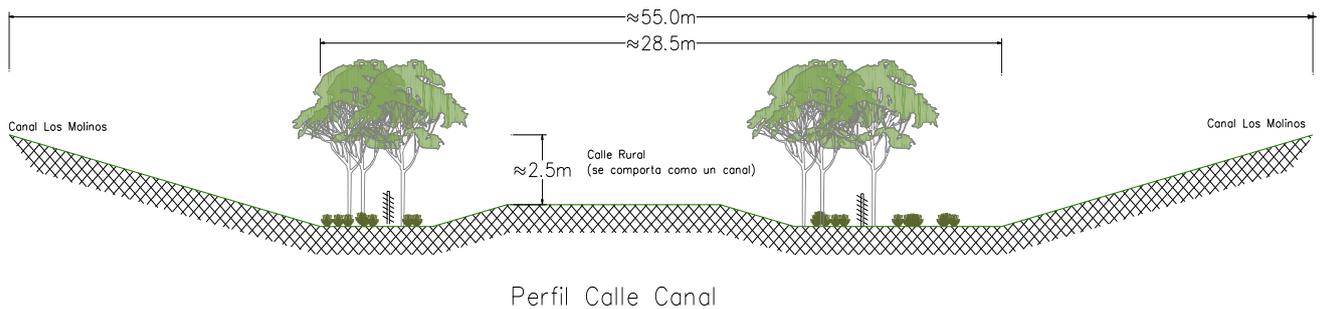


Figura 39: Croquis esquemático-Perfil Calle Canal



Figura 40: Perfil Calle Canal

5.5.3.5 Análisis de los Perfiles para los Caudales de 25 y 100 años

A modo de evaluar el comportamiento del sistema de protección del Canal Los Molinos-Córdoba, se verificará que frente a los caudales determinados en HEC-HMS para un tiempo de recurrencia de 25 y 100 años, el flujo no sobrepase el terraplén que protege aguas arriba al mismo.

Los caudales determinados para la situación actual se presentan en la siguiente tabla.

Situación Actual	
Tr(años)	Q (m ³ /s)
25	36
100	50

Tabla 15: Caudales Situación Actual en Canal Los Molinos-Córdoba

La determinación de la altura del nivel de agua, en el canal de protección, se determinó con HEC-RAS, el mismo es un programa de modelización hidráulica unidimensional, que permite realizar análisis de flujo en régimen permanente, no permanente, transporte de sedimentos y calidad de aguas. Este programa admite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para comprobar los niveles de inundabilidad y así delimitar las zonas inundables.

5.5.3.6 Resultados de HEC-RAS

Con el fin de determinar los niveles de agua, generado por un determinado caudal, el programa permite modelar un tramo de canal con las respectivas secciones y las características geométricas e hidráulicas de las mismas.

Las secciones que se modelaron corresponden a las mencionadas anteriormente (sección 1-1, 2-2, calle canal). Como se podrá observar a continuación tanto para el caudal de recurrencia de 25 y 100 años los niveles del pelo de agua no superan en ningún momento la cota máxima del terraplén.

En el casoparticular de las secciones 1-1 y 2-2, se aprecia que para los caudales estudiados se produce una inundación de la zona aledaña al canal.

5.5.3.7 Sección 1-1

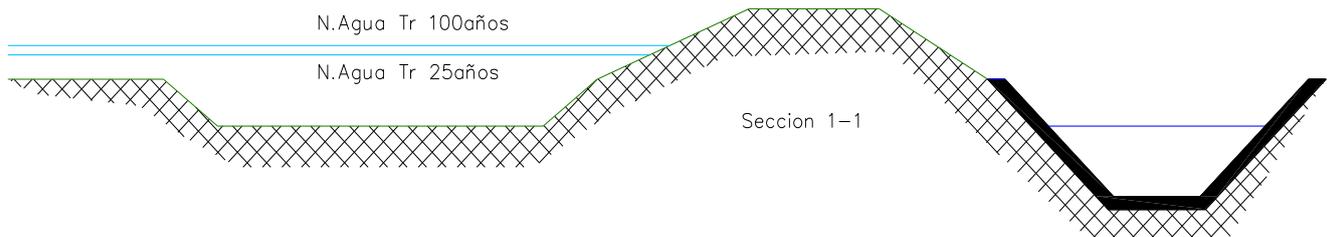


Figura 41: Sección 1-1- Nivel de Inundación – Situación Actual

5.5.3.8 Sección 2-2

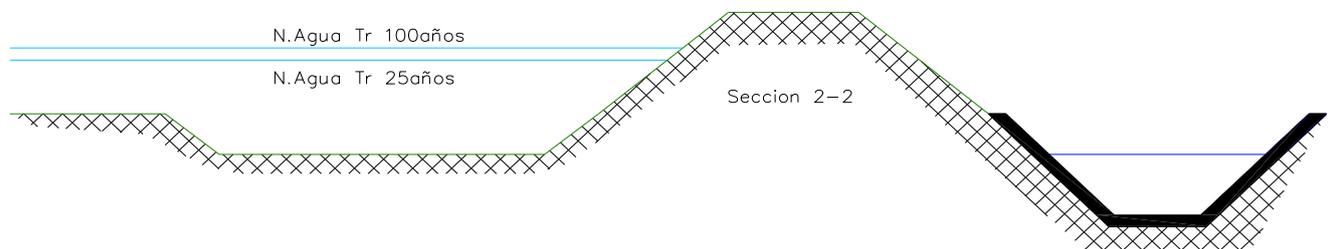


Figura 42: Sección 2-2- Nivel de Inundación – Situación Actual

5.5.3.9 Sección Calle-Canal

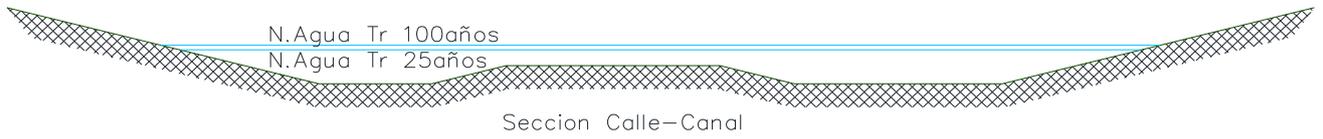


Figura 43: Sección Calle Canal - Nivel de Inundación - Situación Actual

5.6 ANÁLISIS SITUACIÓN FUTURA

Aquí fundamentalmente lo que se busca es plantear cómo el predio modifica las condiciones naturales del terreno en donde se emplaza y cómo de esta forma cambia las características de escurrimiento de la macro cuenca.

Los efectos hidrológicos que tendrá la construcción del predio se reflejarán en las condiciones de escurrimiento actuales, ya que dentro de las obras que se llevarán a cabo, se construirán calles asfaltadas, edificios, etc, las cuales generarán una impermeabilización del suelo. Como se pudo observar al principio de este informe, en la actualidad, el predio donde se ejecutarán las obras, es un espacio rural, dotado de tierras cultivadas y en menor proporción pastizales y monte, cuya capacidad de infiltración es mucho mayor que el mismo predio con las construcciones realizadas.

El efecto de impermeabilizar el suelo, es que el agua producto de las precipitaciones pluviales, escurre en su totalidad, siendo el porcentaje de infiltración muy pequeño, a tal punto que puede considerarse nulo.

Para incorporar el concepto de impermeabilización al modelo de la situación actual, el programa HEC-HMS permite ingresar el porcentaje de áreas impermeables para las cuencas de análisis. En este caso las cuencas que se ven afectadas por la realización del predio son las CI1, CI2 y CI3, para lo cual a cada una se le determina el área donde se ejecutarán las obras, obteniendo así el porcentaje de impermeabilización respecto al área total, para finalmente ingresarlo en el programa. De esta forma, es que se logra determinar los caudales de escurrimiento y así verificar las obras hidráulicas aguas abajo.

En la figura 28 se indican las tres cuencas mencionadas y un esquema de lo que en el futuro será el centro de tratamiento y depósito CORMECOR. Dentro del predio se definen las superficies impermeables constituidas por las calles de accesos, las edificaciones, etc, y las superficies de vertedero, que de acuerdo a las condiciones del diseño del mismo, se puede considerar que las características de escurrimiento e infiltración actuales no se verán afectadas de forma considerable.



Figura 44: Predio CORMECOR- Subcuencas CI1, CI2, CI3

En la tabla 17 están especificados los porcentajes de impermeabilización de cada una de las cuencas. Se puede ver que la CI1 es la que tiene el porcentaje más alto, ya que la mayor superficie de las calles y edificaciones se encuentran en esta cuenca.

Sobre la CI2, y CI3 se encuentran los vertederos y la planta de tratamiento de gases, pero como ya se mencionó, para los vertederos se considerará que no generan variaciones en el escurrimiento y la infiltración por lo que no se tomarán como áreas impermeabilizadas. Es por esto que en la CI3 el porcentaje de impermeabilización es nulo.

Los vertederos son obras destinadas a la deposición final de los residuos, para los cuales en la situación futura de análisis, se prevé que estén recubiertos con una carpeta permeable de suelo (sustento vegetal), con lo cual, en cuanto al escurrimiento, se puede considerar que se comportará similar al suelo en la situación actual.

La superficie de la CI2 está ocupada mayoritariamente por el vertedero y en menor medida por zona impermeable constituida por infraestructuras para los camiones de residuos y un edificio destinado a la captación de gases.

Cuencas	Áreas	(Ha)	% Impermeabilización
CI1	Área Tot.	132.4	13.30%
	Área Imper.	17.6	
CI2	Área Tot.	54.9	5.71%
	Área Imper.	3	
CI3	Área Tot.	91.3	0.00%
	Área Imper.	0	

Tabla 16: Porcentaje de impermeabilización de cuencas CI1, C2, C2

Como conclusión de la información entregada por la tabla anterior, se puede decir que debido a la construcción del predio, la subcuenca que se verá mayormente afectada en sus aspectos hidrológicos será la CI1.

5.6.1 Situación futura Obras en Ruta Nacional 36

Los porcentajes de impermeabilización calculados se ingresaron en el programa HEC-HMS, y se lo hizo correr para una lluvia de duración de 360 minutos y períodos de recurrencia de 25 y 100 años. Los datos obtenidos para las cuatro alcantarillas fueron los siguientes.

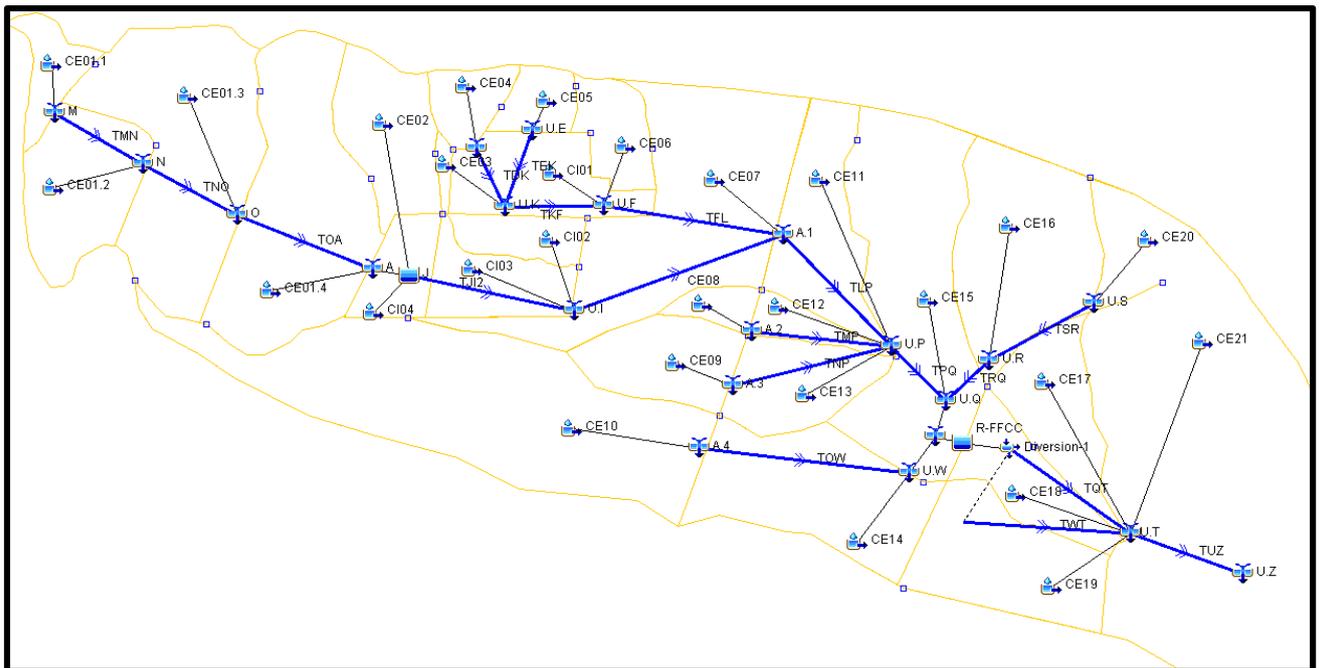


Figura 45: Modelo Macro Cuenca en HEC-HMS-Situación Futura

Global Summary Results for Run "F-TR025-0360min"

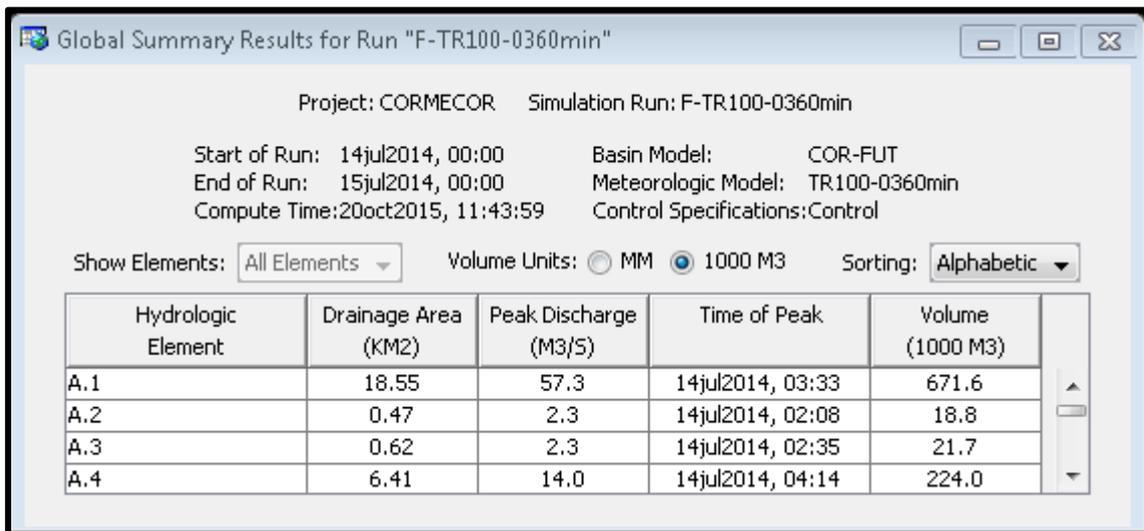
Project: CORMECOR Simulation Run: F-TR025-0360min

Start of Run: 14jul2014, 00:00 Basin Model: COR-FUT
 End of Run: 15jul2014, 00:00 Meteorologic Model: TR025-0360min
 Compute Time: 20oct2015, 11:35:55 Control Specifications: Control

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Alphabetic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
A.1	18.55	40.5	14jul2014, 03:39	478.3
A.2	0.47	1.7	14jul2014, 02:11	13.6
A.3	0.62	1.6	14jul2014, 02:41	15.3
A.4	6.41	9.8	14jul2014, 04:19	158.1

Figura 46: Salida HEC-HMS Alcantarillas Ruta 36-Situación Futura - Tr25 Años



Project: CORMECOR Simulation Run: F-TR100-0360min

Start of Run: 14jul2014, 00:00 Basin Model: COR-FUT
 End of Run: 15jul2014, 00:00 Meteorologic Model: TR100-0360min
 Compute Time: 20oct2015, 11:43:59 Control Specifications: Control

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Alphabetic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
A.1	18.55	57.3	14jul2014, 03:33	671.6
A.2	0.47	2.3	14jul2014, 02:08	18.8
A.3	0.62	2.3	14jul2014, 02:35	21.7
A.4	6.41	14.0	14jul2014, 04:14	224.0

Figura 47: Salida HEC-HMS Alcantarillas Ruta 36-Situación Futura -Tr100 Años

Con los datos obtenidos para la situación futura, al igual que para la situación actual, se le realizó a cada alcantarilla el análisis de escurrimiento por control de entrada y control de salida para verificar que el nivel del agua en la entrada no supere las altura máximas admisibles por diseño.

Alcantarilla	Unidades	Caudal(m3/s)	Altura Disponible (m)	Salida del HY8	
				He (m)	Hadm > He
Nº1	8	40.50	2.45	1.43	verifica
Nº2	3	1.70	1.85	0.47	verifica
Nº3	1	1.60	1.56	0.87	verifica
Nº4	5	9.80	2.65	0.74	verifica

Tabla 17: Situación Futura -Control de Entraday Salida -Alcantarillas - Tr. 25 Años

Alcantarilla	Unidades	Caudal(m3/s)	Altura Disponible (m)	Salida del HY8	
				He (m)	Hadm > He
Nº1	8	57.30	2.45	1.82	verifica
Nº2	3	2.30	1.85	0.56	verifica
Nº3	1	2.30	1.56	1.11	verifica
Nº4	5	14.00	2.65	0.91	Verifica

Tabla 18: Situación Futura -Control de Entraday Salida -Alcantarillas - Tr. 100 Años

Del resultado de los análisis se puede concluir que para los caudales futuros inducidos por la construcción del predio, las alcantarillas no dejan de funcionar bajo las condiciones de diseño.

A continuación se realiza una comparación de los valores obtenidos para los caudales, tanto para la situación actual como la futura.

Tiempo de Recurrencia 25 Años			
Alcantarilla	Situación		Diferencia (m3/s)
	Actual (m3/s)	Futura (m3/s)	
Nº1	41.10	40.50	0.60
Nº2	1.70	1.70	0.00
Nº3	1.60	1.60	0.00
Nº4	9.80	9.80	0.00

Tabla 19: Caudales Situación Actual vs Futura-Tr 25Años

Tiempo de Recurrencia 100 Años			
Alcantarilla	Situación		Diferencia (m3/s)
	Actual (m3/s)	Futura (m3/s)	
Nº1	56.50	57.30	0.80
Nº2	2.30	2.30	0.00
Nº3	2.30	2.30	0.00
Nº4	14.00	14.00	0.00

Tabla 20: Caudales Situación Actual vs Futura-Tr 100Años

En las tablas 20 y 21 es claro observar que para la recurrencia de 25 y 100 años, en las alcantarillas Nº2, Nº3 y Nº4, los caudales no varían, ya sea que se trate de la situación actual como futura. Este resultado es coherente con la forma en que se plantearon las cuencas, debido a que las que convergen en la alcantarilla Nº1 son en las que se ejecutará el predio CORMECOR, y consecuentemente las que tendrán cambios en la permeabilidad del suelo, variando las características hidrológicas y finalmente aumentando los caudales evacuados por las mismas. Para las alcantarillas 2, 3 y 4, en las subcuencas de aporte a cada una, no se estiman cambios entre las condiciones actuales y futuras, por lo que es lógico que los caudales no varíen frente a las mismas condiciones de lluvia de diseño.

5.6.2 Situación futura Obras en FFCC G.B.M.

Con el mismo criterio que en el apartado 5.5.2 se determinó para la situación futura los niveles de embalses en los puentes del FFCC, mediante HEC-HMS, y al igual que en el caso de las alcantarillas sobre la ruta nacional Nº36 no se notan variaciones apreciables en los resultados, debido a que la diferencia entre los caudales para la situación actual y la futura difieren en menos de uno por ciento.

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos de la salida de HEC-HMS y los datos relevados en campo. Los valores de nivel de agua que alcanza el embalse generado aguas arriba del terraplén del ferrocarril, son prácticamente los mismos que los que se obtuvieron para la situación actual, por tal motivo en las tablas siguientes no se observan diferencias.

Alcantarilla 1-FFCC			Situación Actual	
Cota(m)	Hadm(m)	Cota Max(m)	Cota N.A.HEC25(m)	Cota N.A. HEC100(m)
666.70	2.70	669.40	668.70	669.20

Tabla 21: Cota máxima nivel de agua en Alcantarillas 1-FFCC

Alcantarilla 2-FFCC			Situación Actual	
Cota(m)	H adm(m)	Cota Max(m)	Cota N.A.HEC25(m)	Cota N.A. HEC100(m)
666.80	2.00	668.80	668.70	669.20

Tabla 22:Cota máxima nivel de agua en Alcantarillas 2-FFCC

5.6.3 Situación futura Obras en Canal Los Molinos-Córdoba

Siguiendo con la misma metodología, para la situación futura en el canal Los Molinos Córdoba, se determinaron los caudales que llegarán para los tiempos de recurrencia de 25 y 100 años, para una lluvia de duración de 360 minutos como se había definido en el apartado 5.4. Puede observarse en la siguiente tabla que los valores de caudales no representan grandes variaciones en relación con los que se determinaron para la situación actual, oscilando en una diferencia entre el uno y el seis por ciento.

Situación Futura			
Tr (años)	Q act(m3/s)	Q fut (m3/s)	% Diferencia
25	36	38.5	6
100	50	51	2

Tabla 23: Caudales Situación Futura en Canal Los Molinos-Córdoba

5.6.3.1 Sección 1-1

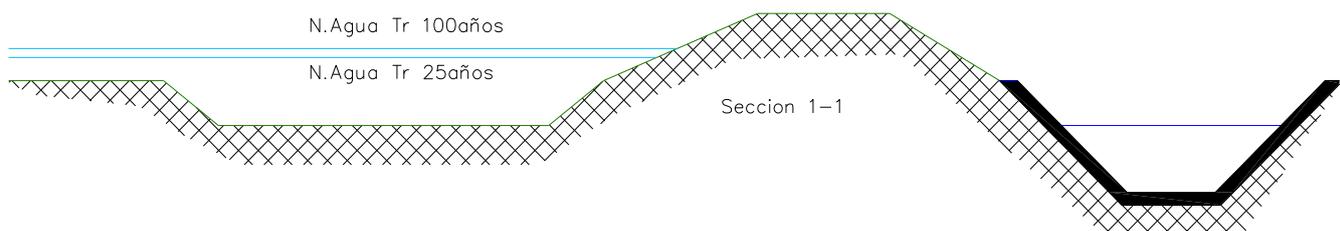


Figura 48: Sección 1-1- Nivel de Inundación – Situación Futura

5.6.3.2 Sección 2-2

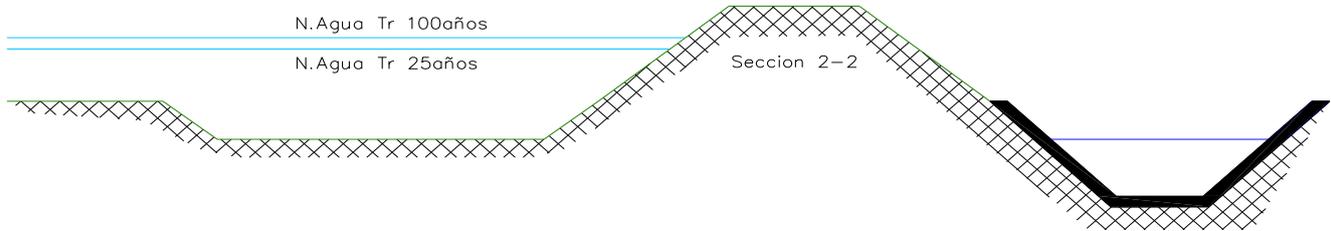


Figura 49: Sección 2-2- Nivel de Inundación – Situación Futura

5.6.3.3 Sección Calle-Canal

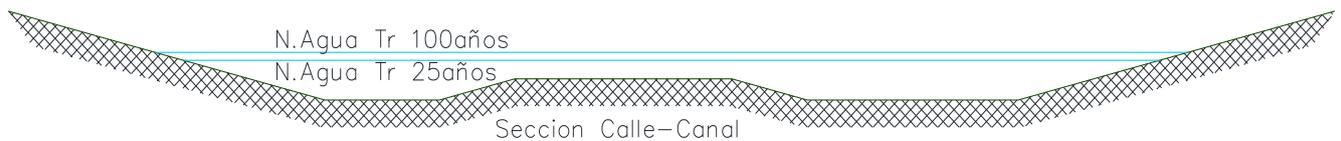


Figura 50: Sección Calle Canal - Nivel de Inundación - Situación Futura

Al igual que para el caso de la situación actual, debido a la insignificante variación de los caudales entre ésta y la situación futura, es lógico apreciar que en los distintos perfiles, el pelo de agua nunca sobrepasa los límites definidos por el terraplén que protege al canal y que la variación entre ambas situaciones es casi imperceptible.

6 CONCLUSIONES

A lo largo de las tareas realizadas en la práctica supervisada se ha logrado desarrollar las actividades propuestas y se ha conseguido elaborar para cada una de ellas las siguientes conclusiones.

Para la determinación de las características hidrológicas y físicas de toda la cuenca es necesario mencionar la importancia que tiene la calidad y precisión de los datos con los que se trabaja, sobre todo los relevamientos topográficos para la determinación de las líneas parte aguas y los bajos, en la definición de cuencas y líneas de escurrimiento, definición de parámetros meteorológicos, permeabilidad del suelo, etc. Debido a esto, es que pequeñas variaciones, sobretodo en cuencas del tamaño considerables, puede generar resultados de análisis completamente distintos.

Debido a la ubicación del predio, respecto a las cuencas del sector, se ha observado que el agua ingresa por diversos sectores y lo hace de forma poco concentrada, es decir los pequeños canales en donde se concentra el agua, lo hace con tirantes de baja profundidad. Esto hace que el predio tenga una red de drenaje tipo dendrítica y que el agua con frecuencia desborde desde un sector hacia otro, lo que hace más difícil su manejo. En ese sentido, poder concentrar el agua en pocos canales, los cuales surjan de la superposición de los canales existentes, mejoraría el control de los caudales que circulen dentro del predio

La mayor cantidad de agua ingresa desde el Oeste, debido al aporte externo de una cuenca que se extiende hasta aguas arriba de la Ruta Provincial N°5. Esta cuenca se encuentra con una laguna de regulación en el predio de baja eficiencia, ya que en los dos sectores de descarga (Canal Norte y Sur) las dos obras de descarga son grandes y por lo tanto no se produce prácticamente la regulación de caudales. En este punto se puede destacar que, si se desea tener el sector donde se encontrarán los vertederos "seco", es probable que lo más conveniente sea cerrar la salida Norte, recrecer el terraplén y dimensionar adecuadamente las obras de descarga en la salida Sur. Obviamente, manejando los excedentes internos con calles y pequeñas obras de drenaje. A su vez estas modificaciones, en la laguna de regulación, reducen los caudales que llegan a las obras de drenaje de la Ruta Nacional N°36 y aminoran el riesgo de inundaciones sobre esta vía de comunicación.

En cuanto a la verificación de las obras hidráulicas ubicadas aguas debajo de CORMECOR, los caudales generados por la afección de la permeabilidad del suelo, debido a la construcción del predio, no producirán inconvenientes, puesto que el incremento que generan los mismos respecto a los caudales de la situación actual, es pequeño.

Cabe aclarar que para entender qué caudales se producen en la situación actual, fue necesario analizar cómo se encontraban trabajando las obras hidráulicas en tal situación y se observó que funcionaban correctamente con cierto margen de seguridad, incluso para recurrencias de 25 y 100 años, por lo que frente a aumentos de caudales menores al 5% (para la situación futura), las obras hidráulicas continúan funcionando sin sobrepasar las condiciones límites de su diseño. Lo mencionado anteriormente hace referencia a que el predio, de acuerdo a las obras y consideraciones con las que está proyectado, no tendrá influencia apreciable en

las características hidrológicas de la cuenca. Si bien se produce una impermeabilización del suelo y un cambio en las condiciones actuales de escurrimiento, la relación entre el área que afecta el predio y el área de la cuenca, es lo suficientemente pequeña como para que el predio produzca efectos de gran magnitud. Además a lo largo del sistema de cuencas, los caudales que escurren se embalsan y regulan a través de distintas estructuras (alcantarillas sobre la ruta 36, puentes y terraplén del FFCC), con lo cual se produce una reducción del valor pico de los mismos.

En cuanto al análisis de las obras de drenaje, en este trabajo además de considerar que las mismas trabajan bajo condiciones ideales, se evaluó también la posibilidad de que tuvieran obstrucciones (pastizales que modificaran la sección o que aumentarían la rugosidad de la superficie de escurrimiento) por falta de mantenimiento. Pero cabe resaltar que si la falta de mantenimiento de las mismas genera obstrucciones totales o una variación considerable de la sección de descarga, todos los resultados obtenidos no coincidirían con el real funcionamiento, lo cual podría estar acompañado por un aumento de las áreas inundables y un sobrepaso de los valores admisibles para los cuales fueron proyectadas las obras.

Es importante mencionar también, que los estudios y modelaciones realizados se hicieron respetando las líneas de escurrimiento actuales, por lo que si en la ejecución del predio no se realiza adecuadamente la recolección de los caudales internos y se los deposita en las cuencas externas sobre las líneas de escurrimiento actuales, puede traer aparejado que las obras aguas abajo, que fueron definidas para caudales provenientes de una región aguas arriba, no funcionen correctamente.

Por último, se desea destacar que mediante la práctica supervisada se han logrado satisfacer objetivos independientes al estudio realizado. Durante el desarrollo de las actividades, se ha podido conocer la organización laboral de una empresa de ingeniería, se ha interactuado con profesionales del rubro y se han aplicado y extendido los conocimientos adquiridos durante la carrera, lo que lleva a cumplir con el objetivo principal de facilitar la inserción del alumno en el medio laboral.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACASE – INTA (2003): *Los Suelos*. Nivel de Reconocimiento 1:500.000. Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. ACASE - Dirección de Ambiente. INTA – EEA Manfredi.
- [2] Agencia Córdoba D.A.T y T.S.E.M. Dirección de Ambiente (2003): *Los Suelos*. Provincia de Córdoba.
- [3] Caamaño Nelli G, (2000): *Hidrología Avanzada*. Apuntes de Clases, Maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil – Mención en Recursos Hídricos, FCEfyN, UN de Córdoba.
- [4] Caamaño Nelli G, et. Al. (1993): *Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba*. INCYTH, CIHRSA, CONICET, SMN, DPH, CONICOR.
- [5] Caamaño Nelli G. y Dasso C. M. (2003): *Tormenta de diseño; Conceptos, técnicas y experiencias*. Ed. Científica Universitaria, Córdoba.
- [6] Castelló E. y Farías P. (1996): Análisis de los condicionantes para el diseño de las Obras de Desagüe de la Ruta Provincial N°5 en el Tramo Córdoba – Alta Gracia. Trabajo Final de la FCEfyN - UNC
- [7] Chow V., T. (1994): *Hidráulica de Canales Abiertos*. Ed, McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafe de Bogotá, Colombia.
- [8] Chow V., T., Maidment D, R. y Mays L. W. (1994): *Hidrología Aplicada*. Ed. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafe de Bogotá, Colombia.
- [9] García C. M. (2000): *Lámina de lluvia puntual para diseño hidrológico*. Tesis Maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil – Mención en Recursos Hídricos. FCEfyN. UN de Córdoba.
- [10] Hydrologic Engineering Center (1998): HEC-1. *Flood Hydrograph Package*. User Manual. US Army Corps of Engineers.
- [11] Vázquez J. B. et. al. (1977): *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Ed. Boldt. República Argentina.
- [12] HY-8 Culvert Hydraulic Analysis Program – User Manual
http://xmswiki.com/wiki/HY-8:HY-8_User_Manual
- [13] Hydrologic Engineering Center (1998): HEC-RAS 4.1 River Analysis System. User Manual. US Army Corps of Engineers.

8 ANEXOS

Anexo 1: Salida de HEC-HMS

A continuación se detallan en tablas todos los valores de caudales para cada uno de los componentes del modelo en HEC-HMS, tanto para la situación actual como para la futura.

Situación Actual

Elemento	TR 5		TR 10		TR 25		TR 100	
	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V
	(m3/s)	(1000 m3)						
A	11,6	116,3	16,0	159,7	22,0	218,3	31,5	310,0
A.1	21,6	250,9	28,6	342,7	39,7	465,8	56,5	658,0
A.2	0,9	7,6	1,2	10,2	1,7	13,6	2,3	18,8
A.3	0,8	8,2	1,2	11,2	1,6	15,3	2,3	21,7
A.4	5,2	84,6	7,2	116,0	9,8	158,1	14,0	224,0
CE01.1	1,0	8,8	1,4	11,7	1,9	15,6	2,7	21,6
CE01.2	1,8	16,7	2,6	23,6	3,7	33,0	5,4	48,0
CE01.3	4,6	45,7	6,4	62,6	8,7	85,3	12,5	120,9
CE01.4	4,3	45,1	5,9	61,9	8,1	84,4	11,6	119,5
CE02	2,3	21,8	3,1	29,1	4,2	38,8	5,9	53,7
CE03	0,2	1,5	0,2	2,0	0,3	2,6	0,4	3,6
CE04	0,9	8,3	1,2	11,1	1,7	14,8	2,3	20,4
CE05	0,7	5,9	1,0	8,1	1,3	11,1	1,9	15,7
CE06	1,0	9,1	1,4	12,5	1,9	17,0	2,7	24,1
CE07	3,4	39,9	4,7	54,6	6,5	74,5	9,2	105,5
CE08	0,9	7,6	1,2	10,2	1,7	13,6	2,3	18,8
CE09	0,8	8,2	1,2	11,2	1,6	15,3	2,3	21,7
CE10	5,2	84,6	7,2	116,0	9,8	158,1	14,0	224,0
CE11	2,0	22,8	2,7	31,0	3,7	41,9	5,2	58,9
CE12	0,6	6,2	0,8	8,3	1,1	11,0	1,5	15,2
CE13	1,9	18,4	2,5	24,5	3,3	32,7	4,7	45,3
CE14	2,7	31,4	3,7	43,1	5,0	58,7	7,2	83,2
CE15	4,9	59,9	6,5	79,9	8,7	106,5	12,1	147,4

CE16	2,9	33,3	4,0	45,6	5,4	62,2	7,8	88,1
CE17	1,5	16,5	2,1	22,6	2,9	30,8	4,1	43,7
CE18	1,3	13,7	1,7	18,8	2,4	25,7	3,4	36,3
CE19	2,8	30,6	3,8	40,8	5,1	54,4	7,1	75,3
CE20	1,4	13,8	1,9	18,5	2,5	24,6	3,5	34,0
CE21	3,1	40,3	4,2	55,2	5,8	75,2	8,2	106,6
CI01	1,5	17,4	2,1	23,9	2,8	32,6	4,0	46,1
CI02	0,7	7,3	1,0	9,9	1,4	13,6	2,0	19,2
CI03	1,6	14,8	2,1	19,8	2,8	26,3	3,9	36,4
CI04	1,0	8,7	1,4	11,9	1,9	16,3	2,8	23,1
Diversion-1	19,4	328,2	24,1	446,6	31,1	605,2	38,8	852,2
J	13,3	146,8	17,9	200,8	25,2	273,4	35,6	386,8
Junction-1	41,1	537,1	54,8	730,8	74,8	990,3	106,1	1394,5
J-División	4,5	49,9	6,1	68,3	8,6	92,9	12,1	131,5
M	1,0	8,8	1,4	11,7	1,9	15,6	2,7	21,6
N	2,8	25,5	4,0	35,3	5,5	48,6	8,0	69,6
O	7,4	71,1	10,2	97,9	14,1	134,0	20,2	190,5
R-FFCC	31,8	537,1	39,5	730,8	50,8	990,3	63,5	1394,5
TDK	0,9	8,3	1,2	11,1	1,6	14,8	2,3	20,4
TEK	0,7	5,9	0,9	8,1	1,3	11,1	1,8	15,7
TFL	4,0	42,2	5,5	57,5	7,4	78,0	10,5	110,0
TIL	14,7	168,8	19,6	230,5	27,3	313,3	38,8	442,4
TJI1	4,5	49,9	6,0	68,3	8,5	92,9	12,0	131,5
TJI2	8,7	96,9	11,7	132,5	16,5	180,4	23,4	255,3
TKF	1,7	15,7	2,3	21,2	3,2	28,5	4,5	39,8
TLP	21,4	250,9	28,4	342,7	39,2	465,8	55,8	658,0
TMN	1,0	8,8	1,4	11,7	1,8	15,6	2,6	21,6
TMP	0,9	7,6	1,2	10,2	1,6	13,6	2,2	18,8
TNO	2,8	25,5	3,9	35,3	5,4	48,6	7,8	69,6
TNP	0,8	8,2	1,1	11,2	1,6	15,3	2,2	21,7
TOA	7,3	71,1	10,1	97,9	13,9	134,0	19,9	190,5
TOW	5,1	84,6	7,1	116,0	9,7	158,1	13,7	224,0
TPQ	26,0	314,2	34,4	427,9	47,1	580,3	67,0	817,9

TQT	19,3	328,2	24,0	446,6	30,9	605,2	38,7	852,2
TRQ	4,2	47,1	5,8	64,0	7,8	86,8	11,1	122,1
TSR	1,4	13,8	1,9	18,5	2,5	24,6	3,5	34,0
TUZ	24,1	429,3	30,0	584,0	38,2	791,3	50,5	1114,1
TWT	12,3	208,9	15,3	284,2	19,7	385,1	24,6	542,3
U.D	0,9	8,3	1,2	11,1	1,7	14,8	2,3	20,4
U.E	0,7	5,9	1,0	8,1	1,3	11,1	1,9	15,7
U.F	4,1	42,2	5,6	57,5	7,6	78,0	10,7	110,0
U.I	15,0	168,8	20,1	230,5	28,3	313,3	40,0	442,4
U.K	1,8	15,7	2,4	21,2	3,2	28,5	4,6	39,8
U.P	26,1	314,2	34,5	427,9	47,3	580,3	67,4	817,9
U.Q	34,6	421,1	45,9	571,8	62,3	773,5	88,4	1087,3
U.R	4,2	47,1	5,8	64,0	7,9	86,8	11,1	122,1
U.S	1,4	13,8	1,9	18,5	2,5	24,6	3,5	34,0
U.T	24,2	429,3	30,1	584,0	38,3	791,3	50,7	1114,1
U.W	7,0	116,0	9,6	159,0	13,2	216,8	18,7	307,2
U.Z	24,1	429,3	30,0	584,0	38,2	791,3	50,5	1114,1

Situación Futura

Elemento	TR 5		TR 10		TR 25		TR 100	
	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V
	(m3/s)	(1000 m3)						
A	11,6	116,3	16,0	159,7	22,0	218,3	31,5	310,0
A.1	22,3	261,6	29,3	354,2	40,5	478,3	57,4	671,6
A.2	0,9	7,6	1,2	10,2	1,7	13,6	2,3	18,8
A.3	0,8	8,2	1,2	11,2	1,6	15,3	2,3	21,7
A.4	5,2	84,6	7,2	116,0	9,8	158,1	14,0	224,0
CE01.1	1,0	8,8	1,4	11,7	1,9	15,6	2,7	21,6
CE01.2	1,8	16,7	2,6	23,6	3,7	33,0	5,4	48,0
CE01.3	4,6	45,7	6,4	62,6	8,7	85,3	12,5	120,9
CE01.4	4,3	45,1	5,9	61,9	8,1	84,4	11,6	119,5
CE02	2,3	21,8	3,1	29,1	4,2	38,8	5,9	53,7
CE03	0,2	1,5	0,2	2,0	0,3	2,6	0,4	3,6
CE04	0,9	8,3	1,2	11,1	1,7	14,8	2,3	20,4
CE05	0,7	5,9	1,0	8,1	1,3	11,1	1,9	15,7
CE06	1,0	9,1	1,4	12,5	1,9	17,0	2,7	24,1
CE07	3,4	39,9	4,7	54,6	6,5	74,5	9,2	105,5
CE08	0,9	7,6	1,2	10,2	1,7	13,6	2,3	18,8
CE09	0,8	8,2	1,2	11,2	1,6	15,3	2,3	21,7
CE10	5,2	84,6	7,2	116,0	9,8	158,1	14,0	224,0
CE11	2,0	22,8	2,7	31,0	3,7	41,9	5,2	58,9
CE12	0,6	6,2	0,8	8,3	1,1	11,0	1,5	15,2
CE13	1,9	18,4	2,5	24,5	3,3	32,7	4,7	45,3
CE14	2,7	31,4	3,7	43,1	5,0	58,7	7,2	83,2
CE15	4,9	59,9	6,5	79,9	8,7	106,5	12,1	147,4
CE16	2,9	33,3	4,0	45,6	5,4	62,2	7,8	88,1
CE17	1,5	16,5	2,1	22,6	2,9	30,8	4,1	43,7
CE18	1,3	13,7	1,7	18,8	2,4	25,7	3,4	36,3
CE19	2,8	30,6	3,8	40,8	5,1	54,4	7,1	75,3
CE20	1,4	13,8	1,9	18,5	2,5	24,6	3,5	34,0

CE21	3,1	40,3	4,2	55,2	5,8	75,2	8,2	106,6
CI01	2,2	26,5	2,8	33,7	3,6	43,2	4,9	57,7
CI02	0,8	8,9	1,1	11,7	1,5	15,5	2,1	21,3
CI03	1,6	14,8	2,1	19,8	2,8	26,3	3,9	36,4
CI04	1,0	8,7	1,4	11,9	1,9	16,3	2,8	23,1
Diversion-1	19,7	334,8	24,4	453,7	31,4	612,8	38,9	860,5
J	13,3	146,8	17,9	200,8	25,2	273,4	35,6	386,8
Junction-1	41,8	547,8	55,7	742,4	75,6	1002,9	107,1	1408,2
J-División	4,5	49,9	6,1	68,3	8,6	92,9	12,1	131,5
M	1,0	8,8	1,4	11,7	1,9	15,6	2,7	21,6
N	2,8	25,5	4,0	35,3	5,5	48,6	8,0	69,6
O	7,4	71,1	10,2	97,9	14,1	134,0	20,2	190,5
R-FFCC	32,2	547,8	39,9	742,4	51,4	1002,8	63,7	1408,1
TDK	0,9	8,3	1,2	11,1	1,6	14,8	2,3	20,4
TEK	0,7	5,9	0,9	8,1	1,3	11,1	1,8	15,7
TFL	4,7	51,3	6,3	67,4	8,3	88,7	11,5	121,6
TIL	14,8	170,5	19,6	232,2	27,4	315,2	38,9	444,5
TJI1	4,5	49,9	6,0	68,3	8,5	92,9	12,0	131,5
TJI2	8,7	96,9	11,7	132,5	16,5	180,4	23,4	255,3
TKF	1,7	15,7	2,3	21,2	3,2	28,5	4,5	39,8
TLP	22,1	261,6	29,1	354,2	40,0	478,3	56,7	671,6
TMN	1,0	8,8	1,4	11,7	1,8	15,6	2,6	21,6
TMP	0,9	7,6	1,2	10,2	1,6	13,6	2,2	18,8
TNO	2,8	25,5	3,9	35,3	5,4	48,6	7,8	69,6
TNP	0,8	8,2	1,1	11,2	1,6	15,3	2,2	21,7
TOA	7,3	71,1	10,1	97,9	13,9	134,0	19,9	190,5
TOW	5,1	84,6	7,1	116,0	9,7	158,1	13,7	224,0
TPQ	26,8	324,9	35,2	439,5	48,0	592,8	68,0	831,5
TQT	19,6	334,8	24,3	453,7	31,2	612,8	38,9	860,5
TRQ	4,2	47,1	5,8	64,0	7,8	86,8	11,1	122,1
TSR	1,4	13,8	1,9	18,5	2,5	24,6	3,5	34,0
TUZ	24,4	435,8	30,3	591,1	38,6	798,9	50,7	1122,4
TWT	12,5	213,0	15,5	288,7	19,9	390,0	24,7	547,6

U.D	0,9	8,3	1,2	11,1	1,7	14,8	2,3	20,4
U.E	0,7	5,9	1,0	8,1	1,3	11,1	1,9	15,7
U.F	4,8	51,3	6,4	67,4	8,5	88,7	11,8	121,6
U.I	15,1	170,5	20,2	232,2	28,3	315,2	40,1	444,5
U.K	1,8	15,7	2,4	21,2	3,2	28,5	4,6	39,8
U.P	26,9	324,9	35,3	439,5	48,2	592,8	68,3	831,5
U.Q	35,4	431,8	46,7	583,4	63,2	786,0	89,4	1101,0
U.R	4,2	47,1	5,8	64,0	7,9	86,8	11,1	122,1
U.S	1,4	13,8	1,9	18,5	2,5	24,6	3,5	34,0
U.T	24,5	435,8	30,4	591,1	38,7	798,9	51,0	1122,4
U.W	7,0	116,0	9,6	159,0	13,2	216,8	18,7	307,2
U.Z	24,4	435,8	30,3	591,1	38,6	798,9	50,7	1122,4

Anexo 2: Resultados de Análisis en Hy 8 –Alcantarillas Ruta N°36

Aquí se encuentran las salidas del programa HY-8, para cada una de las alcantarillas analizadas sobre la ruta nacional N° 36, y para cada una de las situaciones con sus respectivos caudales.

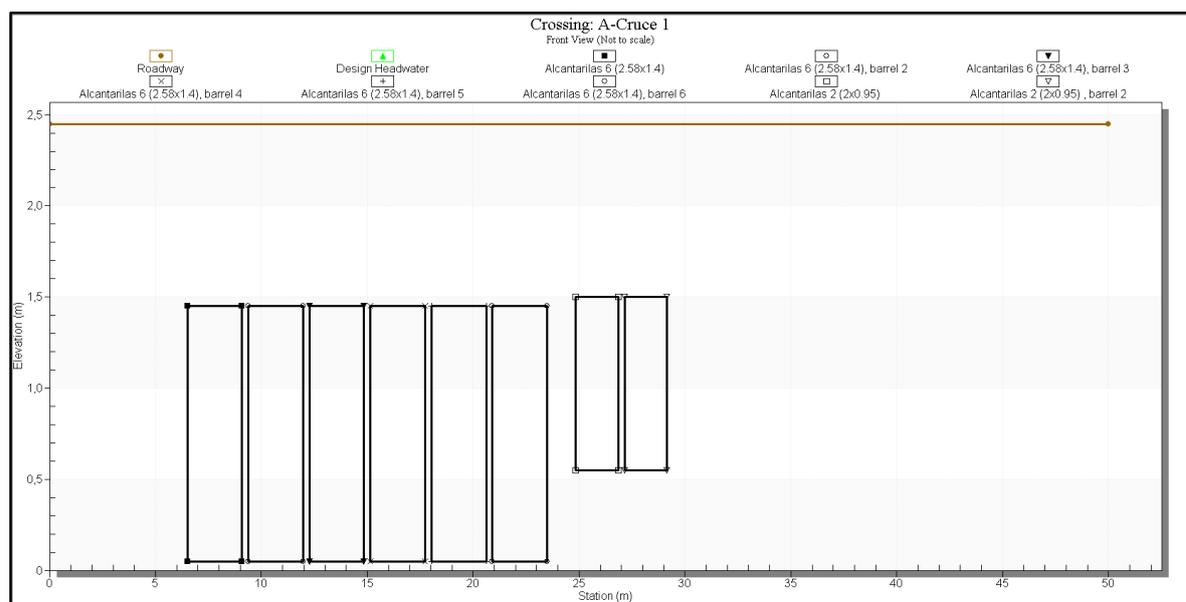
Para cada alcantarilla se puede observar una tabla resumen que contiene los caudales para cada tiempo de recurrencia, la altura del nivel de agua a la entrada de la alcantarilla y, en el caso de tener secciones distintas, entrega como se reparte la descarga en cada una.

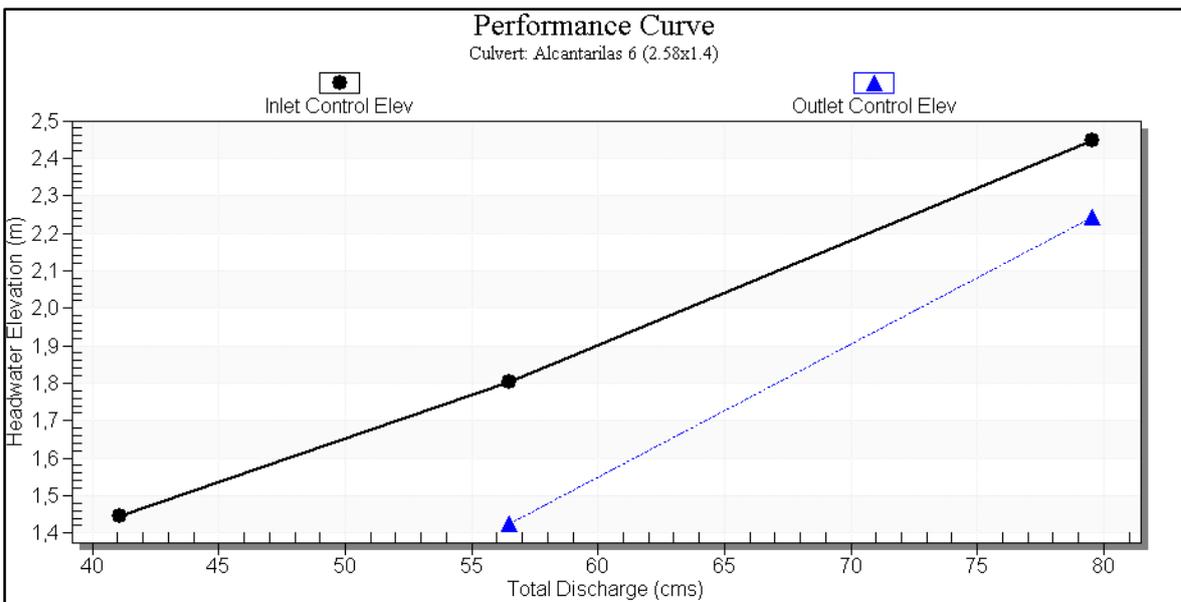
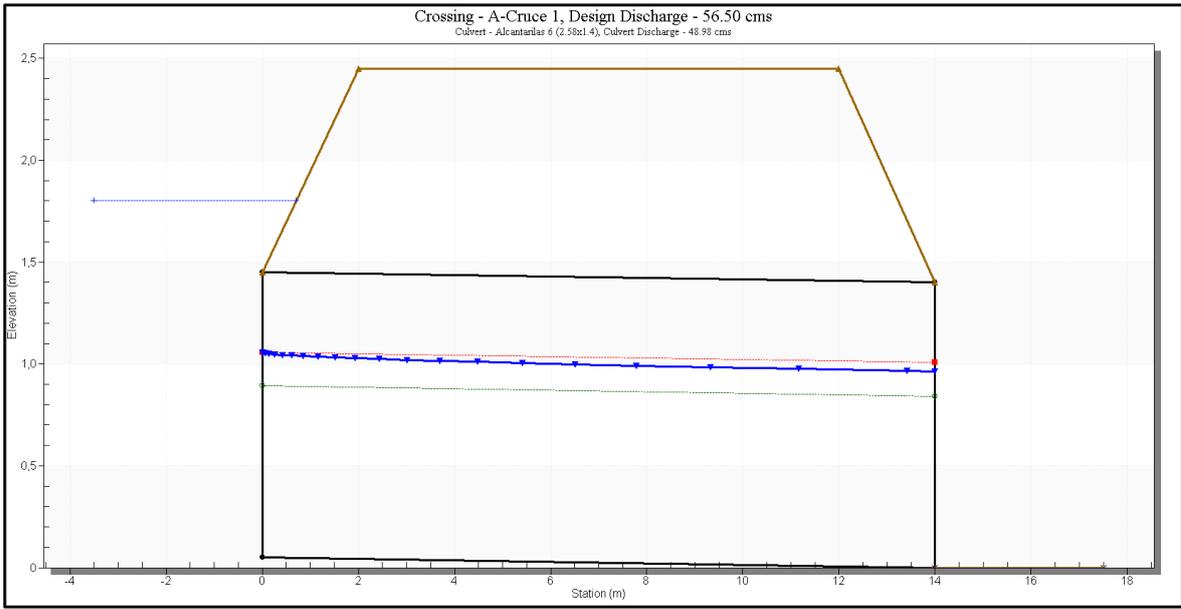
Además de la tabla resumen, se encuentran gráficos donde se pueden observar esquemáticamente las características geométricas de las alcantarillas, los niveles de agua y la forma del pelo de agua en el interior de la misma.

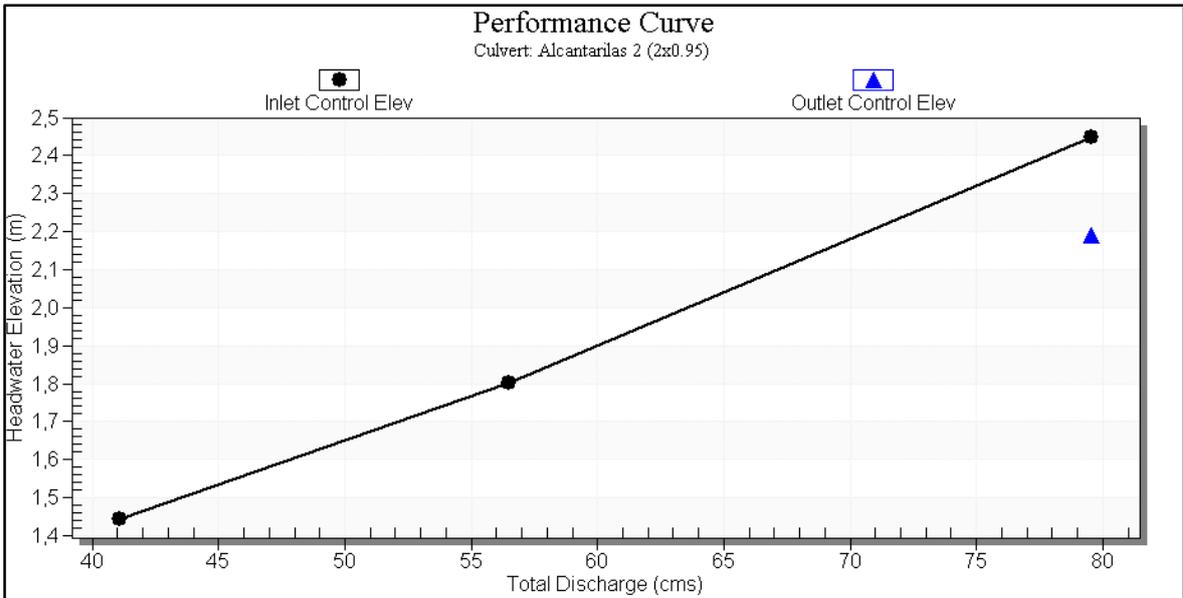
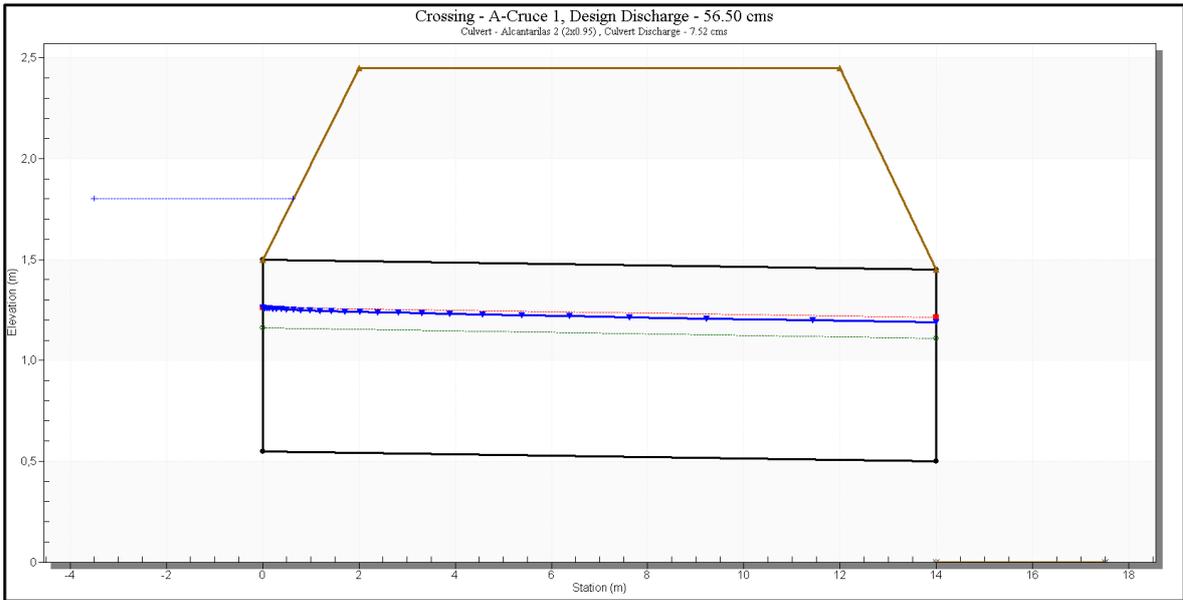
Y finalmente se dispuso de un ábaco donde permite interpretar cómo se encuentra operando la alcantarilla, ya sea por escurrimiento con control de entrada o escurrimiento con control de salida.

Alcantarilla 1-Situación Actual

Headwater Elevation (m)	Discharge Names	Total Discharge (cms)	Alcantarillas 6 (2.58x1.4) Discharge (cms)	Alcantarillas 2 (2x0.95) Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
1.35	A-Tr25-360min	39.70	35.27	4.43	0.00	6
1.80	A-Tr100-360min	56.50	48.98	7.52	0.00	4
2.45	Overtopping	68.27	11.26	0.00	1.00	

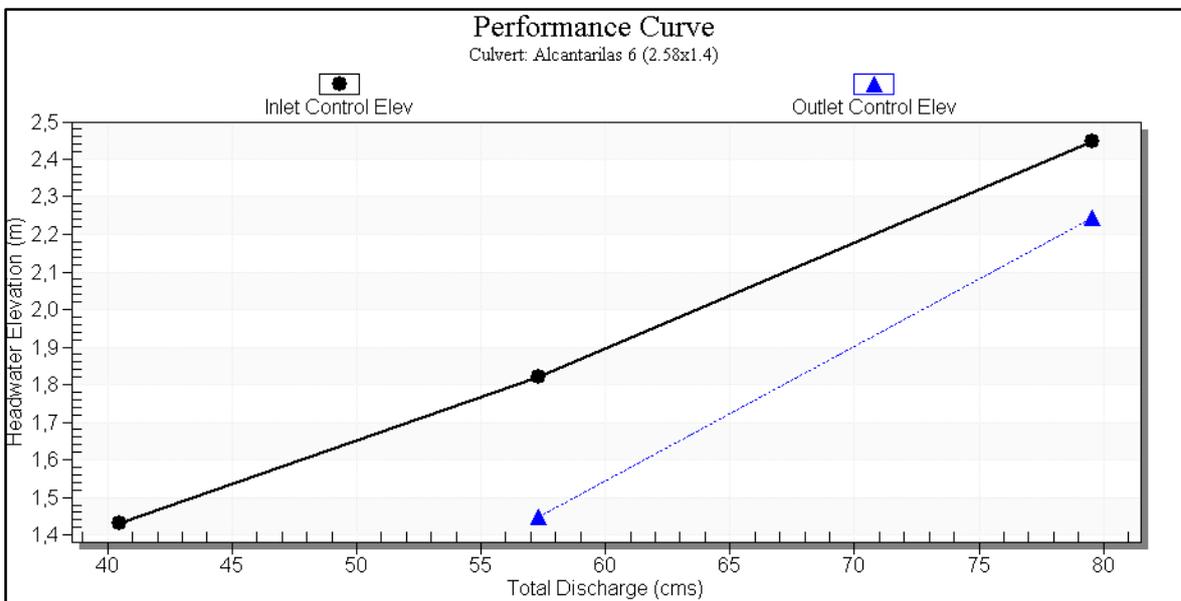
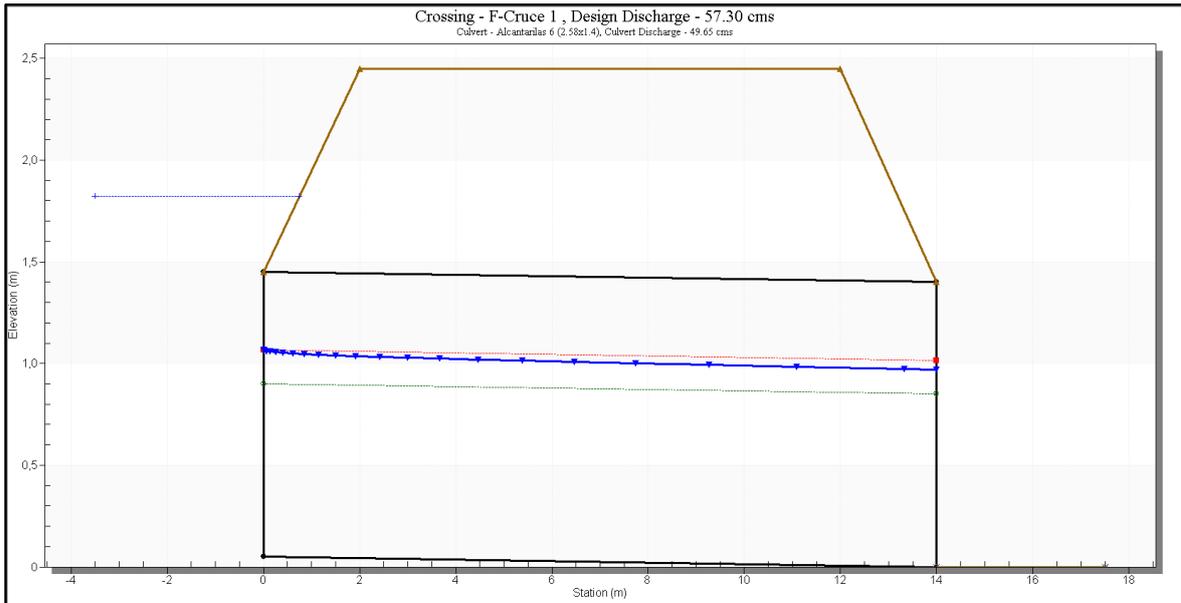


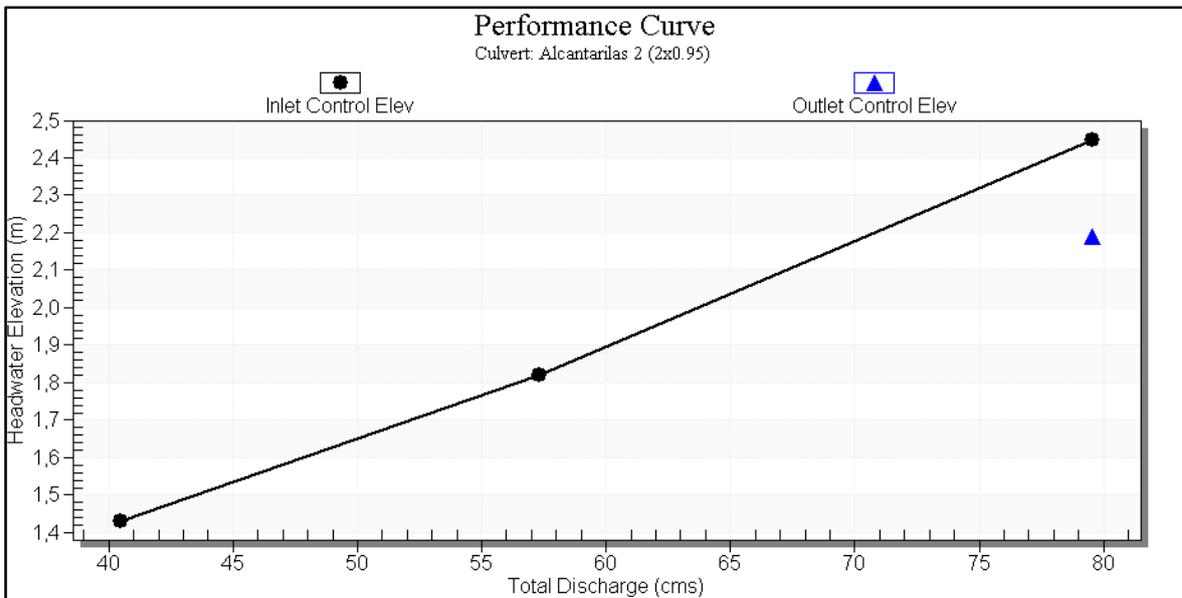
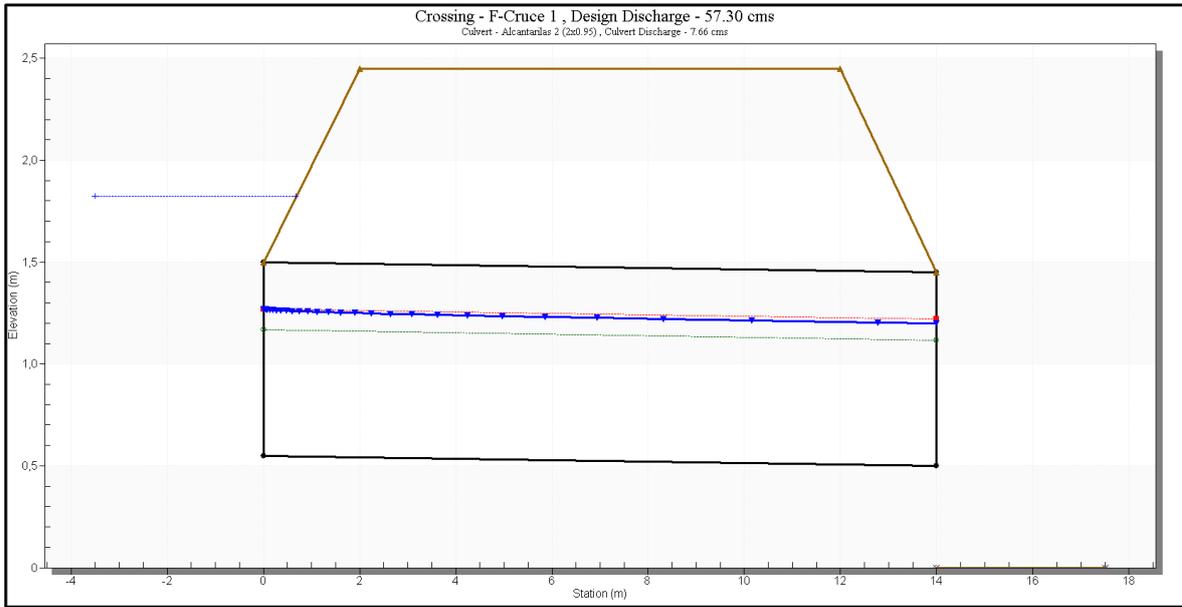




Alcantarilla 1-Situación Futura

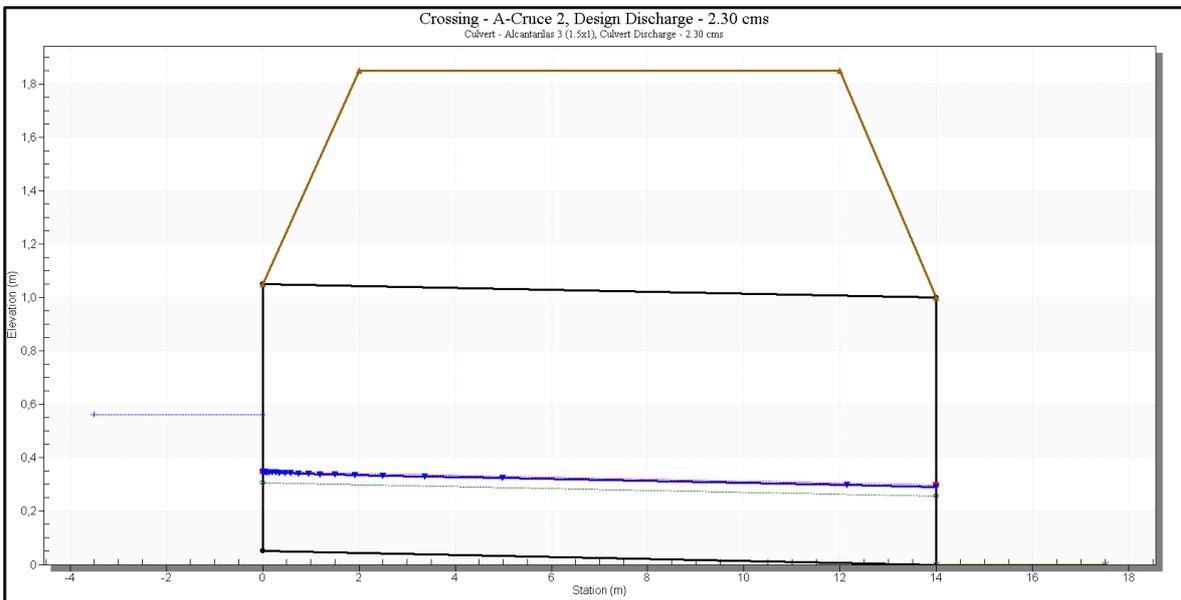
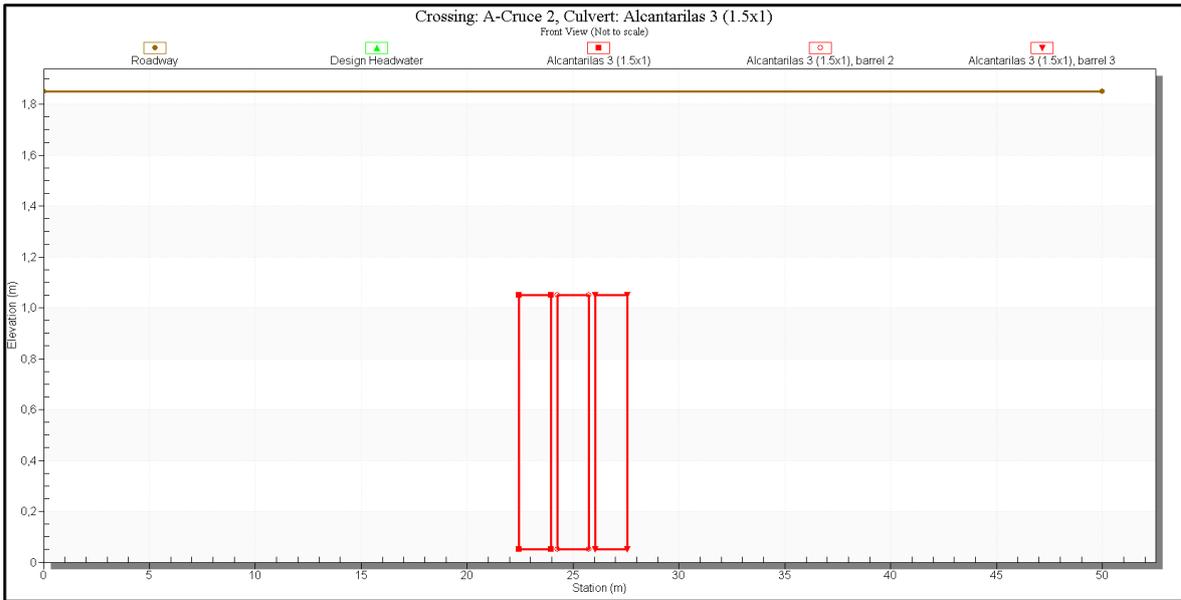
Headwater Elevation (m)	Discharge Names	Total Discharge (cms)	Alcantarilas 6 (2.58x1.4) Discharge (cms)	Alcantarilas 2 (2x0.95) Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
1.43	F-Tr25-360min	40.50	35.78	4.73	0.00	6
1.82	F-Tr100-360min	57.30	49.65	7.66	0.00	4
2.45	Overtopping	68.27	11.26	0.00	1.00	

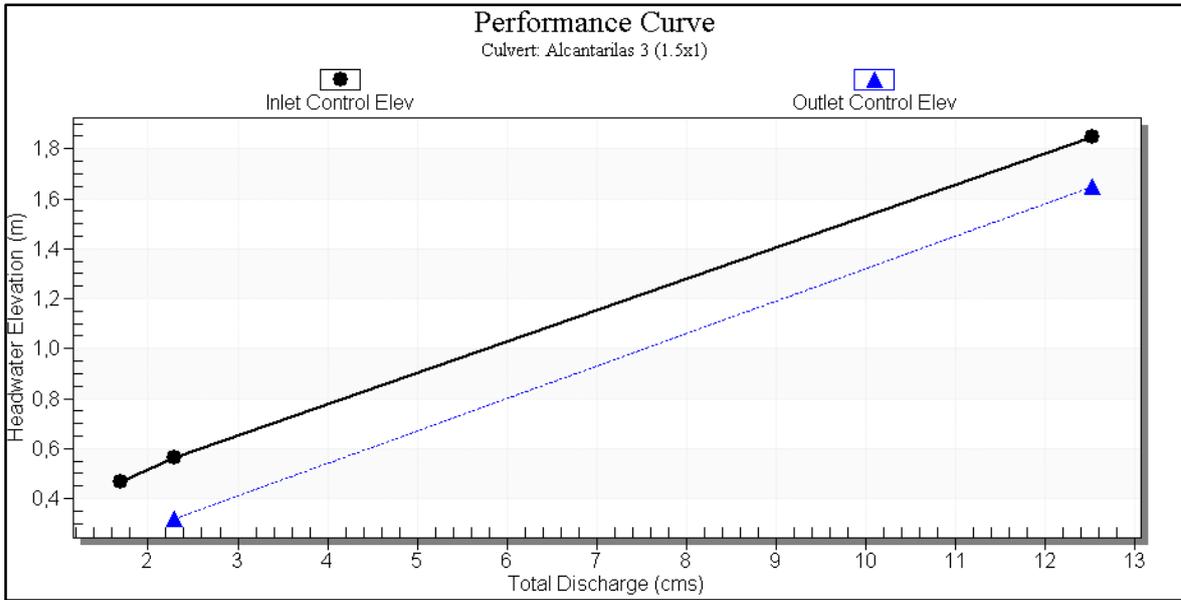




Alcantarilla 2-Situación Actual-Futura

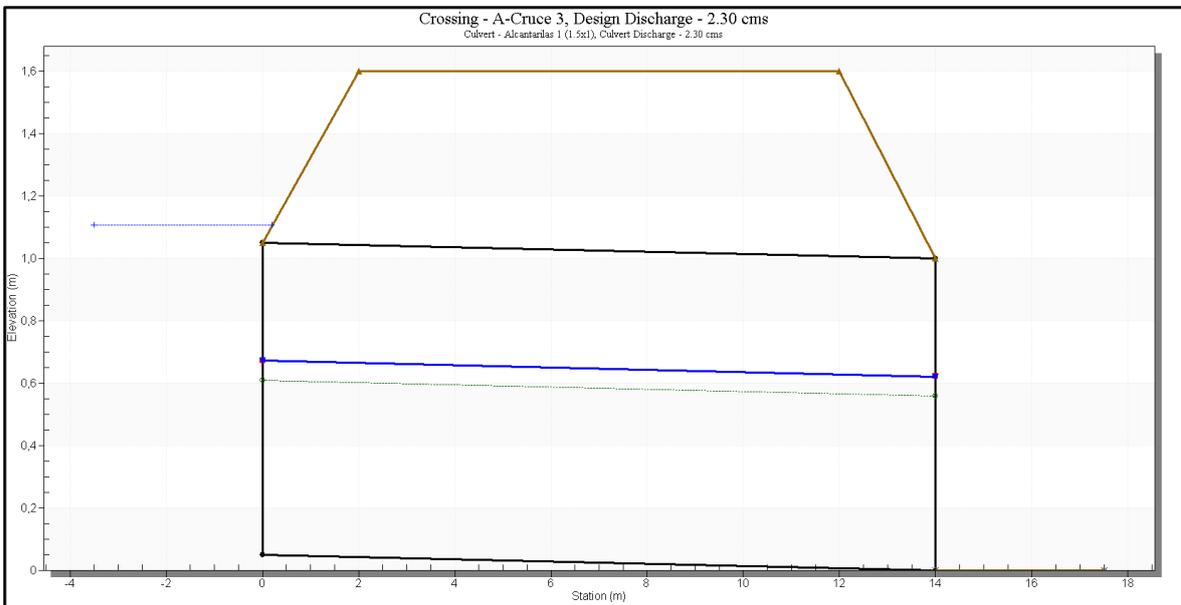
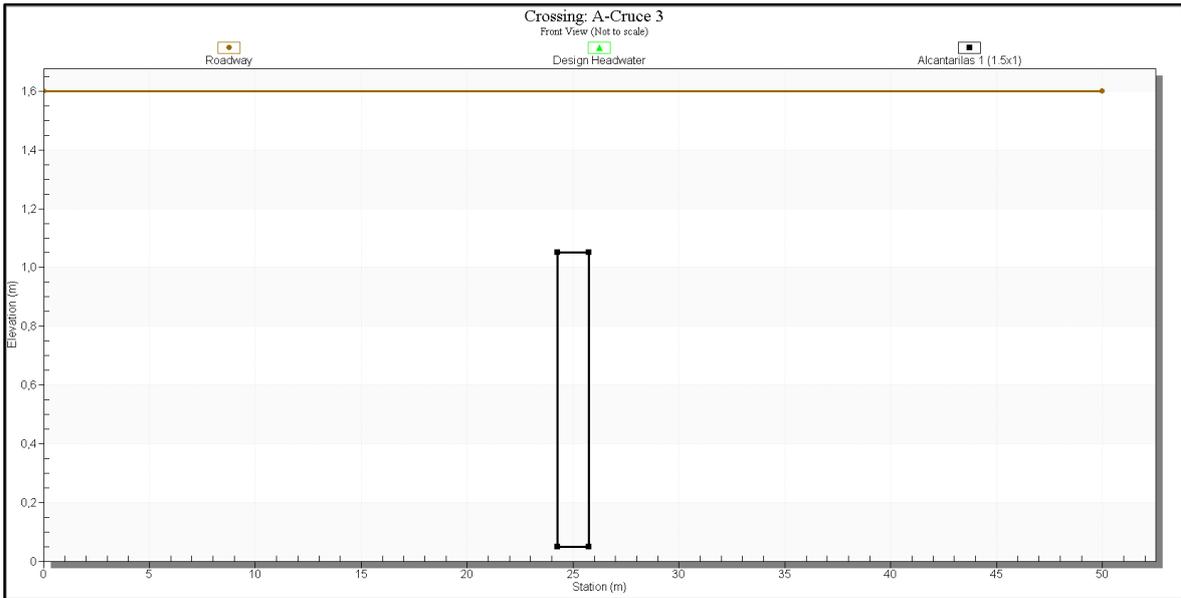
Headwater Elevation (m)	Discharge Names	Total Discharge (cms)	Alcantarilas 3 (1.5x1) Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
0.47	A-Tr25-360min	1.70	1.70	0.00	1
0.56	A-Tr100-360min	2.30	2.30	0.00	1
1.85	Overtopping	12.52	0.00	1.00	

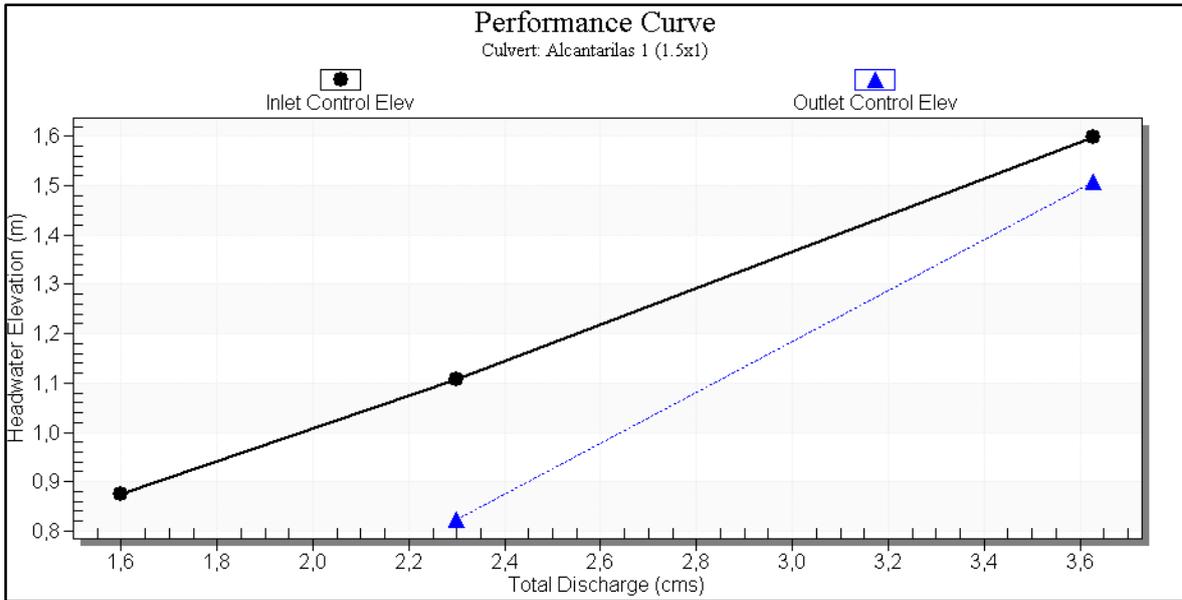




Alcantarilla 3-Situación Actual-Futura

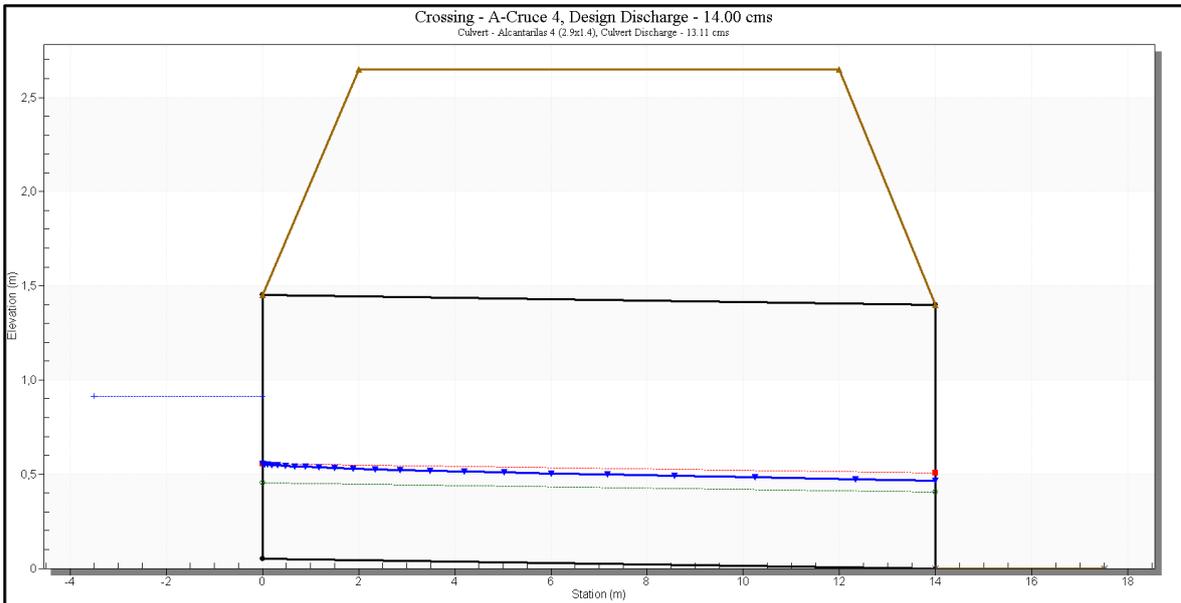
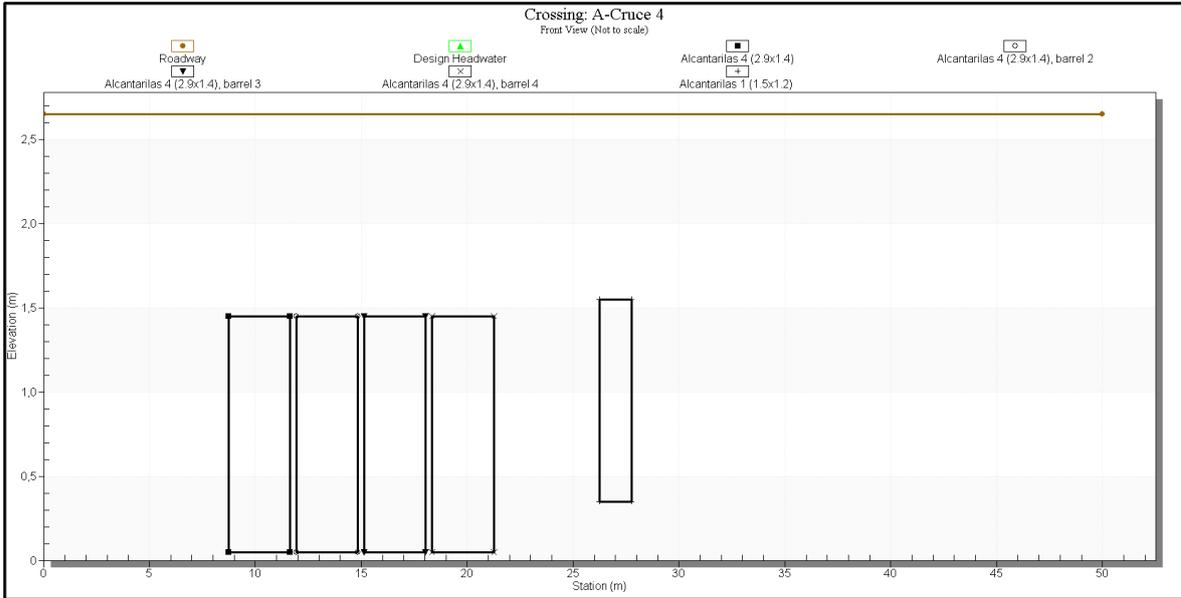
Headwater Elevation (m)	Discharge Names	Total Discharge (cms)	Alcantarilas 1 (1.5x1) Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
0.87	A-Tr25-360min	1.60	1.60	0.00	1
1.11	A-Tr100-360min	2.30	2.30	0.00	1
1.60	Overtopping	3.63	0.00	1.00	

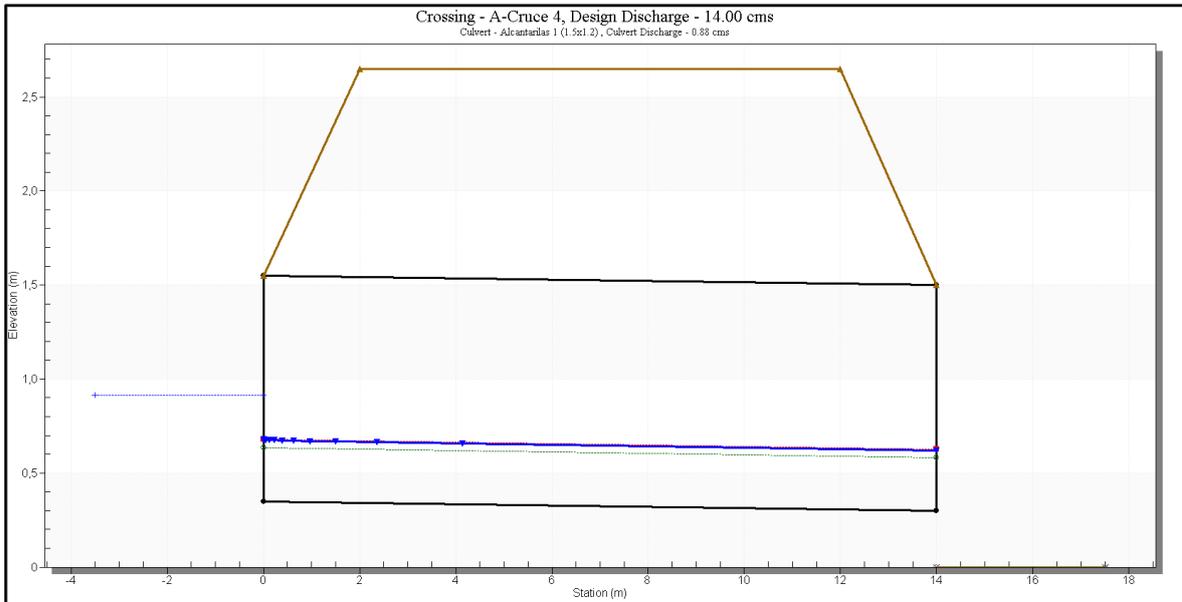
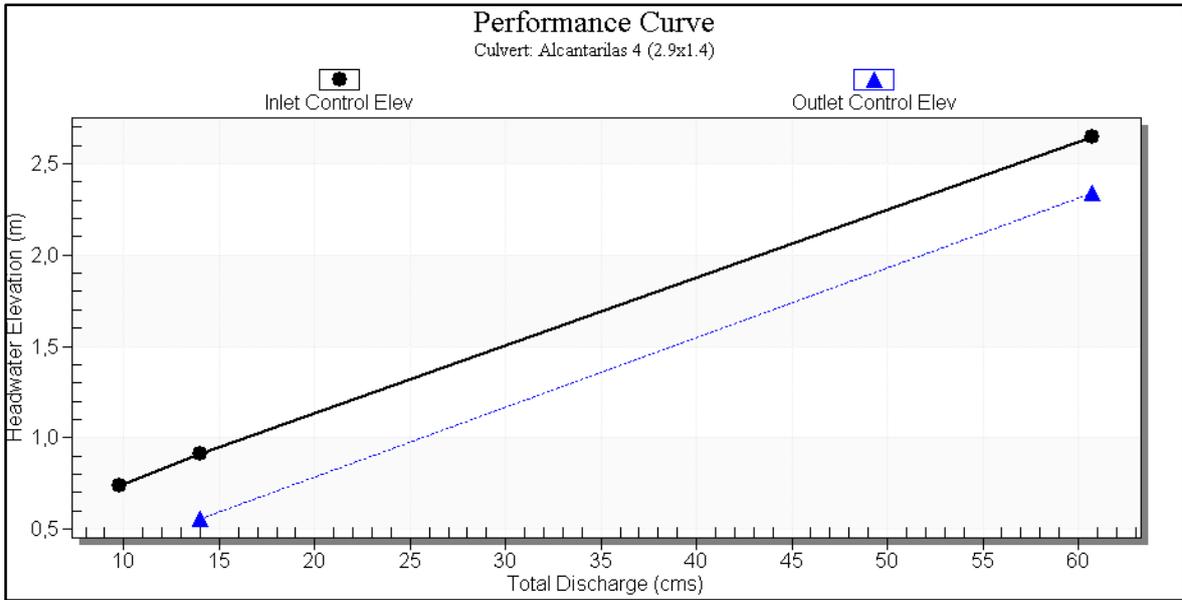


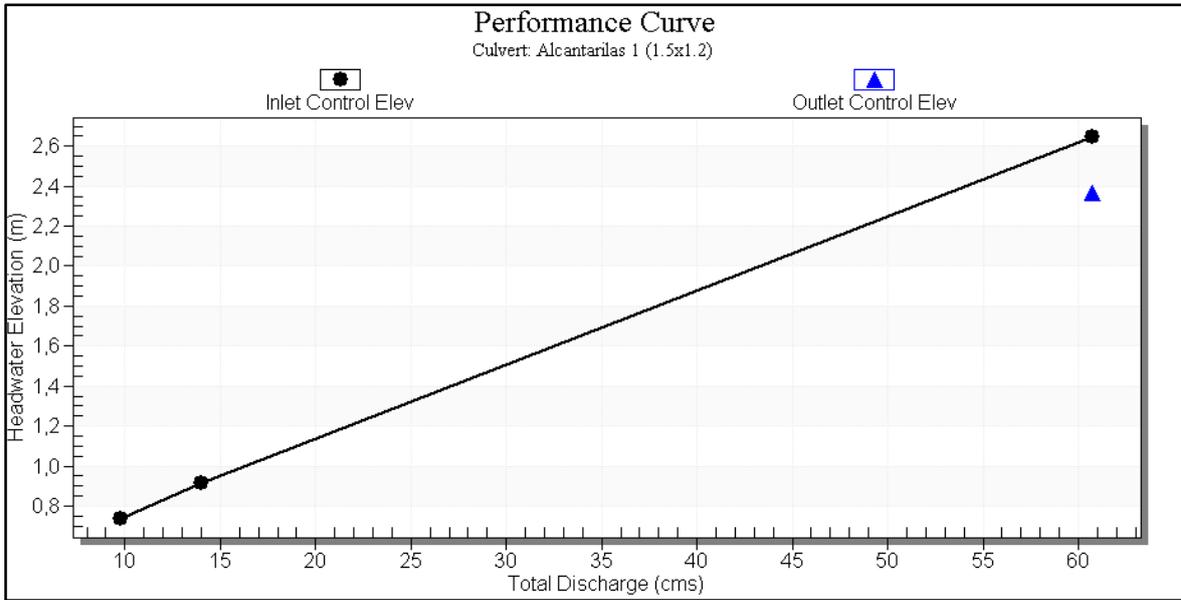


Alcantarilla 4-Situación Actual-Futura

Headwater Elevation (m)	Discharge Names	Total Discharge (cms)	Alcantarillas 4 (2.9x1.4) Discharge (cms)	Alcantarillas 1 (1.5x1.2) Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
0.74	A-Tr25-360min	9.80	9.29	0.51	0.00	6
0.91	A-Tr100-360min	14.00	13.11	0.88	0.00	3
2.65	Overtopping	54.92	5.79	0.00	1.00	



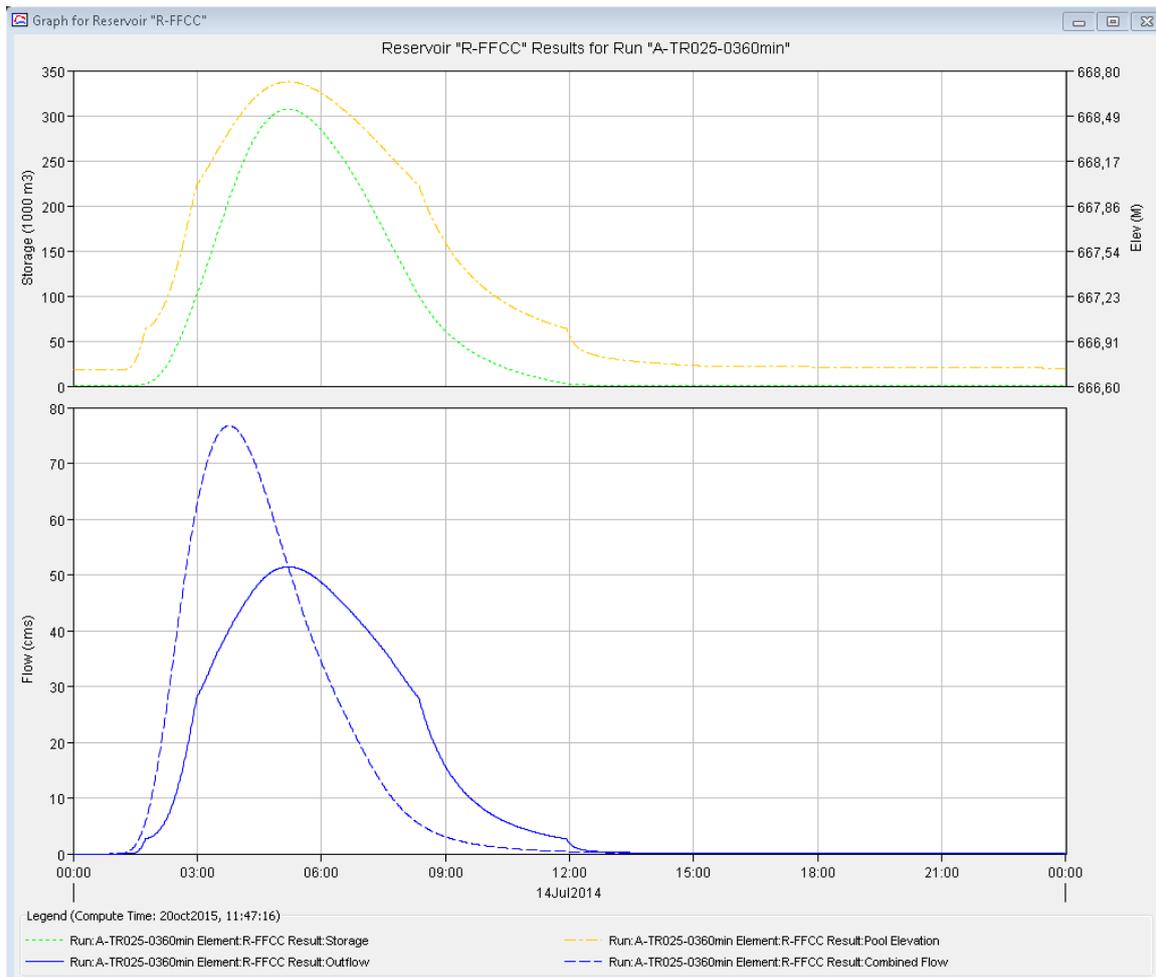
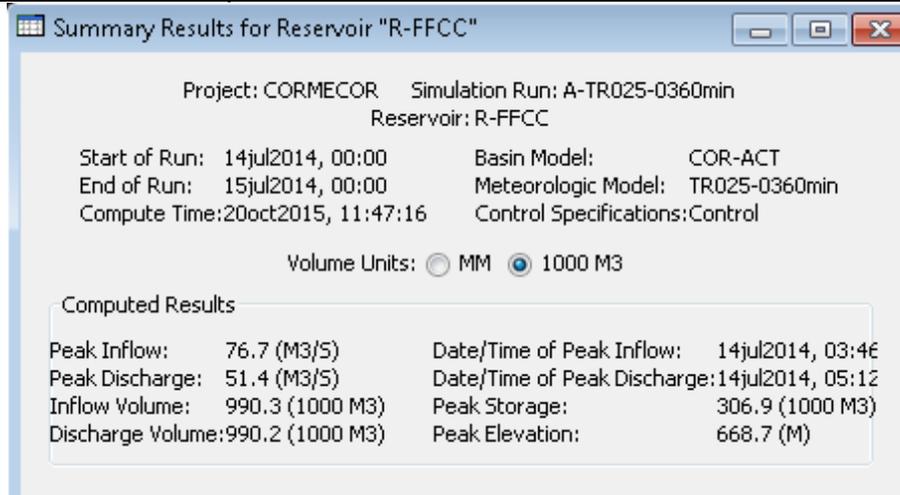




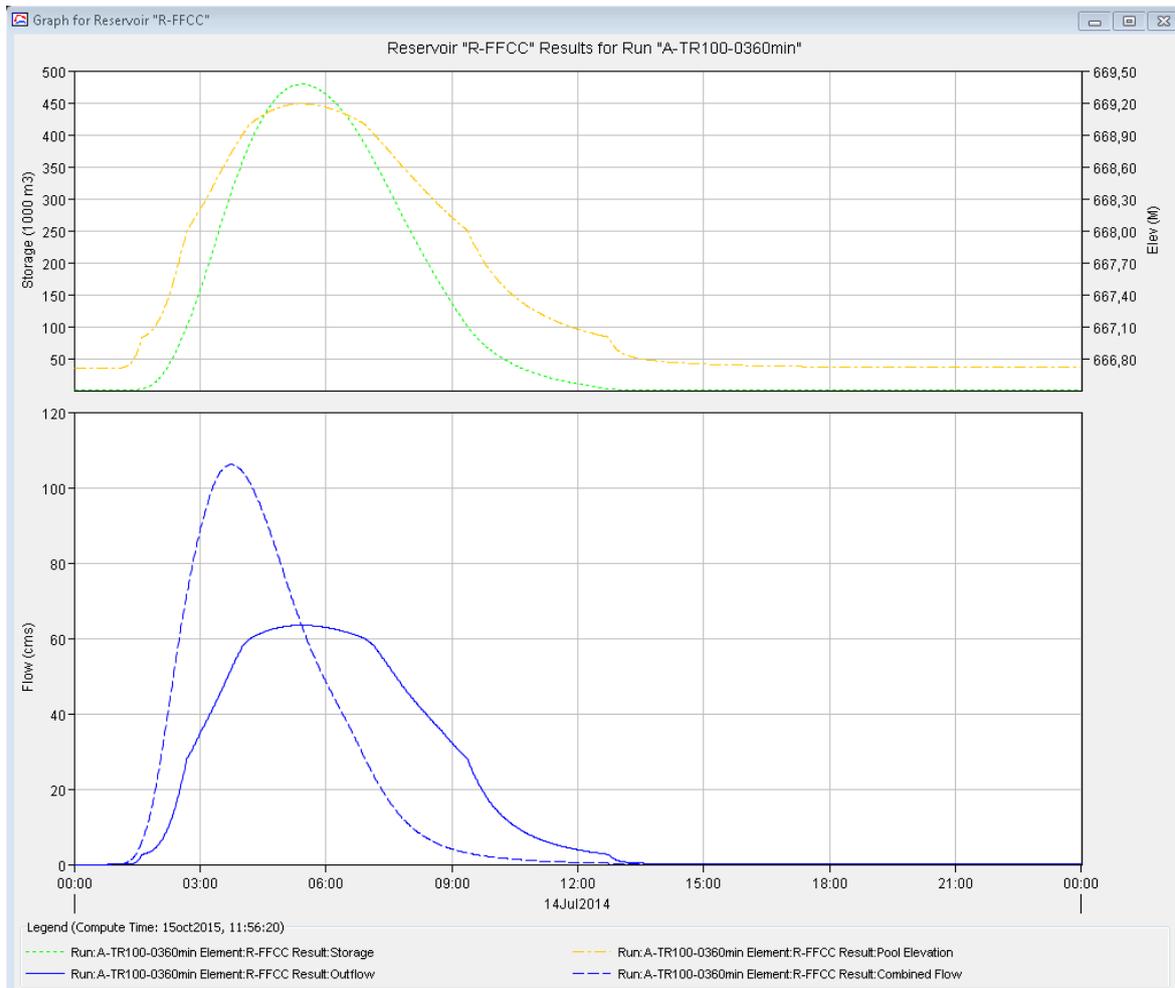
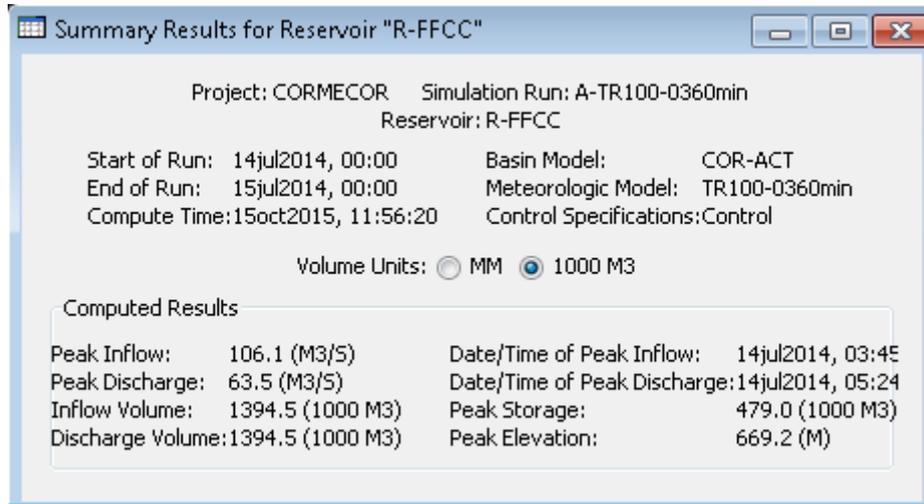
Anexo 3: Resultados de HEC-HMS- Puentes-Alcantarillas sobre FFCC.

A continuación se ingresarán las salidas del programa HEC-HMS, para el embalse que se genera entre el terraplén del ferrocarril y la cuenca aguas arriba. Con estos datos se determinó para cada situación la cota del nivel de agua y se los comparó con los datos tomados en el campo de la altura de coronamiento del ferrocarril.

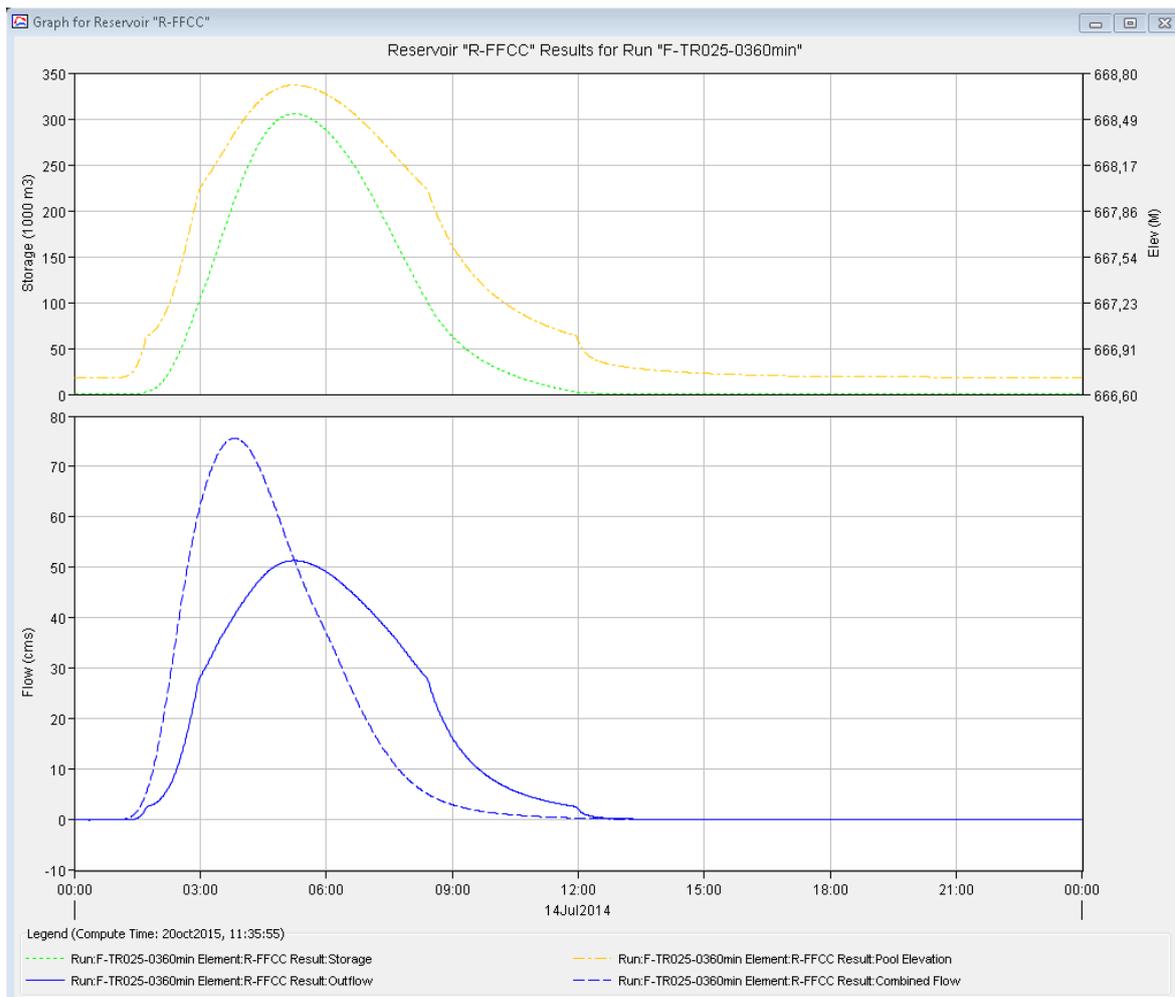
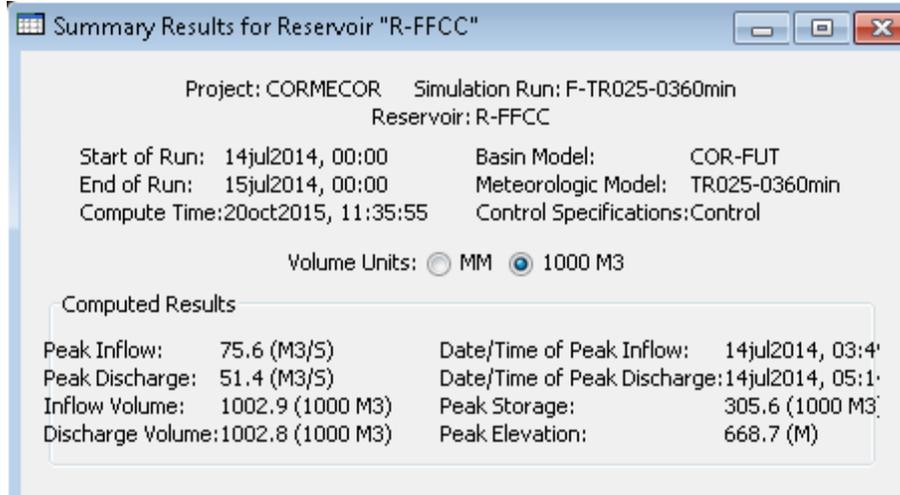
Situación Actual - Tiempo De Recurrencia 25 Años – Duración De Lluvia 60min



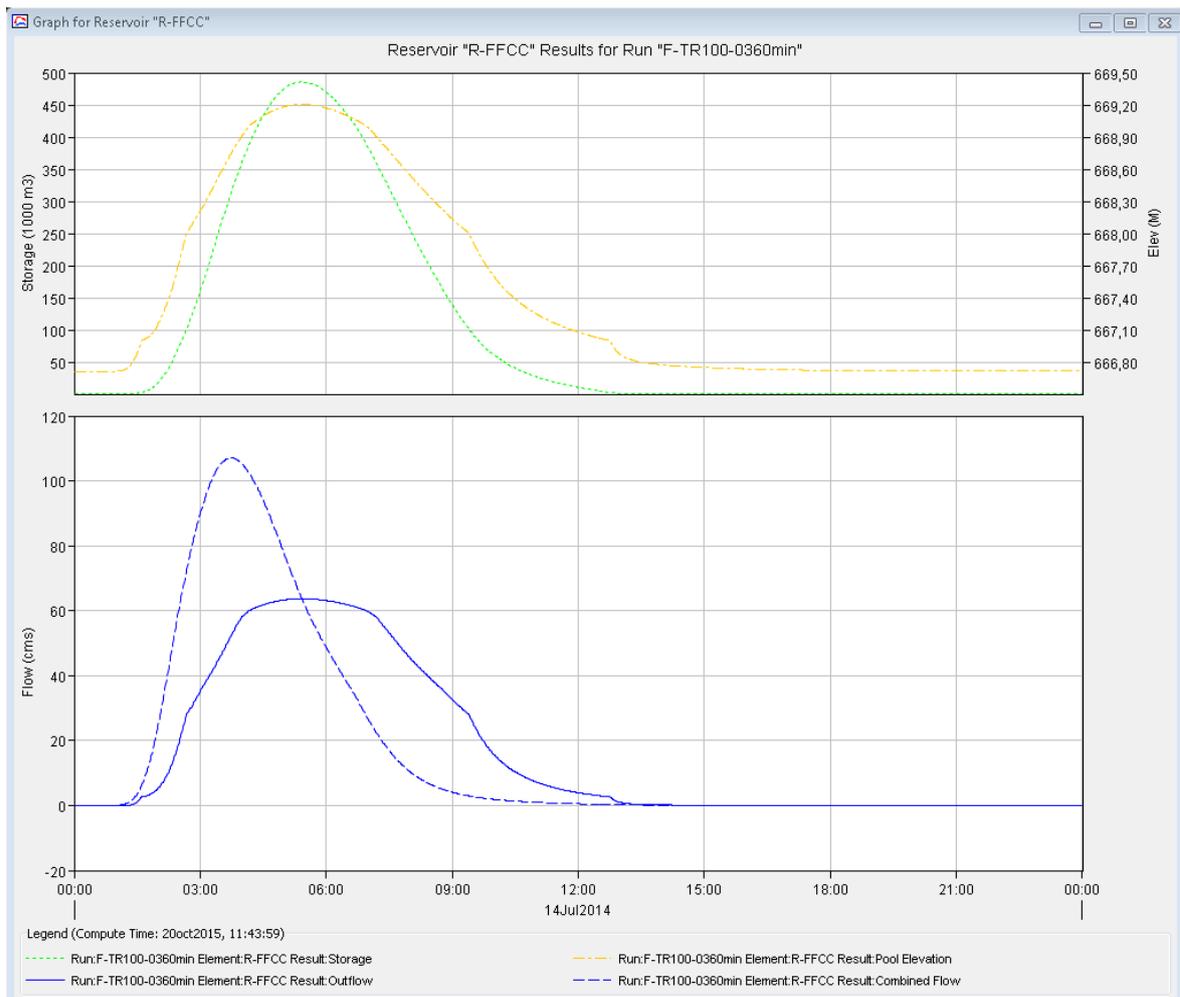
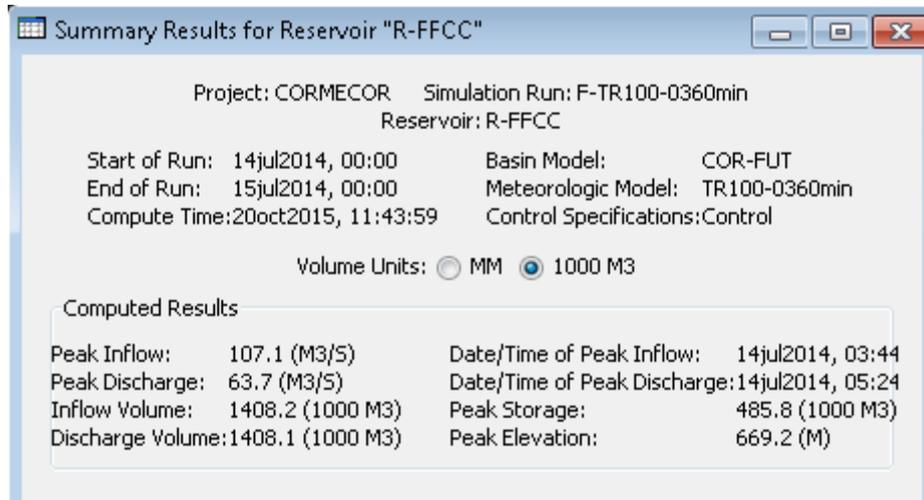
Situación Actual - Tiempo De Recurrencia 100 Años – Duración De Lluvia 360min



Situación Futura - Tiempo De Recurrencia 25 Años – Duración De Lluvia 360min



Situación Futura - Tiempo De Recurrencia 100 Años – Duración De Lluvia 360min

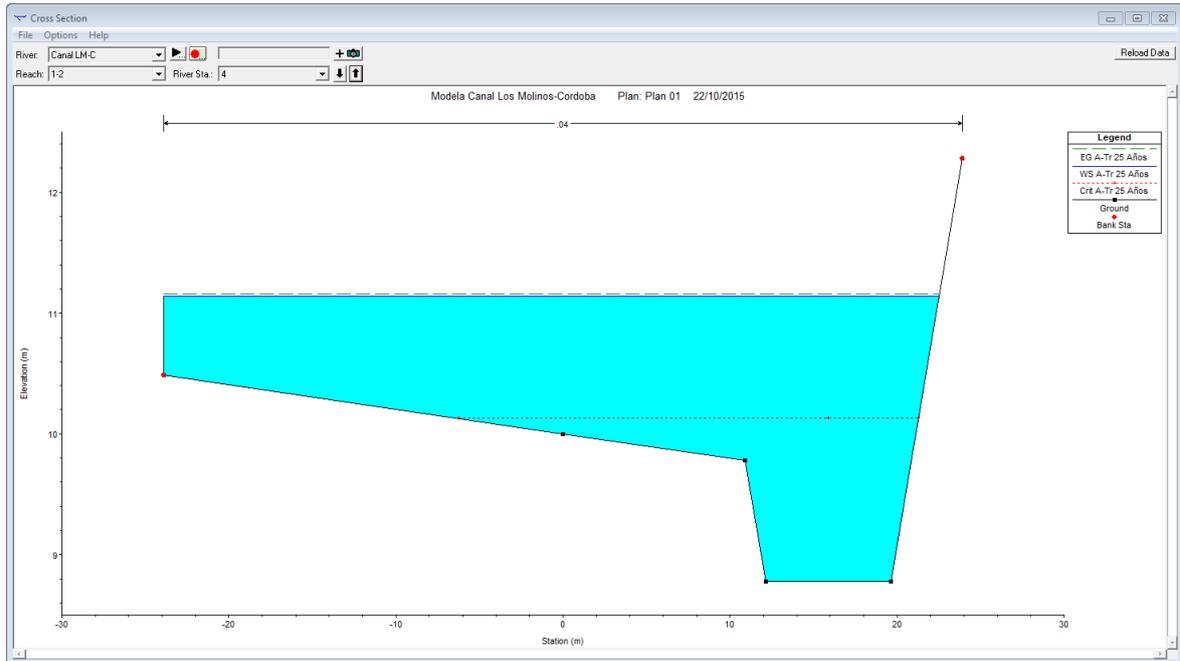


Anexo 4: Resultados de HEC-RAS- Canal Los Molinos-Córdoba

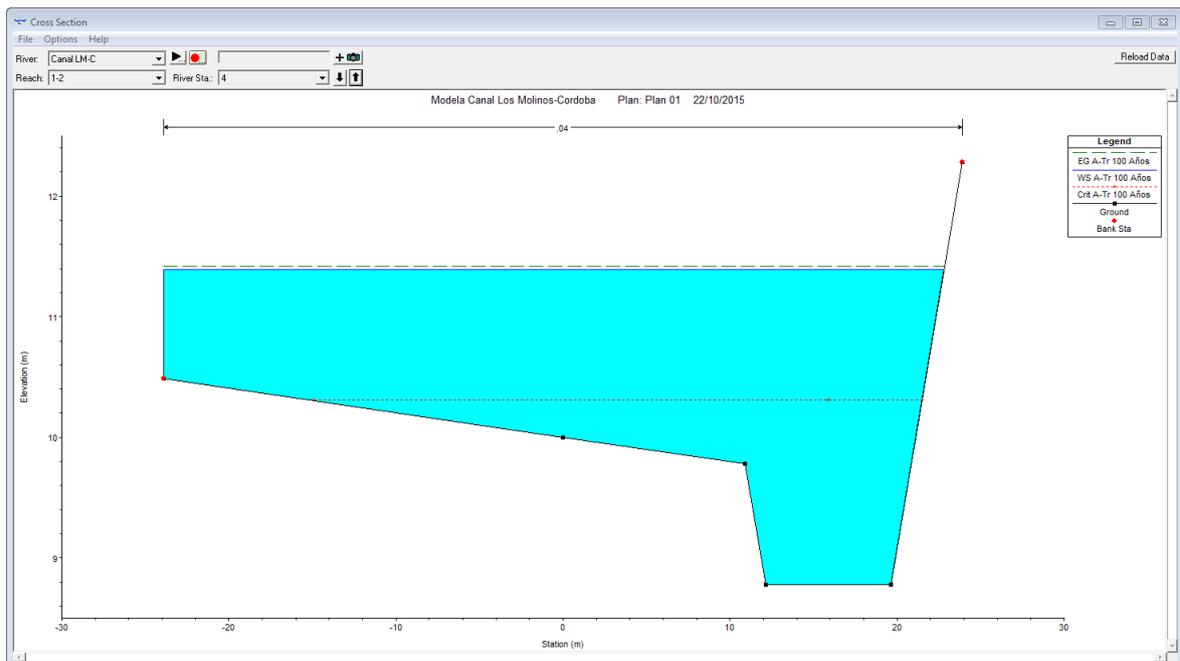
En este puntose presentan las secciones planteadas en el apartado 5.5.3, a las mismas se las modeló mediante el programa HEC-RAS, para lo cual fue necesario ingresar los datos de la geometría de cada una, con sus respectivas propiedades hidráulicas, y los valores de caudales que las atraviesan en cada una de las situaciones y tiempos de recurrencia.

Sección 1-1:

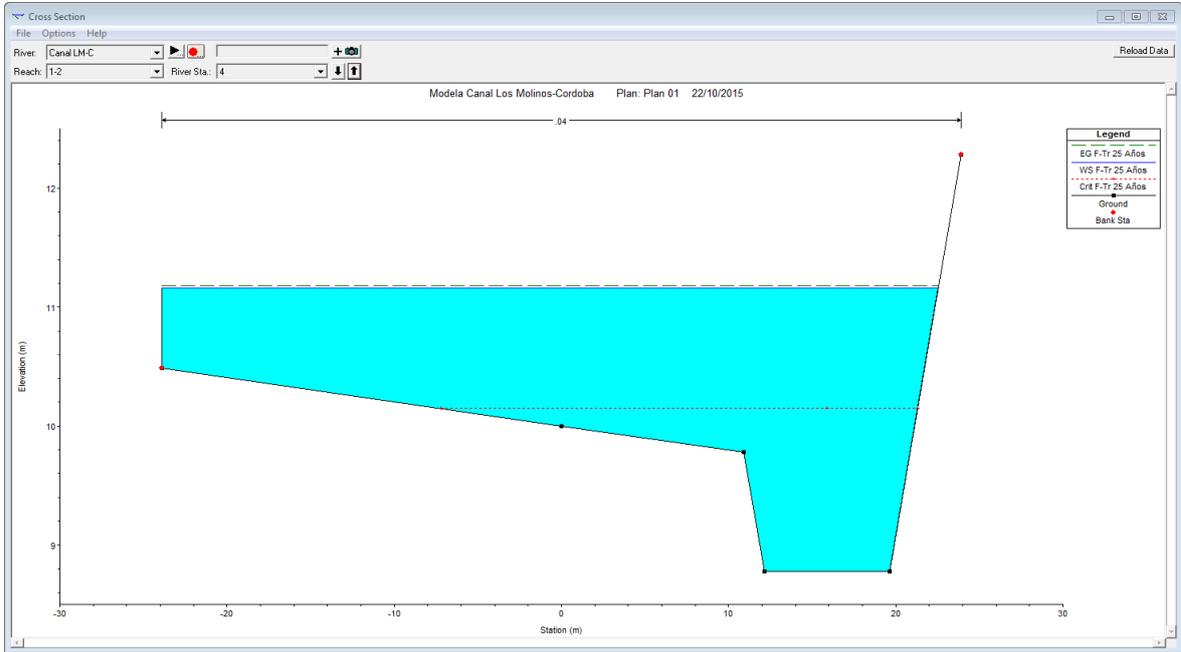
Situación Actual-Tiempo de Recurrencia 25 Años- Duración de Lluvia 360min.



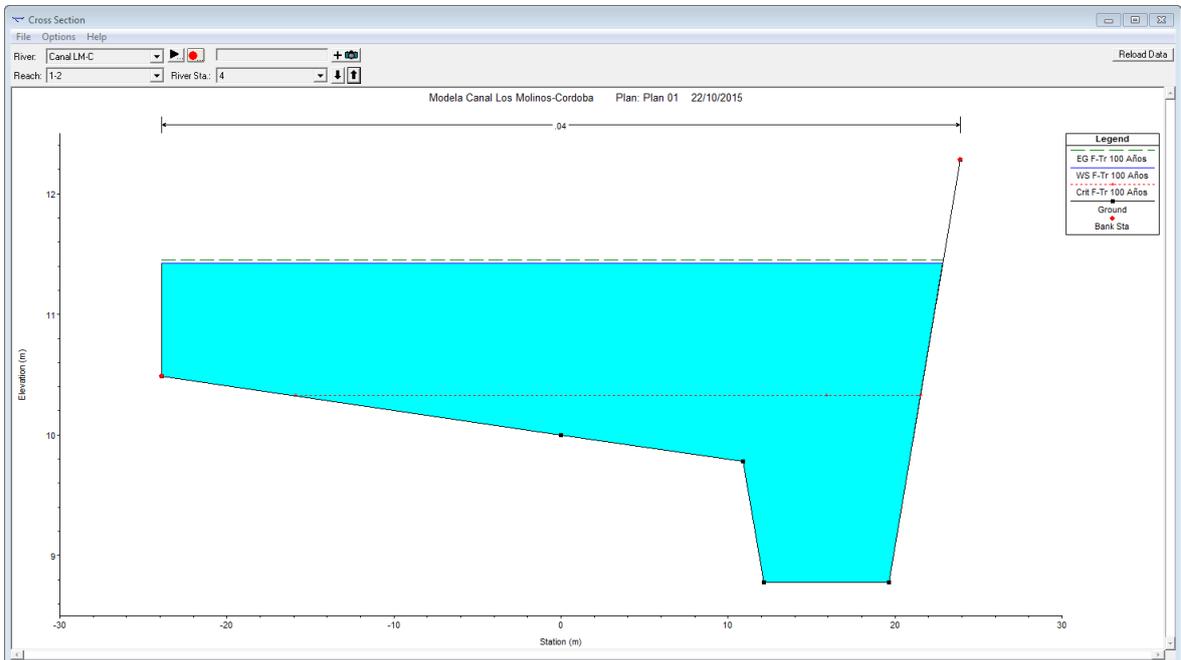
Situación Actual-Tiempo de Recurrencia 100 Años- Duración de Lluvia 360min.



Situación Futura-Tiempo de Recurrencia 25 Años- Duración de Lluvia 360min.

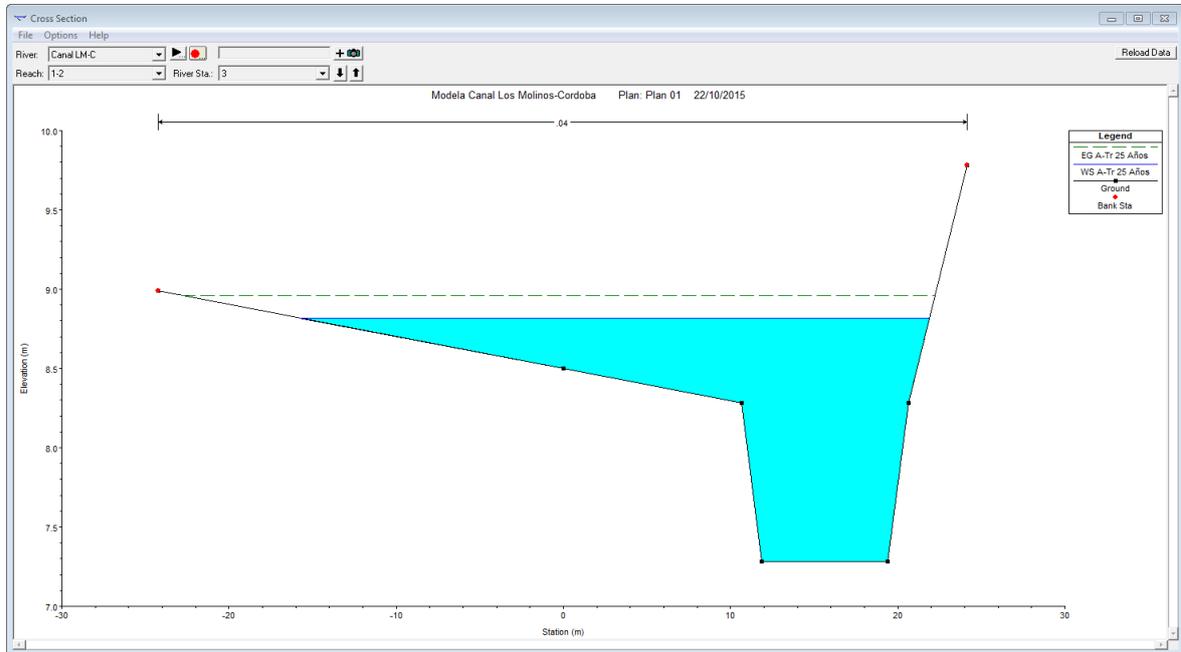


Situación Futura-Tiempo de Recurrencia 100 Años- Duración de Lluvia 360min.

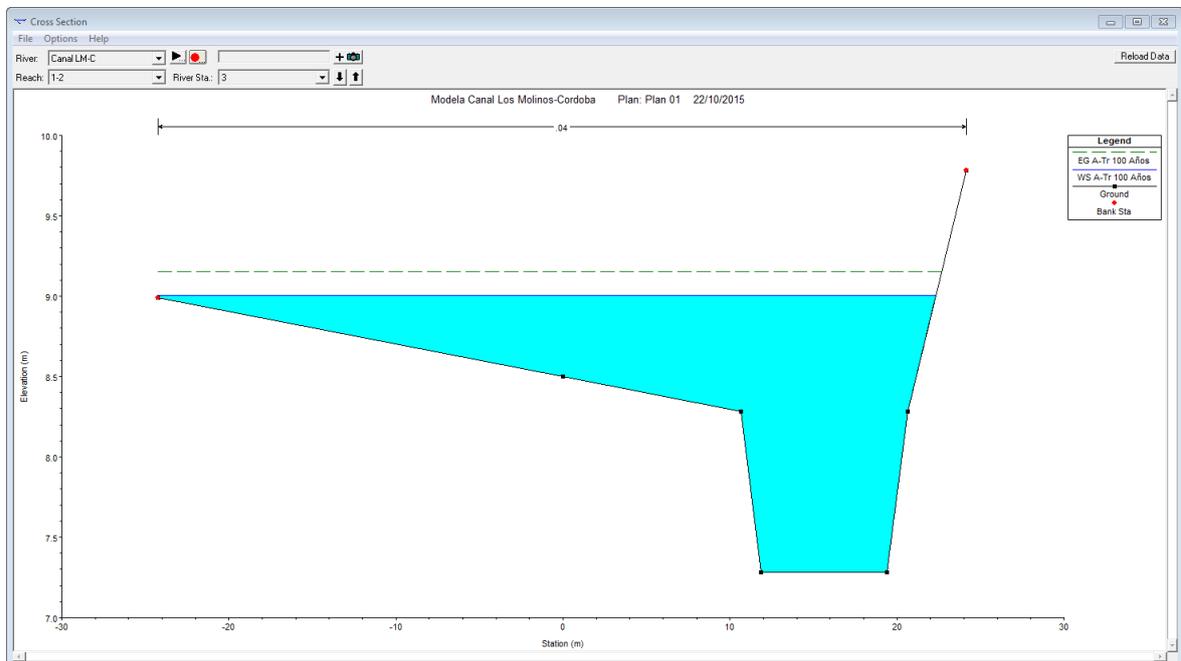


Sección 2-2:

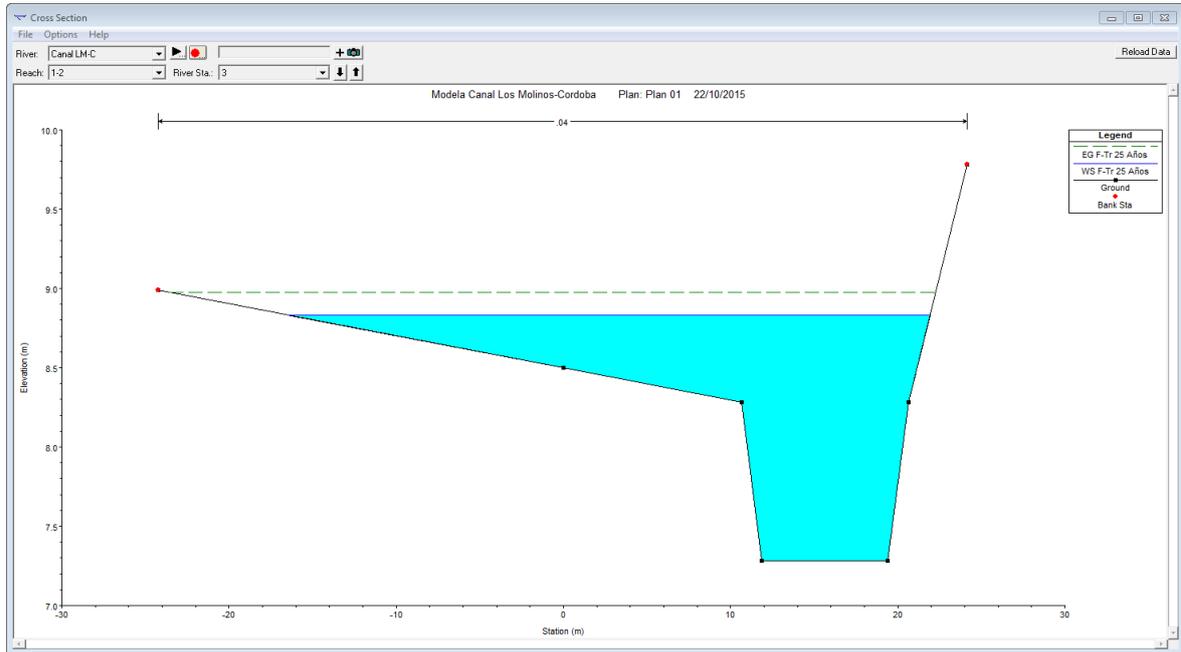
Situación Actual-Tiempo de Recurrencia 25 Años- Duración de Lluvia 360min.



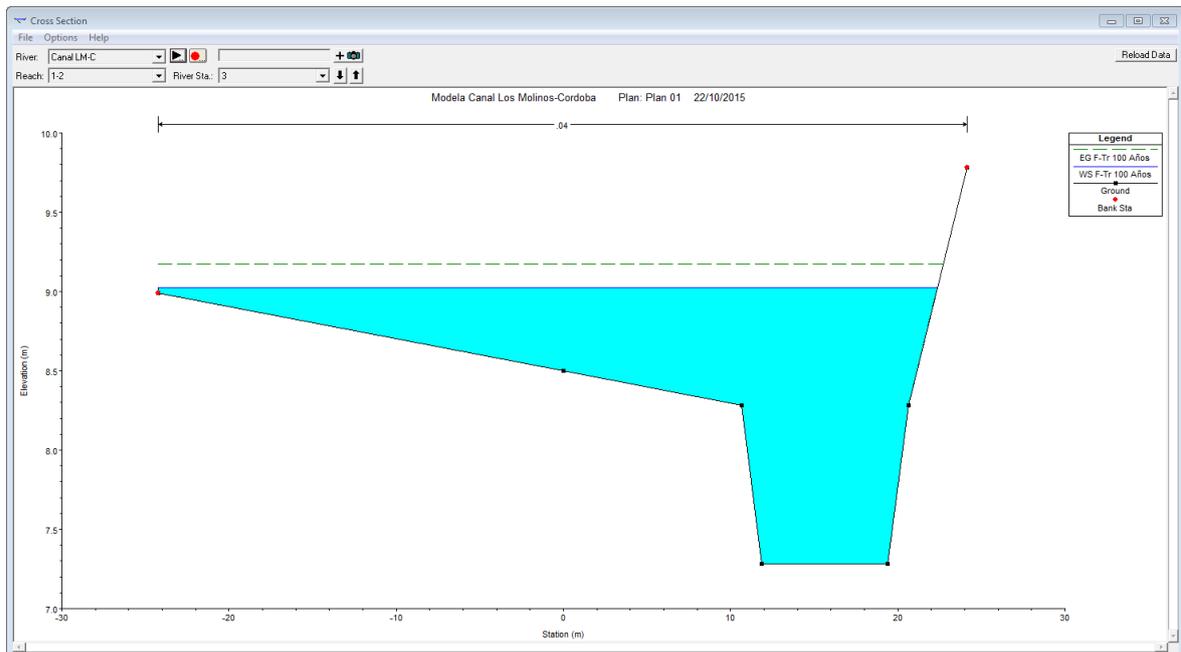
Situación Actual-Tiempo de Recurrencia 100 Años- Duración de Lluvia 360min.



Situación Futuro-Tiempo de Recurrencia 25 Años- Duración de Lluvia 360min.

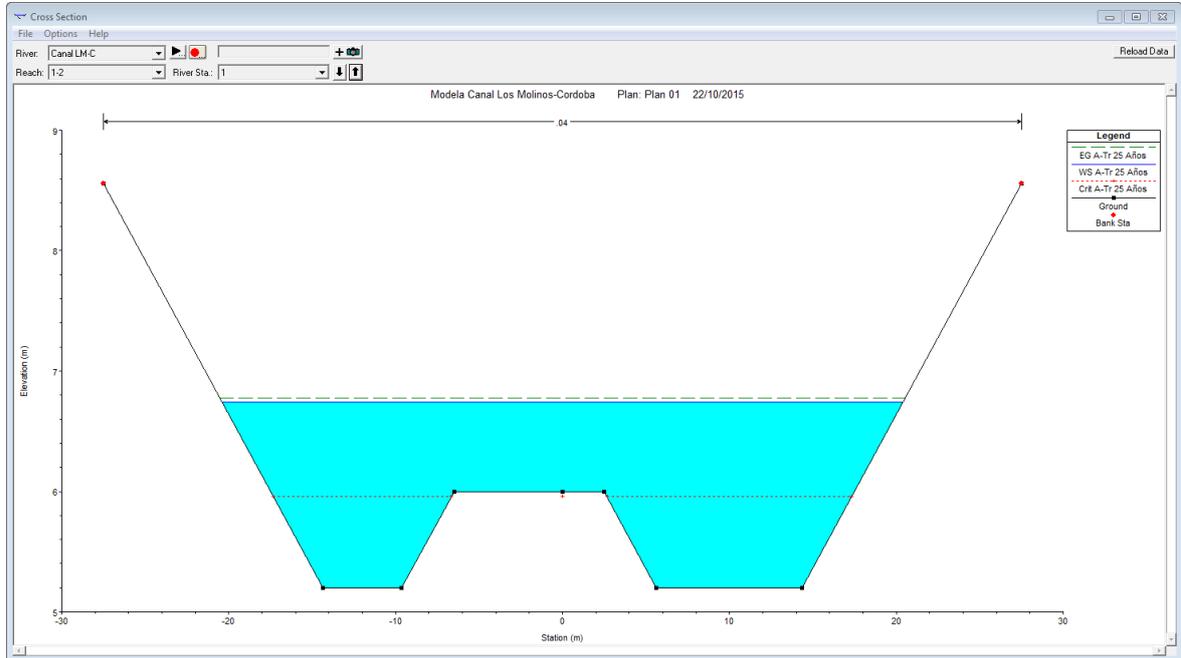


Situación Futuro-Tiempo de Recurrencia 100 Años- Duración de Lluvia 360min.

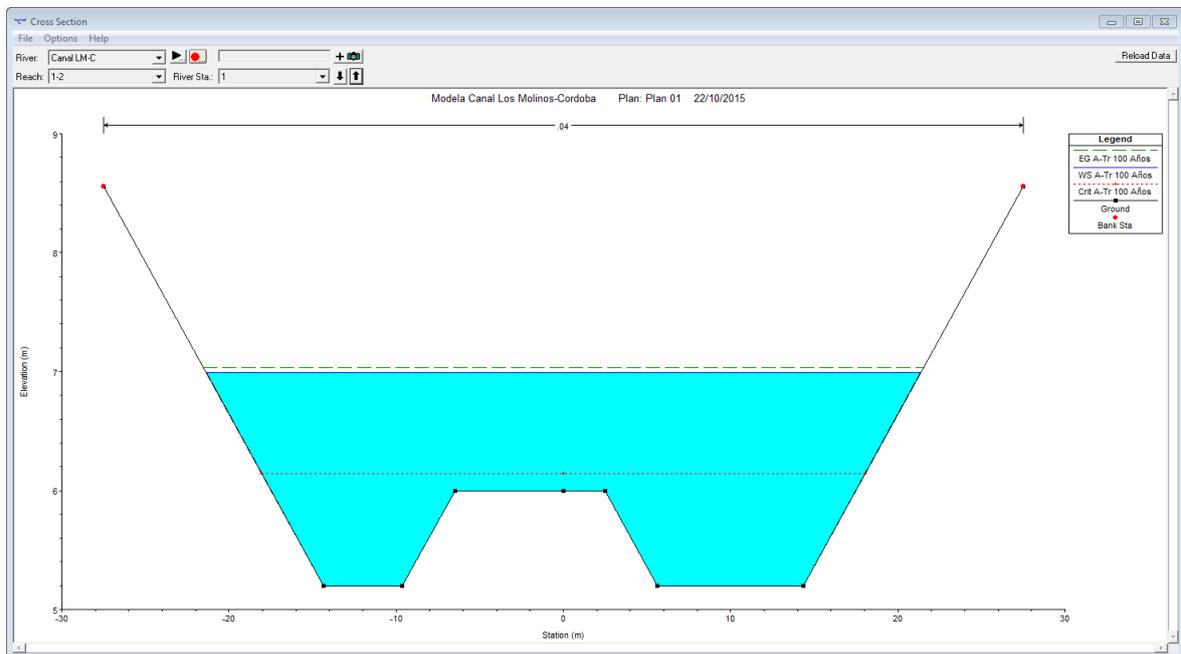


Sección Calle-Canal:

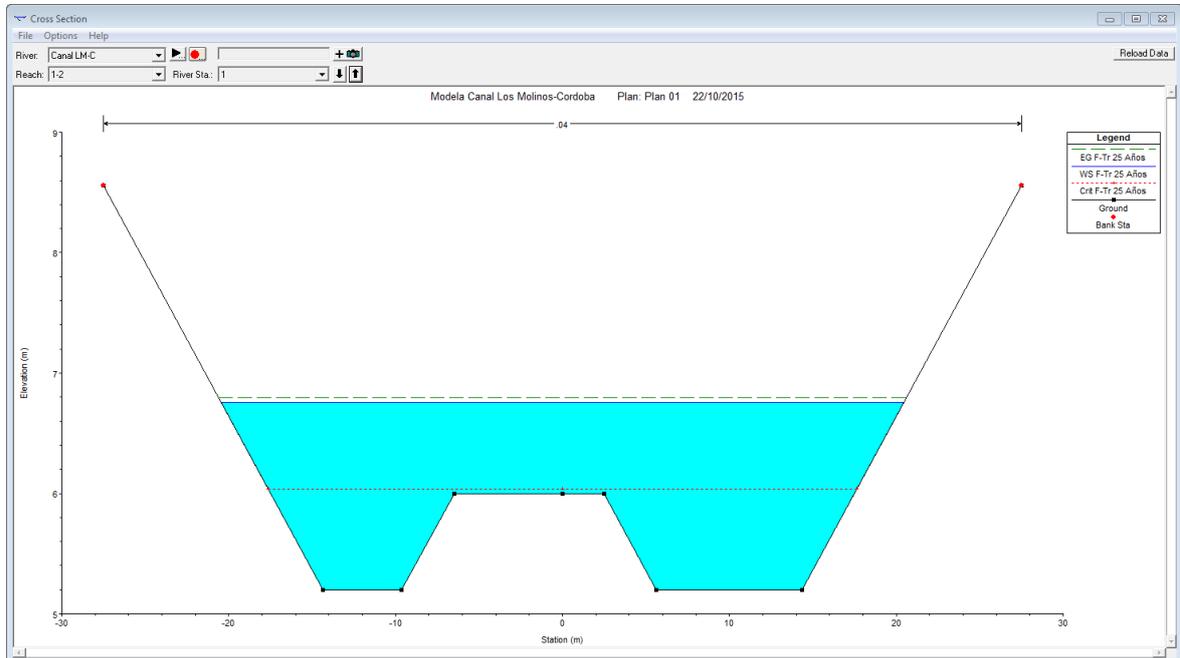
Situación Actual-Tiempo de Recurrencia 25 Años- Duración de Lluvia 360min.



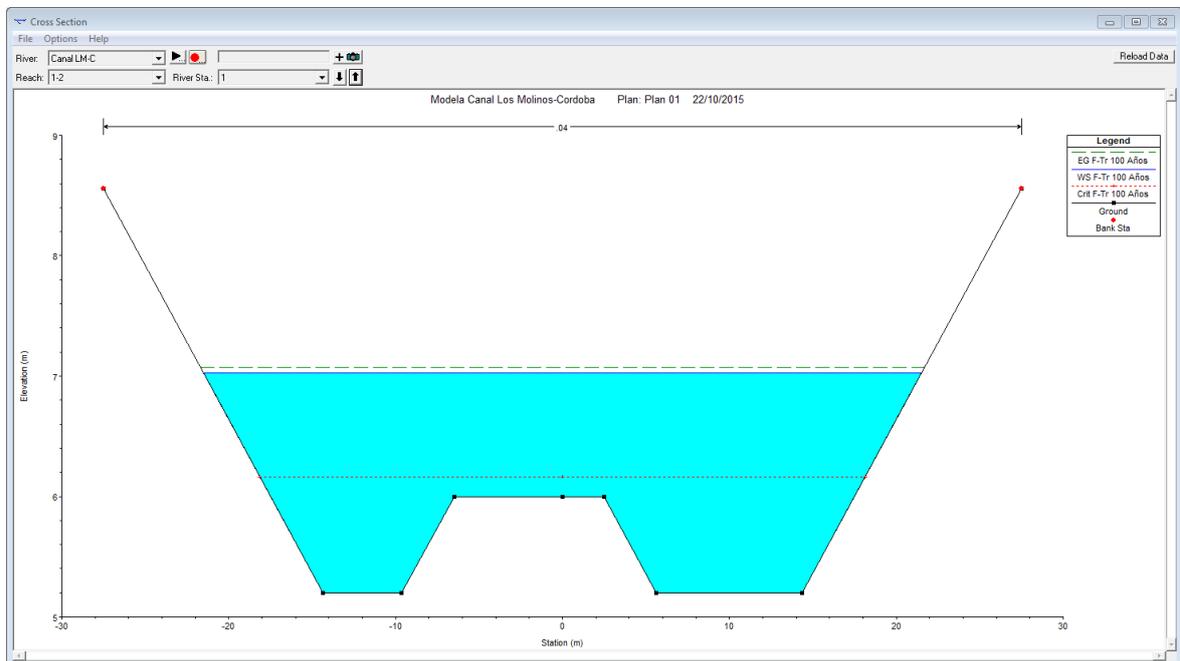
Situación Actual-Tiempo de Recurrencia 100 Años- Duración de Lluvia 360min

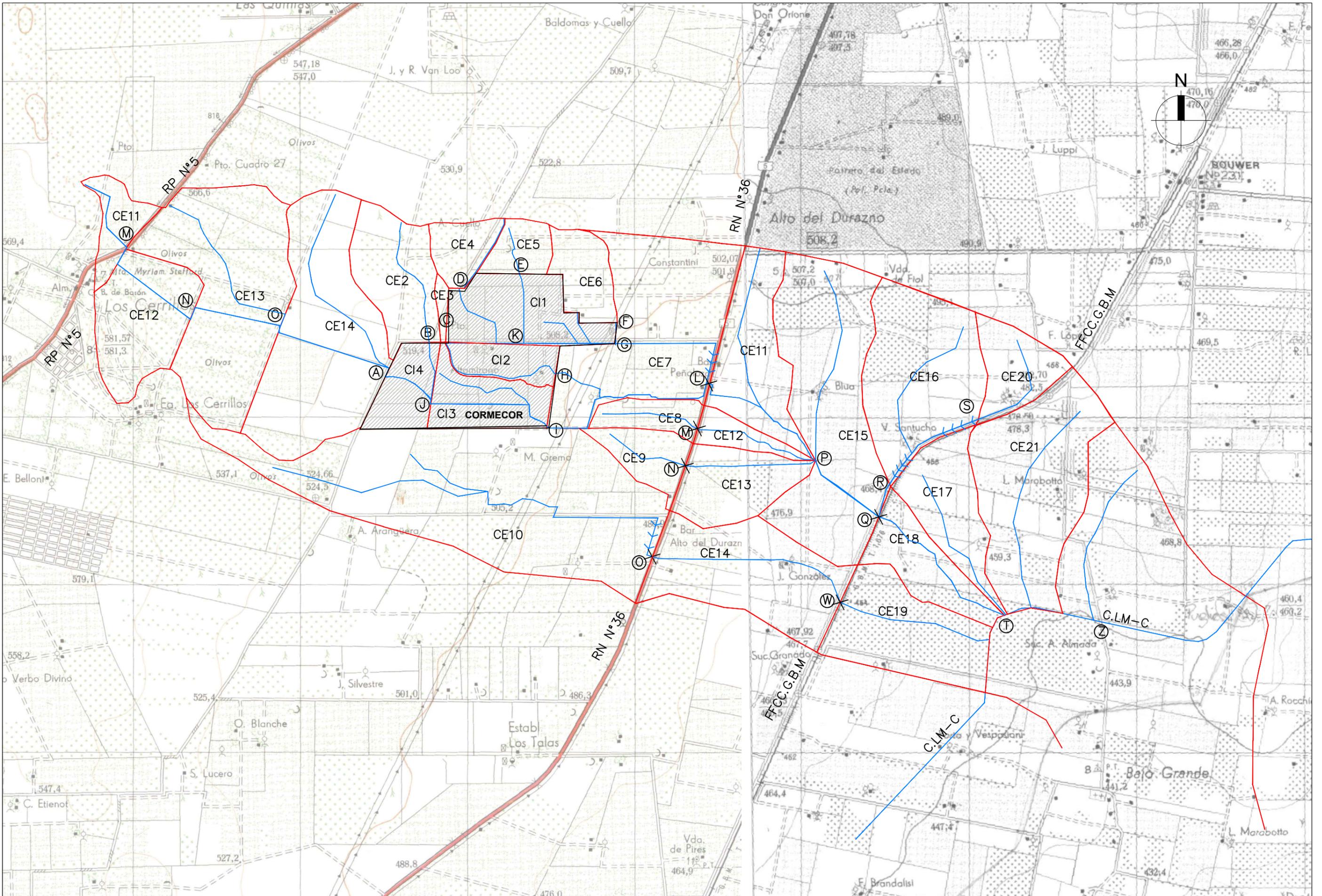


Situación Futuro-Tiempo de Recurrencia 25 Años- Duración de Lluvia 360min.



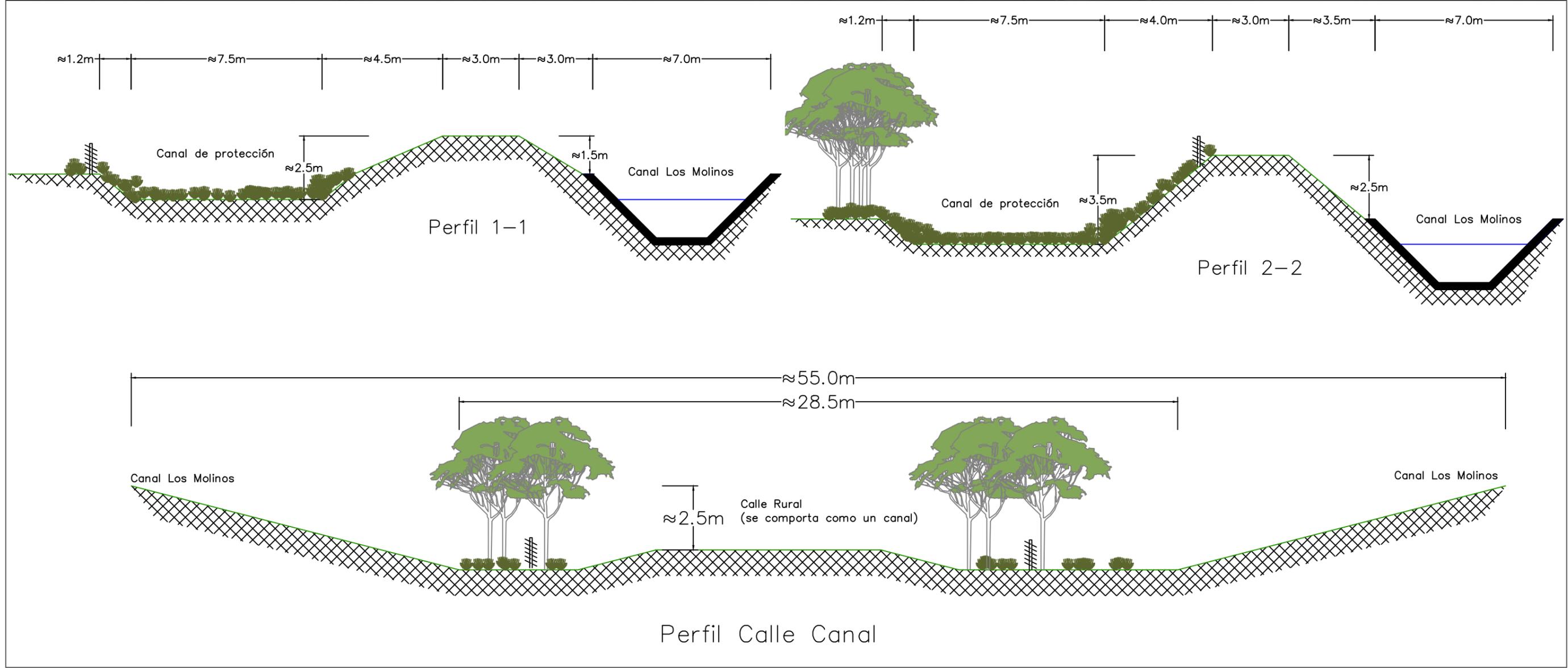
Situación Futuro-Tiempo de Recurrencia 100 Años- Duración de Lluvia 360min.



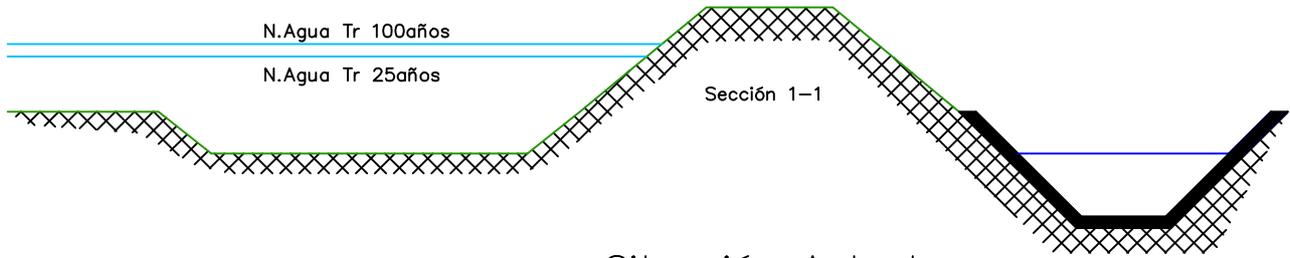


<p>Rampone Castelló, Gastón F.</p>	<p>CORMECOR</p>	<p>Escalas: Equidistancia: Norte: --- --- --- Proyección: Faja: Datum: --- --- ---</p>	<p>Obra: Centro de Tratamiento y Disposición Final Proyecto: Estudio Hidrológico</p>	<p>Sistema Cuencas de Aporte IGM</p>
------------------------------------	------------------------	---	---	---

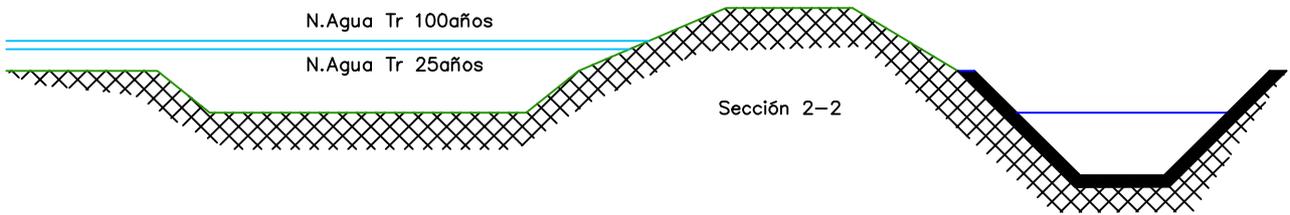




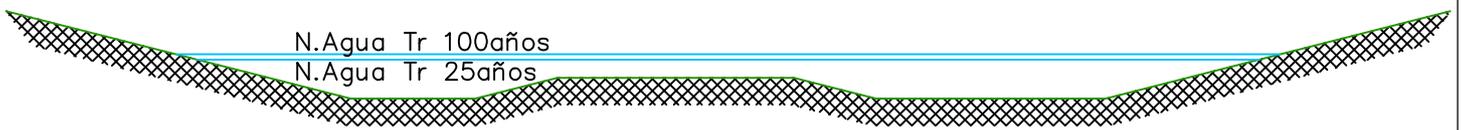
Rampone Castelló, Gastón F.	CORMECOR	Escalas: ---	Equidistancia: ---	Norte: ---	Obra: Centro de Tratamiento y Disposición Final	Perfiles Relevados Canal LM-C
		Proyección: --	Faja: ---	Datum: ---		



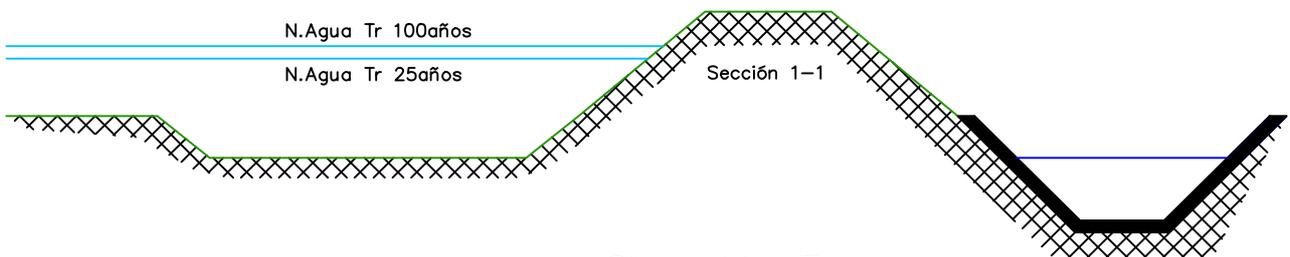
Situación Actual



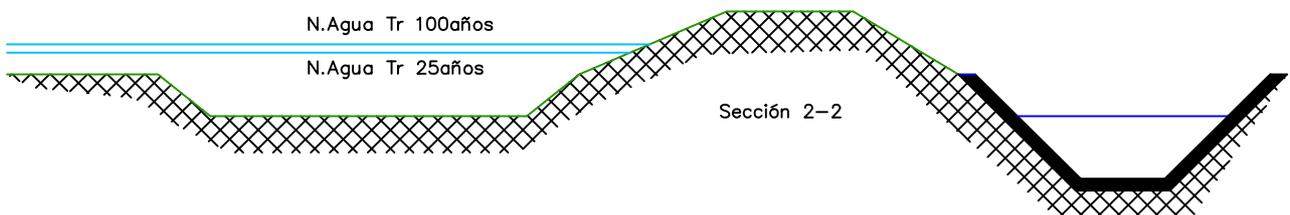
Situación Actual



Situación Actual



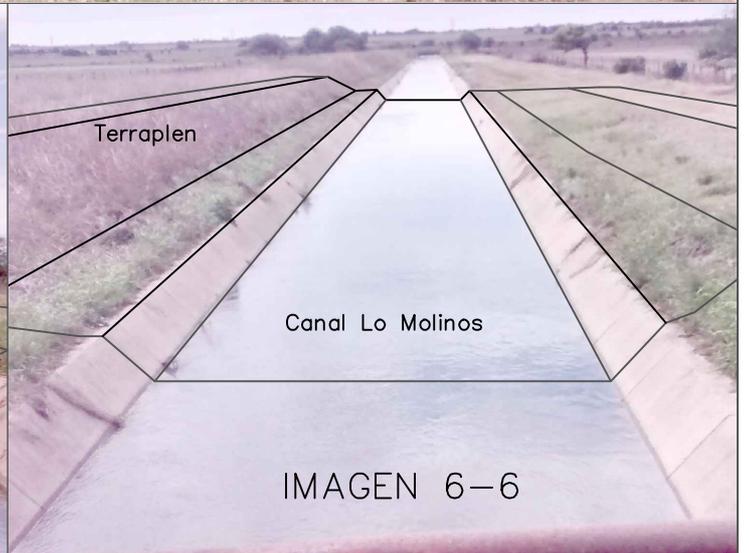
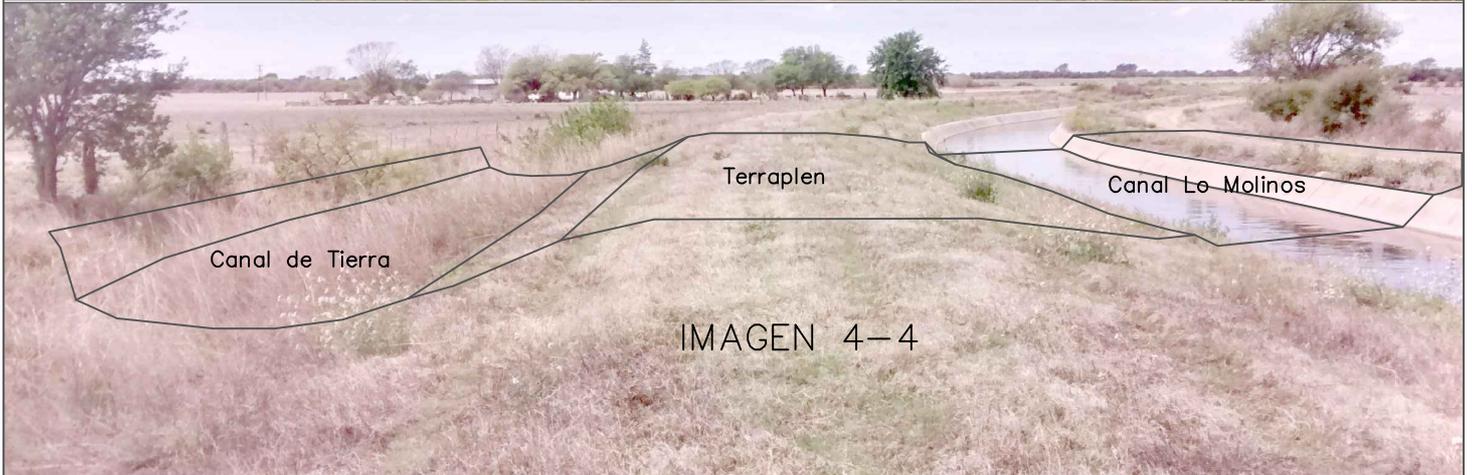
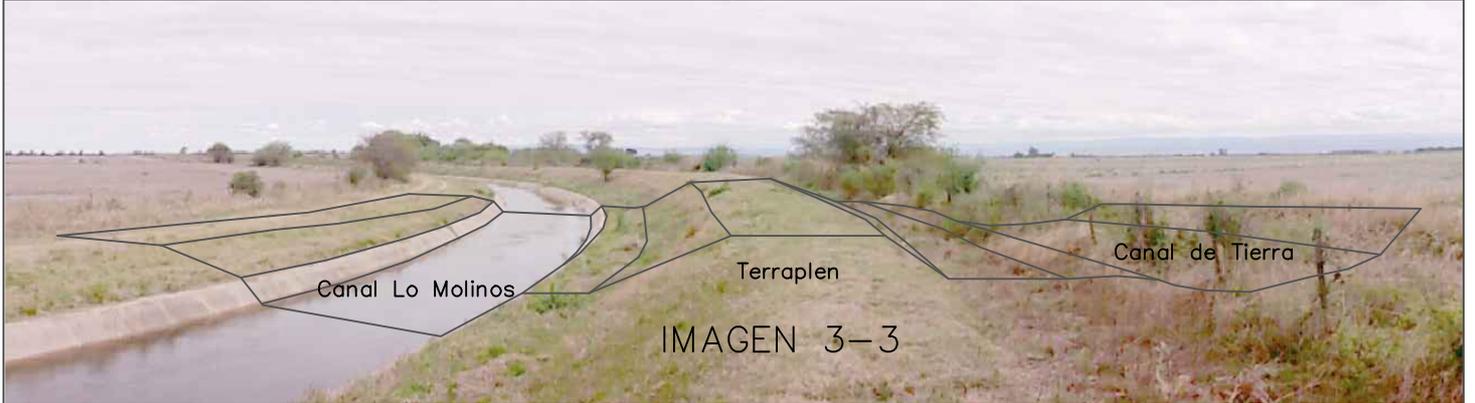
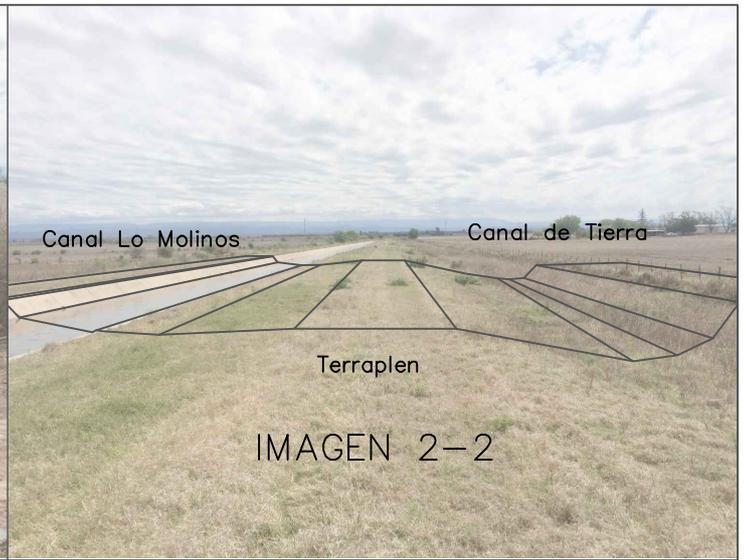
Situación Futura



Situación Futura



Situación Futura





Rampone Castelló, Gastón F.

CORMECOR

Escalas:	Equidistancia:	Norte:
---	---	---
Proyección:	Faja:	Datum:
—	---	---

Obra: Centro de Tratamiento y Disposición Final
 Proyecto: Estudio Hidrológico

Perfiles Relevados
 Canal LM-C