

ANEXO 12

PROYECTO HIDRÁULICO

**PROYECTO GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS
ZONA METROPOLITANA DE LA PROVINCIA DE MENDOZA**

2017

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVO Y ALCANCE.....	3
3. METODOLOGÍA UTILIZADA	4
4. CARACTERÍSTICAS DEL AREA DE PROYECTO.....	5
4.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	5
4.2 INFRAESTRUCTURA ACTUAL.....	7
4.3 RELEVAMIENTO FOTOGRÁFICO	7
4.4 ÁREA DE INFLUENCIA	9
4.5 ESTUDIOS BÁSICOS.....	9
5. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	10
5.1 ANTECEDENTES	10
6. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	16
6.1 TIEMPO DE RECURRENCIA	16
6.2 TORMENTA DE PROYECTO	17
6.3 MODELO DE TRANSFORMACIÓN LLUVIA CAUDAL.....	19
6.4 PRECIPITACIÓN EFECTIVA.....	19
6.5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	20
6.6 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	25
7. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS (SITUACIÓN SIN PROYECTO).....	28
7.1 CAUDALES DE EXCEDENTES PLUVIALES (Situación sin Proyecto)	28
7.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD FRENTE A UN AUMENTO DE LA IMPERMEABILIDAD.....	29
7.3 ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA	30
8. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS (SITUACIÓN CON PROYECTO)	31
8.1 METODOLOGÍA.....	31
8.2 CAUDALES DE DISEÑO	37

9. ESTUDIOS HIDRÁULICOS	39
9.1 ALTERNATIVA 1	40
9.2 ALTERNATIVA 2	41
9.3 ELECCIÓN DE ALTERNATIVA	42
9.4 ALCANTARILLAS	57
9.4.1 Alternativa 1	57
9.4.2 Alternativa 2	63
6.4.3 Elección de Alternativa para alcantarillas	69
6.4.4 Perfiles Longitudinales con rasante de proyecto	70
10. ANÁLISIS DE EROSIONES	75
10.1 CÁLCULO DE LA EROSIÓN GENERAL	79
11. DRENAJE DE CUBIERTAS	86
11.1 ALTERNATIVA 1	87
11.2 ALTERNATIVA 1	88
12. RESERVORIO DE DETENCIÓN TEMPORAL	89
12.1 ANÁLISIS DE FLUJO Y ESTABILIDAD DE TALUDES	89
13. ANÁLISIS DE LIXIVIADOS	93
13.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO	93
13.2 BALANCE HÍDRICO	100
14. BIBLIOGRAFÍA	101

ANEXO 12

PROYECTO HIDRÁULICO

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este estudio es presentar los resultados de los estudios hidrológicos e hidráulicos realizados en el Proyecto del “Centro Ambiental El Borbollón”, destinado a la gestión integral de los RSU de la Zona Metropolitana de Mendoza, ubicado en el distrito El Borbollón, Departamento de Las Heras, Provincia de Mendoza.

Para ello, se interpretó hidro-morfológicamente una cuenca urbano-rural, cuya área de aporte total es de 414,36 Ha, perteneciente a la cuenca de aporte del predio bajo estudio.

Se conformaron tormentas de diseño mediante curvas IDF (INA, 2008) y se estimaron los aportes de excedentes pluviales para recurrencias de 10 y 50 años de retorno, obteniendo caudales de diseño, que servirán para estimar mediante modelos hidráulicos los máximos niveles o tirantes hidráulicos en cada sección de drenaje a predimensionar. Se estimó el riesgo hidrológico para una recurrencia de 25 años.

Se propone un sistema tradicional de desagües pluviales, compuesto por *cuneta o canales en tierra (sin revestir)*, *colectores de H^ºA^º* y *alcantarillas y reservorios de detención temporal de crecidas*, para laminar las crecidas y llevarlas al punto de evacuación final, en Canal Moyano.

Se analiza la hidráulica subterránea de la zona, indicando direcciones de flujo y profundidad del nivel freático. Pautas que servirán para proyectar el sistema de control de la calidad del agua subterránea.

Finalmente se presentan los resultados, memorias técnicas y conclusiones y recomendaciones sobre el tema analizado, junto con los planos de cuencas y redes de drenaje natural.

2. OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo del presente informe es presentar los resultados de los estudios hidrológicos realizados para el Proyecto “Centro Ambiental El Borbollón”, a ubicarse en el Distrito El Borbollón, Departamento de Las Heras, Provincia de Mendoza:

Para ello se han desarrollado las siguientes actividades:

- 1) Identificación y delimitación de la cuenca de aporte pluvial al predio en estudio.

- 2) Identificación y relevamiento de los desagües perimetrales a la cuenca de aporte.
- 3) Determinación de la tormenta de proyecto para recurrencias de 10 y 50 años.
- 4) Estudio Hidrológico de la cuenca de aporte para determinar el caudal que produciría la tormenta de diseño.
- 5) Análisis de la hidrología subterránea de la zona, en función de la información disponible.
- 6) Formulación conceptual del proyecto de desagüe pluvial.
- 7) Trazado de canales y obras hidráulicas.
- 8) Cálculo y Dimensionamiento hidráulico de secciones transversales.
- 9) Análisis y selección de alternativas.
- 10) Perfiles longitudinales y planos tipo.
- 11) Estimación de erosiones.
- 12) Drenaje de cubiertas
- 13) Análisis de lixiviados

3. METODOLOGÍA UTILIZADA

En la metodología utilizada se analizaron los siguientes puntos:

- **Búsqueda de antecedentes:** Se recabó toda información antecedente de la zona, tanto de estudios cartográficos, pluviométricos, hidráulicos, hidrológicos, como geotectónicos que sirvan como información de base. Además, se efectuaron visitas de inspección a la zona de proyecto, las que consistieron en recorridos con reconocimiento de cauces, zonas de aporte y relevamiento topográfico.
- **Situación actual:** Se analizaron las condiciones de escurrimiento en la región de estudio, implicando la observación de las condiciones generales de escurrimiento en las distintas cuencas y subcuencas que afectan en forma directa o indirecta el área estudiada.
- **Sistemas de Información Geográfica (SIG):** Se confeccionó un SIG para la articulación y procesamiento de la información tal como infraestructura urbana, cartografía general, imágenes de satélite, suelos, mapas derivados.
- **Hidrología Urbano Rural**
 - a) **Tormenta de Diseño:** Se determinó la tormenta de proyecto para recurrencias de 10 y 50 años, para obtener las láminas e intensidades de precipitación a utilizar. Se utilizaron las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para Mendoza, para duraciones de 1 hora.
 - b) **Parámetros morfométricos:** Mediante SIG y CAD se delimitaron las subcuencas que intervienen, obteniendo los parámetros morfométricos de las mismas,

tales como longitudes de flujo, áreas de drenaje, pendientes, potencial de infiltración, cobertura vegetal, etc.

c) Modelo Hidrológico: La aplicación del modelo de simulación matemática de transformación lluvia – escurrimiento Arhymo (INA, 2002), permitió obtener caudales de diseño para las recurrencias adoptadas según el tipo de obra a definir.

- **Hidráulica:** El estudio hidráulico permitió verificar las soluciones predimensionadas, mediante modelos hidráulicos (Flowmaster) y ecuaciones empíricas.
- **Hidrología Subterránea:** Se analiza la información disponible y se indican recomendaciones a tener en cuenta en el control de calidad del recurso hídrico subterráneo.
- **Recomendaciones e informe final:** Se analizaron los resultados obtenidos y se presentan las recomendaciones pertinentes, que junto con los planos y memorias técnicas, conforman el presente trabajo.

4. CARACTERÍSTICAS DEL AREA DE PROYECTO

4.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El proyecto se encuentra ubicado en las inmediaciones de la Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales de Campo Espejo, entre la Ruta Nacional N°40 y el Canal Moyano. En la figura 1 se puede ver el catastro urbano de la zona, donde se ha destacado en color azul el emplazamiento del proyecto.



Figura 1: Catastro urbano de la zona de estudio



Figura 2: Predio de implantación sobre imagen satelital

4.2 INFRAESTRUCTURA ACTUAL

Luego de la visita a la zona de estudio, se observó la infraestructura existente, donde se indica la existencia de:

- Terreno inculto, con escasa vegetación xerófila.
- Acceso por camino de tierra desde RNNº40.
- Existencia de canteras para extracción de áridos.
- Colector Moyano al oeste y norte del predio.

El punto de descarga final del predio es el vértice NW del predio, hacia el colector Moyano, aunque actualmente drenan los escurrimientos superficiales en forma discontinua a lo largo de todo el perímetro oeste.

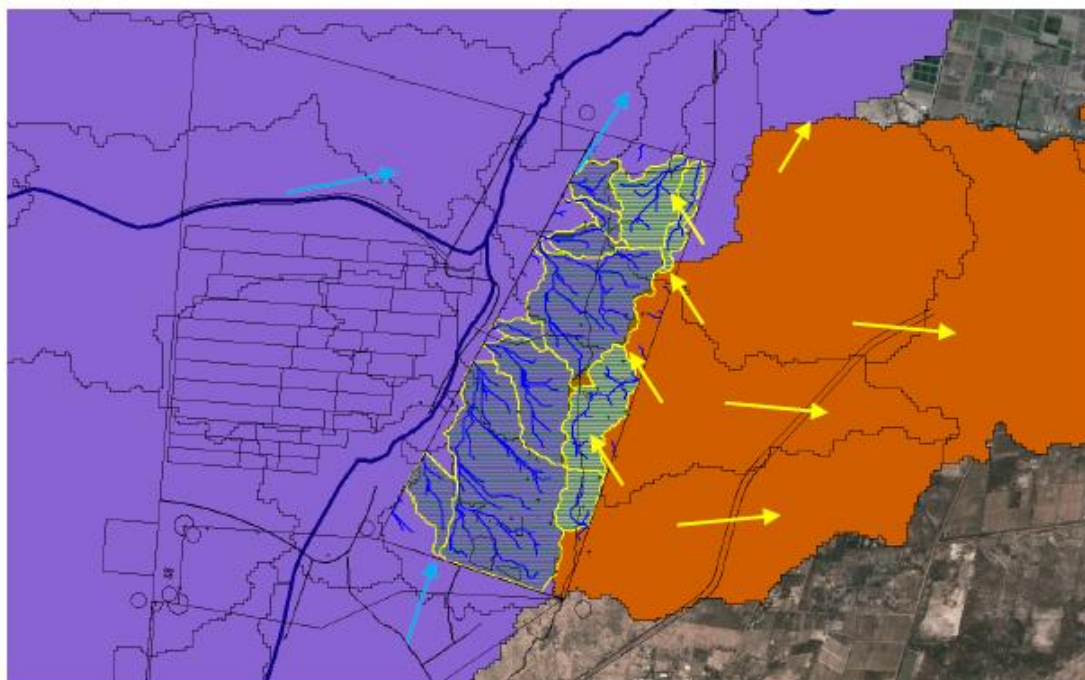


Figura 3: Líneas de flujo y puntos de descarga final

Se observa dentro del predio, en cercanías al camino de acceso existente, una divisoria de aguas. En la **Figura 3** se indican en color violeta las subcuencas de aporte al Canal Moyano, en color naranja las áreas que cruzan la ruta 40 con sentido W-E. Se indican con flechas los sentidos de escurrimiento. Resaltado dentro del predio se indican las subcuencas de aporte hacia el canal Moyano (con sentido de flujo E-NNW) y las que escurren hacia el norte. Además se indican parcialmente las áreas que drenan hacia el E.

4.3 RELEVAMIENTO FOTOGRÁFICO

Se llevó a cabo una inspección visual del terreno y zonas aledañas. Se presentan fotografías de los puntos destacados.

 Fotografía 1: Esq. NE	 Fotografía 2: Esq. SW
 Fotografía 3: Cantera	 Fotografía 4: Zona Norte
 Fotografía 5: Vértice NE	 Fotografía 6: Terraplén defensa y reservorio



**Fotografía 7: Alcantarilla D=1m
Aliviadero de zona de retención**



**Fotografía 8: Obra de toma
Canal Moyano**

4.4 ÁREA DE INFLUENCIA

La superficie total del proyecto propuesto que interviene en el cálculo hidrológico, constituye un área que hemos denominado *Cuenca Interna* y comprende una superficie de 414,36 Ha y corresponde a los límites de la mensura.

La cuenca interna se ha subdividido en 13 subcuencas (7 sectores), las más importantes son las que escurren hacia el colector Moyano con sentido NW (288 Ha), quedando parcialmente indicadas las que drenan hacia el E.

Por otro lado se analizó la cuenca externa, para la delimitación de potenciales aportes provenientes de zonas fuera del polígono de mensura. Para esto se utilizó información complementaria que se verificó con la topografía de detalle.

Todos los límites de subcuencas o divisorias de agua, se determinaron en función de los gradientes topográficos según la topografía de detalle entregada y de modelos digitales de elevación para completar la zona externa.

4.5 ESTUDIOS BÁSICOS

Se trabajó con planimetría de la Dirección de Catastro (DPC, 2007) y cartografía de la Municipalidad de Las Heras.

Se cuenta además con dos estudios topográficos locales que consistieron en la determinación de cotas de nivel relativas en el primer estudio y absolutas en el segundo, en distintos puntos de la propiedad. El levantamiento topográfico permitió la obtención de curvas de nivel, y la posibilidad del trazado de distintos perfiles longitudinales. El primer estudio topográfico con cotas relativas y con todo el polígono

de la mensura relevado, se llevó al mismo sistema de referencia del segundo estudio topográfico con más detalle en la zona del Módulo 1. Para el presente estudio se utilizaron ambos estudios compilados en una sola capa de información.

La información planialtimétrica obtenida se muestra en el Plano Nº1 donde se han indicado además la red de flujo, la división de subcuencas y las cotas de base.

Además se trabajó en un Sistema de Información Geográfica donde se volcaron distintas capas de información como: catastro urbano y rural, canales de riego y drenaje, ferrocarril, calles, industrias, equipamiento urbano y un mosaico georeferenciado de una imagen satelital.

5. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

5.1 ANTECEDENTES

Para tratar este tema, se ha realizado una recopilación a partir de la información extraída de los trabajos realizados por los autores que se indican en la bibliografía.

La cuenca de agua subterránea Norte, se encuentra ubicada, como su nombre lo indica, al norte de la Provincia de Mendoza y recostada sobre la ladera este de la Cordillera de Los Andes. Superficialmente abarca unos 22.800 km². Sus principales acuíferos se encuentran en una cubierta sedimentaria de edad neoterciaria, cuartaria y reciente. El sustrato está formado por sedimentos impermeables del terciario superior, sobre los que se acumulan depósitos aluvionales y fluviales que fueron aportados por los ríos Mendoza y Tunuyán, éste en su tramo inferior. La sedimentación cuartaria dio origen a conos aluviales, en cuyos ápices se encuentran los ingresos de esos ríos a la cuenca, que se abren con forma de abanico hacia sus zonas distales a partir de las cuales se inicia una extensa llanura de inundación.

La variación del gradiente topográfico, decreciente de oeste a este, ha regulado la distribución y depositación clasificando el material transportado. Así, se encuentran sedimentos de grano grueso en todo el desarrollo vertical de los conos, conformando acuíferos que se comportan como libres. Esta zona constituye el área de principal recarga de la cuenca. La culminación de los conos coincide con un quiebre topográfico del terreno y disminución del gradiente, dando origen a la disminución granométrica de los sedimentos. A partir de ese quiebre de pendiente, los depósitos de sedimentos más finos dan origen a la existencia de formaciones menos permeables y a la aparición de un área de surgencia, cuyo eje mayor, de dirección noroeste-sudeste, es transversal a la dirección del flujo del agua subterránea. Ésta es el área de descarga natural más importante de la cuenca. Hacia el este, se continúa la planicie con disminución del tamaño de los sedimentos, manteniéndose un cierto predominio de arenas finas sobre los intervalos limo-arcillosos. Estas últimas le confieren a los acuíferos características de semiconfinamiento y en algunos casos de confinamiento lenticulares locales.

Los ríos mencionados tienen sus cuencas imbríferas de la Cordillera de Los Andes y los sedimentos que transportan y que han transportado y rellenado la cuenca, tienen el mismo origen. Sus aguas son producto del derretimiento de las nieves precipitadas en la montaña y sus regímenes son de tipo nival; caudales crecientes desde primavera al verano y decrecientes hacia el invierno.

En general, las cuencas hidrogeológicas de la provincia de Mendoza responden a un esquema que puede sintetizarse de la siguiente forma:

- *Base impermeable o semipermeable de los acuíferos:* constituida por sedimentos continentales del Terciario Superior, que por su litología, compactación y consolidación han perdido o reducido su permeabilidad primaria.
- *Formaciones acuíferas:* constituidas por sedimentos de origen fluvial que durante el proceso de transporte y depositación se han ido clasificando por tamaño, de mayor a menor, desde las zonas apicales de las cuencas a las zonas distales. Así se encuentran preferentemente materiales gruesos, con cantos rodados, gravas, gravillas y arenas gruesas en los conos de deyección, y predominancia de materiales más finos, como arenas finas, limos y arcillas, a medida que se produce un alejamiento en la llanura. Como consecuencia de ello, las permeabilidades también varían, disminuyendo coincidentemente con la disminución del diámetro de los sedimentos. En todas las cuencas mencionadas, también productos del proceso de clasificación en la depositación se encuentran formaciones acuíferas libres, semiconfinadas y confinadas.
- *Circulación de agua subterránea:* se desarrolla a partir de las zonas de mayor recarga (acuíferos libres) coincidentes en su mayor parte con los conos de deyección originados por los cursos de agua superficial, acompañando la pendiente topográfica del terreno natural hacia las zonas más bajas y de descarga.

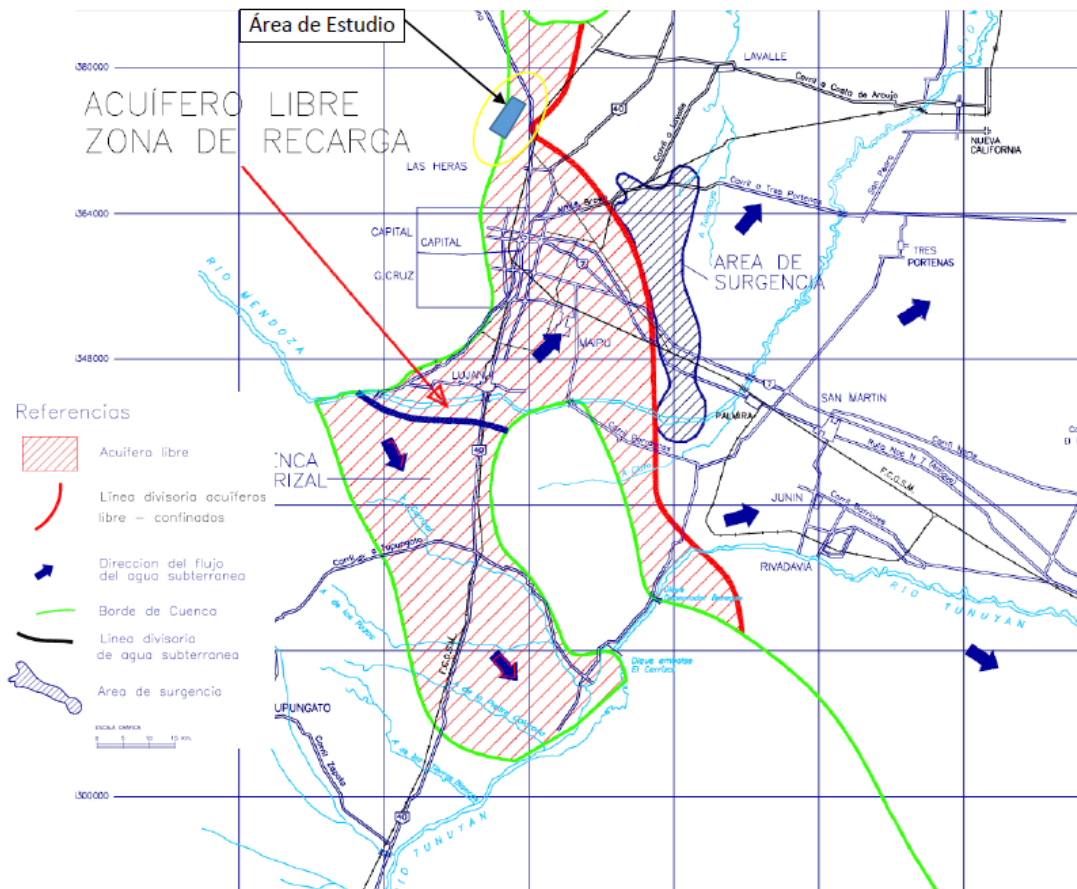


Figura 4: Esquema hidrogeológico Mendoza Norte

Como se observa en la **Figura 4**, el área de estudio se ubica en el límite entre el acuífero libre y el confinado. La profundidad del nivel freático, según antecedentes, varía entre 10 y 20 metros, tal como se aprecia en el detalle siguiente.

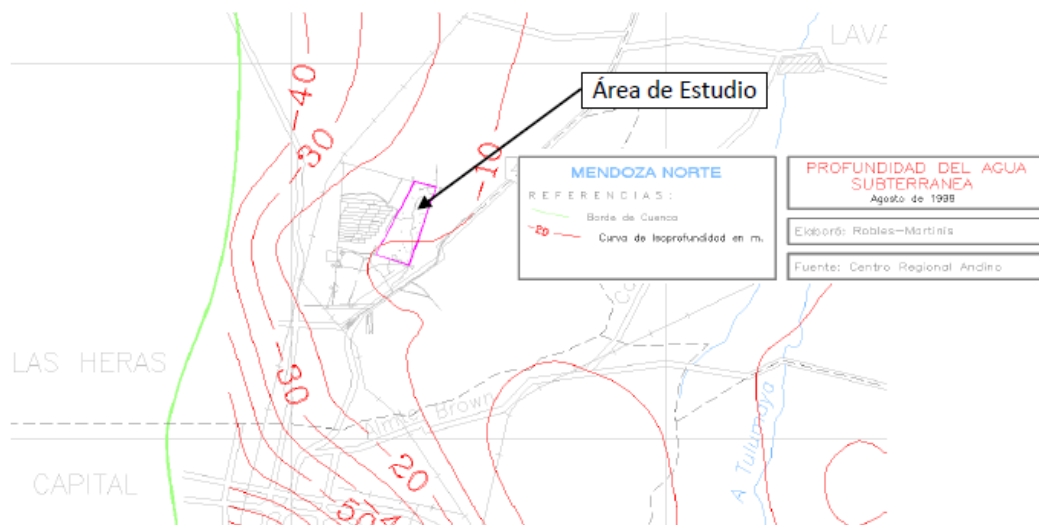


Figura 5: Profundidad del agua subterránea (nivel freático)

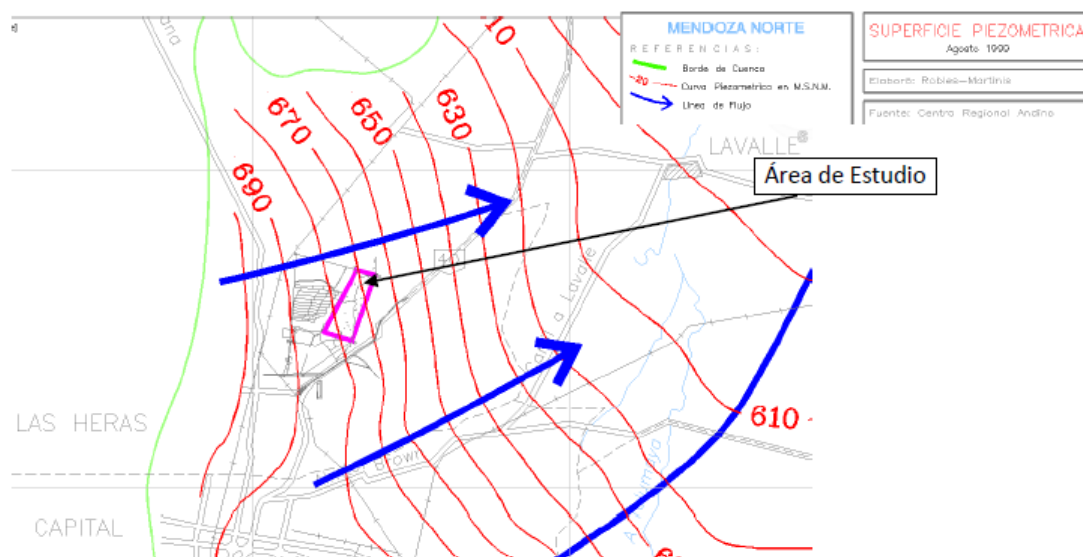


Figura 6: Detalle de la superficie piezométrica

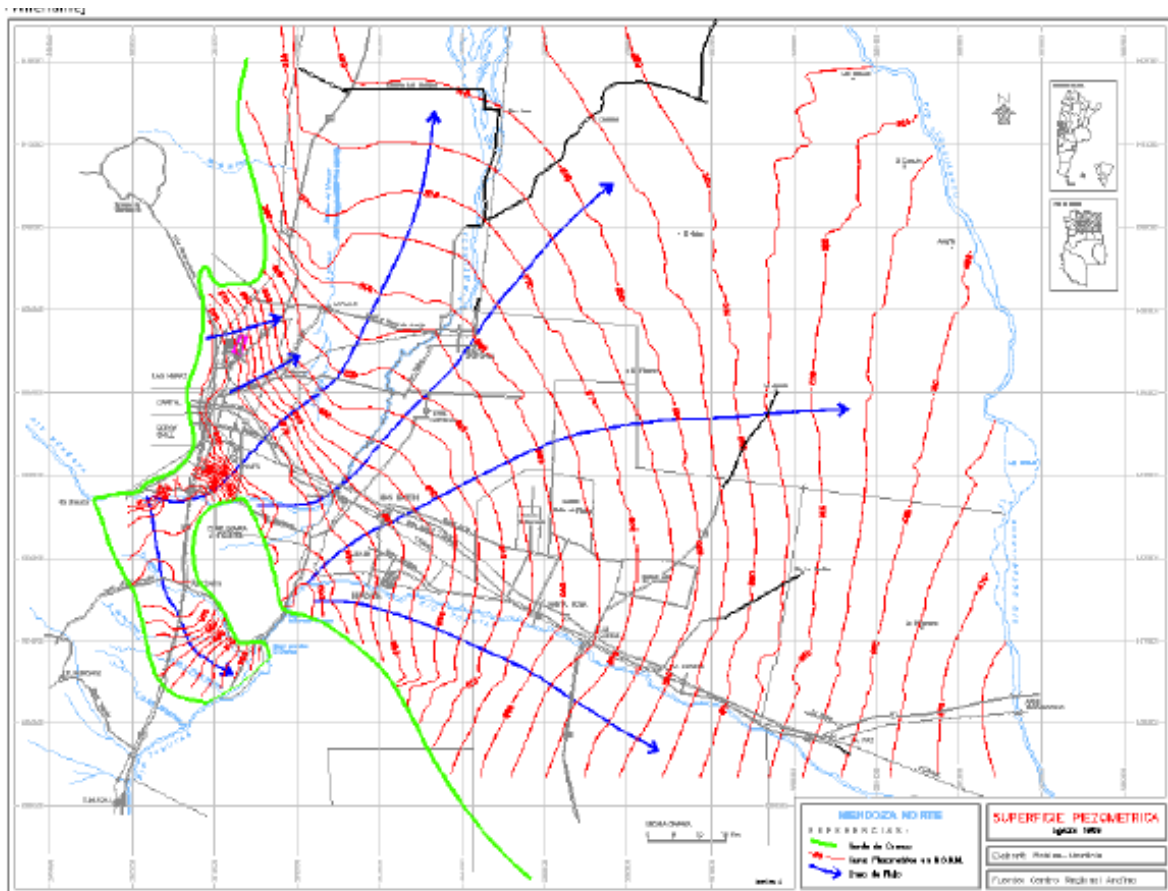


Figura 7: Mapa de la superficie piezométrica Cuenca Hidrogeológica Mendoza Norte

Las figuras anteriores indican el sentido del flujo subterráneo, lo que permitirá ubicar correctamente los pozos para el control de calidad del agua subterránea. Las profundidades recomendadas de los mismos deberán ser entre 15 y 20 m.

Un análisis hidrogeológico de detalle indica que en la zona de estudio se encuentra el Anticlinal de Borbollón, y dos unidades cuaternarias principales, pertenecientes a los depósitos de 1º y 2º nivel de piedemonte facie Borbollón.

Estas unidades cuaternarias, del Pleistoceno Inferior a Medio, son unidades complejas, comprendiendo sedimentos pedemontanos integrados por facies finas y medianas gruesas. La facie gruesa comprende gravas poliméricas muy poco consolidadas a sueltas, sin cemento calcáreo y litología proveniente de precordillera. Son de escaso espesor, raramente sobrepasan los 20 m de potencia. En la zona se presenta en forma escalonada. En el detalle de la figura siguiente se identifica como Unidad 3.

La unidad N°2, es la facie fina con intercalación de episodios de sedimentación mediana a gruesa. Constituye la facie denominada Borbollón. Estos terrenos están deformados tectónicamente conformando anticlinales o arqueamientos, como los del Borbollón y Capdevila. Pueden considerarse como la facie distal de los sedimentos de

1º y 2º nivel de piedemonte, pudiendo tener relación con sedimentación eólica y fluvio lacustre.

En superficie y con espesor variable entre los 10 – 30 m afloran areniscas finas, limos y arcillas, y bancos cineríticos. Tienen partición notable, y presencia de areniscas finas cementadas con carbonato de calcio, y sulfato de sodio (yeso). En subsuelo aparecen bancos de gravas finas, con color pardo amarillento muy similares a las sedimentitas denominadas “Serie amarilla” con la cual se las relacionaba. La figura siguiente, indica un detalle del plano hidrogeológico, donde se observan las unidades geológicas aflorantes en el área como la neotectónica que las afecta, la red de drenaje, flujos de agua superficial, límite de la freática, etc.

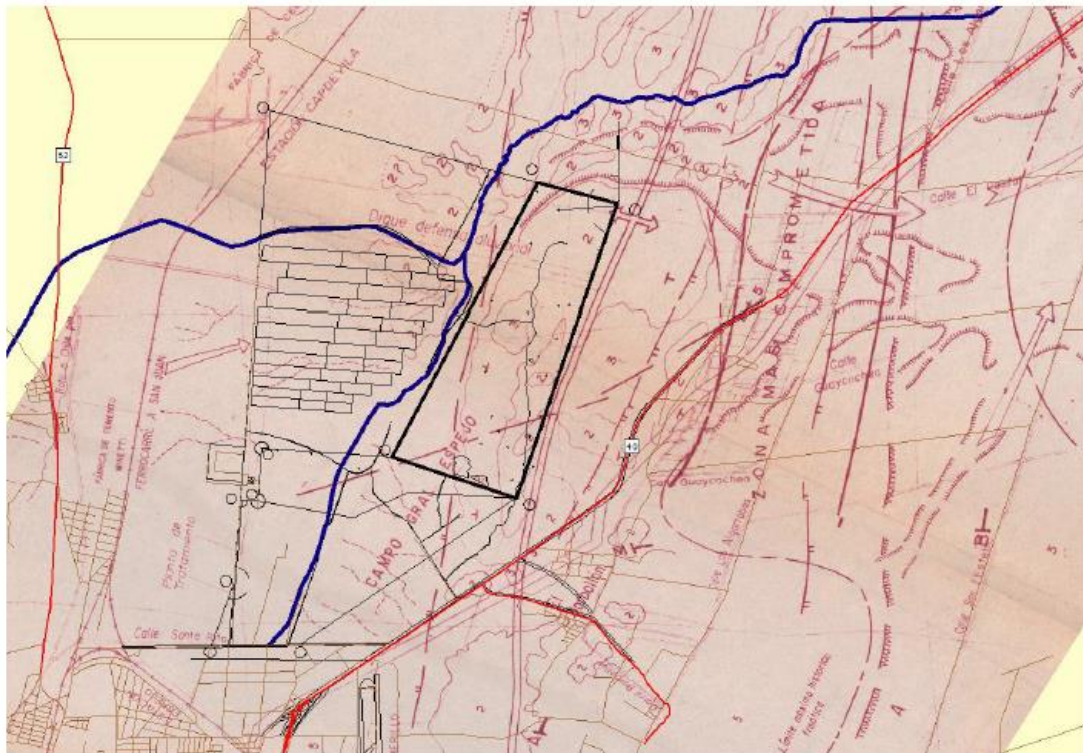


Figura 8: Mapa hidrogeológico de detalle en zona de estudio

Respecto a la salinidad, en la figura siguiente se observa en la zona de estudio valores entre 2200 y 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

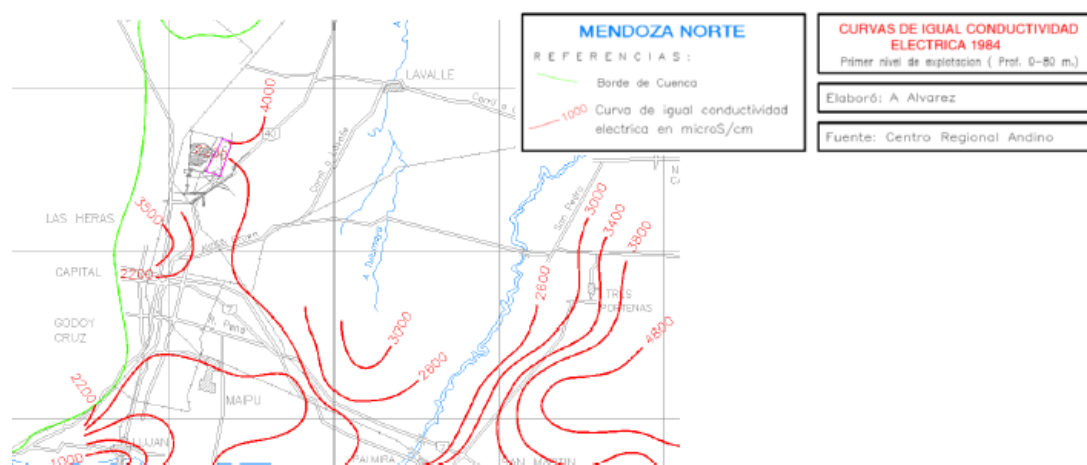


Figura 9: Curvas de igual conductividad

6. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Se analizará la dinámica superficial en la situación SIN PROYECTO, para luego estimar la incidencia CON PROYECTO.

El área total analizada en la problemática pluvial abarca una superficie de 414,36 Has y es el correspondiente a la cuenca interna del predio bajo estudio.

6.1 TIEMPO DE RECURRENCIA

En función de la bibliografía de referencia con un criterio en función del tipo de estructura, se indica como recurrencia de la precipitación un Tiempo de Retorno de (TR) entre 25 a 50 años.

TABLA 1: Criterios de diseño generalizados para estructuras hidráulicas

Tipo de estructura	Período de retorno (años)
Alcantarillas de carreteras	
Volúmenes de tráfico bajos	5-10
Volúmenes de tráfico intermedios	10-25
Volúmenes de tráfico altos	50-100
Puentes de carreteras	
Sistema secundario	10-50
Sistema primario	50-100
Drenaje agrícola	5-50
Drenaje urbano	
Alcantarillas en ciudades pequeñas	2-25
Alcantarillas en ciudades grandes	25-50
Aeropuertos	

Tabla 1 – Criterios de diseño generalizados para estructuras hidráulicas

Tipo de estructura	Período de retorno (años)
Volúmenes de tráfico bajos	5-10
Volúmenes de tráfico intermedios	10-25
Volúmenes de tráfico altos	50-100

FUENTE: Chow, Maidment, Mays (1994)

En base a la **TABLA 1** se adopta para el dimensionamiento del sistema de desagüe pluvial del proyecto del “Centro Ambiental El Borbollón”, una recurrencia de **25 años** para el sistema menor de desagüe pluvial y de **50 años** para el sistema mayor, considerándose suficiente para la envergadura del proyecto en cuestión y siguiendo los lineamientos al respecto.

6.2 TORMENTA DE PROYECTO

Se utilizó la Tormenta de Proyecto para el Gran Mendoza, desarrollada en el INA CRA, actualizada al año 2007. Como se mencionó, se adoptó como recurrencia de diseño la probabilidad de ocurrencia del evento del 4%, (TR=25 años) y del 2% (TR=50 años).

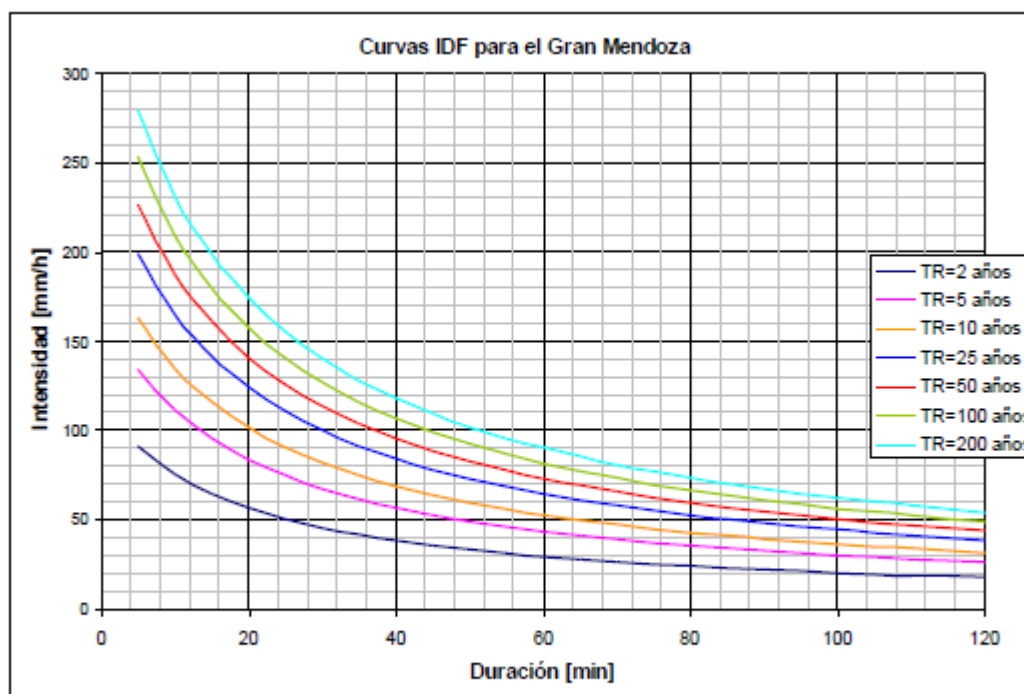


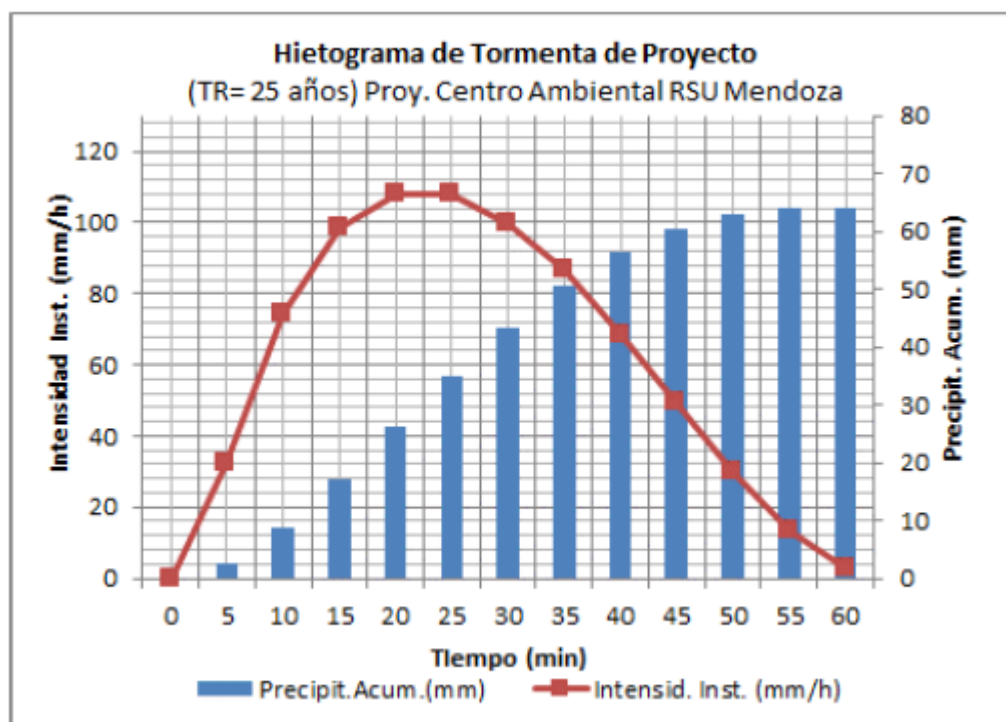
Figura 10: Curvas IDF de la Tormenta de Proyecto para Mendoza. (INA, 2007)

La distribución temporal de la tormenta es la indicada en la **TABLA 2**, y, considerando que no hay decaimiento espacial por tratarse de cuencas menores a 1 Km², se toma el

100% del máximo como lámina media, es decir para TR = 25 años, los 64,2 mm con una duración de tormenta de 60 min e intensidades máximas de **108mm/h**, mientras que para TR = 50 años, una lámina total de 72,9 mm e intensidad máxima de **122,5 mm/h**

TABLA 2: Láminas acumuladas de precipitación e intensidades instantáneas

Tabla 2 – Láminas acumuladas de precipitación e intensidades instantáneas				
Duración (min)	TR = 25		TR = 50	
	mm	Int. Instant. (mm/h)	mm	Int. Instant. (mm/h)
5	2,7	32,4	3,1	36,7
10	8,9	74,4	10,1	84,9
15	17,1	98,4	19,4	111,1
20	26,1	108,0	29,6	122,5
25	35,1	108,0	39,8	122,5
30	43,4	99,6	49,3	113,7
35	50,6	86,4	57,4	98,0
40	56,3	68,4	63,9	77,9
45	60,4	49,2	68,6	56,0
50	62,9	30,0	71,4	34,1
55	64,0	13,2	72,7	14,9
60	64,2	2,4	72,9	2,6



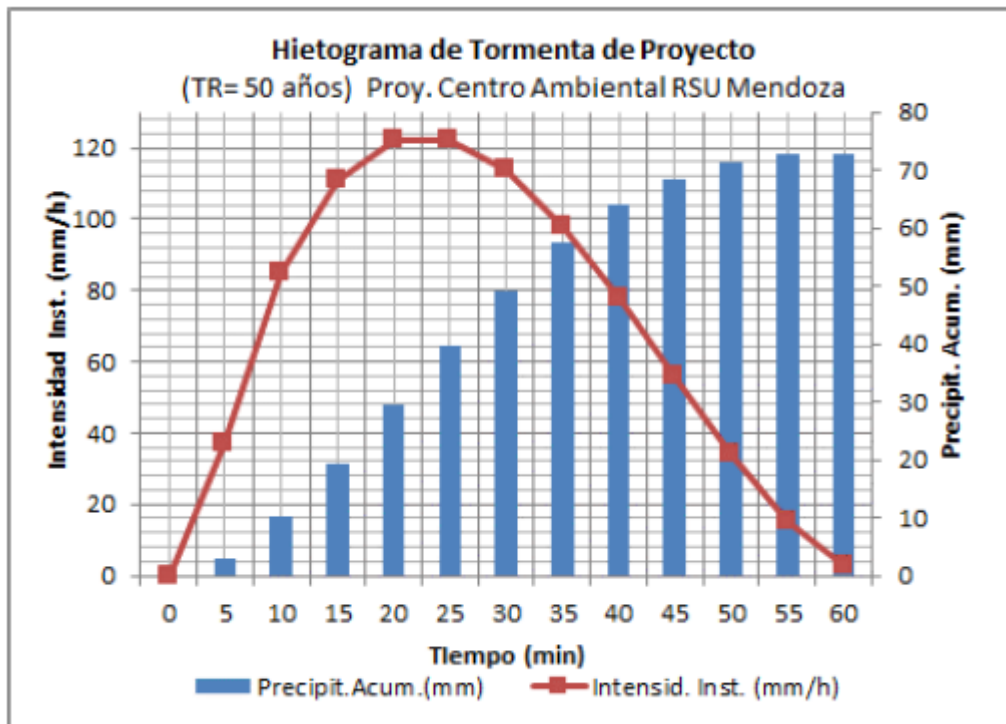


Figura 11: Tormenta de Proyecto, Lamina acumulada e intensidades para

TR = 25 años y 50 años

6.3 MODELO DE TRANSFORMACIÓN LLUVIA CAUDAL

El modelo elegido es **Arhymo** en su versión bajo Windows, que es un modelo determinístico de parámetros concentrados y es utilizado en Argentina desde 1993 (Maza, J. et al., 2005).

6.4 PRECIPITACIÓN EFECTIVA

La precipitación efectiva en la **cuencas rurales** es calculada a través de la metodología del USDA-NRCS, (1997) con la opción de incorporar el valor de abstracción inicial (I_a) como dato de entrada. En este trabajo se estimó el coeficiente de abstracción como:

$$I_a (mm) = S^{0.55} (mm)$$

Donde

$$S(mm) = (25400/CN) - 254$$

CN = f(tipo de suelo, humedad, cobertura vegetal)

La tasa de infiltración dependerá de la condición de humedad del suelo y de sus características. La capacidad de infiltración inicial depende de la condición de

humedad antecedente previa al comienzo de la tormenta; en tanto el suelo se torne más y más saturado, ella disminuirá.

Cuando la intensidad de precipitación supere la capacidad de infiltración, el exceso de lluvia ingresará en las depresiones hasta llenarlas y desde ese momento el modelo empieza a calcular escurrimientos; en el intervalo de tiempo siguiente la respectiva intensidad de precipitación será comparada con la nueva capacidad de infiltración, para reiniciar el cómputo.

En el caso de cuencas urbanizadas se debe distinguir las áreas impermeables de las permeables. El espacio impermeabilizado puede ser dividido en una parte directamente conectada (hidráulicamente conectada) al sistema de drenaje y otra que no lo está. Las porciones impermeables no directamente conectadas circulan por las áreas permeables antes de alcanzar el sistema de drenaje. Algo del escurrimiento de estas superficies se infiltrará y el valor del escurrimiento será menor que el del sector impermeable directamente conectado. Un ejemplo de este caso son los techos que vierten hacia jardines y la superficie de caminos que lo hacen a cauces de tierra.

Es usual considerar que, excepto por las pérdidas iniciales debidas a salpicaduras y almacenamiento en depresiones, la lluvia en áreas impermeables se transformará en caudal en forma completa y habrá contribución al escurrimiento aún si las tormentas son pequeñas. La distribución de precipitación efectiva para la zona impermeable directamente conectada es obtenida después de deducir el almacenamiento por depresiones.

En cambio, de terrenos permeables se espera un elevado almacenamiento por depresión y también pérdidas importantes por infiltración.

Una segunda distribución de precipitación efectiva es obtenida sustrayendo las pérdidas por infiltración y al almacenamiento por depresión de la lluvia que cae sobre el sector permeable, y sumando la que escurre desde la parte impermeable no directamente conectada.

6.5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

La representación de la variabilidad espacial del medio físico en modelos hidrológicos se apoya actualmente en el uso de herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG), facilitando la generación de modelos y simulación de escenarios. (Burgos, 2005).

Para la modelación hidrológica se ha efectuado el análisis de cuencas, con la interface geoespacial HEC-GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling System Extension).

Las características topográficas determinan las pautas por las cuales el agua circula sobre ellas.

El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) contiene información suficiente para definir, al menos en una primera aproximación, las propiedades de la red de drenaje superficial y de la cuenca hidrográfica de aporte. Por lo tanto, a partir de MDE se generaron distintos mapas derivados por medio del geoprocésamiento y análisis espacial, con el objetivo de determinar las cuencas de aporte al área de estudio y cuantificar los parámetros morfométricos necesarios.

La orientación de las laderas, es un producto derivado del geoprocésamiento del MDE. Se puede definir, en un punto específico del espacio, como el ángulo existente entre el vector que señala el Norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en ese punto (pixel)

Este ángulo determinará también la dirección del flujo. El algoritmo utilizado para la confección del mapa de dirección de flujo fue el denominado D8, cuyas orientaciones están categorizadas en 8 clases (E, NE, N, NW, W, SW, S, SE) codificadas con números potencias de 2, según GeoHMS (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128).

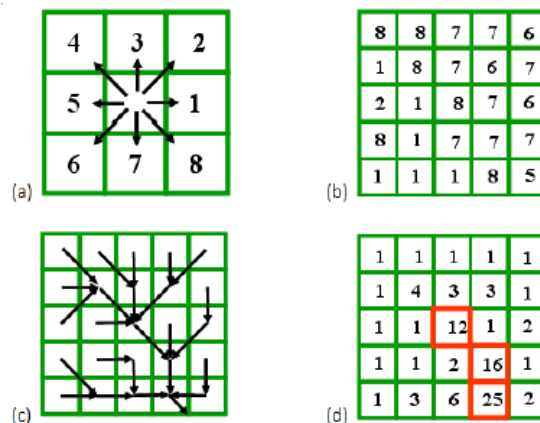


Figura 12(a): Codificación de direcciones, (b) Codificación de orientaciones en una grilla de 5x5 celdas; (c) Red de flujo; (d) Grilla de acumulación de flujo

El método para obtener la red de flujo consiste en asignar a cada celda el valor del código de orientación (como se indica en la Figura 12b), esto se realiza mediante un motor de análisis de 9 celdas (3x3) que se va desplazando a lo largo de toda la grilla del modelo de elevaciones, calculando para cada valor central el gradiente o pendiente del mismo respecto a las 8 celdas circunvecinas, asignando el código según al máximo gradiente. (Burgos, 2005).

El paso siguiente para la obtención de la red de drenaje consiste en contar la cantidad de celdas que convergen a la celda de análisis (como se indica en la Figura 12c y 12d). En la grilla resultante si se elige un umbral mínimo, es decir una cantidad mínima de celdas drenantes que hagan que la celda pertenezca a un cauce o no, se obtendría la red hidrográfica (en el ejemplo de la Figura 12d podría ser de 10 celdas y el cauce quedaría definido por las marcas en rojo).

Siguiendo la metodología, se generó el mapa de acumulación de aporte, que representa en un punto determinado, la cantidad de píxeles que drenan a él, y por medio de este se identifica la red de drenaje.

Finalmente, vectorizada la red hidrográfica sintética resultado del mapa de acumulación de flujo, se procedió a delimitar las subcuencas, tal como se muestra en la Figura 13.

Los parámetros morfométricos se presentan en Tablas 3 y 4.

Se utilizaron dos fuentes de información: la primera a nivel de detalle representada por las curvas de nivel por topografía convencional (denominado TOPO) y dentro de los límites del predio. La segunda fuente fue un modelo global (SRTM) el cual tiene una resolución espacial de 30 m y cobertura global.

Se analizaron ambos modelos de elevación, SRTM y TOPO, y se decidió utilizar este último debido a su mejor resolución, pero rellenando los aportes exteriores con la delimitación con el SRTM.

Se apreció un buen ajuste entre ambos, tal como se aprecia en las figuras siguientes.

Para la validación y corrección hidrológica se utilizaron imágenes satelitales de 4 y 10 m de resolución, de forma de identificar posibles zona de conflicto.

Se utilizó la extensión Hec GeoHMS para la delimitación de cuencas, luego de ajustar el MDE con digitalizaciones de cauces torrenciales.

Se observa en ambos modelos la presencia de una divisoria de aguas en sentido longitudinal al predio, con dirección SSW-NNE, que hace que parte de los excesos pluviales escurran superficialmente hacia la ruta 40, y gran parte hacia el Oeste con descarga final en el Canal Moyano. Se aprecia la diferencia de resolución que posee la topografía convencional pero quedando acotado a los límites de mensura del predio.

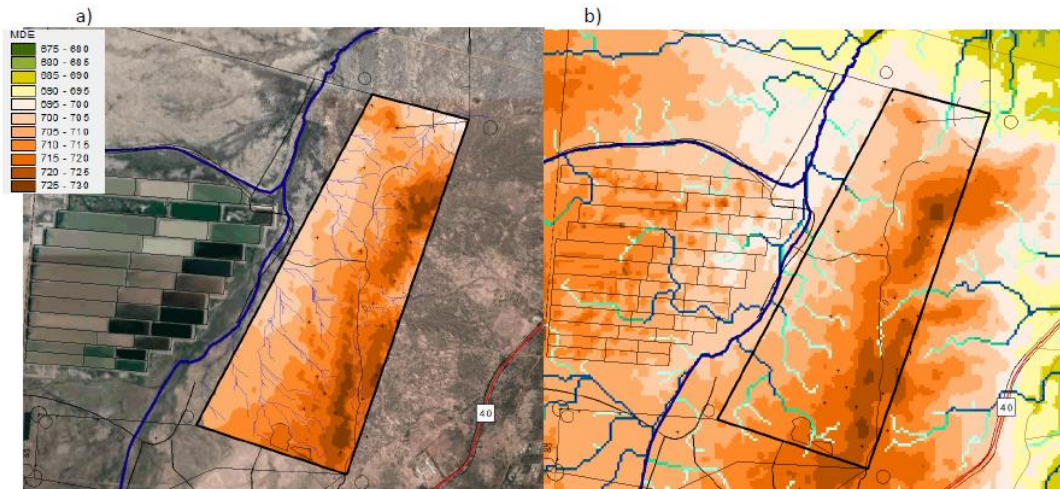


Figura 13: Modelos Digitales de Elevaciones y red sintética de drenaje superficial: a) Topografía convencional (TOPO 5m) y b) SRTM 30m

Cabe destacar que existen dos antecedentes topográficos (por levantamiento convencional): el primero hasta los límites de mensura y un segundo de mayor detalle en zona de Módulo 1. Ambos estudios se unificaron y se muestran a la izquierda de la **Figura 13**, formando un raster de 5m de resolución.

En la **Figura 14**, se indican las divisorias de agua, donde se observa que las subcuencas 1 a 4 drenan hacia el W, con descarga en el Canal Moyano, mientras que las subcuencas 5 (AyB), 6 y 7 hacia el norte las primeras y hacia el este las últimas.

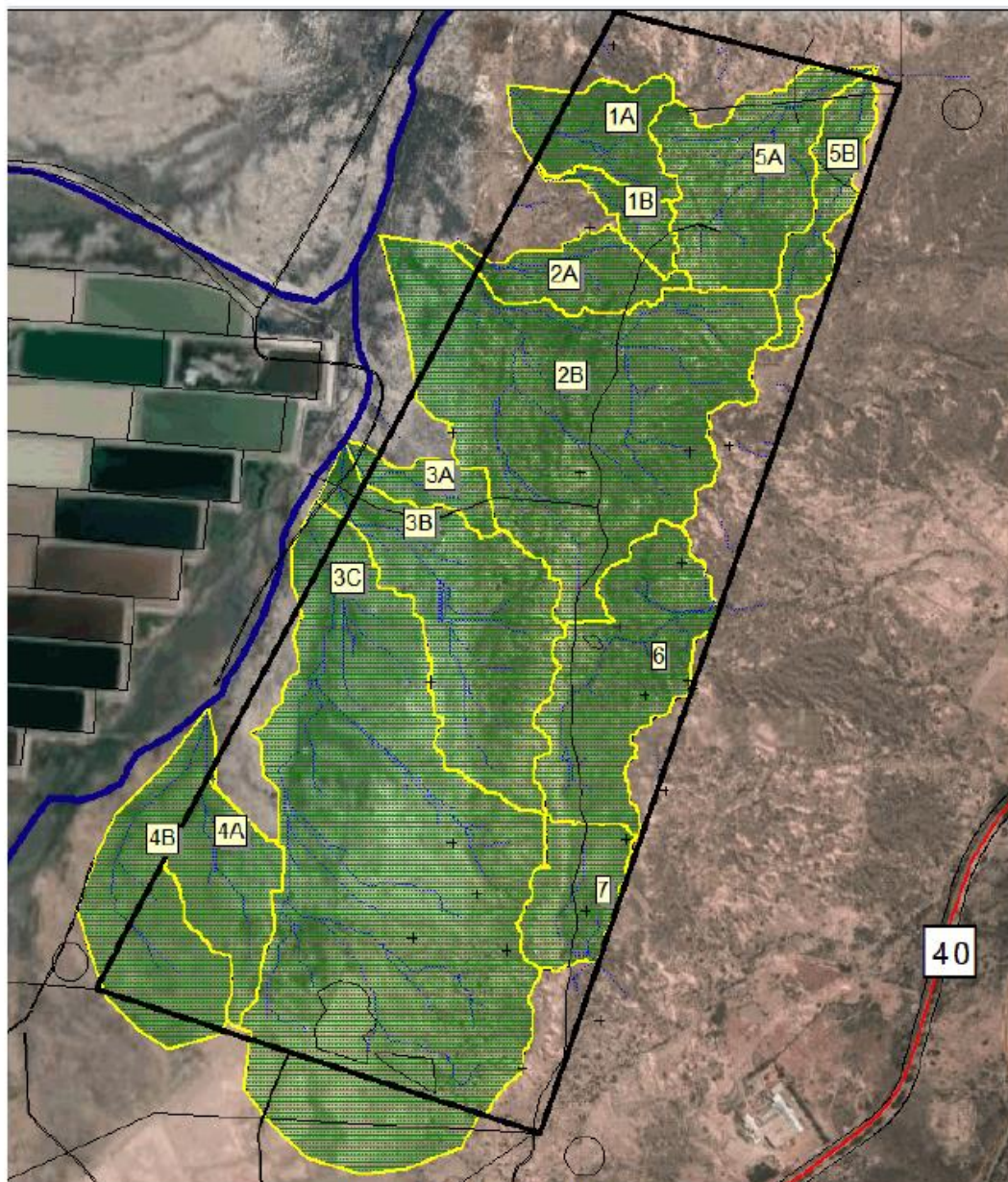


Figura 14: Mapa de Subcuencas

Los parámetros morfométricos de las subcuencas son los siguientes:

TABLA 3: Parámetros morfométricos (situación SIN proyecto)

Tabla 3 – Parámetros morfométricos (situación SIN proyecto)										
Sub-cuenca	Área (Ha)	Perímetro (km)	Curso más largo (km)	Cota max	Cota min	Desnivel (m)	Pendiente (m/m)	CN	S (mm)	la (mm)
1A	13,96	2,23	0,64	717	700,5	16,5	0,0258	81	59,6	9,5
1B	5,12	1,87	0,91	711	700,5	10,5	0,0115	81	59,6	9,5
2A	11,47	2,10	0,87	716	700,9	15,1	0,0174	81	59,6	9,5
2B	49,70	5,61	1,76	718	700,5	17,5	0,0099	81	59,6	9,5

Tabla 3 – Parámetros morfométricos (situación SIN proyecto)

Sub-cuenca	Área (Ha)	Perímetro (km)	Curso más largo (km)	Cota max	Cota min	Desnivel (m)	Pendiente (m/m)	CN	S (mm)	la (mm)
3A	6,36	1,58	0,66	710	702	8,0	0,0121	81	59,6	9,5
3B	39,45	4,30	1,53	726	702	24,0	0,0157	81	59,6	9,5
3C	132,09	6,62	2,62	730	702	28,0	0,0107	81	59,6	9,5
4A	15,57	2,42	1,14	714	704	10,0	0,0088	81	59,6	9,5
4B	27,95	3,00	1,21	715	704	11,0	0,0091	81	59,6	9,5
5A	27,65	3,34	1,15	723	697	26,0	0,0226	81	59,6	9,5
5B	10,86	2,82	1,16	730	697	33,0	0,0285	81	59,6	9,5
6	31,83	3,82	1,28	728	706	22,0	0,0172	81	59,6	9,5
7	12,35	1,95	0,71	728	716	12,0	0,0169	81	59,6	9,5
Total	414,36									

CN: Número de Curva; S: Almacenamiento, la: Abstracción Inicial

6.6 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración de una cuenca se define como el tiempo de tránsito de una gota que cae en el punto hidráulicamente más alejado del curso hasta un punto de interés y considera tanto el tiempo de tránsito de flujo mantiforme como en encauzado en su definición clásica.

Este parámetro es sumamente aplicado en la práctica hidrológica y es un dato general ya que la concentración del escurrimiento, difiere sustancialmente de acuerdo a la distribución espacio-temporal de la tormenta, y con las características hidráulica de la cuenca.

Debido a la escasez de datos hidrológicos, se estimaron tiempos de concentración de las subcuencas en función de fórmula que contemplan aspectos fisiográficos, con el objeto de estimar cual es el más representativo.

Existen diversas fórmulas para determinar el tiempo de concentración en función de las características físicas de la cuenca, de su ocupación y de la intensidad de la lluvia. Se seleccionaron las siguientes:

a) Ventura

$$T_C = \alpha \times \left(\frac{A}{S} \right)^{1/2}$$

Donde T_C está expresado en horas; $0,03 < \alpha < 0,15$ (0,12 adoptado); A = Área (km²); S = Pendiente media del curso principal (m/m)

b) Pasini

$$T_C = \alpha \times (AL)^{1/3} S^{-1/2}$$

Donde T_c está expresado en horas; $\alpha = 0,1$; A = Área (km²), S = Pendiente media del curso principal (m/m) y L = longitud del curso principal (km).

$$T_c = 0,066 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

c) Kirpich

$$T_c = 0,3 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,75}$$

Donde:

L = longitud del cauce principal (km)

S_o = diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L , en m/m.

d) Temez

L = longitud del cauce principal, en kilómetros.

S_o = diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L , en m/m.

En la **TABLA 3** se presentan los parámetros morfométricos de las subcuencas y en la **TABLA 4** se resumen los valores de tiempo de concentración (T_c) obtenidos a partir de las fórmulas empíricas seleccionadas. La última columna indica una velocidad promedio en función del T_c promedio estimado y la longitud máxima de escurrimiento por cuenca.

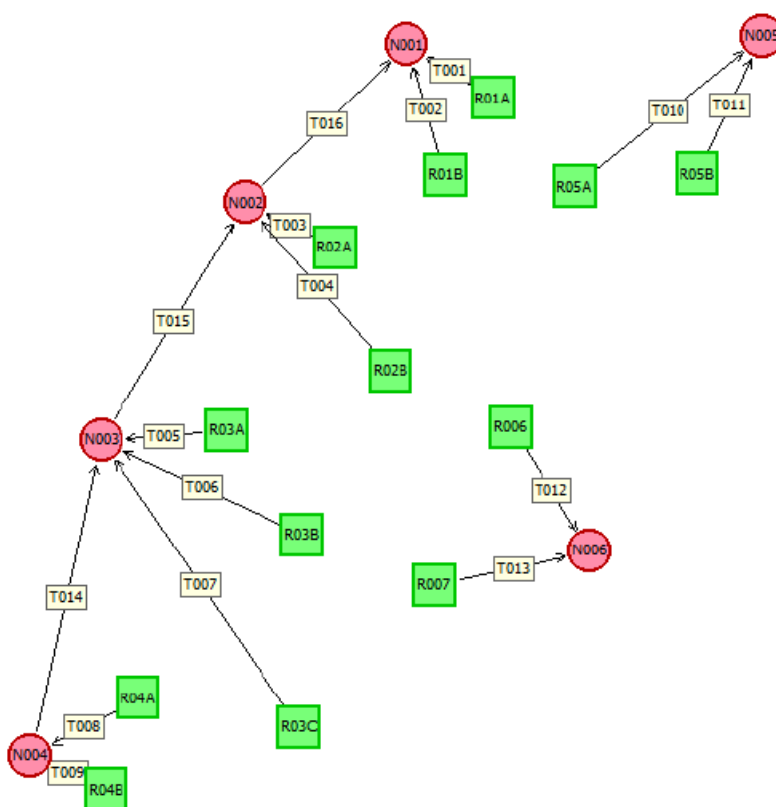
TABLA 4: Tiempos de concentración

Tabla 4 – Tiempos de concentración						
Sub-cuenca	T_c min (Ventura)	T_c min (Pasini)	T_c min (Kirpich)	T_c min (Temez)	T_c min (PROM)	Vel (m/s)
1A	16,8	16,7	11,5	10,78	13,9	0,8
1B	15,2	20,1	20,5	16,33	18,0	0,8
2A	18,5	21,1	16,9	14,62	48,9	0,8
2B	64,5	67,4	36,1	27,53	48,9	0,6
3A	16,5	18,9	15,7	12,71	16,0	0,7
3B	36,1	40,5	27,2	22,76	31,6	0,8
3C	80,0	87,8	47,7	36,61	63,0	0,7
4A	30,3	36,0	27,1	20,35	28,5	0,7
4B	39,9	43,8	28,0	21,14	33,2	0,6

Tabla 4 – Tiempos de concentración						
Sub-cuenca	Tc min (Ventura)	Tc min (Pasini)	Tc min (Kirpich)	Tc min (Temez)	Tc min (PROM)	Vel (m/s)
5A	25,2	27,2	19,0	17,15	22,1	0,9
5B	14,1	17,8	17,5	16,52	16,5	1,2
6	31,0	33,9	22,9	19,57	26,8	0,7
7	19,5	20,5	14,6	12,62	16,8	0,7

El esquema topológico del modelo hidrológico se muestra en la **Figura 15**, donde los cuadrados verdes representan las subcuencas (rurales), los círculos rojos son los nodos suma de hidrogramas.

El caudal suma en el nodo N001, indicará el total de descarga en el colector Moyano. Los Nodos N005 y N006 representan el caudal que drena hacia el este. La línea N004-N003-N002-N001 representa el canal Moyano con sus descargas parciales.



7. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS (SITUACIÓN SIN PROYECTO)

7.1 CAUDALES DE EXCEDENTES PLUVIALES (Situación sin Proyecto)

Para la cuantificación del efecto o impacto que produce el proyecto, en cuanto a la sustentabilidad hidrológica del mismo, se propone comparar los hidrogramas de salida en las situaciones SIN y CON proyecto.

Para ello se resumen los caudales resultantes, y que corresponden a la situación SIN PROYECTO, es decir en estado NATURAL o Preadrónico. Se presentan a continuación los hidrogramas obtenidos.

TABLA 5: Resultados obtenidos para TR = 25 años (Situación SIN PROYECTO)

Tabla 5 – Resultados obtenidos para TR = 25 años (Situación SIN PROYECTO)					
Sub- cuenca	Q (m³/s)	Tp (hs)	V (Hm³)	Ppe (mm)	Ppt (mm)
1A	1,43	0,79	0,004	26,2	64,2
1B	0,53	0,73	0,001	26,2	64,2
2A	1,04	0,93	0,003	26,2	64,2
2B	4,86	1,08	0,0021	26,2	64,2
3A	0,59	0,77	0,002	26,2	64,2
3B	3,43	0,92	0,010	26,2	64,2
3C	7,90	1,17	0,0035	26,2	64,2
4A	1,28	0,87	0,004	26,2	64,2
4B	2,00	0,90	0,007	26,2	64,2
5B	1,10	0,77	0,003	26,2	64,2
6	2,54	1,00	0,008	26,2	64,2
7	1,11	0,90	0,003	26,2	64,2
N001	16,09	1,57	0,087	26,2	64,2
N002	16,07	1,40	0,082	26,2	64,2
N003	10,99	1,23	0,058	26,2	64,2
N004	3,27	0,90	0,012	26,2	64,2
N005	3,31	0,93	0,010	26,2	64,2
N006	3,60	0,98	0,012	26,2	64,2

TABLA 6: Resultados obtenidos para TR = 50 años. (Situación SIN PROYECTO)

Tabla 6 – Resultados obtenidos para TR = 50 años (Situación SIN PROYECTO)					
Sub- cuenca	Q (m³/s)	Tp (hs)	V (Hm³)	Ppe (mm)	Ppt (mm)
1A	1,76	0,79	0,005	32,7	72,9
1B	0,65	0,73	0,002	32,7	72,9
2A	1,28	1,08	0,004	32,7	72,9

Tabla 6 – Resultados obtenidos para TR = 50 años (Situación SIN PROYECTO)					
Sub- cuenca	Q (m ³ /s)	Tp (hs)	V (Hm ³)	Ppe (mm)	Ppt (mm)
2B	6,05	1,08	0,026	32,7	72,9
3A	0,73	0,77	0,002	32,7	72,9
3B	4,25	0,92	0,013	32,7	72,9
3C	9,84	1,17	0,043	32,7	72,9
4A	1,58	0,87	0,005	32,7	72,9
4B	2,48	0,90	0,009	32,7	72,9
5A	3,00	1,00	0,009	32,7	72,9
5B	1,35	0,77	0,004	32,7	72,9
6	3,15	1,00	0,010	32,7	72,9
7	1,38	0,90	0,004	32,7	72,9
N001	20,07	1,57	0,108	32,7	72,9
N002	20,04	1,40	0,102	32,7	72,9
N003	13,70	1,23	0,072	32,7	72,9
N004	4,06	0,90	0,014	32,7	72,9
N005	4,10	0,90	0,013	32,7	72,9
N006	4,46	0,98	0,014	32,7	72,9

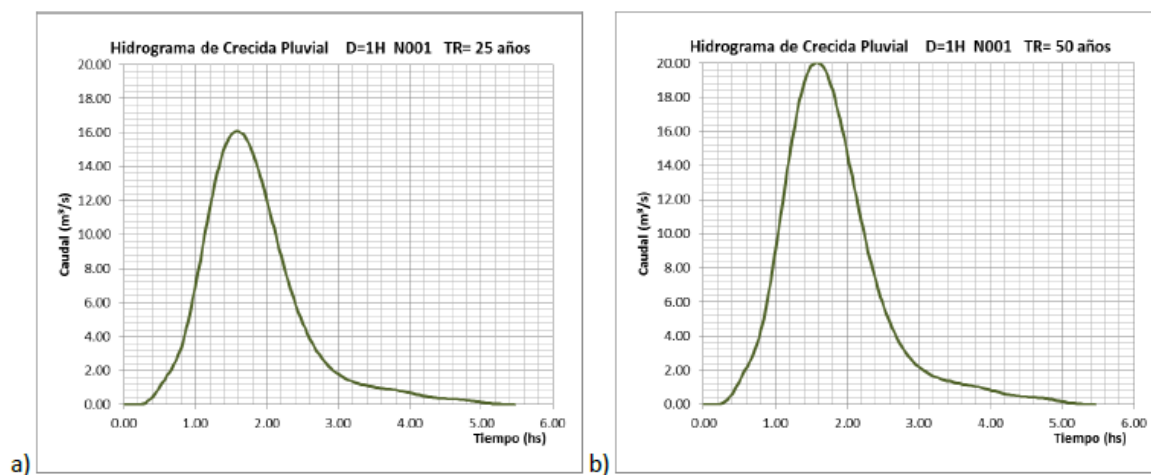


Figura 16: Hidrograma para el nodo NOO1 a) TR=25 años, b) TR=50 años

7.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD FRENTE A UN AUMENTO DE LA IMPERMEABILIDAD

Se realiza una estimación de los caudales generados por excedentes pluviales para un potencial aumento en los porcentajes de impermeabilización del suelo, representado por una variación del 5% en el valor asignado al CN (Curve Number) que representa las

pérdidas por cobertura vegetal e infiltración. Se observa un aumento en los caudales del orden del 19% para un cambio del 5% en el CN (CN=85; $I_a=8,1$ mm)

TABLA 7: *Análisis de sensibilidad del CN*

Tabla 7 – Análisis de sensibilidad del CN					
Nodo	CN	Q1 TR 25 (m3/s)	CN+ 5%	Q2 TR 25 (m3/s)	Aumento (%)
N001	81	16,09	85	19,14	19

7.3 ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA

De forma de aplicar la fórmula racional para la determinación de los caudales, en otras subcuencas similares, se estimaron los coeficientes de escorrentía a partir de los caudales obtenidos por modelación matemática, y considerando una intensidad de lluvia para una duración de tormenta igual al tiempo de concentración. Se considera el tiempo máximo de concentración de aproximadamente 60 minutos (ver Tabla 4).

Los coeficientes obtenidos para cada recurrencia, se muestran en la tabla siguiente:

Sub-cuenca	Tc min	A (Ha)	TR 25		TR 50	
			I (mm/h)	C	I (mm/h)	C
1A	13,9	13,96	146,1	0,25	165,8	0,27
1B	18	5,12	130,4	0,29	148,1	0,31
2A	17,8	11,47	131,1	0,25	148,9	0,27
2B	48,9	79,70	73,8	0,30	83,8	0,33
3A	16	6,36	137,6	0,24	156,2	0,27
3B	31,6	39,45	97,0	0,32	110,1	0,35
3C	63	132,09	62,0	0,35	70,4	0,38
4A	28,5	15,57	102,9	0,29	116,8	0,31
4B	33,2	27,95	94,2	0,27	106,9	0,30
5A	22,1	27,65	118,0	0,27	134,0	0,29
5B	16,5	10,86	135,7	0,27	154,1	0,29
6	26,8	31,83	106,5	0,27	120,9	0,30
7	16,8	12,35	134,6	0,24	152,9	0,26
N001	63	288,15	62,0	0,32	70,4	0,36

Las intensidades indicadas son obtenidas de la curva IDF determinada. El coeficiente de escorrentía estimado es de **0,30** en promedio para ambas recurrencias y para todas las subcuencas.

8. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS (SITUACIÓN CON PROYECTO)

8.1 METODOLOGÍA

Se continúan los estudios hidrológicos presentados precedentemente, en función de la planimetría del proyecto, donde se estiman los caudales CON PROYECTO, para luego dimensionar las secciones hidráulicas necesarias para el adecuado drenaje del mismo.

Se analizará el uso de sistemas de retención temporal y laminación de crecidas para minimizar el impacto hacia el punto de descarga.

En función de la planimetría del proyecto, se procedió a delimitar las cuencas remanentes (CR).

La disposición de canales perimetrales y de defensa se muestra y denominan en la figura 17.

La conexión y esquema topológico para el modelo hidrológico se muestra en la Figura 18, junto a los parámetros morfométricos indicados en la **TABLA 8**.



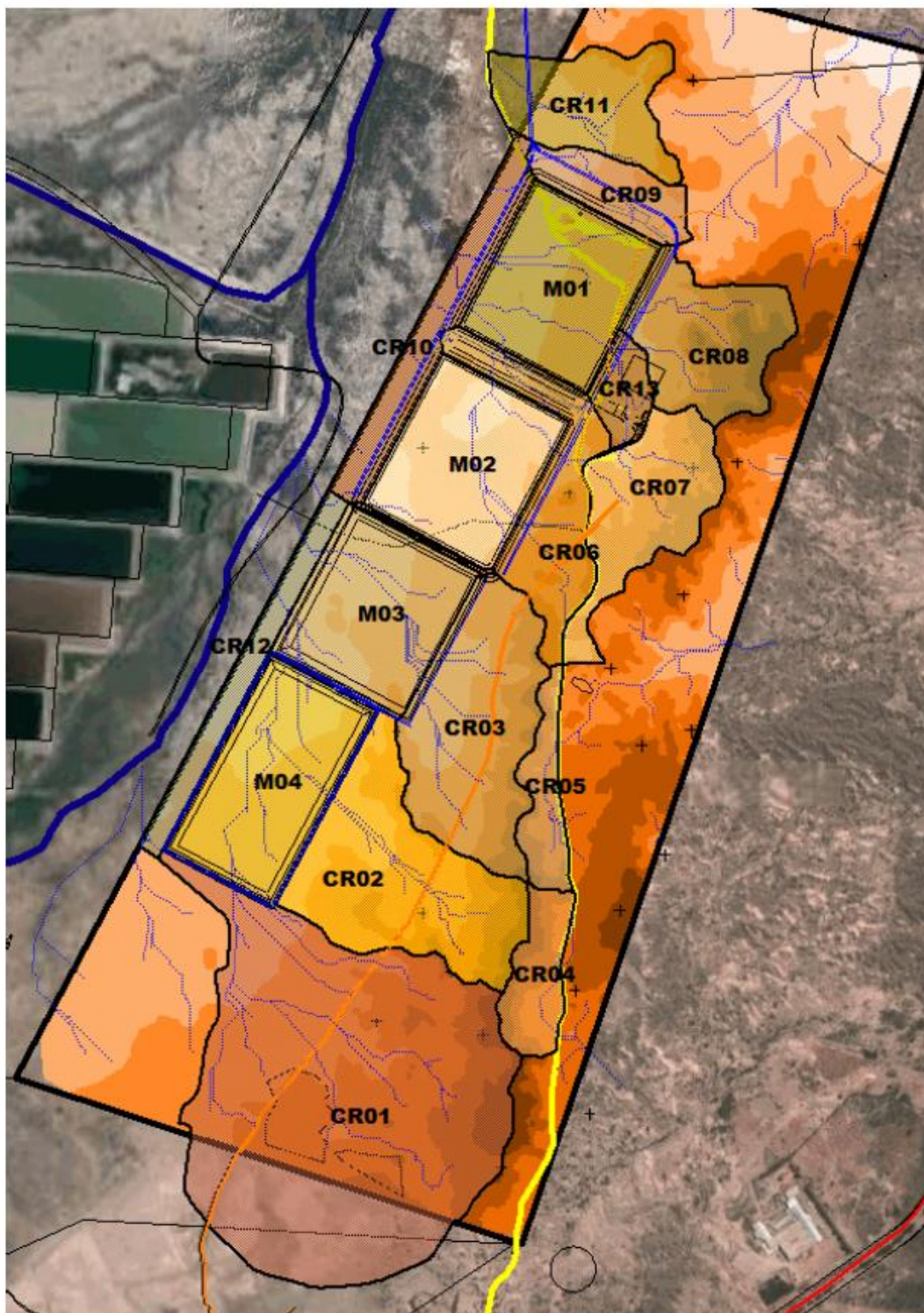


Figura 18: Delimitación de cuencas remanentes (CR)

Los parámetros morfométricos de las subcuencas en la situación CON PROYECTO, son los siguientes:

TABLA 8: Parámetros morfométricos (situación CON proyecto)

Tabla 8 – Parámetros morfométricos (situación CON proyecto)										
Sub-cuenca	Área (Ha)	Perímetro (km)	Curso más largo (km)	Cota max	Cota min	Desnivel (m)	Pendiente (m/m)	CN	S (mm)	la (mm)
CR01	76,24	3,92	1,44	726,5	705,0	21,5	0,0149	81	59,6	9,5
CR02	25,77	2,46	0,97	726,0	706,5	19,5	0,0199	83	52,0	8,8
CR03	23,99	2,26	0,969	726,0	706,5	19,5	0,0201	83	52,0	8,8
CR04	6,55	1,24	0,46	726,5	716,5	10,0	0,0217	82	55,8	9,1
CR05	6,64	1,52	0,40	726,0	715,0	11,0	0,0274	82	55,8	9,1
CR06	14,98	2,66	1,13	721,0	701,0	20,0	0,0176	83	52,0	8,8
CR07	14,82	2,13	0,51	723,5	709,0	14,5	0,0280	81	59,6	9,5
CR08	14,93	1,73	0,72	730,0	705,5	24,5	0,0339	81	59,6	9,5
CR09	6,96	1,23	0,47	716,0	699,5	16,5	0,0350	83	52,0	8,8
CR10	11,23	2,50	1,11	703,0	699,5	3,5	0,0310	86	41,3	7,7
CR11	13,14	1,76	0,64	713,5	697,5	16,0	0,0250	81	59,6	9,5
CR12	7,45	2,39	1,11	705,0	702,5	2,5	0,0022	86	41,3	7,7
CR13	3,97	0,82	0,34	712,0	704,5	7,5	0,0219	88	34,6	7,0
CM11	4,12	0,97	0,40			4,00	0,0100	85	44,8	8,1
CM12	5,09	1,08	0,43			5,50	0,0105	85	44,8	8,1
CM13	4,13	0,97	0,40			4,00	0,0100	85	44,8	8,1
CM14	5,21	1,09	0,43			5,50	0,0105	85	44,8	8,1
CM21	4,36	0,98	0,40			4,00	0,0100	85	44,8	8,1
CM22	5,29	1,11	0,43			4,50	0,0105	85	44,8	8,1
CM23	4,248	0,98	0,40			4,00	0,0100	85	44,8	8,1
CM24	5,21	1,09	0,43			4,50	0,0105	85	44,8	8,1
CM31	4,45	1,00	0,40			4,00	0,0100	85	44,8	8,1
CM32	5,83	1,13	0,43			4,50	0,0105	85	44,8	8,1
CM33	4,16	0,99	0,40			4,00	0,0100	85	44,8	8,1
CM34	5,08	1,09	0,42			4,50	0,0105	85	44,8	8,1
CM41	5,03	1,02	0,46			5,00	0,0109	85	44,8	8,1
CM42	5,91	1,35	0,50			5,00	0,0109	85	44,8	8,1
CM43	5,09	1,02	0,46			5,00	0,0109	85	44,8	8,1
CM44	6,01	1,36	0,50			5,00	0,0100	85	44,8	8,1
Total	305,04	(*)								

CN: Número de Curva; S: Almacenamiento, la: Abstracción inicial

(*)= La diferencia de áreas respecto a la situación SIN proyecto, está dada por las subcuencas que no desaguan en el colector Moyano, ó que no se ven afectadas por el proyecto, quedando los mismos resultados.

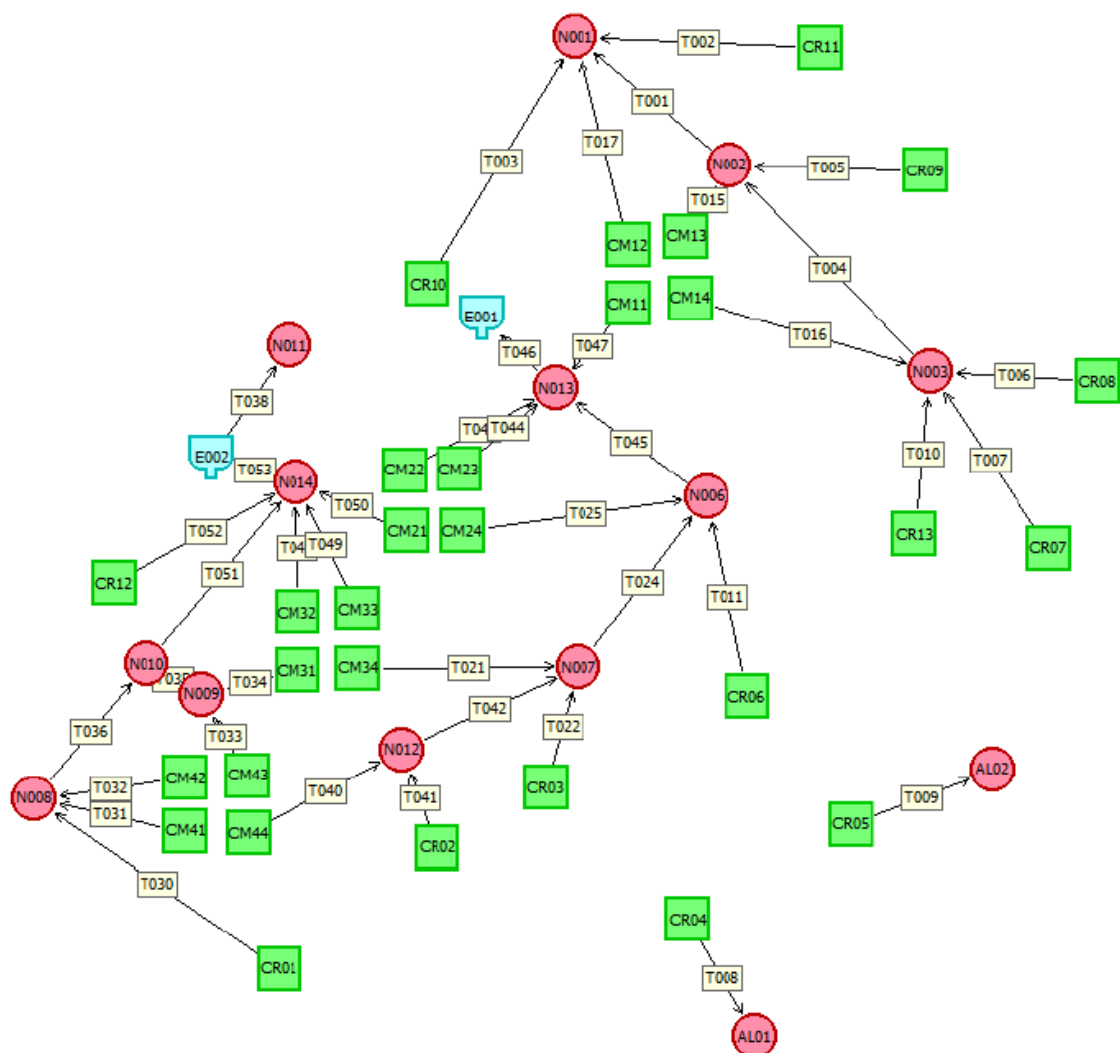
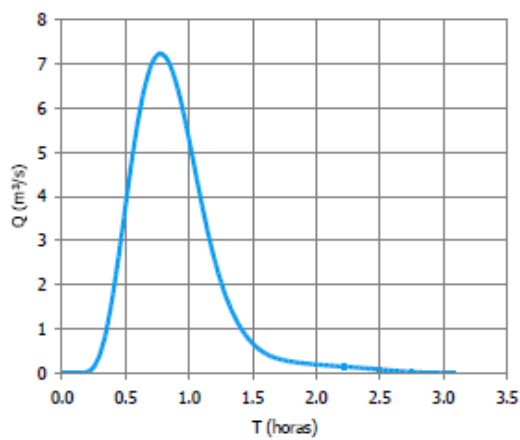
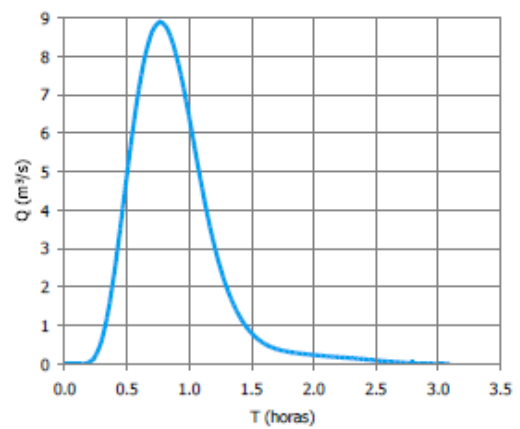


Figura 19: Topología Modelo hidrológico

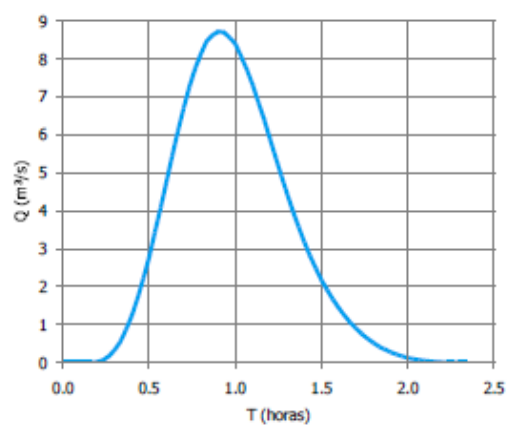


a)

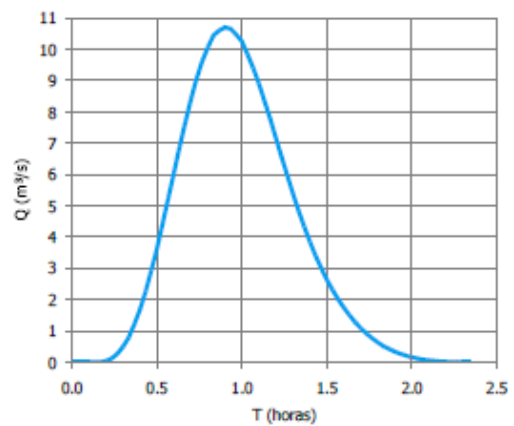


b)

Figura 20: Hidrograma para el nodo N001 a) TR=25 años, b) TR=50 años



a)



b)

Figura 21: Hidrograma para el nodo N013 a) TR=25 años, b) TR=50 años

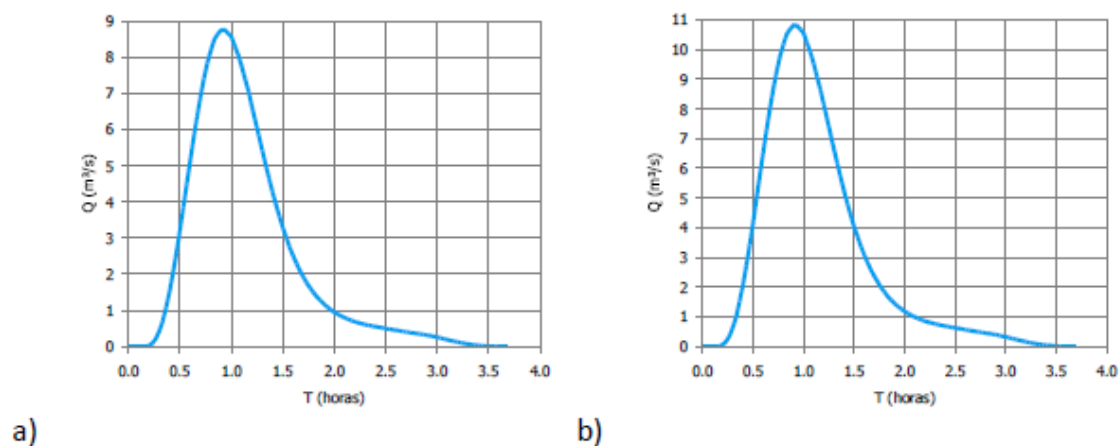


Figura 22: Hidrograma para el nodo N014 a) TR=25 años, b) TR=50 años

8.2 CAUDALES DE DISEÑO

Los caudales obtenidos según el esquema de distribución presentado son los siguientes:

TABLA 9: Resultados obtenidos para TR = 25 años (Situación CON PROYECTO)

Tabla 9 – Resultados obtenidos para TR = 25 años (Situación CON PROYECTO)					
Sub-cuenca	Q (m ³ /s)	Tp (hs)	V (Hm ³)	Ppe (mm)	Ppt (mm)
AL01	0,72	0,87	0,002	27,4	64,2
AL02	0,65	0,71	0,002	27,4	64,2
N003	4,17	0,77	0,011	27,4	64,2
N002	4,67	0,76	0,012	28,0	64,2
N001	7,23	0,76	0,021	28,6	64,2
N012	2,88	0,93	0,009	29,1	64,2
N007	5,55	0,93	0,018	29,0	64,2
N006	7,50	0,93	0,024	29,1	64,2
N013	8,71	0,90	0,028	29,4	64,2
E001	8,7/0,5		0,028		
N008	6,32	1,00	0,023	26,8	64,2
N010	7,04	0,97	0,026	27,2	64,2
N014	8,75	0,93	0,033	28,1	64,2
E002	8,7/0,5		0,033		
CR01	5,48	1,00	0,020	26,2	64,2
CR02	2,40	1,00	0,007	28,6	64,2
CR03	2,26	1,00	0,007	28,6	64,2
CR06	1,48	0,97	0,004	28,6	64,2

**Tabla 9 – Resultados obtenidos para TR = 25 años
(Situación CON PROYECTO)**

Sub-cuenca	Q (m3/s)	Tp (hs)	V (Hm3)	Ppe (mm)	Ppt (mm)
CR07	1,51	0,76	0,004	25,8	64,2
CR08	1,52	0,76	0,004	26,2	64,2
CR09	0,07	0,70	0,000	28,6	64,2
CR10	0,72	0,90	0,004	32,6	64,2
CR11	1,34	0,77	0,003	26,2	64,2
CR12	0,45	0,90	0,002	32,6	64,2
CR13	0,59	0,80	0,001	35,6	64,2
CM11	0,43	0,73	0,001	31,2	64,2
CM12	0,53	0,77	0,002	31,2	64,2
CM13	0,43	0,73	0,001	31,2	64,2
CM14	0,54	0,77	0,002	31,2	64,2
CM21	0,46	0,77	0,001	31,2	64,2
CM22	0,55	0,77	0,002	31,2	64,2
CM23	0,44	0,73	0,001	31,2	64,2
CM24	0,54	0,77	0,002	31,2	64,2
CM31	0,47	0,73	0,001	31,2	64,2
CM32	0,59	0,77	0,002	31,2	64,2
CM33	0,59	0,73	0,001	31,2	64,2
CM34	0,53	0,77	0,002	31,2	64,2
CM41	0,53	0,73	0,002	31,2	64,2
CM42	0,61	0,77	0,002	31,2	64,2
CM43	0,55	0,73	0,002	31,2	64,2
CM44	0,62	0,77	0,002	31,2	64,2

*TABLA 10: Resultados obtenidos para TR = 50 años
(Situación CON PROYECTO)*

**Tabla 10 – Resultados obtenidos para TR = 50 años
(Situación CON PROYECTO)**

Sub-cuenca	Q (m3/s)	Tp (hs)	V (Hm3)	Ppe (mm)	Ppt (mm)
AL01	0,89	0,87	0,002	34,0	72,9
AL02	0,80	0,71	0,002	34,0	72,9
N003	5,12	0,77	0,013	34,4	72,9
N002	5,74	0,76	0,015	34,8	72,9
N001	8,89	0,76	0,026	35,4	72,9
N012	3,54	0,93	0,011	35,9	72,9
N007	6,84	0,93	0,022	35,9	72,9
N006	9,22	0,93	0,029	36,0	72,9
N013	10,70	0,90	0,034	36,3	72,9
E001	10,7/0,5		0,034		72,9
N008	7,83	1,00	0,029	33,4	72,9
N010	8,73	0,97	0,033	33,9	72,9

Tabla 10 – Resultados obtenidos para TR = 50 años (Situación CON PROYECTO)					
Sub- cuenca	Q (m ³ /s)	Tp (hs)	V (Hm ³)	Ppe (mm)	Ppt (mm)
N014	10,80	0,90	0,041	34,8	72,9
E002	10,8/0,5		0,041		72,9
CR01	6,82	1,00	0,025	32,7	72,9
CR02	2,95	1,00	0,009	35,4	72,9
CR03	2,77	1,00	0,008	35,4	72,9
CR06	1,82	0,93	0,005	35,4	72,9
CR07	1,88	0,76	0,005	32,3	72,9
CR08	1,87	0,77	0,005	32,7	72,9
CR09	0,09	0,68	0,000	35,4	72,9
CR10	0,88	0,90	0,004	39,9	72,9
CR11	1,66	0,77	0,004	32,7	72,9
CR12	0,55	0,90	0,003	39,9	72,9
CR13	0,71	0,80	0,002	43,2	72,9
CM11	0,53	0,73	0,002	38,3	72,9
CM12	0,53	0,77	0,002	38,3	72,9
CM13	0,53	0,73	0,002	38,3	72,9
CM14	0,66	0,77	0,002	38,3	72,9
CM21	0,66	0,73	0,002	38,3	72,9
CM22	0,67	0,77	0,002	38,3	72,9
CM23	0,54	0,73	0,002	38,3	72,9
CM24	0,66	0,77	0,002	38,3	72,9
CM31	0,57	0,73	0,002	38,3	72,9
CM32	0,72	0,77	0,002	38,3	72,9
CM33	0,54	0,73	0,002	38,3	72,9
CM34	0,65	0,77	0,002	38,3	72,9
CM41	0,66	0,73	0,002	38,3	72,9
CM42	0,74	0,77	0,002	38,3	72,9
CM43	0,67	0,73	0,002	38,3	72,9
CM44	0,67	0,77	0,002	38,3	72,9

9. ESTUDIOS HIDRÁULICOS

Con los resultados hidrológicos se predimensionan las secciones hidráulicas necesarias para el adecuado drenaje de los escurrimientos pluviales.

Se considera como hipótesis para las secciones en tierra, verificar las velocidades máximas no erosivas, en **TABLA 11**:

TABLA 11: Máxima velocidad permisible recomendada por Fortier y Escoby, correspondiente a valores de fuerza tractiva unitaria (para canales rectos y nuevos)

Tabla 11 – Máxima velocidad permisible recomendada por Fortier y Escoby, correspondiente a valores de fuerza tractiva unitaria (para canales rectos y nuevos)					
Material	N	Agua limpia		Agua con limos coloidales	
		V (m/s)	τ_0 (N/m ²)	V (m/s)	τ_0 (N/m ²)
Arenas finas, no coloidales	0,020	0,457	1,29	0,76	3,59
Franco arenosos, no coloidal	0,020	0,533	1,77	0,76	3,59
Tierra firma común	0,020	0,762	3,59	1,07	7,18
Arcilla dura, muy coloidal	0,025	1,140	12,4	1,52	22,0
Grava fina	0,020	0,762	3,59	1,52	15,3
Tierra negra graduada a gravilla (no coloidal)	0,030	1,140	18,2	1,52	31,6
Limos graduados a gravilla (no coloidal)	0,030	1,220	20,6	1,68	38,3
Grava gruesa no coloidal	0,025	1,220	14,4	1,83	32,1
Piedras y ripio	0,035	1,520	43,6	1,68	52,7

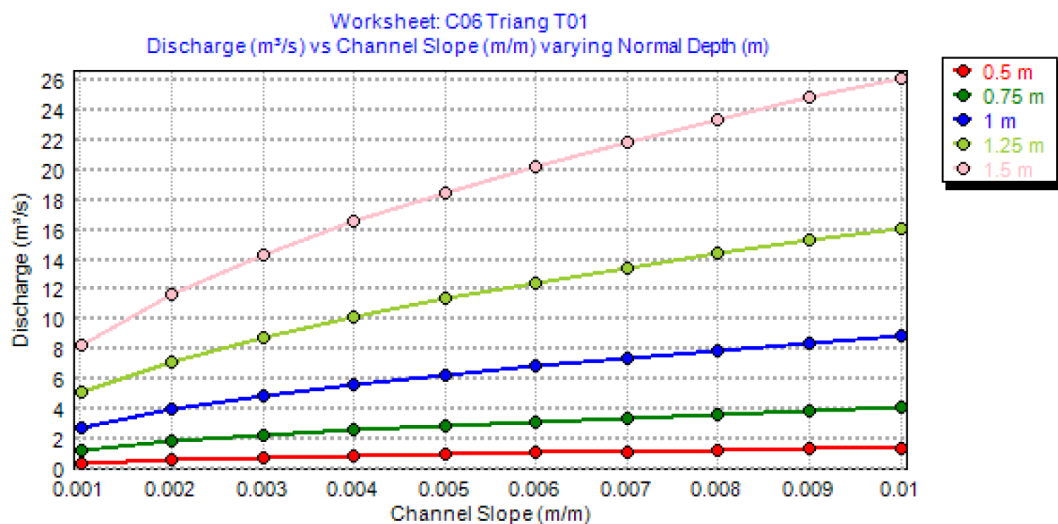
9.1 ALTERNATIVA 1

Secciones Triangulares

TABLA 12: Resumen Predimensionamiento hidráulico

Tabla 12 – Resumen Predimensionamiento hidráulico											
Canal	Caudal diseño Qd (m ³ /s)	Pend. (m/m)	Long. (m)	Coef. Manning	Sección Tipo	Ancho Superf (m)	Talud (H:V)	Tirante (m)	Caudal Q (m ³ /s)	Veloc. (m/s)	Froude
C01	5.847	0.0088	350	0.035	T1	8.76	5:1	0.88	5.85	1.53	0.74
C02	3.546	0.0026	633	0.035	T1	9.10	5:1	0.91	3.55	0.85	0.40
C03	8.756	0.0049	680	0.035	T1	11.40	5:1	1.14	8.76	1.35	0.57
C04	5.559	0.0024	463	0.035	T1	11.00	5:1	1.10	5.61	0.93	0.40
C04(t2)	5.559	0.0170	439	0.035	T1	11.69	5:1	1.17	5.56	0.81	0.34
C05	7.502	0.0052	513	0.035	T1	10.61	5:1	1.06	7.51	1.33	0.58
C06	8.712	0.0100	310	0.035	T1	9.93	5:1	0.99	8.71	1.77	0.80
C06(R1)	8.712	0.0046	195	0.035	R1	11.48	5:1	1.15	8.71	1.32	0.56
C07	1.882	0.0147	210	0.035	T1	5.21	5:1	0.52	1.89	1.39	0.87
C07(t2)	1.882	0.0064	343	0.035	T1	6.09	5:1	0.61	1.89	1.02	0.59
C08	4.173	0.0065	390	0.035	T1	8.17	5:1	0.82	4.18	1.25	0.63
C09	4.678	0.0149	662	0.035	T1	7.30	5:1	0.73	4.68	1.76	0.93
C10	0.724	0.0021	527	0.035	T1	5.25	5:1	0.52	0.73	0.53	0.33
C10(t2)	0.724	0.0036	590	0.035	T1	4.74	5:1	0.47	0.73	0.65	0.43
C11	7.233	0.0015	650	0.035	T1	13.23	5:1	1.32	7.25	0.83	0.33

Rating Curve for Triang T01

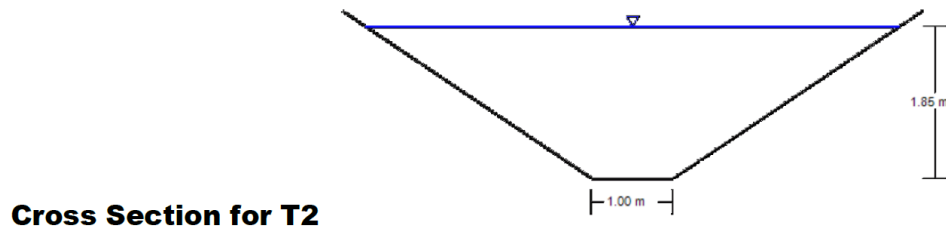


9.2 ALTERNATIVA 2

Secciones Trapeciales

TABLA 13: Resumen Predimensionamiento hidráulico

Tabla 13 – Resumen Predimensionamiento hidráulico											
Canal	Caudal diseño Qd (m³/s)	Pend. (m/m)	Long. (m)	Coef. Manning	Sección Tipo	Ancho Superf (m)	Talud (H:V)	Tirante (m)	Caudal Q (m³/s)	Veloc. (m/s)	Froude
CO1	5.847	0.0088	350	0.035	T2	1/4.4	1.5:1	1.13	5.85	1.91	0.73
CO2	3.546	0.0026	633	0.035	T2	1/4.58	1.5:1	1.19	3.55	1.07	0.40
CO3	8.756	0.0049	680	0.035	T2	1/5.65	1.5:1	1.55	8.76	1.70	0.57
CO4	5.559	0.0024	463	0.035	T2	1/5.46	1.5:1	1.49	8.61	1.16	0.40
CO4(t2)	5.559	0.0170	439	0.035	T2	1/5.81	1.5:1	1.60	5.56	1.02	0.34
CO5	7.502	0.0052	513	0.035	T2	1/5.29	1.5:1	1.43	7.51	1.67	0.58
CO6	8.712	0.0100	310	0.035	T2	1/4.96	1.5:1	1.32	8.71	2.22	0.80
CO6(R1)	8.712	0.0046	195	0.035	T2	1/5.71	1.5:1	1.57	8.71	1.66	0.55
CO7	1.882	0.0147	210	0.035	T2	1/2.75	1.5:1	0.58	1.89	1.73	0.87
CO7(t2)	1.882	0.0064	343	0.035	T2	1/3.15	1.5:1	0.72	1.89	1.27	0.59
CO8	4.173	0.0065	390	0.035	T2	1/4.12	1.5:1	1.04	4.18	1.57	0.63
CO9	4.678	0.0149	662	0.035	T2	1/3.71	1.5:1	0.90	4.68	2.20	0.93
C10	0.724	0.0021	527	0.035	T2	1/2.76	1.5:1	0.59	0.73	0.66	0.33
C10(t2)	0.724	0.0036	590	0.035	T2	1/2.54	1.5:1	0.51	0.73	0.80	0.43
C11	7.233	0.0015	650	0.035	T2	1/6.54	1.5:1	1.85	7.25	1.04	0.32



9.3 ELECCIÓN DE ALTERNATIVA

En función de las velocidades admisibles, y considerando el método constructivo, se elige la Alternativa 1, consistente en secciones triangulares.

En los casos en que la velocidad se acerca a la máxima recomendable, la sección triangular con taludes tendidos 5:1, posibilita que la erosión se produzca en el fondo y no con erosión lateral, como se produciría con sección trapezoidal o rectangular. Además, las menores profundidades de excavación generan una más rápida ejecución de las secciones en terreno. Es importante mantener las pendientes de diseño.

C01 Triang T1

Project Description		
Friction Method	Manning Formula	
Solve For	Normal Depth	

Input Data		
Roughness Coefficient	0.035	
Channel Slope	0.00880	m/m
Left Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Right Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Discharge	5.85	m³/s

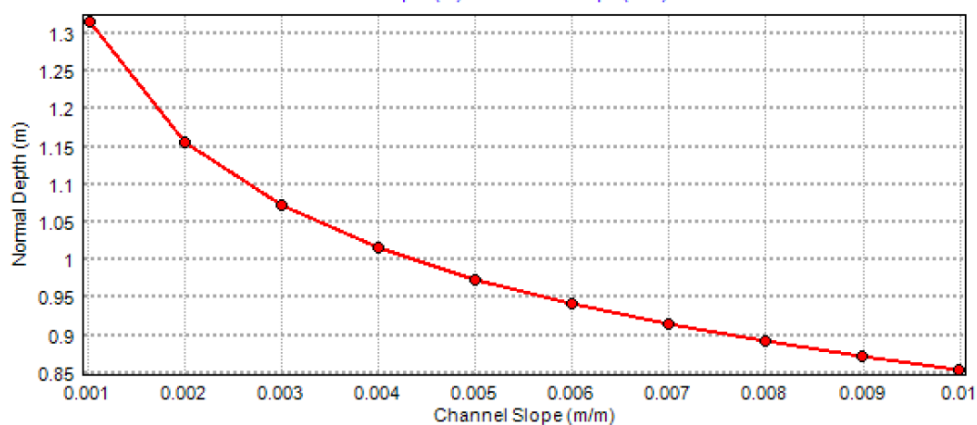
GVF Output Data		
Upstream Depth	0.88	m
Profile Description	M1	
Profile Headloss	3.08	m
Downstream Velocity	1.51	m/s
Upstream Velocity	1.53	m/s
Normal Depth	0.88	m
Critical Depth	0.77	m
Channel Slope	0.00880	m/m
Critical Slope	0.01692	m/m

Results		
Normal Depth	0.88	m
Flow Area	3.83	m²
Wetted Perimeter	8.93	m
Hydraulic Radius	0.43	m
Top Width	8.76	m
Critical Depth	0.77	m
Critical Slope	0.01692	m/m
Velocity	1.53	m/s
Velocity Head	0.12	m
Specific Energy	0.99	m
Froude Number	0.74	
Flow Type	Subcritical	

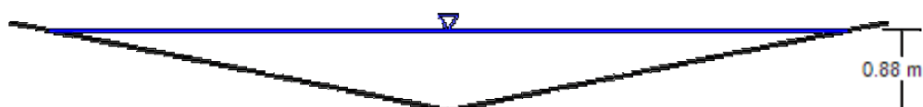
GVF Input Data		
Downstream Depth	0.88	m
Length	350.00	m
Number Of Steps	10	

Rating Curve for C01 Triang T1

Worksheet: C01 Triang T01
Normal Depth (m) vs Channel Slope (m/m)



Cross Section for C01 Triang T1



C02 Triang T1

Project Description		
Friction Method	Manning Formula	
Solve For	Normal Depth	

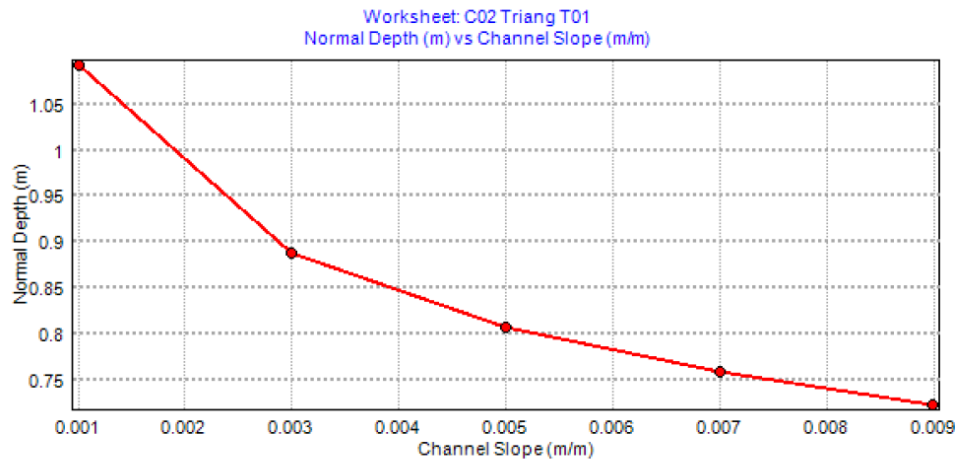
Input Data		
Roughness Coefficient	0.035	
Channel Slope	0.00260	m/m
Left Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Right Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Discharge	3.55	m ³ /s

GVF Output Data		
Upstream Depth	0.91	m
Profile Description	M2	
Profile Headloss	1.65	m
Downstream Velocity	0.86	m/s
Upstream Velocity	0.85	m/s
Normal Depth	0.91	m
Critical Depth	0.63	m
Channel Slope	0.00260	m/m
Critical Slope	0.01808	m/m

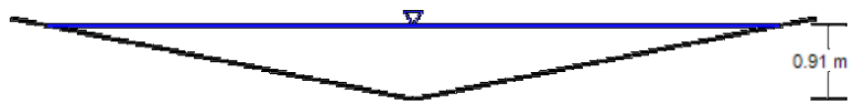
Results		
Normal Depth	0.91	m
Flow Area	4.17	m ²
Wetted Perimeter	9.31	m
Hydraulic Radius	0.45	m
Top Width	9.13	m
Critical Depth	0.63	m
Critical Slope	0.01808	m/m
Velocity	0.85	m/s
Velocity Head	0.04	m
Specific Energy	0.95	m
Froude Number	0.40	
Flow Type	Subcritical	

GVF Input Data		
Downstream Depth	0.91	m
Length	633.00	m
Number Of Steps	20	

Rating Curve for C02 Triang T1



Cross Section for C02 Triang T1



C03 Triang T1

Project Description		
Friction Method	Manning Formula	
Solve For	Normal Depth	

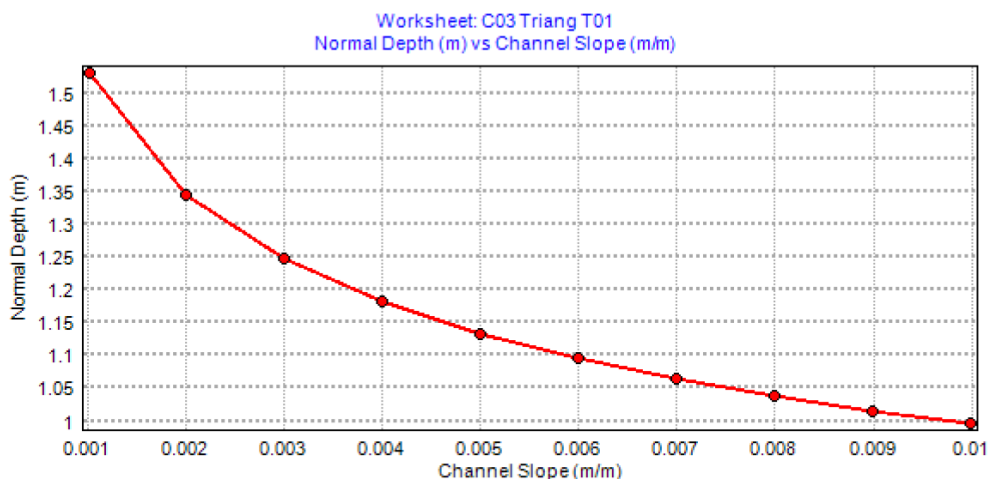
Input Data		
Roughness Coefficient	0.035	
Channel Slope	0.00490	m/m
Left Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Right Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Discharge	8.76	m³/s

Results		
Normal Depth	1.14	m
Flow Area	6.47	m²
Wetted Perimeter	11.60	m
Hydraulic Radius	0.56	m
Top Width	11.37	m
Critical Depth	0.91	m
Critical Slope	0.01603	m/m
Velocity	1.35	m/s
Velocity Head	0.09	m
Specific Energy	1.23	m
Froude Number	0.57	
Flow Type	Subcritical	

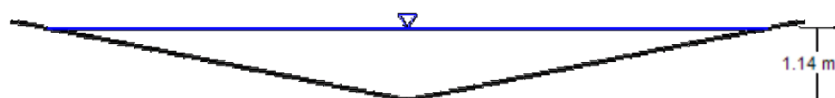
GVF Output Data		
Upstream Depth	1.14	m
Profile Description	M1	
Profile Headloss	3.33	m
Downstream Velocity	1.35	m/s
Upstream Velocity	1.35	m/s
Normal Depth	1.14	m
Critical Depth	0.91	m
Channel Slope	0.00490	m/m
Critical Slope	0.01603	m/m

GVF Input Data		
Downstream Depth	1.14	m
Length	680.00	m
Number Of Steps	20	

Rating Curve for C03 Triang T1



Cross Section for C03 Triang T1



C04 Triang T1

Project Description		
Friction Method	Manning Formula	
Solve For	Normal Depth	

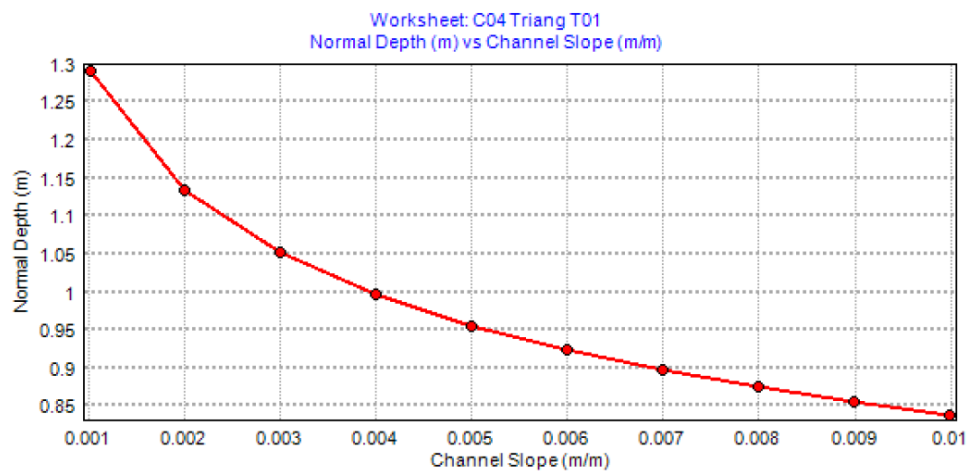
Input Data		
Roughness Coefficient	0.035	
Channel Slope	0.00170	m/m
Left Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Right Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Discharge	5.56	m³/s

GVF Output Data		
Upstream Depth	1.17	m
Profile Description	M1	
Profile Headloss	0.79	m
Downstream Velocity	0.81	m/s
Upstream Velocity	0.81	m/s
Normal Depth	1.17	m
Critical Depth	0.76	m
Channel Slope	0.00170	m/m
Critical Slope	0.01703	m/m

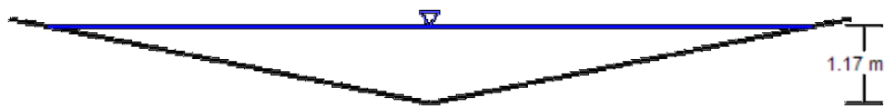
Results		
Normal Depth	1.17	m
Flow Area	6.84	m²
Wetted Perimeter	11.93	m
Hydraulic Radius	0.57	m
Top Width	11.69	m
Critical Depth	0.76	m
Critical Slope	0.01703	m/m
Velocity	0.81	m/s
Velocity Head	0.03	m
Specific Energy	1.20	m
Froude Number	0.34	
Flow Type	Subcritical	

GVF Input Data		
Downstream Depth	1.17	m
Length	463.00	m
Number Of Steps	20	

Rating Curve for C04 Triang T1



Cross Section for C04 Triang T01



C05 Triang T1

Project Description		
Friction Method	Manning Formula	
Solve For	Normal Depth	

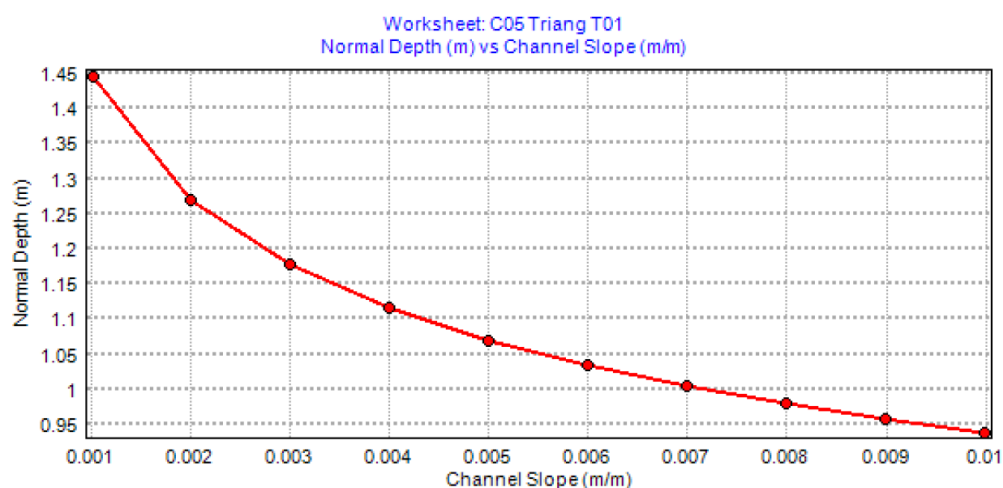
Input Data		
Roughness Coefficient	0.035	
Channel Slope	0.00520	m/m
Left Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Right Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Discharge	7.51	m ³ /s

Results		
Normal Depth	1.06	m
Flow Area	5.63	m ²
Wetted Perimeter	10.83	m
Hydraulic Radius	0.52	m
Top Width	10.61	m
Critical Depth	0.86	m
Critical Slope	0.01636	m/m
Velocity	1.33	m/s
Velocity Head	0.09	m
Specific Energy	1.15	m
Froude Number	0.58	
Flow Type	Subcritical	

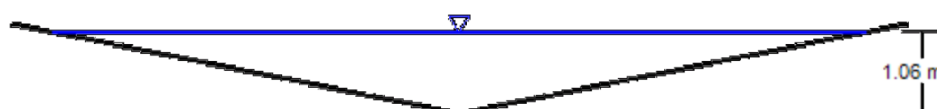
GVF Output Data		
Upstream Depth	1.06	m
Profile Description	M2	
Profile Headloss	2.67	m
Downstream Velocity	1.34	m/s
Upstream Velocity	1.33	m/s
Normal Depth	1.06	m
Critical Depth	0.86	m
Channel Slope	0.00520	m/m
Critical Slope	0.01636	m/m

GVF Input Data		
Downstream Depth	1.06	m
Length	513.00	m
Number Of Steps	10	

Rating Curve for C05 Triang T1



Cross Section for C05 Triang T1





C06 Triang T1

Project Description		
Friction Method	Manning Formula	
Solve For	Normal Depth	

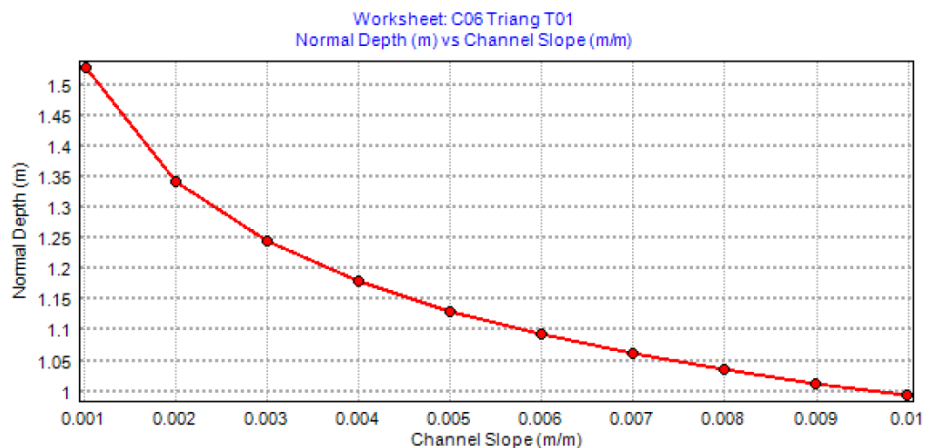
Input Data		
Roughness Coefficient	0.035	
Channel Slope	0.01000	m/m
Left Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Right Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Discharge	8.71	m³/s

GVF Output Data		
Upstream Depth	0.99	m
Profile Description	M2	
Profile Headloss	3.10	m
Downstream Velocity	1.78	m/s
Upstream Velocity	1.77	m/s
Normal Depth	0.99	m
Critical Depth	0.91	m
Channel Slope	0.01000	m/m
Critical Slope	0.01604	m/m

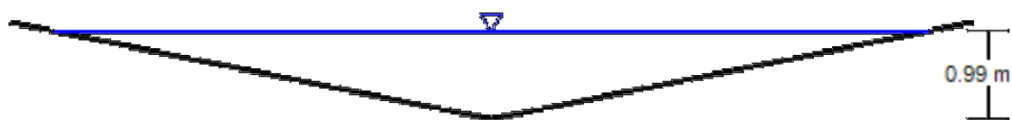
Results		
Normal Depth	0.99	m
Flow Area	4.93	m²
Wetted Perimeter	10.12	m
Hydraulic Radius	0.49	m
Top Width	9.93	m
Critical Depth	0.91	m
Critical Slope	0.01604	m/m
Velocity	1.77	m/s
Velocity Head	0.16	m
Specific Energy	1.15	m
Froude Number	0.80	
Flow Type	Subcritical	

GVF Input Data		
Downstream Depth	0.99	m
Length	310.00	m
Number Of Steps	20	

Rating Curve for C06 Triang T1



Cross Section for C06 Triang T1



C07 Triang T1

Project Description		
Friction Method	Manning Formula	
Solve For	Normal Depth	

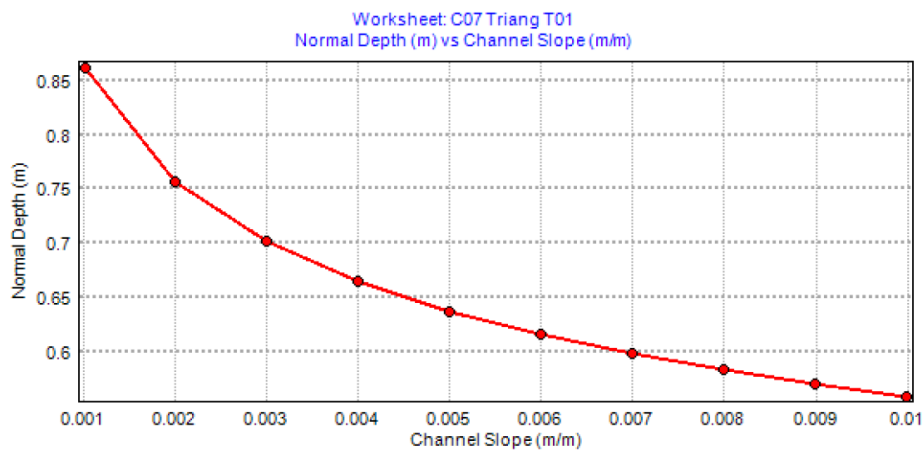
Input Data		
Roughness Coefficient	0.035	
Channel Slope	0.01470	m/m
Left Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Right Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Discharge	1.89	m ³ /s

Results		
Normal Depth	0.52	m
Flow Area	1.36	m ²
Wetted Perimeter	5.31	m
Hydraulic Radius	0.26	m
Top Width	5.21	m
Critical Depth	0.49	m
Critical Slope	0.01967	m/m
Velocity	1.39	m/s
Velocity Head	0.10	m
Specific Energy	0.62	m
Froude Number	0.87	
Flow Type	Subcritical	

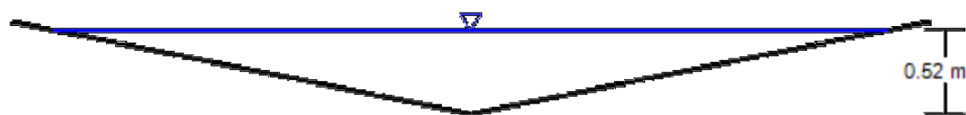
GVF Output Data		
Upstream Depth	0.52	m
Profile Description	M2	
Profile Headloss	5.04	m
Downstream Velocity	1.40	m/s
Upstream Velocity	1.39	m/s
Normal Depth	0.52	m
Critical Depth	0.49	m
Channel Slope	0.01470	m/m
Critical Slope	0.01967	m/m

GVF Input Data		
Downstream Depth	0.52	m
Length	343.00	m
Number Of Steps	20	

Rating Curve for C07 Triang T1



Cross Section for C07 Triang T1



C08 Triang T1

Project Description		
Friction Method	Manning Formula	
Solve For	Normal Depth	

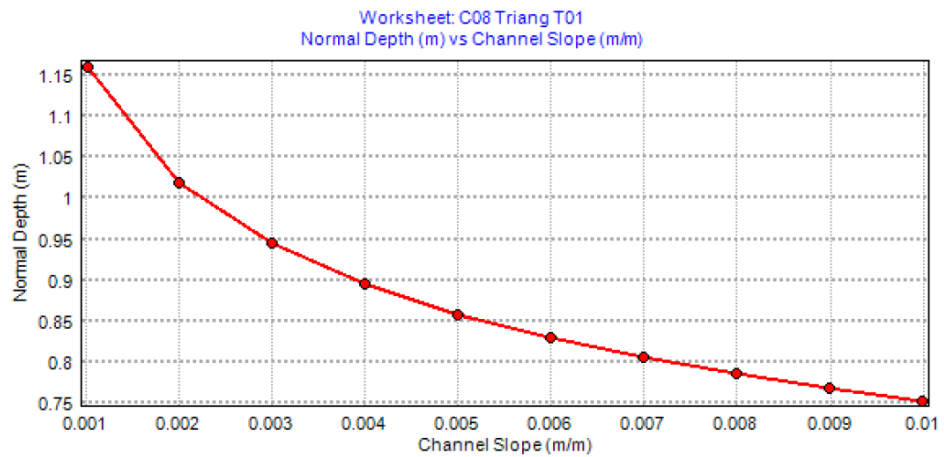
Input Data		
Roughness Coefficient	0.035	
Channel Slope	0.00650	m/m
Left Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Right Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Discharge	4.18	m³/s

GVF Output Data		
Upstream Depth	0.82	m
Profile Description	M1	
Profile Headloss	2.53	m
Downstream Velocity	1.24	m/s
Upstream Velocity	1.25	m/s
Normal Depth	0.82	m
Critical Depth	0.68	m
Channel Slope	0.00650	m/m
Critical Slope	0.01769	m/m

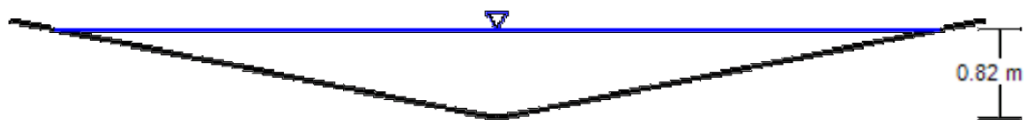
Results		
Normal Depth	0.82	m
Flow Area	3.34	m²
Wetted Perimeter	8.33	m
Hydraulic Radius	0.40	m
Top Width	8.17	m
Critical Depth	0.68	m
Critical Slope	0.01769	m/m
Velocity	1.25	m/s
Velocity Head	0.08	m
Specific Energy	0.90	m
Froude Number	0.63	
Flow Type	Subcritical	

GVF Input Data		
Downstream Depth	0.82	m
Length	390.00	m
Number Of Steps	20	

Rating Curve for C08 Triang T1



Cross Section for C08 Triang T01



C09 Triang T1

Project Description		
Friction Method	Manning Formula	
Solve For	Normal Depth	

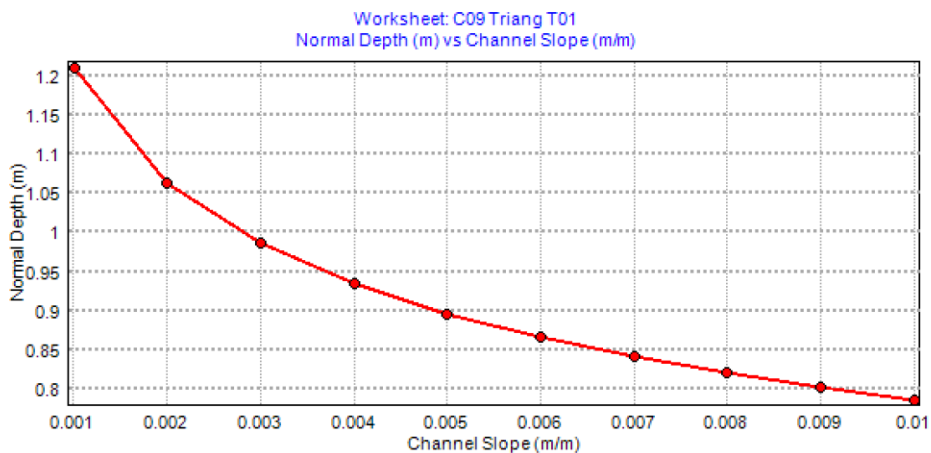
Input Data		
Roughness Coefficient	0.035	
Channel Slope	0.01490	m/m
Left Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Right Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Discharge	4.68	m³/s

GVF Output Data		
Upstream Depth	0.73	m
Profile Description	M1	
Profile Headloss	9.86	m
Downstream Velocity	1.76	m/s
Upstream Velocity	1.76	m/s
Normal Depth	0.73	m
Critical Depth	0.71	m
Channel Slope	0.01490	m/m
Critical Slope	0.01743	m/m

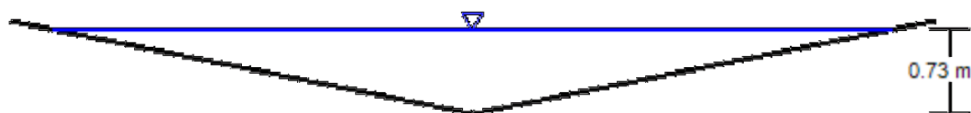
Results		
Normal Depth	0.73	m
Flow Area	2.66	m²
Wetted Perimeter	7.44	m
Hydraulic Radius	0.36	m
Top Width	7.30	m
Critical Depth	0.71	m
Critical Slope	0.01743	m/m
Velocity	1.76	m/s
Velocity Head	0.16	m
Specific Energy	0.89	m
Froude Number	0.93	
Flow Type	Subcritical	

GVF Input Data		
Downstream Depth	0.73	m
Length	662.00	m
Number Of Steps	30	

Rating Curve for C09 Triang T1



Cross Section for C09 Triang T1



C10 Triang T1

Project Description		
Friction Method	Manning Formula	
Solve For	Normal Depth	

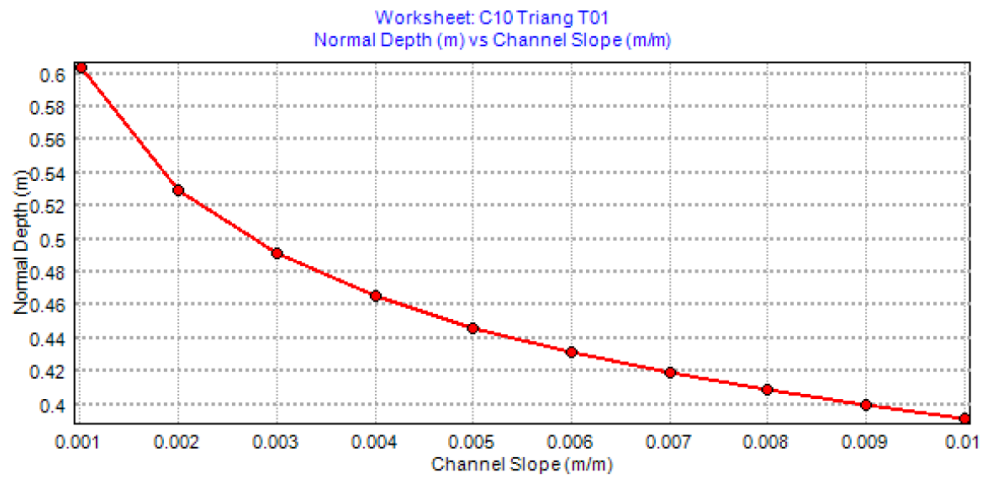
Input Data		
Roughness Coefficient	0.035	
Channel Slope	0.00210	m/m
Left Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Right Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Discharge	0.73	m³/s

GVF Output Data		
Upstream Depth	0.52	m
Profile Description	M2	
Profile Headloss	1.11	m
Downstream Velocity	0.54	m/s
Upstream Velocity	0.53	m/s
Normal Depth	0.52	m
Critical Depth	0.34	m
Channel Slope	0.00210	m/m
Critical Slope	0.02233	m/m

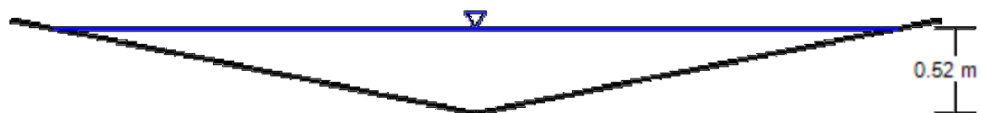
Results		
Normal Depth	0.52	m
Flow Area	1.38	m²
Wetted Perimeter	5.35	m
Hydraulic Radius	0.26	m
Top Width	5.25	m
Critical Depth	0.34	m
Critical Slope	0.02233	m/m
Velocity	0.53	m/s
Velocity Head	0.01	m
Specific Energy	0.54	m
Froude Number	0.33	
Flow Type	Subcritical	

GVF Input Data		
Downstream Depth	0.52	m
Length	527.00	m
Number Of Steps	20	

Rating Curve for C10 Triang T1



Cross Section for C10 Triang T01



C11 Triang T1

Project Description		
Friction Method	Manning Formula	
Solve For	Normal Depth	

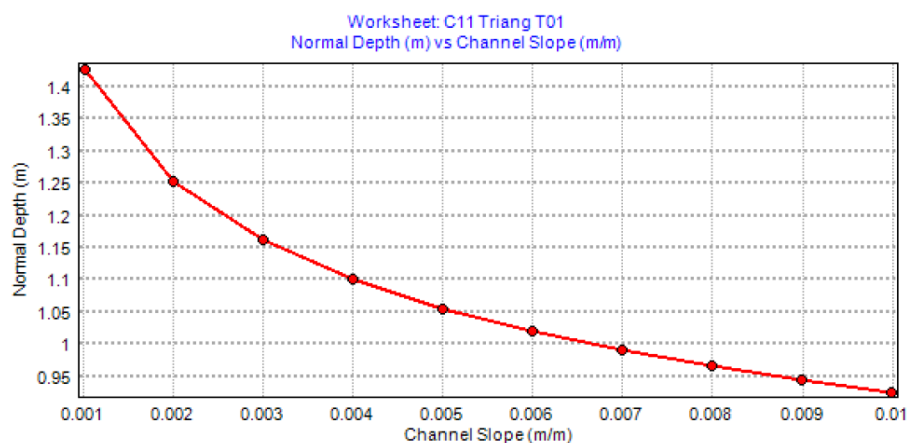
Input Data		
Roughness Coefficient	0.035	
Channel Slope	0.00150	m/m
Left Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Right Side Slope	5.00	m/m (H:V)
Discharge	7.25	m³/s

Results		
Normal Depth	1.32	m
Flow Area	8.75	m²
Wetted Perimeter	13.49	m
Hydraulic Radius	0.65	m
Top Width	13.23	m
Critical Depth	0.84	m
Critical Slope	0.01644	m/m
Velocity	0.83	m/s
Velocity Head	0.04	m
Specific Energy	1.36	m
Froude Number	0.33	
Flow Type	Subcritical	

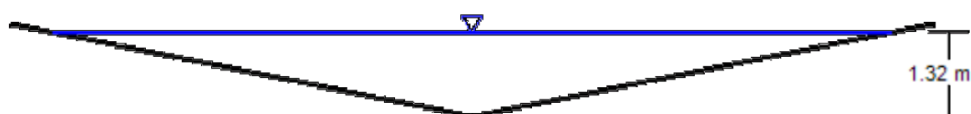
GVF Output Data		
Upstream Depth	1.32	m
Profile Description	M2	
Profile Headloss	0.98	m
Downstream Velocity	0.83	m/s
Upstream Velocity	0.83	m/s
Normal Depth	1.32	m
Critical Depth	0.84	m
Channel Slope	0.00150	m/m
Critical Slope	0.01644	m/m

GVF Input Data		
Downstream Depth	1.32	m
Length	650.00	m
Number Of Steps	30	

Rating Curve for C11 Triang T1



Cross Section for C11 Triang T1



9.4 ALCANTARILLAS

Se analizaron tres cruces, y se indican en las tablas siguientes los resultados obtenidos por modelación hidráulica.

9.4.1 Alternativa 1

Secciones Caños de Hormigón precomprimido D=600 mm y D=850 mm

TABLA 14: Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 01

Tabla 14 – Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 01											
Total Discharge (cm)	Culvert Discharge (cm)	Head Water Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tail Water Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tail Water Velocity (m/s)
0.10	0.10	717.66	0.14	0.20	0-M1t	0.14	0.14	0.18	0.18	0.73	0.65
0.21	0.21	717.76	0.22	0.30	0-M1t	0.20	0.20	0.23	0.23	1.04	0.78
0.32	0.32	717.73	0.28	0.37	0-M1t	0.26	0.26	0.27	0.27	1.29	0.87
0.43	0.43	717.90	0.35	0.44	0-M2t	0.31	0.30	0.30	0.30	1.50	0.94
0.54	0.54	717.96	0.40	0.50	0-M2c	0.35	0.34	0.34	0.33	1.65	0.99
0.65	0.65	718.02	0.46	0.56	0-M2c	0.40	0.37	0.37	0.35	1.76	1.04
0.73	0.73	718.06	0.50	0.60	0-M2c	0.44	0.39	0.40	0.37	1.85	1.07
0.87	0.87	718.15	0.56	0.69	0-M2c	0.53	0.43	0.43	0.39	1.99	1.12
0.98	0.98	718.22	0.61	0.76	0-M2c	0.60	0.46	0.46	0.41	2.11	1.15
1.09	1.09	718.32	0.65	0.86	2-M2c	0.60	0.48	0.48	0.43	2.24	1.18
1.20	1.20	718.44	0.70	0.98	2-M2c	0.60	0.50	0.50	0.45	2.37	1.21

Crossing - DRENAJES CAOS 600, Design Discharge - 0.73 cms
Culvert - ALC 01, Culvert Discharge - 0.73 cms

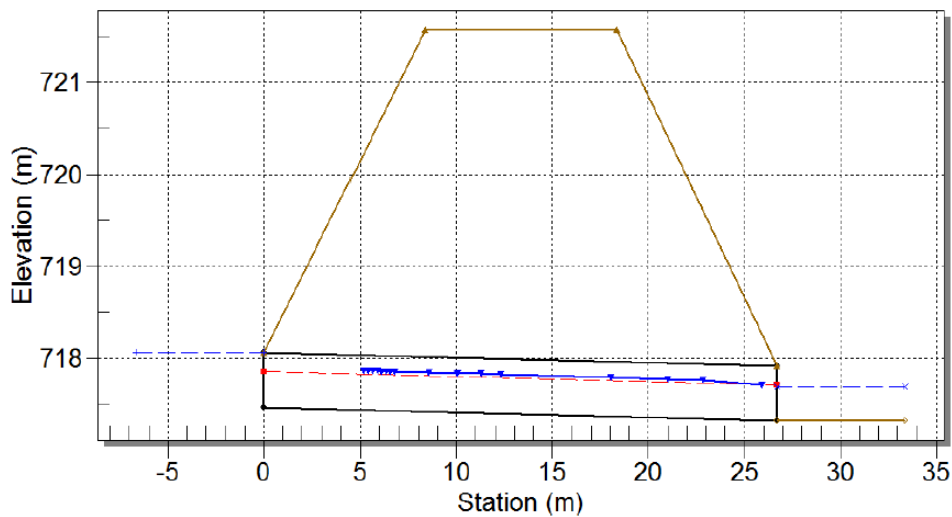


Figura 23: Sección Alcantarilla ALC 01

Crossing: DRENAJES CAOS 600
Front View (Not to scale)

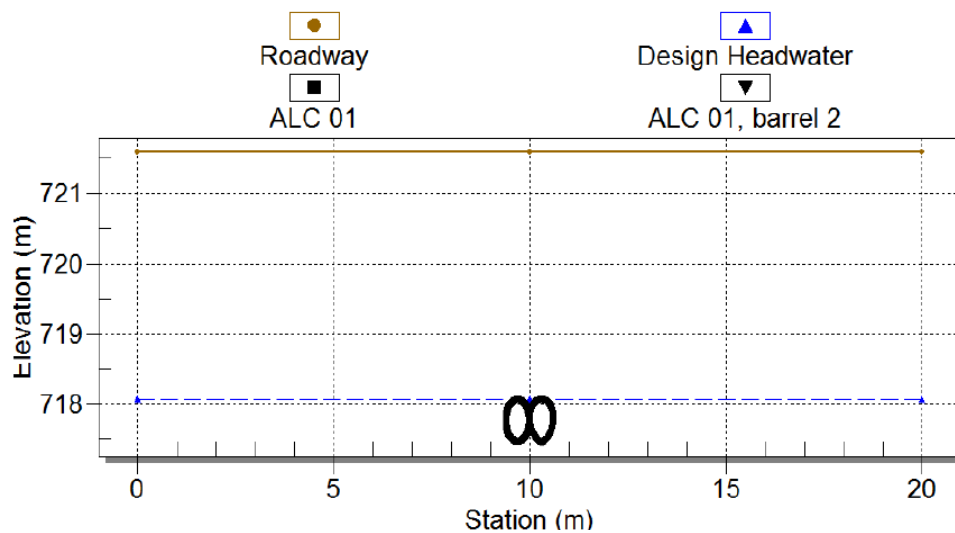


Figura 24: Sección Alcantarilla ALC 01

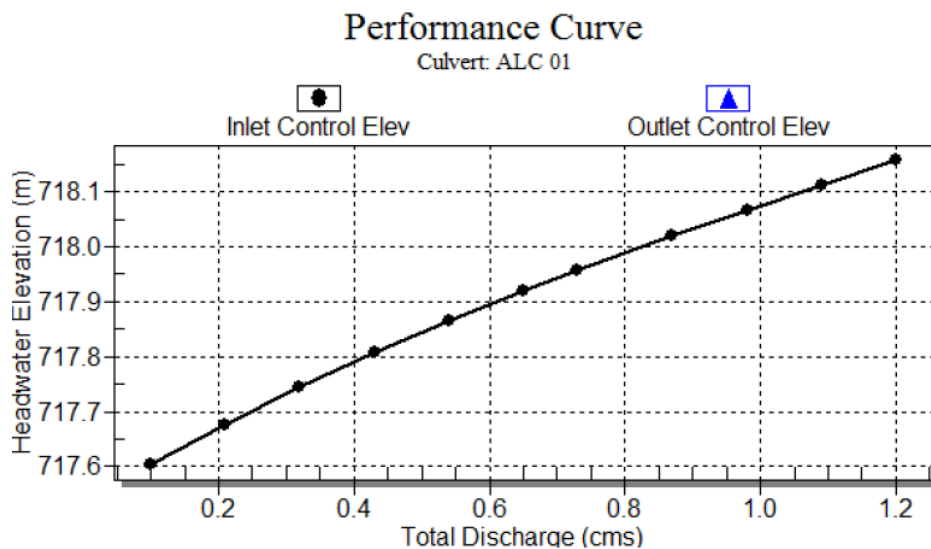


Figura 25: Curva de eficiencia hidráulica

TABLA 15: Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 02

Tabla 15 – Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 02											
Total Discharge (cm)	Culvert Discharge (cm)	Head Water Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tail Water Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tail Water Velocity (m/s)
0.10	0.10	714.67	0.14	0.0*	0-S2n	0.12	0.14	0.12	0.18	1.23	0.65
0.21	0.21	714.74	0.21	0.0*	0-S2n	0.18	0.20	0.18	0.23	1.52	0.78
0.32	0.32	714.81	0.28	0.0*	0-S2n	0.22	0.26	0.22	0.27	1.71	0.87
0.43	0.43	714.87	0.34	0.0*	0-S2n	0.26	0.30	0.26	0.30	1.86	0.94
0.54	0.54	714.93	0.40	0.0*	0-S2n	0.29	0.34	0.29	0.33	1.96	0.99
0.65	0.65	714.99	0.46	0.0*	0-S2n	0.33	0.37	0.33	0.35	2.05	1.04
0.76	0.76	715.04	0.51	0.0*	0-S2n	0.36	0.40	0.36	0.38	2.13	1.08
0.87	0.87	715.09	0.56	0.19	0-S2n	0.40	0.43	0.40	0.39	2.19	1.12
0.98	0.98	715.13	0.60	0.21	1-S2n	0.44	0.46	0.44	0.41	2.23	1.15
1.09	1.09	715.18	0.65	0.23	1-S2n	0.48	0.48	0.48	0.43	2.26	1.18
1.20	1.20	715.38	0.69	0.85	0-M2c	0.60	0.50	0.50	0.45	2.37	1.21

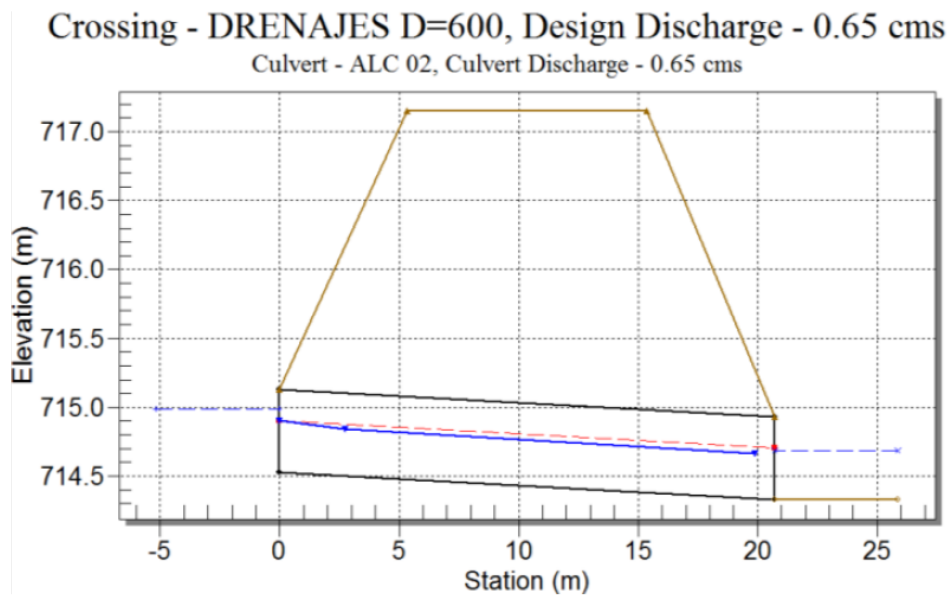


Figura 26: Sección Alcantarilla ALC 02

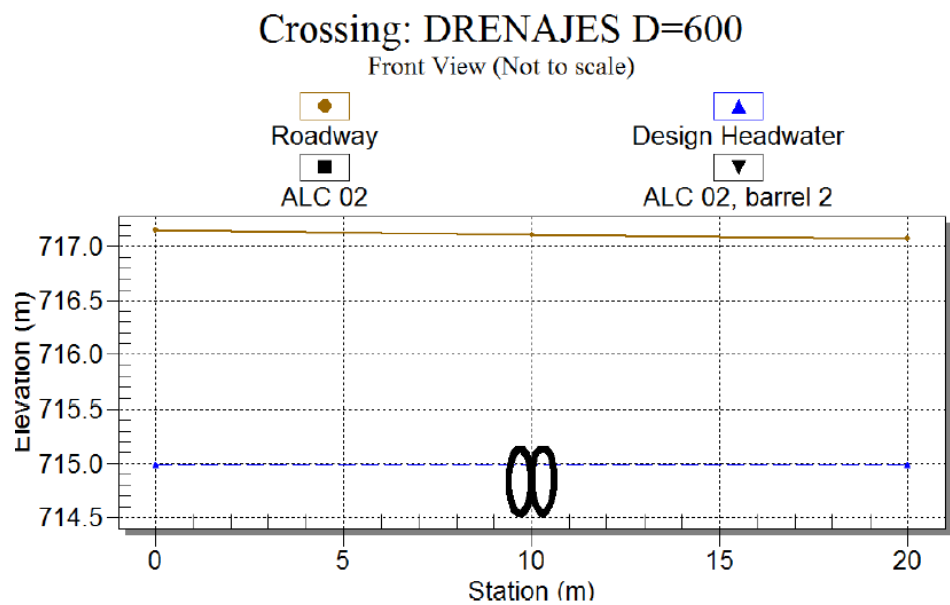


Figura 27: Sección Alcantarilla ALC 02

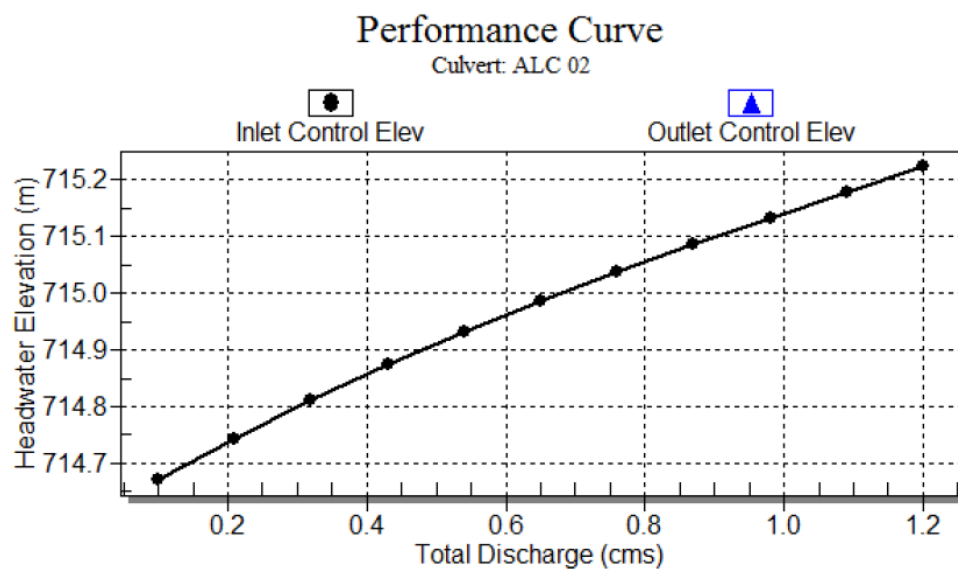


Figura 28: Curva de eficiencia hidráulica

TABLA 16: Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 03

Tabla 16 – Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 03											
Total Discharge (cm)	Culvert Discharge (cm)	Head Water Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tail Water Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tail Water Velocity (m/s)
0.10	0.10	708.98	0.15	0.18	O-M1t	0.12	0.12	0.18	0.18	0.59	0.65
0.25	0.25	709.09	0.21	0.29	O-M1t	0.20	0.20	0.25	0.25	0.91	0.82
0.40	0.40	709.17	0.28	0.37	O-M1t	0.26	0.26	0.30	0.30	1.14	0.92
0.55	0.55	709.24	0.35	0.35	O-M1t	0.31	0.30	0.33	0.33	1.34	0.99
0.70	0.70	709.30	0.41	0.41	O-M1t	0.35	0.35	0.36	0.36	1.51	1.06
0.85	0.85	709.36	0.47	0.56	O-M2t	0.39	0.38	0.39	0.39	1.66	1.11
1.00	1.00	709.41	0.52	0.61	O-M2c	0.43	0.42	0.42	0.42	1.79	1.16
1.15	1.15	709.47	0.58	0.67	O-M2c	0.47	0.45	0.45	0.44	1.88	1.20
1.30	1.30	709.51	0.62	0.71	O-M2c	0.51	0.48	0.48	0.46	1.96	1.23
1.45	1.44	709.56	0.67	0.76	O-M2c	0.55	0.51	0.51	0.48	2.04	1.27
1.48	1.47	709.57	0.68	0.77	O-M2c	0.56	0.51	0.51	0.48	2.06	1.27

Crossing: DRENAJES D=850

Front View (Not to scale)

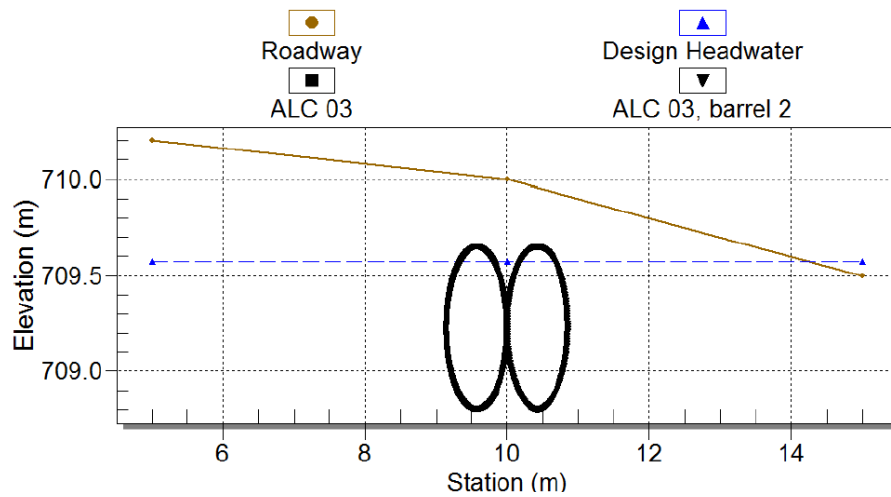


Figura 29: Alcantarilla ALC 03

Crossing - DRENAJES D=850, Design Discharge - 1.48 cms

Culvert - ALC 03, Culvert Discharge - 1.47 cms

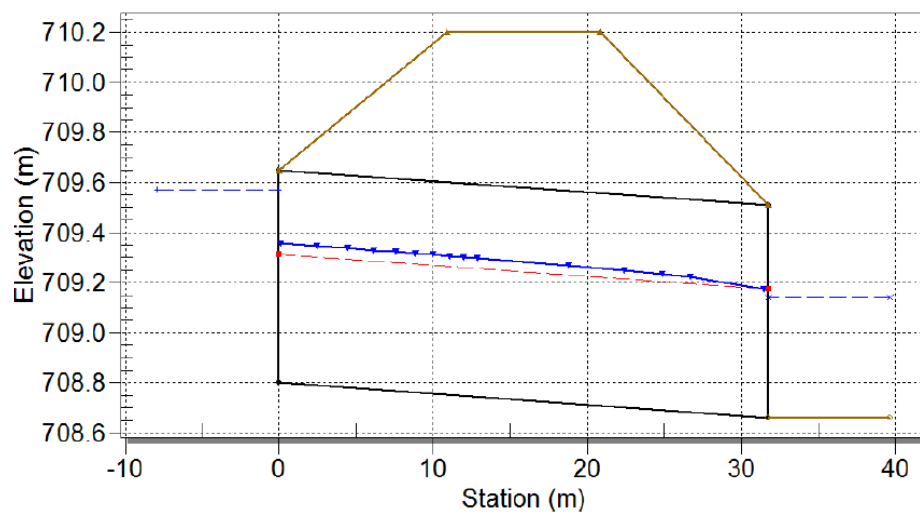


Figura 30: Sección Alcantarilla ALC 03

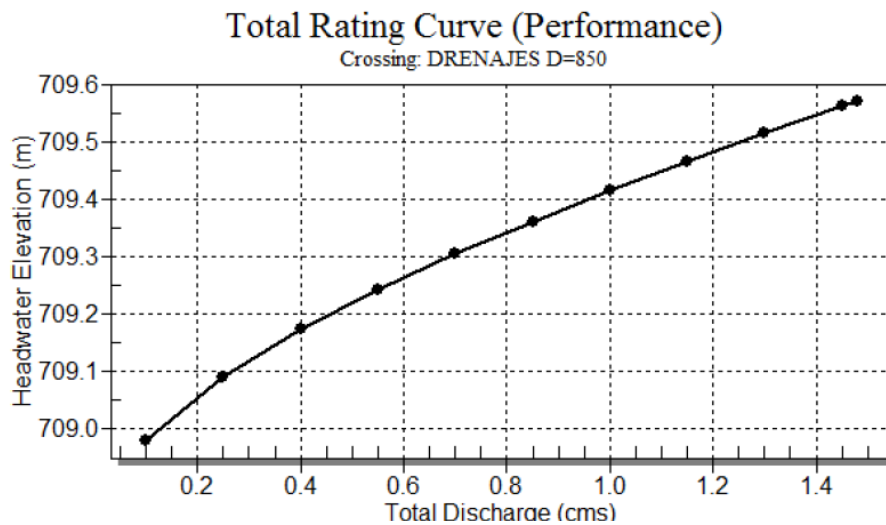


Figura 31: Curva de eficiencia hidráulica

9.4.2 Alternativa 2

Secciones Rectangulares de Hormigón Armado

TABLA 17: Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 01

Tabla 17 – Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 01											
Total Discharge (cm)	Culvert Discharge (cm)	Head Water Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tail Water Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tail Water Velocity (m/s)
0.10	0.10	717.59	0.13	0.0*	0-S2n	0.06	0.08	0.06	0.18	1.03	0.65
0.21	0.21	717.68	0.22	0.0*	0-S2n	0.11	0.13	0.11	0.23	1.33	0.78
0.32	0.32	717.74	0.28	0.0*	0-S2n	0.14	0.17	0.14	0.27	1.53	0.87
0.43	0.43	717.80	0.34	0.0*	0-S2n	0.17	0.20	0.17	0.30	1.72	0.94
0.54	0.54	717.86	0.40	0.0*	0-S2n	0.19	0.24	0.19	0.33	1.86	0.99
0.65	0.65	717.91	0.45	0.0*	0-S2n	0.22	0.27	0.22	0.35	1.98	1.04
0.73	0.73	717.95	0.49	0.0*	0-S2n	0.24	0.29	0.24	0.37	2.06	1.07
0.87	0.87	718.01	0.55	0.0*	0-S2n	0.27	0.33	0.27	0.39	2.18	1.12
0.98	0.98	718.07	0.61	0.0*	0-S2n	0.29	0.35	0.29	0.41	2.27	1.15
1.09	1.09	718.13	0.67	0.0*	0-S2n	0.31	0.38	0.31	0.43	2.35	1.18
1.20	1.20	718.19	0.73	0.0*	0-S2n	0.33	0.40	0.33	0.45	2.42	1.21

Crossing - DRENAJES ALC RECT H°A°, Design Discharge - 0.73 cms
 Culvert - ALC 01, Culvert Discharge - 0.73 cms

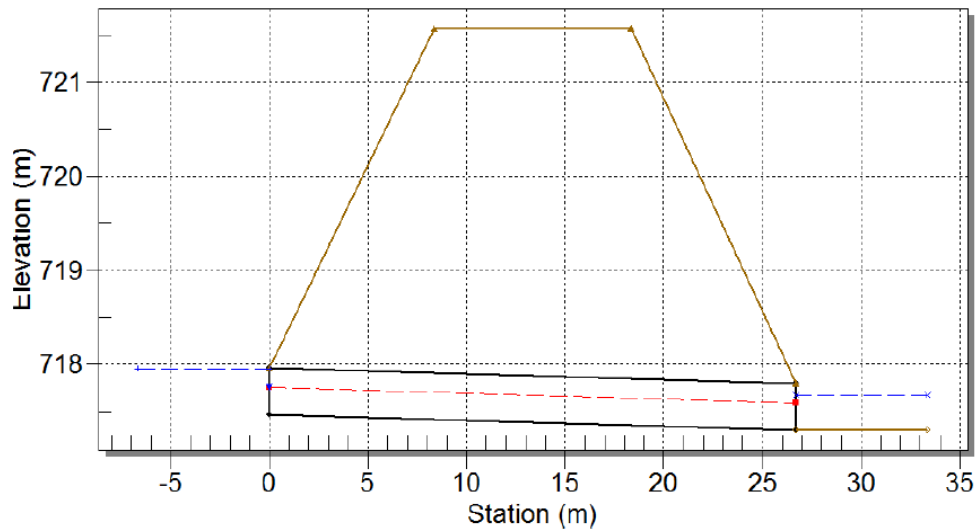


Figura 32: Sección Alcantarilla ALC 01

Crossing: DRENAJES ALC RECT H°A°
 Front View (Not to scale)

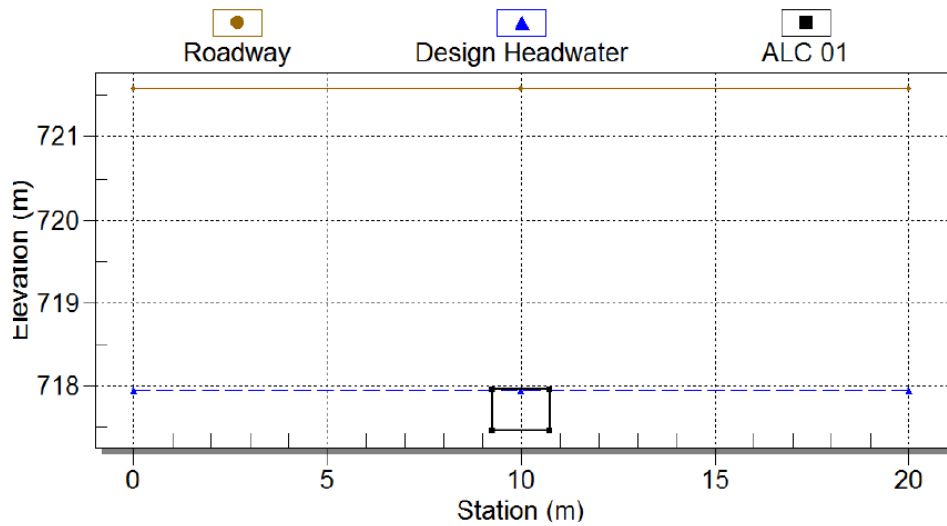


Figura 33: Sección Alcantarilla ALC 01

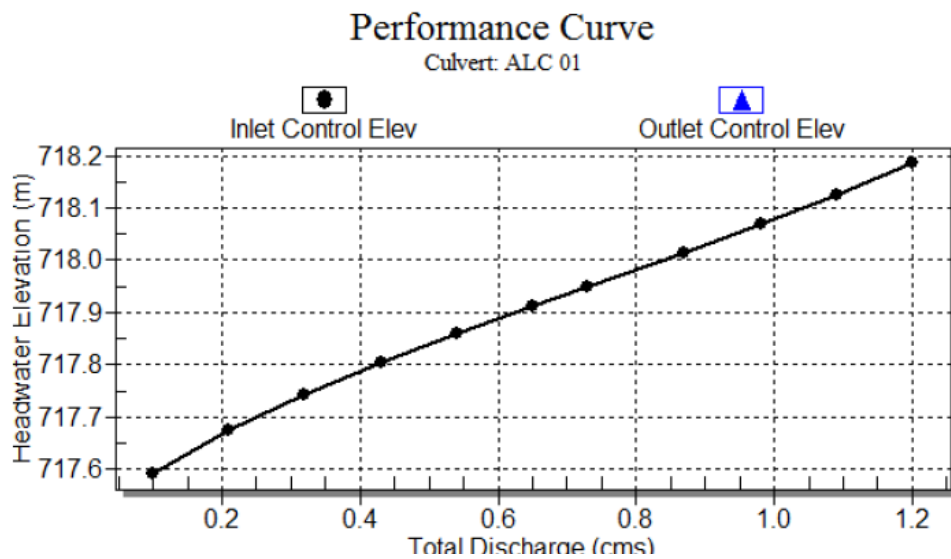


Figura 34: Curva de eficiencia hidráulica

TABLA 18: Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 02

Tabla 18 – Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 02											
Total Discharge (cm)	Culvert Discharge (cm)	Head Water Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tail Water Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tail Water Velocity (m/s)
0.30	0.30	714.80	0.27	0.0*	0-S2n	0.11	0.16	0.11	0.26	1.75	0.85
0.37	0.37	714.84	0.31	0.0*	0-S2n	0.13	0.18	0.13	0.29	1.91	0.90
0.44	0.44	714.88	0.35	0.0*	0-S2n	0.15	0.21	0.15	0.31	2.02	0.94
0.51	0.51	714.91	0.36	0.0*	0-S2n	0.16	0.23	0.16	0.32	2.12	0.98
0.58	0.58	714.95	0.42	0.0*	0-S2n	0.17	0.25	0.17	0.34	2.21	1.01
0.65	0.65	714.98	0.45	0.0*	0-S2n	0.19	0.27	0.19	0.35	2.32	1.04
0.72	0.72	715.01	0.48	0.0*	0-S2n	0.20	0.29	0.20	0.37	2.40	1.06
0.79	0.79	715.05	0.52	0.0*	1-S2n	0.21	0.31	0.21	0.38	2.47	1.09
0.86	0.86	715.08	0.55	0.0*	1-S2n	0.22	0.32	0.23	0.39	2.55	1.11
0.93	0.93	715.11	0.58	0.0*	1-S2n	0.24	0.34	0.24	0.40	2.62	1.13
1.00	1.00	715.75	0.62	0.0*	1-S2n	0.25	0.36	0.25	0.42	2.68	1.16

Crossing - DRENAJES ALC. REC. H°A°, Design Discharge - 0.65 cms
Culvert - ALC 02, Culvert Discharge - 0.65 cms

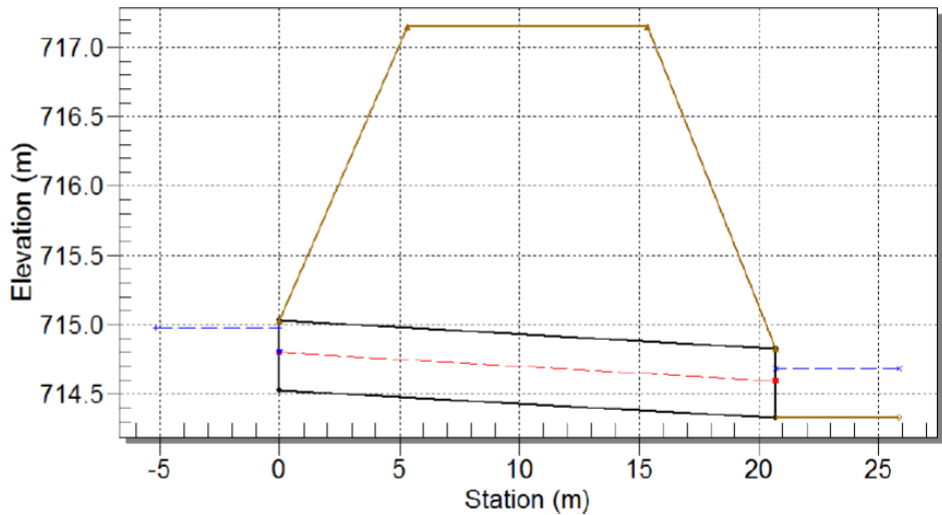


Figura 35: Sección Alcantarilla ALC 02

Crossing: DRENAJES ALC. REC. H°A°
Front View (Not to scale)

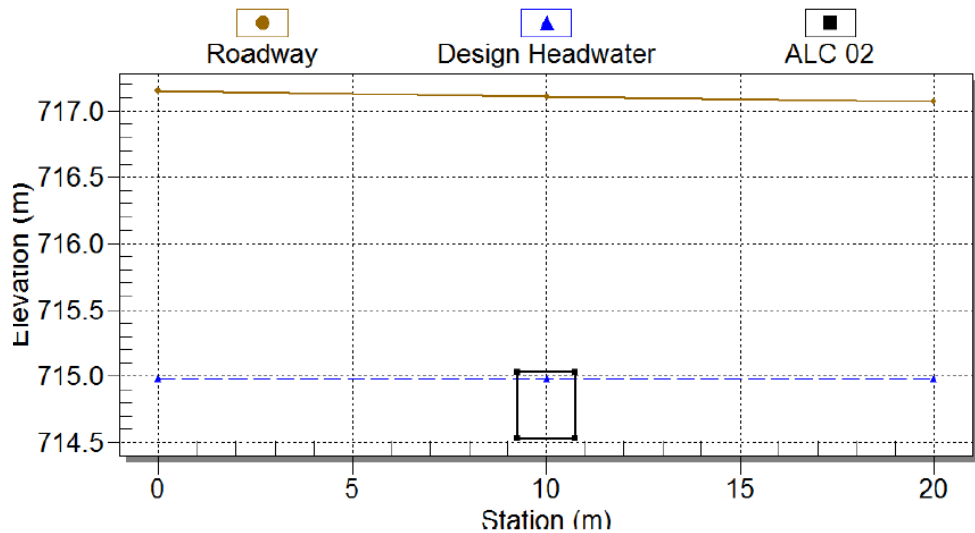


Figura 36: Sección Alcantarilla ALC 02

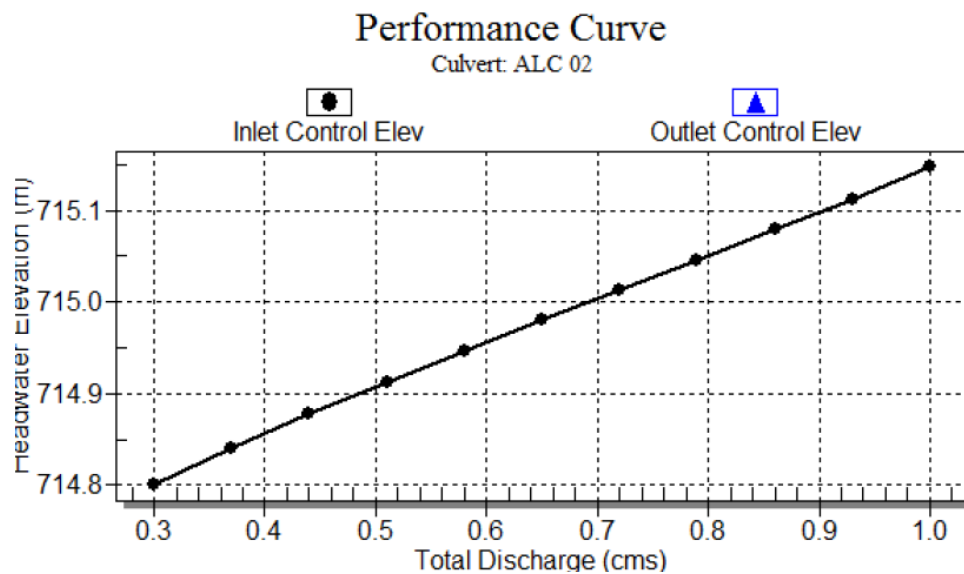


Figura 37: Curva de eficiencia hidráulica

TABLA 19: Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 03

Tabla 19 – Resultados Hidráulicos Alcantarilla ALC 03											
Total Discharge (cm)	Culvert Discharge (cm)	Head Water Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tail Water Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tail Water Velocity (m/s)
0.10	0.10	708.91	0.11	0.0*	0-S2n	0.06	0.06	0.06	0.18	0.83	0.65
0.25	0.25	709.00	0.20	0.0*	0-S2n	0.12	0.11	0.11	0.25	1.13	0.82
0.40	0.40	709.07	0.27	0.0*	0-S2n	0.15	0.16	0.16	0.30	1.32	0.92
0.55	0.55	709.13	0.33	0.0*	0-S2n	0.19	0.20	0.19	0.33	1.46	0.99
0.70	0.70	709.19	0.39	0.0*	0-S2n	0.22	0.23	0.22	0.36	1.59	1.06
0.85	0.85	709.25	0.45	0.32	0-S1t	0.25	0.26	0.39	0.39	1.09	1.11
1.00	1.00	709.30	0.50	0.0*	0-S2n	0.28	0.29	0.28	0.42	1.77	1.16
1.15	1.15	709.35	0.55	0.0*	1-S2n	0.31	0.32	0.31	0.44	1.85	1.20
1.30	1.30	709.41	0.61	0.0*	1-S2n	0.34	0.35	0.35	0.46	1.85	1.23
1.45	1.45	709.46	0.66	0.0*	1-S2n	0.37	0.38	0.38	0.48	1.92	1.27
1.48	1.48	709.48	0.68	0.0*	1-S2n	0.37	0.38	0.38	0.48	1.93	1.27

Crossing - DRENAJES ALC. RECT. H°A°, Design Discharge - 1.48 cms
 Culvert - ALC 03, Culvert Discharge - 1.48 cms

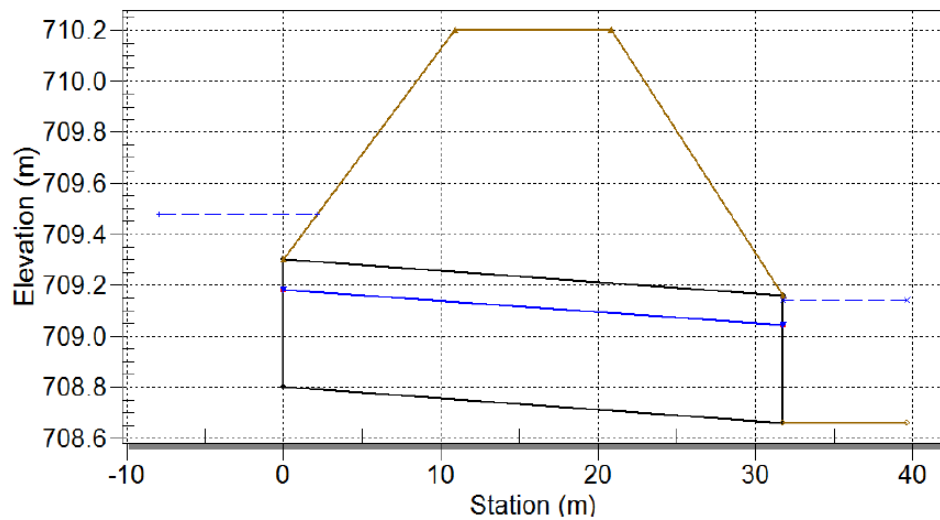


Figura 38: Sección Alcantarilla ALC 03

Crossing: DRENAJES ALC. RECT. H°A°
 Front View (Not to scale)

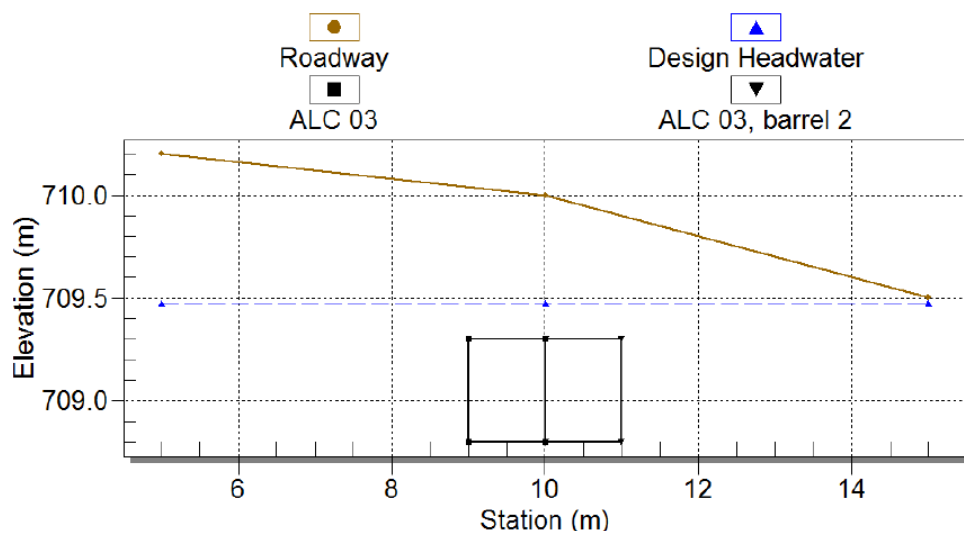


Figura 39: Sección Alcantarilla ALC 03

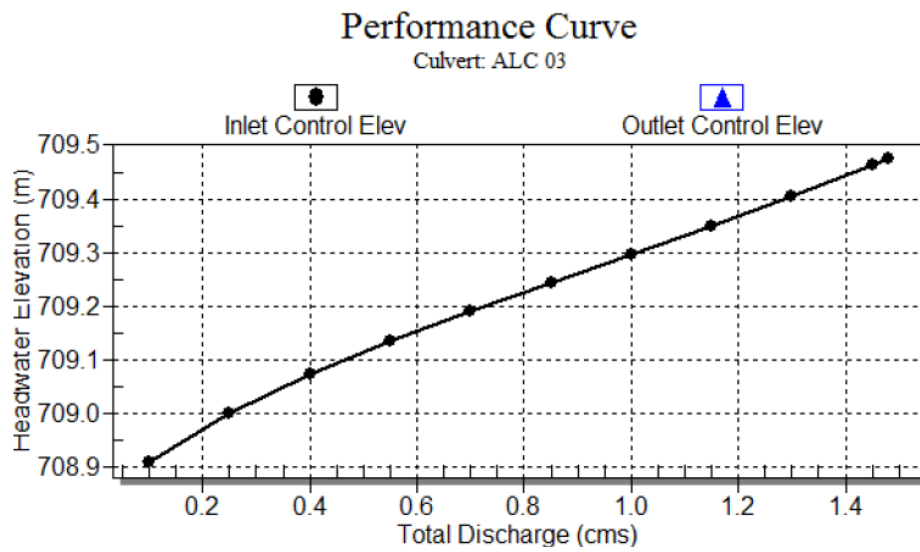
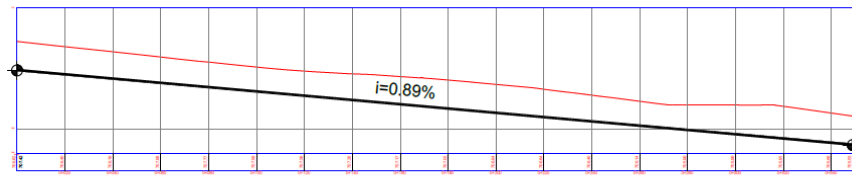


Figura 40: Curva de eficiencia hidráulica

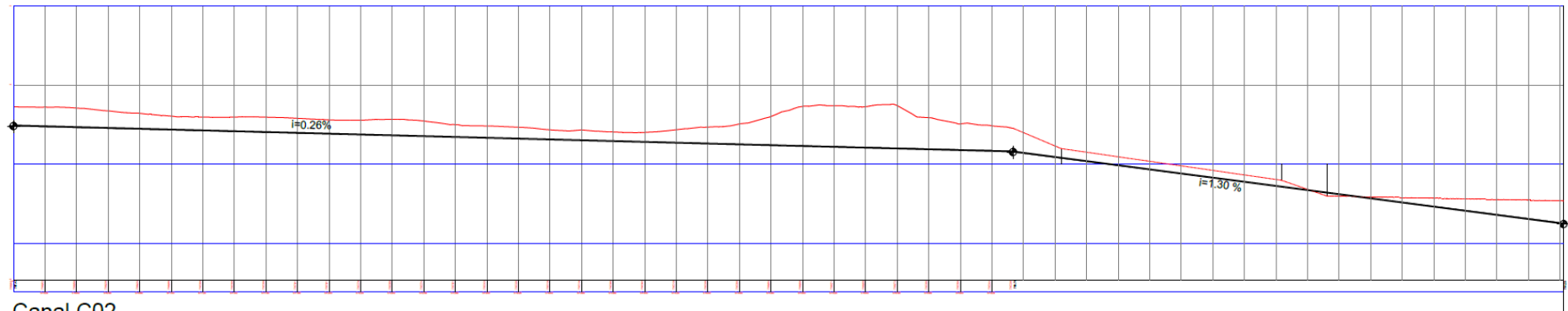
6.4.3 Elección de Alternativa para alcantarillas

Debido a criterios económicos, se opta por la Alternativa 1, consistente en el uso de caños de hormigón precomprimido de 600 y 850 mm de diámetro.

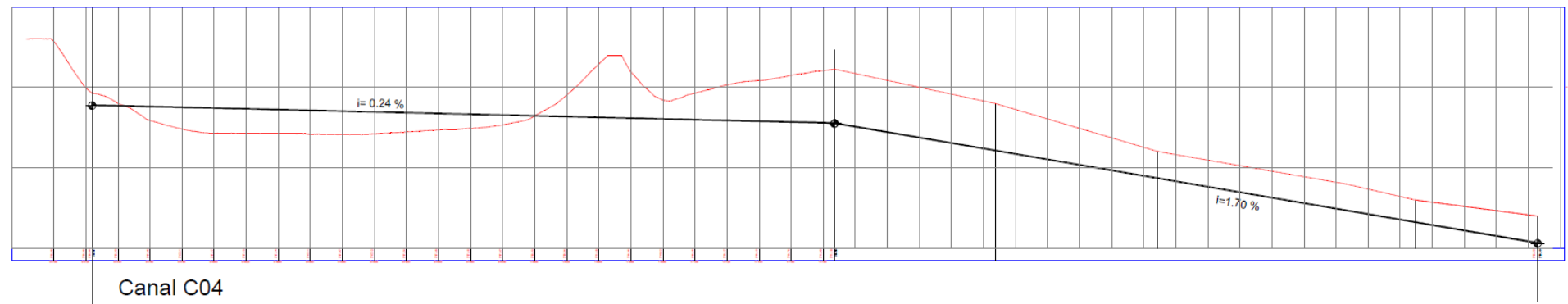
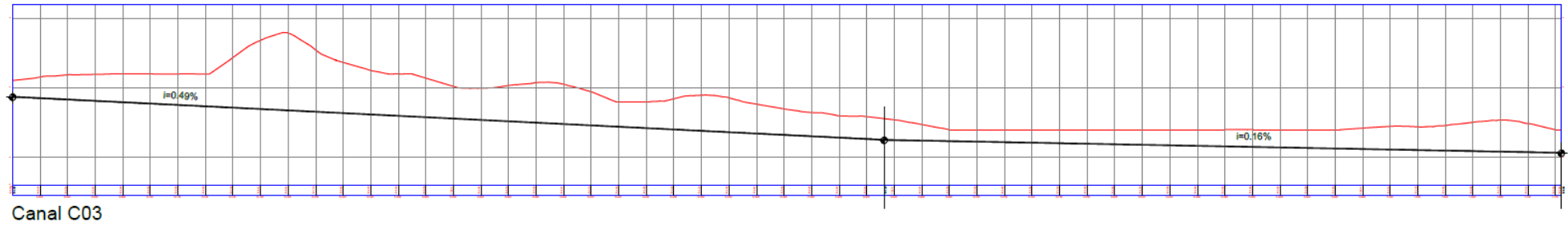
6.4.4 Perfiles Longitudinales con rasante de proyecto

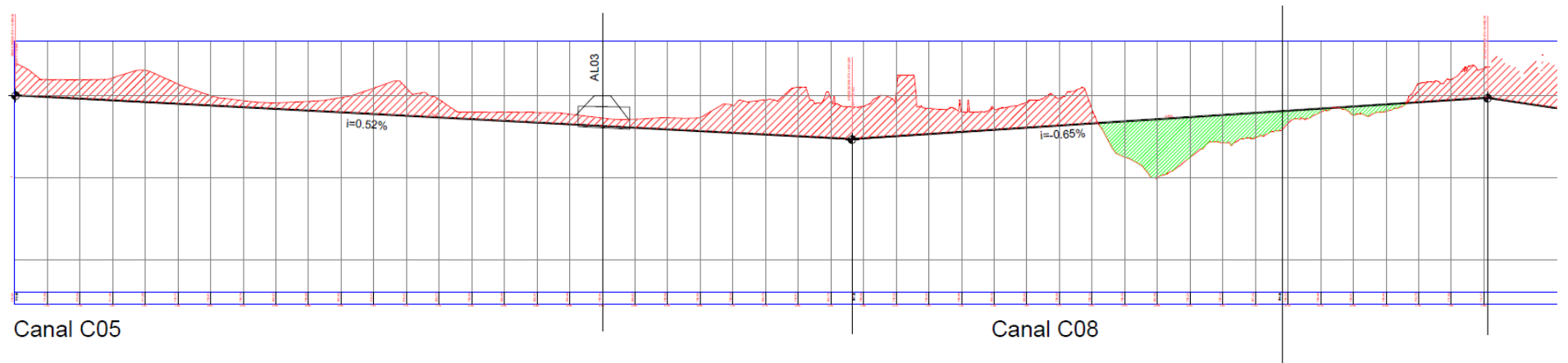


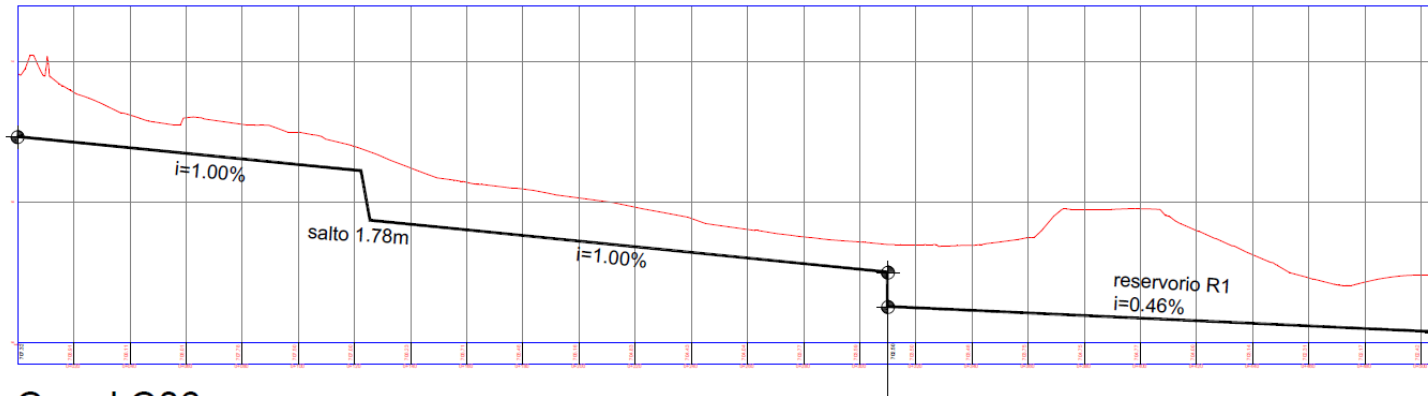
Canal C01



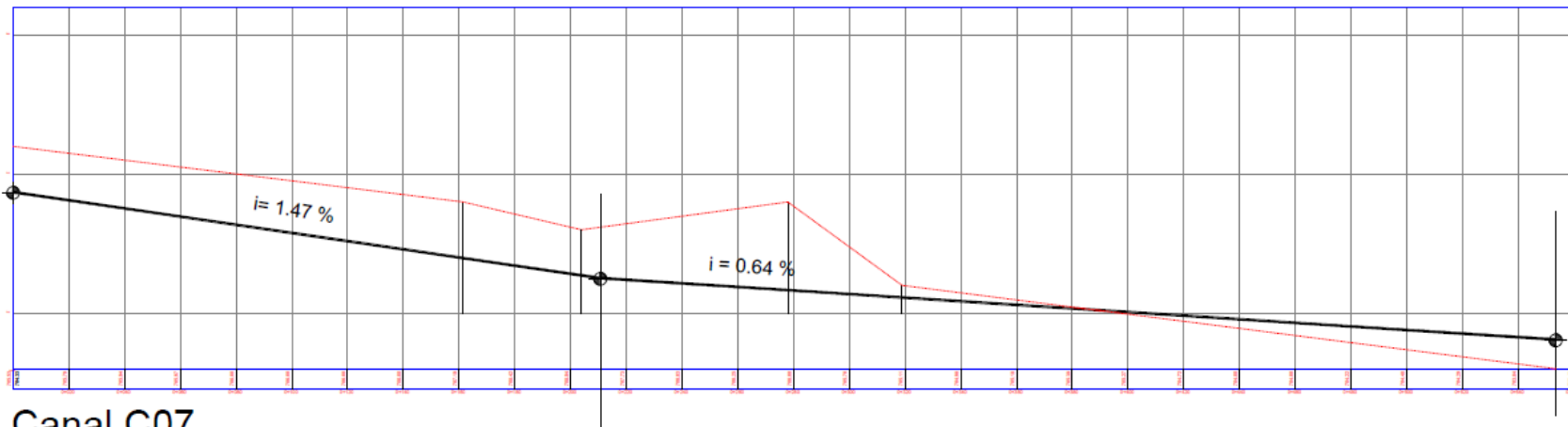
Canal C02



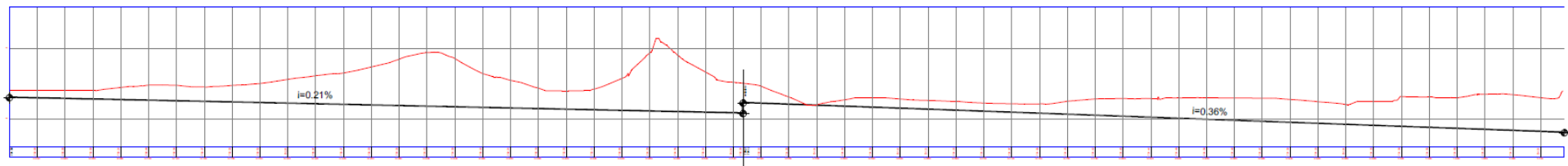
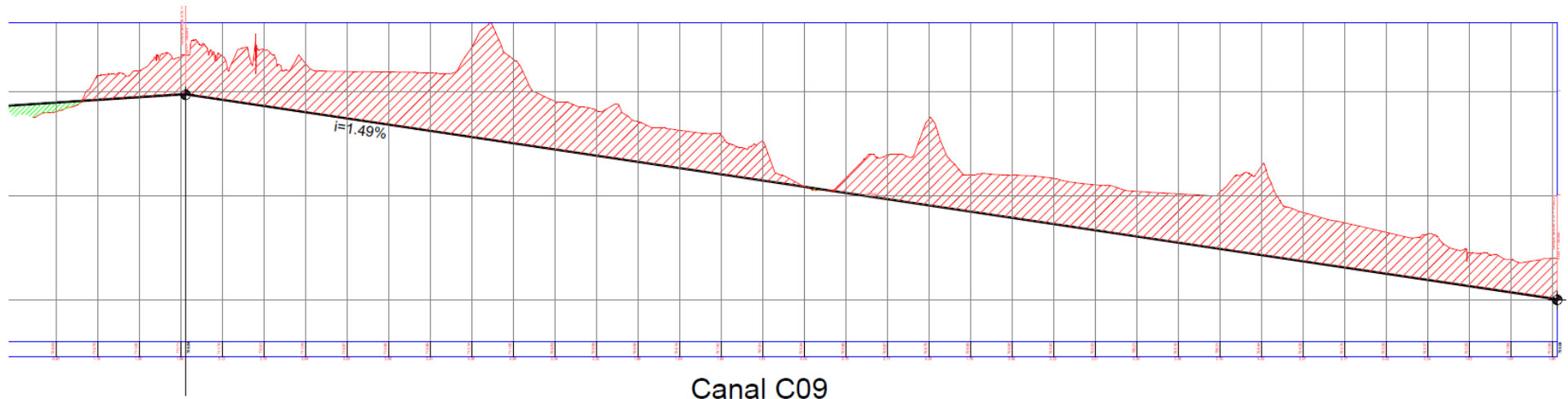




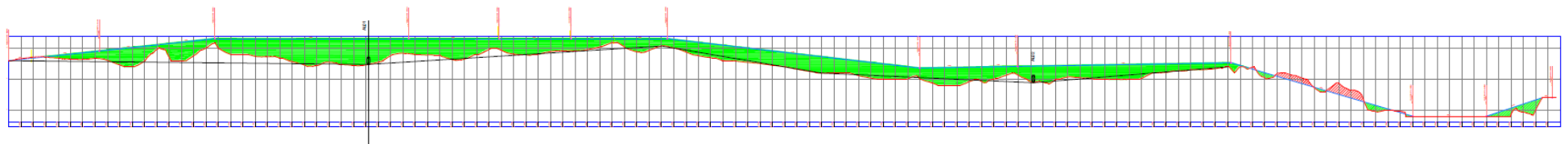
Canal C06



Canal C07



CAMINO ACCESO



10. ANÁLISIS DE EROSIONES

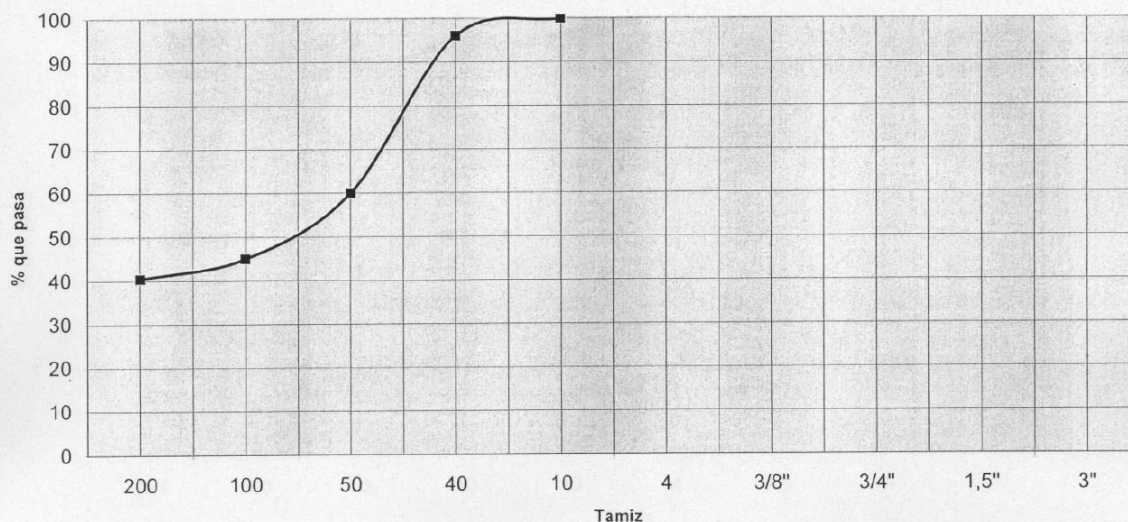
Según estudios geotectónicos realizados (Pietro, 2009), existe un estrato de 1,3 m de material arenas limosas (SM) y otras zonas con un estrato de 1,7 m de limos arcillosos (ML) y otras zonas con estratos de 1,1 m de arenas con gravas mal graduadas o arenas limosas (SP SM)

JORGE RAUL PRIETO - JUAN ANDRES PRIETO INGENIEROS CIVILES		ESTUDIO GEOTECNICO - OBRA:		PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS - Ruta Nac. N° 49 s/N° Oto. Espije - Dpto. Las Heras - MENDOZA		FECHA: MAYO 2009	SONDEO N° P-1
PROFUNDIDAD	COTA	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL SUELO	ENSAYO DE PENETRACION STANDARD S.P.T. Penetración (cm) ----- Número de golpes -----	HUMEDAD NATURAL LIMITE LIQUIDO ----- LIMITE PLASTICO -----	PASA TAMIZ N° T=40 -----X-----X-----X----- T=200 -----	$\gamma_h - \gamma_d$ (gr/cm ³)	OBSERVACIONES
0.00		Arena fina algo limosa	SM			1.606 1.490	En el ensayo SPT N=n° de golpes de los ultimos 30cm
0.50							
1.00			15				
1.30		Limo inorganico sin plasticidad.	ML			1.576 1.425	
1.50							
2.00			17			1.500 1.455	
2.50							
3.00		Cota final de perforacion	18				

PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS
Dto. Espejo - Dpto. Las Heras - MENDOZA

CURVA GRANULOMETRICA

Suelo: Arena fina algo limosa tipo SM

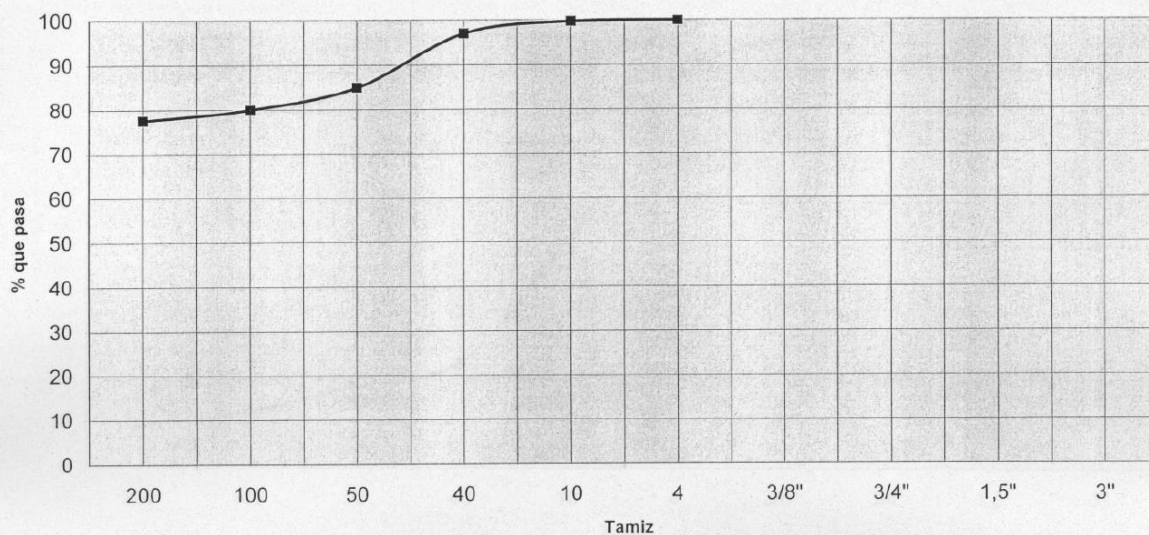


JORGE RAUL PRIETO - JUAN ANDRES PRIETO INGENIEROS CIVILES		ESTUDIO GEOTECNICO - OBRA:		PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS - Ruta Noc. N° 40 s/N Dto. Espejo - Dpto. Las Heras - MENDOZA		FECHA: MAYO 20	
PROFUNDIDAD	COTA	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL SUELO	ENSAYO DE PENETRACION STANDARD S.P.T. Penetración [cm] --- Número de golpes	HUMEDAD NATURAL --- LIMITE LIQUIDO --- LIMITE PLASTICO	PASA TAMIZ N° T=40 ---X---X---X--- T=200	$\gamma_h - \gamma_d$ (gr/cm ³)	Observaciones
0,00		Limo inorganico arcilloso con baja plasticidad	ML			1.541	En e N=n° de lo
0,30		Limo inorganico arcilloso con plasticidad media, semicompacto	ML			1.458	
0,50						1.652	
1,00			42			1.460	
1,50							
1,70		Tosca, compacta y consolidada					
2,00			>50				
2,50		Cota final de perforacion					

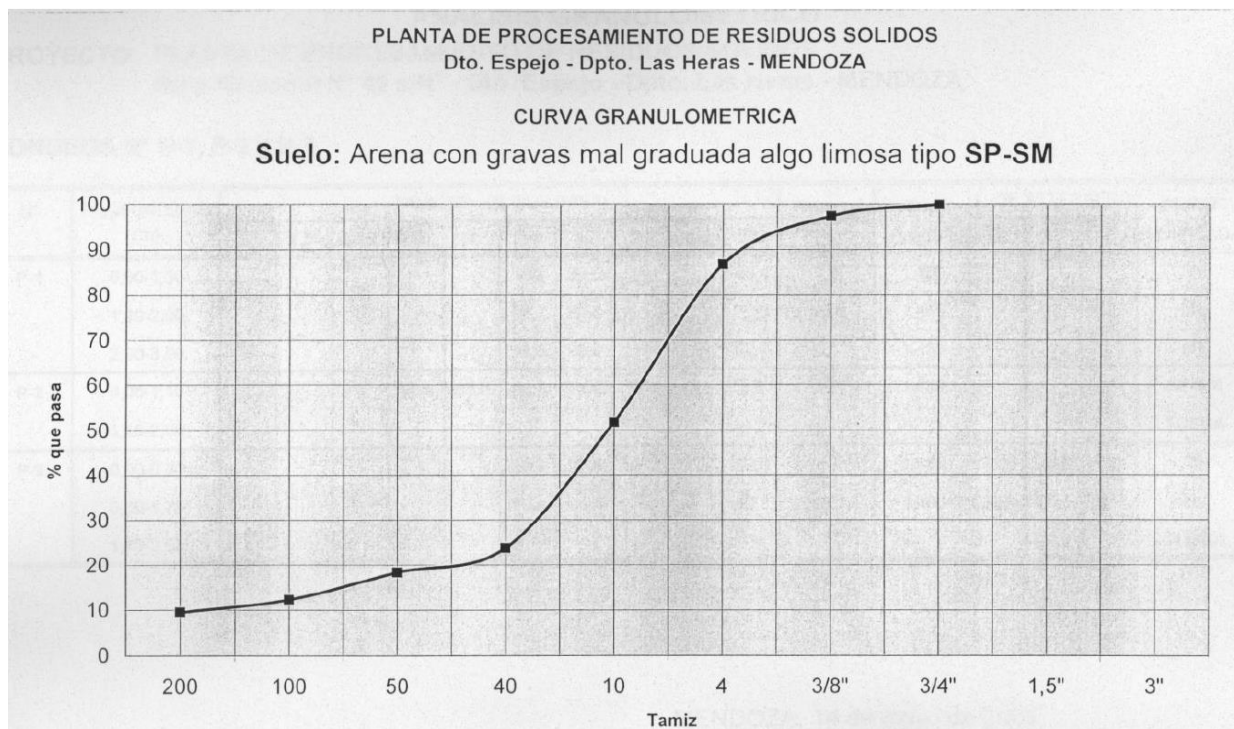
PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS
Dto. Espejo - Dpto. Las Heras - MENDOZA

CURVA GRANULOMETRICA

Suelo: Limo inorganico tipo ML



JORGE RAUL PRIETO - JUAN ANDRES PRIETO INGENIEROS CIVILES			ESTUDIO GEOTECNICO - OBRA:			PLANTA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS - Ruta Nac. N° 40 s/N° Dto. Espejo - Dpto. Las Heras - MENDOZA			FECHA: MAYO 2009		SONDEO N° P-2	
Profundidad	COTA	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL SUELO	ENSAYO DE PENETRACION STANDARD S.P.T.		HUMEDAD NATURAL		PASAJE TAMIZ N°		7h-γd (gr/cm3)		OBSERVACIONES	
			Penetración [cm] Número de golpes		LIMITE LIQUIDO LIMITE PLASTICO		T=40 -X-X-X-X-X- T=200					
0.00		Arena con gravas mal graduado algo limosa	SP SM							1.507 1.480	En el ensayo SPT N=n° de golpes de los ultimos 30cm	
0.50												
1.00				42								
1.10												
1.50		Tosca, compacta y consolidada										
2.00		Cota final de perforacion		>50								



Según estudio geotectónico (Maldonado, 2013), se tiene para el Módulo 1, un estrato entre 3,7 a 4 m de arenas limosas (SM) y una zona con 6 m de limos arcillosos.

PERFIL ESTRATIGRAFICO N°2 (Coordenadas S = 32° 46' 54"
Obra: Anteproyecto SGIRSU, Área Metropolitana, Campa I

Profundidad	Espesores	Litología	Densidad Relativa ó Consistencia
mts.	mts.		
	2,90	SM	Media en estado natural.
-2,90	0,20	SM	Baja en estado natural.
-3,10	0,50	SM	Alta en estado natural.
-3,70	2,30	ML	Media en estado natural.
-6,00			

PERFIL ESTRATIGRAFICO N°3 (Coordenadas S = 32° 46' 4"
Obra: Anteproyecto SGIRSU, Área Metropolitana, Campa I

Profundidad	Espesores	Litología	Densidad Relativa ó Consistencia
mts.	mts.		
	1,80	SM	Media en estado natural.
-1,80	0,40	SM	Baja en estado natural.
-3,20	0,80	SM	Alta en estado natural.
-4,00	2,30	ML	Media en estado natural.
-6,00			

PERFIL ESTRATIGRAFICO N°4 (Coordenadas S = 32° 46' 12"
Obra: Anteproyecto SGIRSU, Área Metropolitana, Campa E

Profundidad	Espesores	Litología	Densidad Relativa ó Consistencia
mts.	mts.		
	6,00	ML	Media en estado natural.
-6,00			

PERFIL ESTRATIGRAFICO					Fecha: Setiembre 2013										Observaciones: SPT: Standard penetration test NP: No plástico. Se realizó ensayo de Placa. Se practicó refracción sísmica superficial y geoelectrónica							
Proyecto: Sistema de Gestion Integral de RSU, para el Área Metropolitana de Mza					Tipo de perforación: A cielo abierto																	
Profundidad mts.	Espesores mts.	Litología	Densidad Relativa ó Consistencia	Características Sobresalientes	Penetración SPT					Nº Golpes	Humedad %	Granulometría				Lim. consistencia			Densidad	Angulo Fricción	Cohesion KN/m2	
					0	10	20	30	40			50	T4	T10	T40	T200	L.L.	L.P.				I.P.
-1.70	1,70		Baja	Son suelos limo arenoso, practicamente sin plasticidad, muy sensibles a los cambios de humedad.						10	8,24	100,00	100,00	90,47	54,07				np	18,00	18°	10,00
-2.70	1,00		Media	Arena mal graduada, con características redondeadas y tamaño máximo 1". Bajo tenor de humedad, color gris claro.						27	3,89	86,48	74,65	30,71	4,77				np	19,02	30°	0,00
-3.00	0,30		Baja	Son suelos limo arenoso, practicamente sin plasticidad, muy sensibles a los cambios de humedad.						9	8,24	100,00	100,00	90,47	54,07				np	18,00	18°	10,00
-4.00	1,00		Media	Arena mal graduada, con características redondeadas y tamaño máximo 1". Bajo tenor de humedad, color gris claro.						29	3,89	86,48	74,65	30,71	4,77				np	19,02	30°	0,00

Figura 41: Perfiles estratigráficos PE1, PE2 y PE3 (Sondeos UTN-FRM, 2004)

El resto de los sondeos exploratorios realizados indican suelos de las características de las arenas finas (SM) y los limos (ML), con la presencia de lentes de arenas y gravas mal graduadas. En algunas zonas aparece tosca a 2,3 m de profundidad.

En resumen, para una estimación de erosiones de los canales a excavar, (con una profundidad máxima de 1,5 m de excavación), se tiene el siguiente cuadro:

TABLA 20: Propiedades granulométricas de suelos para estimación de erosiones generalizadas

Tabla 20 – Propiedades granulométricas de suelos para estimación de erosiones generalizadas				
Material	Estrato (m)	Tamiz	%	d84 (mm)
SM	1.7	T40/T50	96/60	0.37
ML	1.7	T40/T200	90.47/54.07	0.36
ML	1.7	T40/T50	97/85	0.27
SP-SM	1.	T4/T10	87/52	4.51

10.1 CÁLCULO DE LA EROSIÓN GENERAL

La erosión generalizada de un tramo de cauce, producto del incremento de la capacidad de transporte de la corriente durante el pasaje de la crecida, puede ser determinante de la puesta en riesgo, y aún del colapso, de estructuras de corrección de torrentes tales como puentes, defensas de márgenes, conductos enterrados, etc. En aquellas circunstancias en las que se requiera una determinación expeditiva, o en las que falte la información apropiada para el uso de modelos matemáticos, resulta aconsejable el uso de formulaciones semiempíricas que evalúen el estado final de equilibrio de una sección representativa de un tramo de cauce para determinadas condiciones de corriente.

En el presente estudio se adoptó el criterio propuesto por Lischtván y Lebediev modificado por Maza.

La ecuación adoptada por este método, para establecer la velocidad de equilibrio en un lecho no cohesivo, hace que el cálculo sea tanto aplicable a situaciones de erosión con agua clara o con transporte generalizado. (Schreider et al, 2002).

Los datos obtenidos a partir de una situación modelada de un río de montaña, permitió comprobar que la ecuación de Lischtvan y Lebediev representa adecuadamente las erosiones observadas si el proceso se desarrolla en condiciones de agua clara. Un análisis de la ecuación de velocidad de equilibrio que el método propone permite extender esta conclusión a la mayoría de las situaciones de prototipo que se pueden verificar en ríos con lecho de gravas. (Schreider et al, 2001).

Para la determinación de las profundidades de erosión general, este criterio establece que el mecanismo de erosión se detendrá cuando la velocidad de escurrimiento (V_r) se reduzca hasta un punto tal en que iguale a la velocidad mínima de equilibrio (U_e).

Hipótesis de equilibrio:

$$V_r = U_e$$

Donde:

V_r : es la velocidad media del flujo (m/s)

U_e : es la velocidad de equilibrio para el movimiento de las partículas del lecho (m/s)

La hipótesis fundamental sobre la cual se funda el método establece que la distribución transversal de caudales de una sección se mantiene invariable durante todo el desarrollo del proceso erosivo.

La velocidad media de la corriente en función de la profundidad, para cada punto de la sección, es considerada por esta teoría a partir de la ecuación de Manning, del siguiente modo:

$$V_r = \alpha \cdot \frac{h_0^{5/3}}{h_s}$$

$$\alpha = \frac{Q}{B_e \cdot h_m^{5/3}}$$

Donde:

h_0 : es la profundidad inicial (m)

h_s : es la profundidad después de la socavación (m)

Q: es el caudal de diseño (m²/s)
B_e: es el ancho superficial efectivo (m)
h_m: es la profundidad media (m)

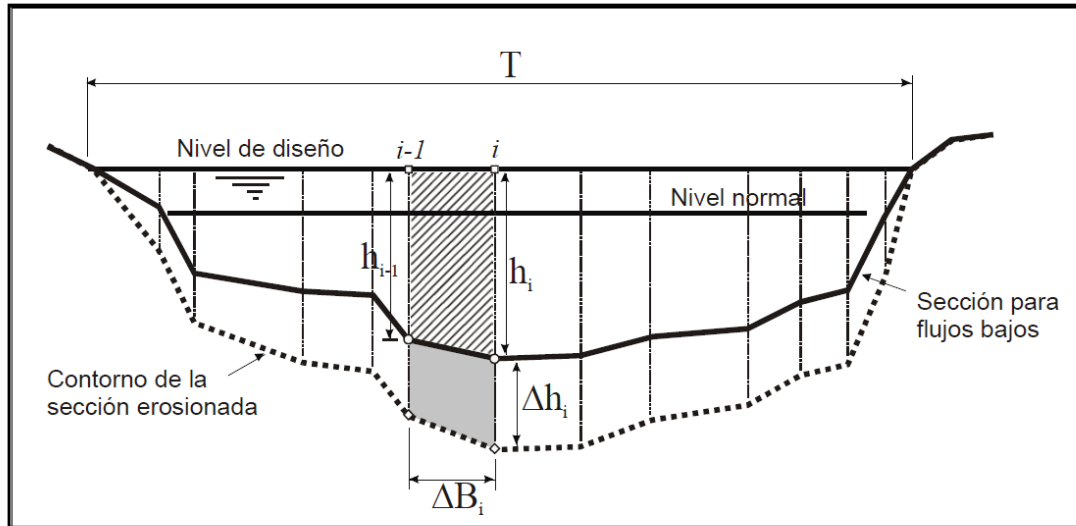


Figura 42: Parámetros geométricos del método Lischtsvan & Lebediev

El método fue modificado por Maza, el cual propuso tres ecuaciones para establecer la velocidad de equilibrio en función del diámetro d_{84} , representativo del lecho del cauce.

Velocidad Crítica:

Para $0.00005 \text{ m} \leq d_{84} \leq 0.0026 \text{ m}$
$$U_e = 4.7 \cdot \beta \cdot d_{84}^{0.28} \cdot h_s^{0.322/d_{84}^{0.03}}$$

Para $0.0026 \text{ m} \leq d_{84} \leq 0.182 \text{ m}$
$$U_e = 4.7 \cdot \beta \cdot d_{84}^{0.28} \cdot h_s^{0.223/d_{84}^{0.092}}$$

Para $0.182 \text{ m} \leq d_{84} \leq 1 \text{ m}$
$$U_e = 4.7 \cdot \beta \cdot d_{84}^{0.28} \cdot h_s^{0.19/d_{84}^{0.187}}$$

Donde β es un coeficiente que depende del tiempo de recurrencia asociado al caudal de diseño.

$$\beta = 0.8416 + 0.03342 \cdot \ln(T_R)$$

Asumiendo que la rugosidad es constante en toda la sección transversal, la profundidad de socavación h_s se determina a partir de la igualdad $V_r = U_e$.

Las ecuaciones resultantes con las siguientes:

Para $0.00005 \text{ m} \leq d_{84} \leq 0.0026 \text{ m}$

$$h_s = \left[\frac{\alpha \cdot h^{5/3}}{4.7 \cdot \beta \cdot d_{84}^{0.28}} \right]^{\left(\frac{d_{84}^{0.03}}{0.322 + d_{84}^{0.03}} \right)}$$

Para $0.0026 \text{ m} \leq d_{84} \leq 0.182 \text{ m}$

$$h_s = \left[\frac{\alpha \cdot h^{5/3}}{4.7 \cdot \beta \cdot d_{84}^{0.28}} \right]^{\left(\frac{d_{84}^{0.092}}{0.322 + d_{84}^{0.092}} \right)}$$

Para $0.182 \text{ m} \leq d_{84} \leq 1 \text{ m}$

$$h_s = \left[\frac{\alpha \cdot h^{5/3}}{4.7 \cdot \beta \cdot d_{84}^{0.28}} \right]^{\left(\frac{d_{84}^{0.187}}{0.322 + d_{84}^{0.187}} \right)}$$

Los resultados se indican en las tablas siguientes:

Tabla 21: Estimación de erosiones generalizadas para estratos SP-SM

Socavación General en Cauces Naturales				
Método de <i>Lischtvan-Lebediev modificado por Maza</i>				
ESTRATO SP/SM		SECCION T01		Secc. Triangular
Datos:				
Caudal de Diseño	$Q_d =$	8.71	m^3/s	
Recurrencia	$T_R =$	50	años	$\Rightarrow \beta = 0.97$
Diam. Sedimento	$d_{84} =$	0.00451	m	$\Rightarrow x = 0.72$
Ancho superficial	$B_e =$	15	m	
Area de escurrimiento	$A_e =$	7.51	m^2	
Tirante medio	$h_m =$	0.50	m	$\Rightarrow \alpha = 1.84$
Cota pelo de agua	$z_w =$	700	m	

TABLA 21: Estimación de erosiones generalizadas para estratos SP-SM. Sección Tranversal

Tabla 21 – Estimación de erosiones generalizadas para estratos SP-SM Sección Tranversal								
Punto (N)	Coord. Lateral (b)	Cota Lecho (Zb)	Tirante inicial (h _n)	Tirante socav. (h _s)	Cota erosión (Zs)	Pelo de agua (Zw)	Prof. de socav. (Δh _s)	Veloc. Equilib. (Vr)
1	-10.0	700.0	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
2	0.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
3	0.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
4	0.00	700.00	0.00	0.00	700.00	700	0.00	0.00
5	7.50	698.70	1.30	2.12	697.88	700	0.82	1.34
6	15.00	700.00	0.00	0.00	700.00	700	0.00	0.00
7	20.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
8	30.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00

Max. Δh_s = 0.82

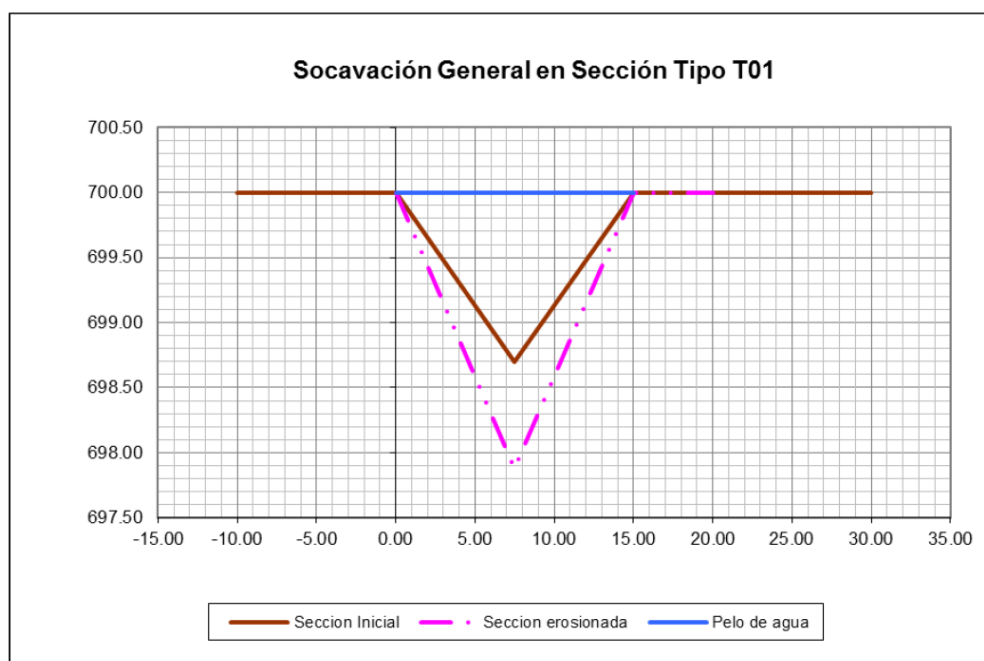


Figura 43: Estimación de erosión generalizada para sección tipo T01 (estrato SP-SM)

Socavación General en Cauces Naturales *Método de Lischtván-Lebediev modificado por Maza*

ESTRATO SM **SECCION T01** *Secc. Triangular*

Datos:

Caudal de Diseño	$Q_d =$	8.71 m ³ /s			
Recurrencia	$T_R =$	50 años	$\Rightarrow$	$\beta =$	0.97
Diam. Sedimento	$d_{84} =$	0.00037 m	$\Rightarrow$	$x =$	0.67
Ancho superficial	$B_e =$	10 m			
Area de escurrimiento	$A_e =$	4.5 m ²			
Tirante medio	$h_m =$	1.00 m	$\Rightarrow$	$\alpha =$	0.87
Cota pelo de agua	$z_w =$	700 m			

TABLA 22: Estimación de erosiones generalizadas para estratos SM - Sección Transversal

Tabla 22 – Estimación de erosiones generalizadas para estratos SM <i>Sección Transversal</i>								
Punto (N)	Coord. Lateral (b)	Cota Lecho (Zb)	Tirante inicial (h _n)	Tirante socav. (h _s)	Cota erosión (Zs)	Pelo de agua (Zw)	Prof. de socav. (Δh _s)	Veloc. Equilib. (Vr)
1	-10.0	700.0	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
2	0.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
3	0.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
4	0.00	700.00	0.00	0.00	700.00	700	0.00	0.00
5	7.50	698.70	1.30	1.95	698.05	700	0.65	1.69
6	15.00	700.00	0.00	0.00	700.00	700	0.00	0.00
7	20.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
8	30.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00

Max. Δhs = 0.65

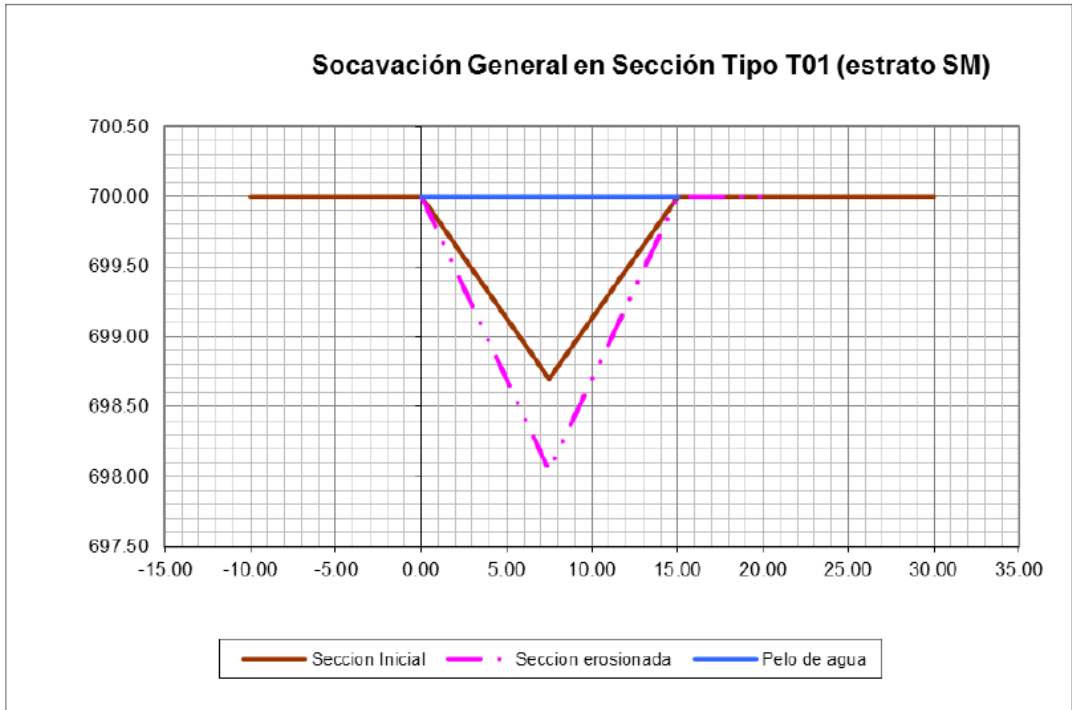


Figura 44: Estimación de erosión generalizada para sección tipo T01 (estrato SM)

Socavación General en Cauces Naturales									
Método de <i>Lischtvan-Lebediev modificado por Maza</i>									
ESTRATO ML		SECCION T01				Secc. Triangular			
Datos:									
Caudal de Diseño	$Q_d =$	8.71	m^3/s						
Recurrencia	$T_R =$	50	años	$\Rightarrow$	$\beta =$	0.97			
Diam. Sedimento	$d_{84} =$	0.00027	m	$\Rightarrow$	$x =$	0.67			
Ancho superficial	$B_e =$	10	m						
Area de escurrimiento	$A_e =$	4.5	m^2						
Tirante medio	$h_m =$	1.00	m	$\Rightarrow$	$\alpha =$	0.87			
Cota pelo de agua	$z_w =$	700	m						

TABLA 23: Estimación de erosiones generalizadas para estratos ML - Sección Transversal

Tabla 23 – Estimación de erosiones generalizadas para estratos ML Sección Transversal								
Punto (N)	Coord. Lateral (b)	Cota Lecho (Zb)	Tirante inicial (h _n)	Tirante socav. (h _s)	Cota erosión (Zs)	Pelo de agua (Zw)	Prof. de socav. (Δh _s)	Veloc. Equilib. (Vr)
1	-10.0	700.0	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
2	0.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
3	0.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
4	0.00	700.00	0.00	0.00	700.00	700	0.00	0.00
5	7.50	698.70	1.30	2.06	697.94	700	0.76	1.66
6	15.00	700.00	0.00	0.00	700.00	700	0.00	0.00
7	20.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00
8	30.00	700.00	0.00	0.00	700.00		0.00	0.00

Max. Δh_s = 0.76

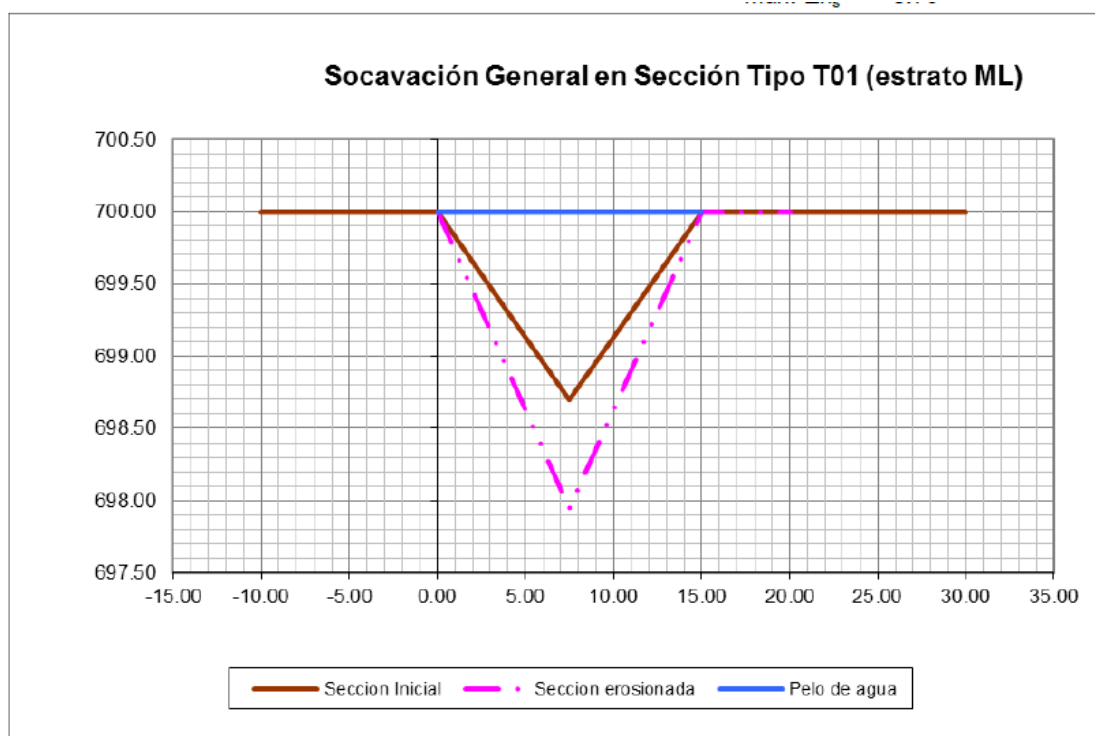


Figura 45: Estimación de erosión generalizada para sección tipo T01 (estrato ML)

11. DRENAJE DE CUBIERTAS

Se considera que al cierre de la vida útil de cada celda o módulo, se generarán las cubiertas con 0,30 m de suelo y posterior vegetado. Por lo tanto los excedentes pluviales no entrarán en contacto con el ciclo de RSU, se permite su conexión con el sistema de canales de drenaje pluvial directamente.

Se presentan dos alternativas, la primera en secciones triangulares de tierra, y la segunda por medio de canales revestidos en H²S² de tipo rectangulares.

Cada cara de las cubiertas ha sido designada según el estudio hidrológico y le corresponde un drenaje con el mismo nombre. Las bajadas (a realizarse con obra de arte) que conectarán los canales de cubierta con los canales principales de drenaje, se detallarán en capítulo posterior.

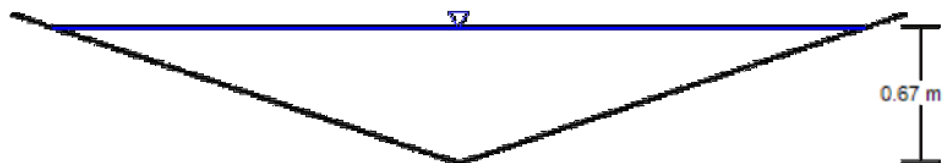
Se analizan los drenajes de la cubierta del Módulo 1, al contar con pendiente de proyecto.

11.1 ALTERNATIVA 1

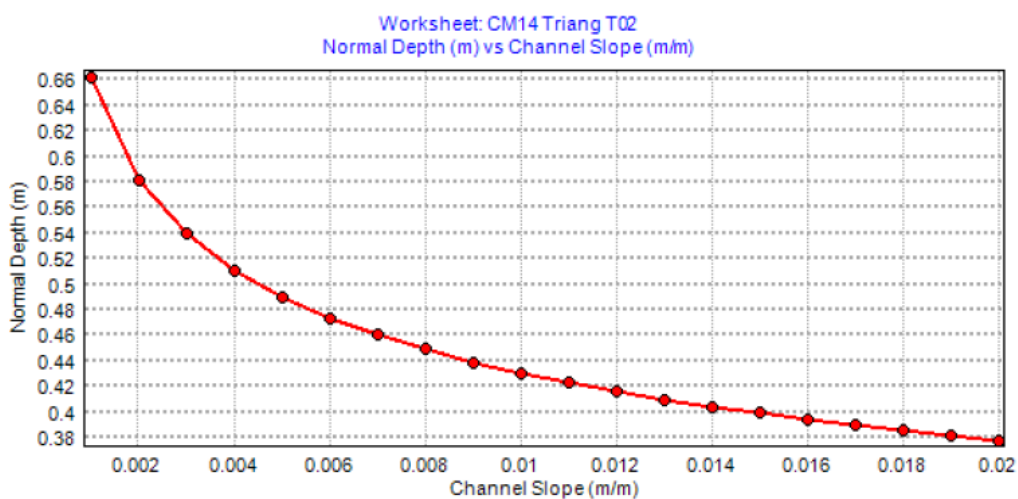
TABLA 24: Resumen Predimensionamiento hidráulico - Secciones Triangulares

Tabla 24 – Resumen Predimensionamiento hidráulico Secciones Triangulares											
Canal Cubierta	Caudal Diseño Qd (m ³ /s)	Pend. (m/m)	Long. (m)	Coef. Manning	Sección Tipo	Ancho Superf. (m)	Talud (H:V)	Tirante (m)	Caudal Q(m ³ /s)	Veloc. (m/s)	Froude
CM11	0.437	0.0167	387.7	0.035	T2	2.15	3:1	0.36	0.44	1.13	0.85
CM12	0.539	0.0010	507.4	0.035	T2	3.95	3:1	0.66	0.54	0.42	0.23
CM13	0.437	0.0169	387.7	0.035	T2	2.15	3:1	0.36	0.44	1.14	0.86
CM14	0.547	0.0010	505.7	0.035	T2	4.00	3:1	0.67	0.56	0.42	0.23

CM14 Triang T02



Rating Curve for CM14 Triang T02



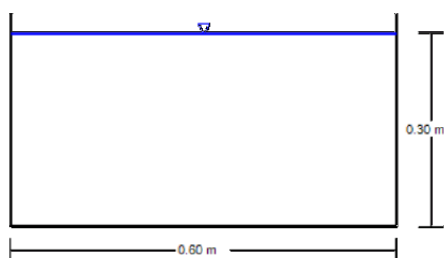
11.2 ALTERNATIVA 1

TABLA 25: Resumen Predimensionamiento hidráulico - Secciones Rectangulares en Hº

Tabla 25 – Resumen Predimensionamiento hidráulico Secciones Rectangulares en Hº											
Canal Cubierta	Caudal Diseño Qd (m3/s)	Pend. (m/m)	Long. (m)	Coef. Manning	Sección Tipo	Ancho Superf. (m)	Altura Canal (m)	Tirante (m)	Caudal Q(m3/s)	Veloc. (m/s)	Froude
CM11	0.437	0.0167	387.7	0.015	H1	0.60	0.40	0.30	0.44	2.44	1.42
CM12	0.539	0.0010	507.4	0.015	H2	1.00	0.70	0.61	0.54	0.89	0.36
CM13	0.437	0.0169	387.7	0.015	H1	0.60	0.40	0.30	0.44	2.45	1.43
CM14	0.547	0.0010	505.7	0.015	H2	1.00	0.70	0.62	0.56	0.89	0.36

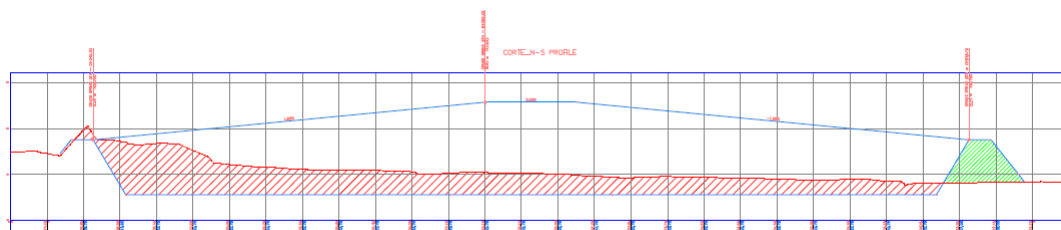
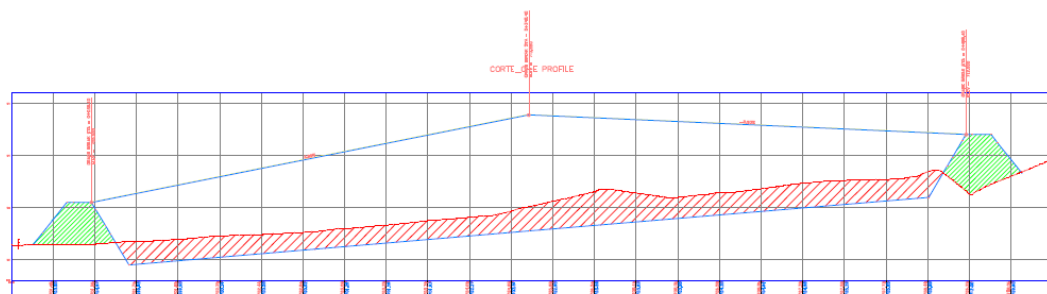
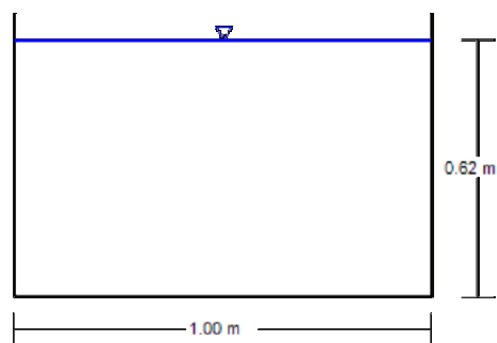
Sección mínima (H1)

(p/pend. mayores)

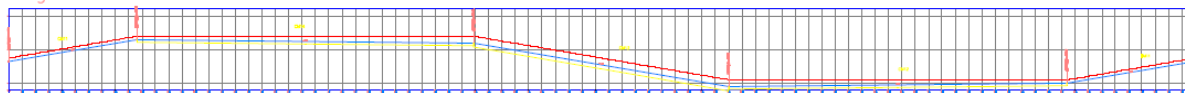


Sección máxima (H2)

(p/pendientes menores)



Alig Borde Cubierta



12. RESERVOIRIO DE DETENCIÓN TEMPORAL

12.1 ANÁLISIS DE FLUJO Y ESTABILIDAD DE TALUDES

Para la definición del Reservoirio de Detención Temporal, es importante verificar la estabilidad de los taludes de los módulos, ya que durante un tiempo saturará el pie de talud disminuyendo el coeficiente de seguridad al deslizamiento.

Se analizan dos alternativas en función de la separación entre las bandejas de los Módulos M01 y M02. Alternativa 1: 50 m; Alternativa 2: 70 m

La modelación consideró tres materiales con las siguientes propiedades que representan el suelo:

TABLA 26: *Propiedades de suelos*

Tabla 26 – Propiedades de suelos			
	Mat. 1	Mat. 2	Mat. 3
	Suelo Natural	Terraplenes	Relleno Sanitario
Permeabilidad (K_1) (m/s)	1 E^{-5}	1 E^{-7}	1 E^{-3}
Peso Unitario (KN/m ³)	16.5	18	10
Peso U. Saturado (KN/m ³)	18	--	16
Tipo de Resistencia	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Cohesión (c) (KN/m ²)	0.5	1	--
Ang. Fricc (Φ) (°)	20	35	--

Se presentan superficies de deslizamiento y en escala de colores el valor del coeficiente de seguridad. La superficie crítica será la indicada en negro. El espaciamiento de la grilla para encontrar el mínimo, es de 5x5 m.

La geometría a modelar es la siguiente, donde se observan los tres materiales, los terraplenes de Módulos 1 y 2, el relleno del Módulo 1. Entre los terraplenes se ubica el reservorio de detención temporal de excedentes pluviales, conformado por un ancho máximo de 30 m con 2 m de profundidad, y taludes 5:1 con 5 m de largo y luego un talud de 10:1 con 10 m de largo.

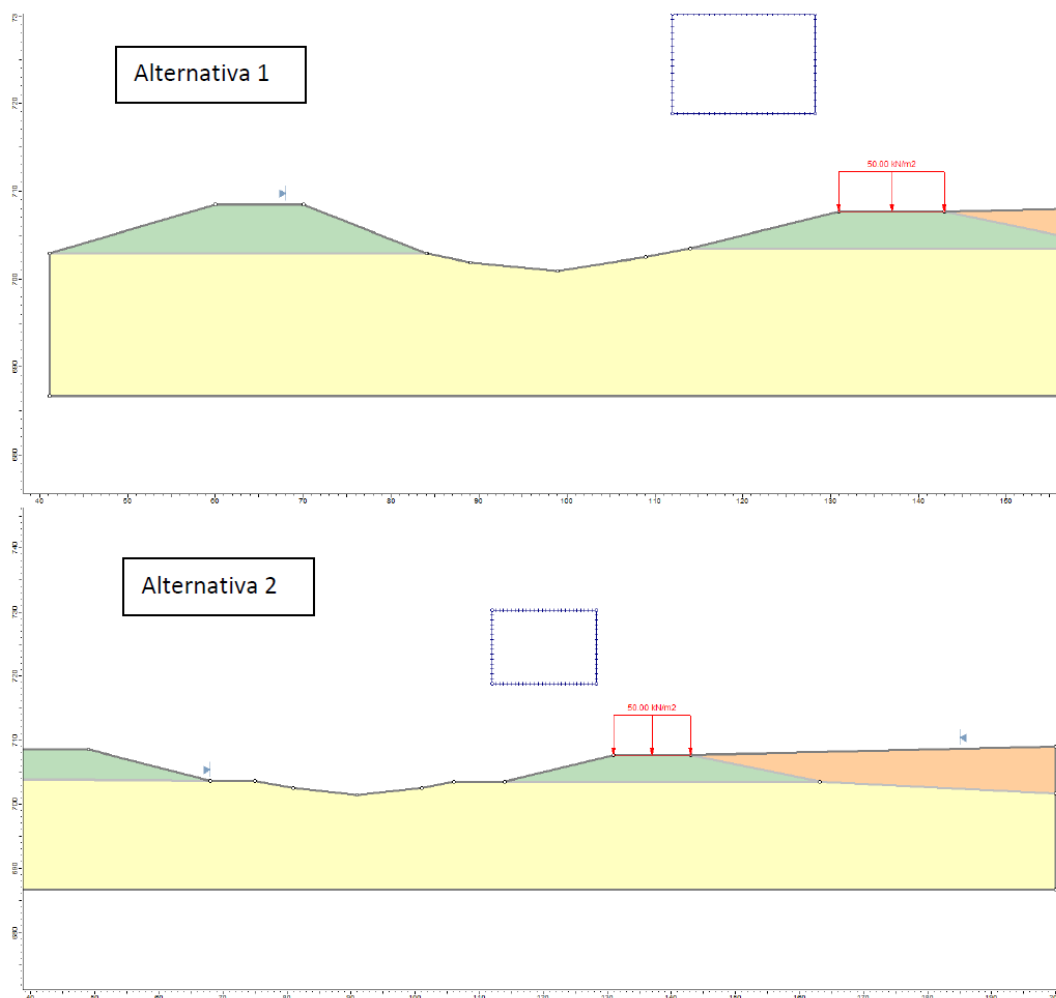


Figura 46: Alternativas de Reservorio de Detención temporal

En las figuras anteriores se observa que la Alternativa 2, con una separación mayor permite incorporar el reservorio de detención temporal, sin afectar los terraplenes de la bandeja del Módulo de relleno sanitario.

Luego, se presentan diagramas de flujo para una carga hidráulica con embalse lleno.

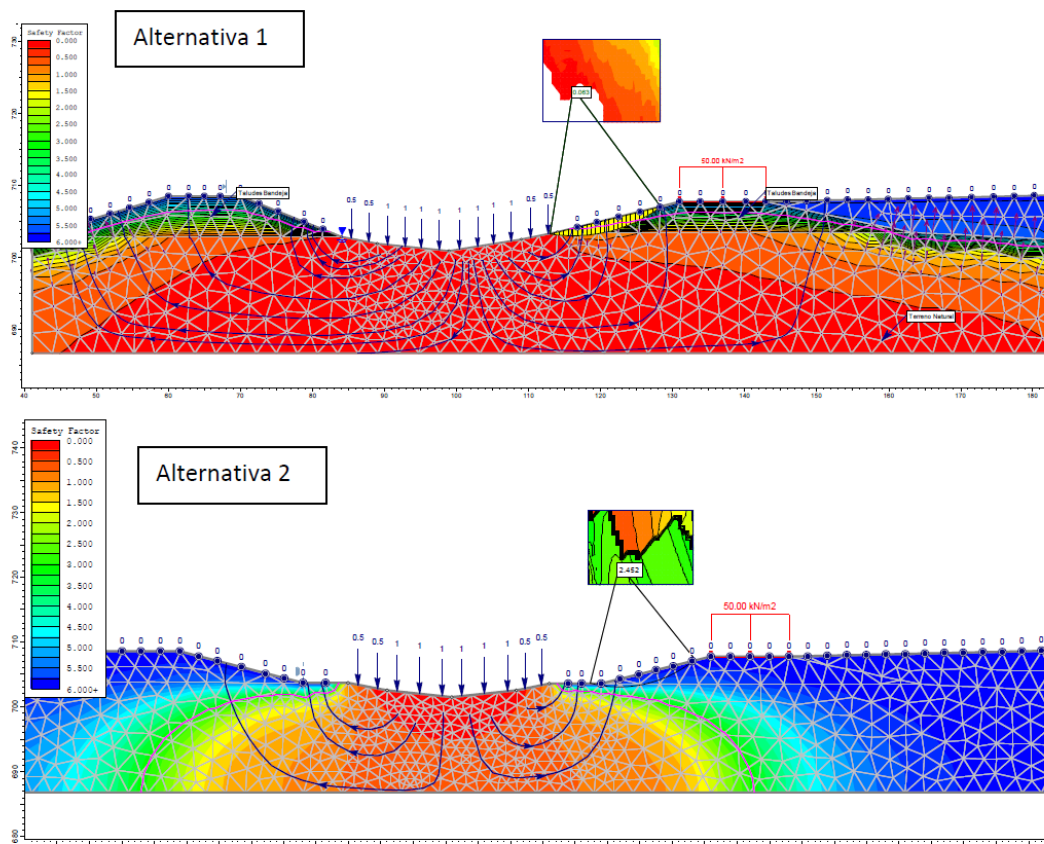


Figura 47: Superficie de deslizamiento y coeficientes de seguridad

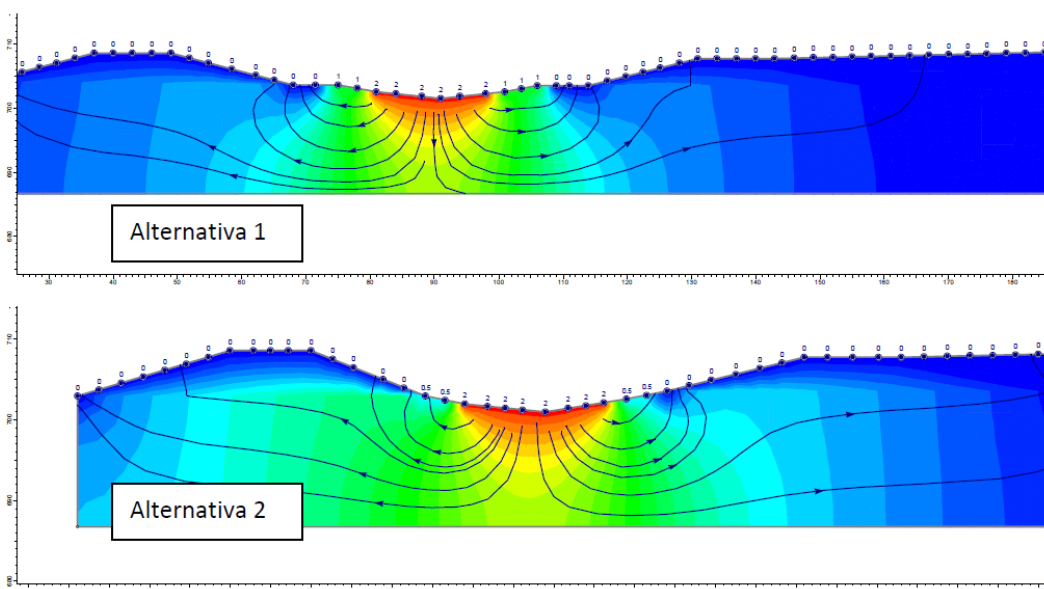


Figura 48: Líneas de flujo por infiltración para reservorio

Se observa en la Alternativa 2, que la carga hidráulica por el embalse temporal, no afecta los taludes de las bandejas del relleno sanitario.

Por lo tanto, en función de las ventajas hidráulicas y del coeficiente de deslizamiento, la Alternativa 2 es superior respecto a la que no contempla caminos laterales.

13. ANÁLISIS DE LIXIVIADOS

En el relleno sanitario se generan líquidos percolados principalmente producto del ingreso de aguas de lluvia en los sectores descubiertos del frente de trabajo y en segundo lugar por la propia humedad de los residuos, que se libera en el tiempo a raíz de la descomposición. Los líquidos (aguas lluvia o humedad de residuos) que percolan por los residuos pueden lixiviar contaminantes, por lo que se los denominan líquidos percolados o lixiviados, en nuestro caso se generan lixiviados asociados al contenido de humedad de los residuos y a las precipitaciones.

A continuación, se presenta el pronóstico de la generación de la totalidad de los líquidos percolados, considerando como base las condiciones más desfavorables, es decir, el momento de máxima generación de líquidos percolados, (esto es: eventos de máximas precipitaciones), para esto se utilizaron registros de la Estación Meteorológica AERO, ubicada en Latitud: -32.83, Longitud: -68.78, Altitud: 705 msnm.

13.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

El cálculo de los caudales promedios y cargas de contaminantes de líquidos percolados está basado en un balance hídrico anual:

$$Q_{LP(i)} = \sum_{i=1,2,3} (P_{(i)} - E_{(i)} - ES_{(i)} - \Delta A_{(i)} + \Delta R_{(i)} - \Delta LP_{(i)})$$

Donde:

Q_{LP} : Caudal de líquidos lixiviados.

i: Áreas (1= de trabajo; 2= con cobertura intermedia, 3= con cobertura final).

P: Precipitación

E: Evaporación

ES: Esguerrimiento superficial de aguas

ΔA : Consumo de agua, debido a procesos biológicos de descomposición de residuos, de generación y extracción de biogás.

ΔR : Agua proveniente de los RSU (humedad que excede a la capacidad de campo, o que proviene de la descomposición o del pretratamiento de los residuos).

ΔLP : Retención temporal de líquidos (debido a la capacidad de retención de los residuos y tierra de cobertura).

I: Áreas

Se considera que la máxima infiltración de las aguas de lluvia es durante el último año de operación, cuando todas las superficies estén impermeabilizadas. Basándose en el diseño y el método de operación del relleno sanitario específicamente en las etapas constructivas de las superficies, se distinguen las siguientes superficies (para el caso crítico o más desfavorable):

Relleno Sanitario

- Superficie total: 21,2 Ha
- Área 1: frente de trabajo (recién habilitada), con superficie abierta: 2 Ha
- Área 2: rellena con cobertura intermedia o transitorio: 5 Ha
- Área 3: sellada con cobertura definitiva: 14.2 Ha

P: Precipitaciones

Se efectúa el cálculo de precipitaciones con información proveniente de la estación ubicada en el Aeropuerto de Mendoza, distante a unos 6 km.

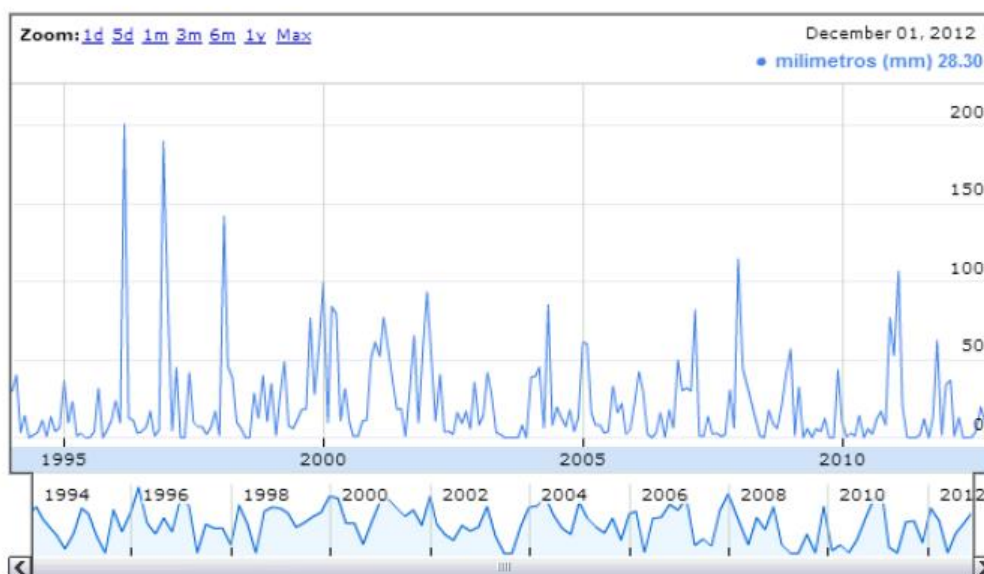


Figura 49: Precipitaciones Estación Mendoza AERO

La **Figura 50**, muestra la serie de anomalías porcentuales de la precipitación estival en Argentina desde 1961/62 hasta 2013/14. Este análisis muestra una muy leve tendencia positiva que implica un aumento de la precipitación del 4.6% en 53 años, si bien no resulta estadísticamente significativa.

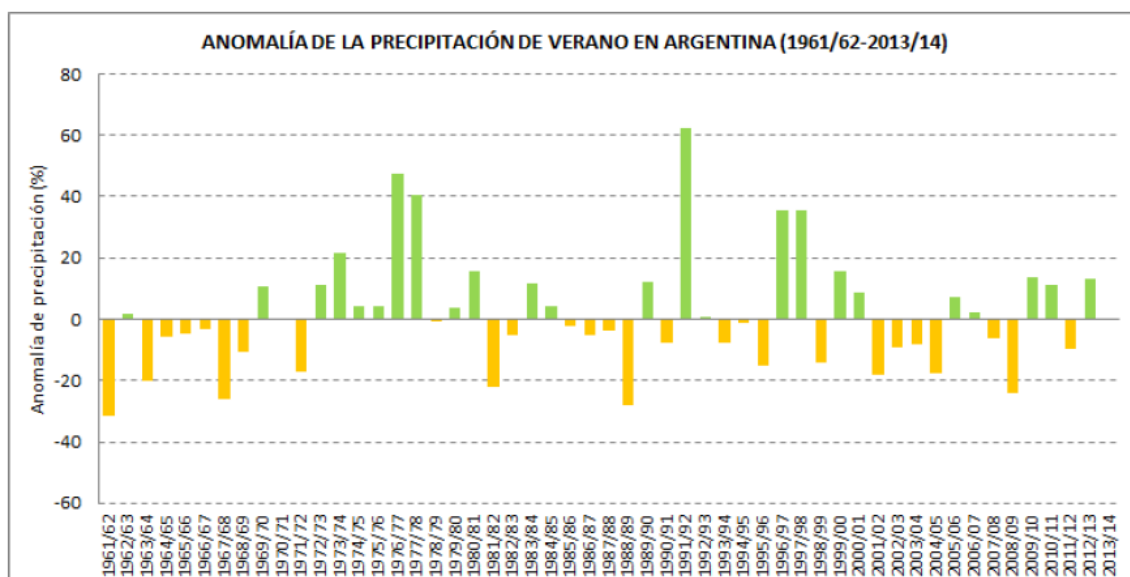


Figura 50: Anomalías de precipitación

Se presentan las variables medias mensuales que ingresarán en el modelo, obtenidas de la serie 1958-2013 del SMN en Estación Mendoza AERO.

TABLA 27: Parámetros Meteorológicos

Tabla 27 – Parámetros Meteorológicos						
Meses	PP	T	TMAX	TMIN	H	V
ENE	35.7	25.3	32.4	17.9	46.7	9.4
FEB	58.6	23.6	30.5	16.9	52.9	7.5
MAR	29.7	21.2	27.7	14.3	58.1	7.0
ABR	8.3	16.9	24.0	9.4	57.7	5.7
MAY	13.5	12.3	19.4	5.2	64.0	4.9
JUN	2.8	9.1	16.2	2.5	64.5	4.5
JUL	7.2	8.8	16.2	2.2	59.2	5.2
AGO	4.6	11.4	19.2	5.0	51.1	6.5
SEP	4.6	13.7	21.3	7.6	48.4	7.7
OCT	2.7	18.6	26.0	12.0	46.2	8.6
NOV	15.0	22.5	29.7	16.1	43.4	9.5
DIC	29.6	24.2	31.0	13.8	44.9	9.6

- PP** Precipitación total de lluvia y/o nieve derretida (mm)
- T** Temperatura media (°C)
- TMax** Temperatura máxima (°C)
- TMin** Temperatura mínima (°C)
- H** Humedad relativa media (%)
- V** Velocidad del viento (km/h)

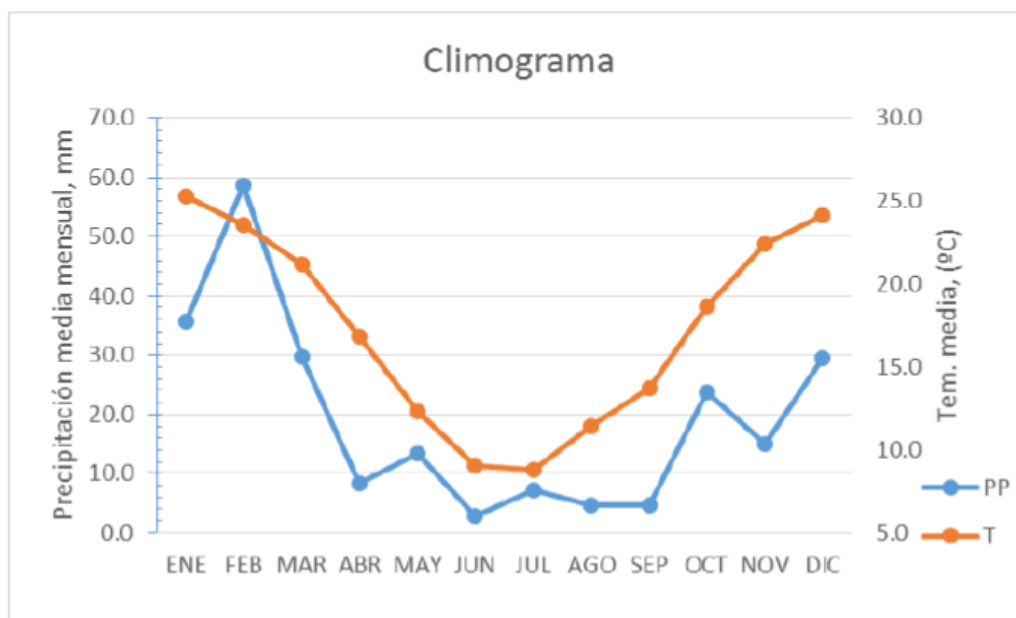


Figura 51: Temperatura y precipitaciones medias

E: Evaporación

La tasa de evaporación existente en el sector se estimará utilizando el método aerodinámico, el que se define como:

$$E_a = B(e_{as} - e_a)$$

Donde:

$$B = \frac{0.622k^2 \rho_a \mu_2}{p \rho_w \left[\ln \left(\frac{z_2}{z_0} \right) \right]^2}$$

Donde:

- Ea: Tasa de Evaporación
 e_{as} : Presión de vapor en la superficie
 e_a : Presión de vapor a la altura z_2 .
 k : Constante de von Karman
 ρ_a : Densidad del aire
 ρ_w : Densidad del agua
 z_2 : Altura de las mediciones meteorológicas
 z_0 : Rugosidad superficial

La relación entre la temperatura y la presión de vapor en superficie es:

TABLA 28: Relación T° y e_{as}

Tabla 28 – Relación T° y e_{as}	
T° (°C)	e_{as} (Pa)
-20	125
-10	286
0	611
10	1227
20	2337
30	4243
40	7378

Luego:

$$e_{as} = HRM \times e_a$$

Donde HRM es la humedad relativa media.

Finalmente se tienen las siguientes constantes:

TABLA 29: Constantes del modelo

Tabla 29– Constantes del modelo		
Parámetro	Unidad	Valor
K		0.4
ρ_a	Kpa	71.9
ρ_w	Kg/cm ³	997
Z ₂	m	2
Z ₀	m	0.0003

Resolviendo se llega a:

TABLA 30: Evaporación mensual

Tabla 30 – Evaporación mensual						
Meses	PA (Kg/m ³)	EAS (Pa)	EA (Pa)	B (M/Pa*S)	EA (mm/día)	EA (mm/mes)
ENE	1.20	3349	72	8.7E-04	2.86	88.6
FEB	1.20	3017	57	7.0E-04	1.64	50.7
MAR	1.20	2557	44	6.5E-04	1.64	50.7
ABR	1.21	1988	34	5.2E-04	1.02	30.7
MAY	1.23	1482	23	4.5E-04	0.66	20.5
JUN	1.24	1169	18	4.2E-04	0.48	14.4
JUL	1.24	1154	19	4.8E-04	0.55	17.0
AGO	1.24	1387	27	6.0E-04	0.82	25.5
SEP	1.23	1643	34	7.1E-04	1.15	34.5
OCT	1.21	2187	47	8.0E-04	1.70	52.8
NOV	1.21	2805	65	8.8E-04	2.40	72.0
DIC	1.20	3131	70	8.9E-04	2.71	84.1
ANUAL						548.3

ES: Escurrimiento superficial de aguas

El escurrimiento superficial de las aguas de lluvia se calcula de la siguiente manera:

$$ES = C_{ES(j)} \times P_{(i)}$$

Donde:

C_{ES}: Coeficiente de esorrentía

El coeficiente de escorrentía C_{ES} depende del tipo de cobertura de los residuos:

Cobertura diaria:	$C_{ES(1)} = 0$ (todo infiltra)
Cobertura intermedia	$C_{ES(2)} = 0,6$ (desfavorable)
Cobertura final	$C_{ES(3)} = 0,95$

En los sectores con cobertura final, la evaporación y el escurrimiento de las aguas son mayores a la precipitación, es decir, no se produce una infiltración ($I=0$). En este caso, la generación de lixiviados es igual al aporte de aguas de los residuos ($Q_{LP} = \Delta R$).

ΔA : Consumo de agua por descomposición de residuos y extracción de biogás

Se la conoce como humedad metabólica de los residuos sólidos y es la cantidad de agua retenida en las actividades biológicas que se presentan en el transcurso de la degradación natural de los residuos sólidos en el relleno sanitario.

En el presente cálculo, el consumo de agua ΔA no fue considerado (caso conservador).

ΔR : Agua por humedad de los residuos

Relleno Sanitario:

Durante el primer año de operación del relleno sanitario, se considera un aporte de aguas ΔR de 5% p/p de la masa total de los RSD. Posteriormente, la liberación de agua desde la masa de residuos es más lenta, estimándose un ΔR de 0,5% p/p por año para los RSD.

Por otra parte, la experiencia demuestra que no se liberan más que el 25% p/p de la cantidad total de residuos depositados (base húmeda).

La cantidad de agua que entra con el material de cobertura dependerá del tipo y origen de RSU y también de la estación del año. La cantidad máxima de humedad que el material de cobertura puede contener se define como capacidad de campo (CC) del material, o sea, el líquido que queda en el espacio de los poros, sometido a gravedad.

La cantidad potencial de lixiviado es la cantidad de humedad dentro del relleno, por encima de la capacidad de campo del mismo. La CC que varía con el peso de sobrecarga, puede estimarse utilizando la siguiente ecuación:

$$CC = 0.6 - 0.55 (W/10000+W)$$

Donde:

CC: Capacidad de campo (fracción de agua en los RS basado en el peso seco de los mismos).

W: Peso de sobrecarga, calculado en la mitad de la altura de los residuos dentro del nivel en cuestión.

ΔLP: Retención temporal de líquidos

En el promedio anual, se supone que la retención es $\Delta LP = 0$ (caso conservador)

13.2 BALANCE HÍDRICO

En las tablas adjuntas se presentan los resultados del pronóstico de generación de lixiviados QLP, tanto para año normal, año húmedo (TR=30 años) como para año de máxima precipitación (TR=100 años).

El balance hídrico (precipitaciones + lixiviados – evaporación) arroja resultados negativos para todos los meses del año, ya sea considerando un año normal de precipitaciones, o como en el caso de un año húmedo asumiendo un período de retorno de 30 años. Esto se debió al gran déficit hídrico de la región.

Es por ello que el componente principal de la ecuación de balance es el generado por la humedad del RSU dentro del relleno sanitario.

De considerarse una lluvia sobre cada celda del relleno, es más incidente el análisis de la infiltración instantánea que un balance mensual. Para ello se utilizará un coeficiente de permeabilidad ($K = 4E^{-3}$ m/s) para estimar la infiltración directa y una evaporación diaria de 1.5 mm/día.

Sobre la base de una estimación del 25% de humedad en el RSU se generó la **TABLA 31**:

TABLA 31: Generación de lixiviados

Tabla 31 – Generación de lixiviados							
AÑO	P (mm/año)	E	ES	RSU (Tn/año)	ΔR (mm/año)	QLP (mm/año)	QLP (m3/mes)
1	233.2	548.3	58.3	432832	510.4	137.0	2420
2	233.2	548.3	58.3	445278	525.1	151.7	2679
3	233.2	548.3	58.3	457250	539.2	165.8	2929
4	233.2	548.3	58.3	469571	553.7	108.3	3186
5	233.2	548.3	58.3	482253	568.7	195.3	3450
6	233.2	548.3	58.3	496856	585.9	212.5	3754
7	233.2	548.3	58.3	510336	601.8	228.4	4035
8	233.2	548.3	58.3	524214	618.2	244.8	4324
9	233.2	548.3	58.3	538501	635.0	261.6	4622

Tabla 31 – Generación de lixiviados

AÑO	P (mm/año)	E	ES	RSU (Tn/año)	ΔR (mm/año)	QLP (mm/año)	QLP (m3/mes)
10	233.2	548.3	58.3	571903	674.4	301.0	5317
11	233.2	548.3	58.3	588392	693.9	320.4	5661
12	233.2	548.3	58.3	605390	713.9	340.5	6015
13	233.2	548.3	58.3	621003	732.3	358.9	6340
14	233.2	548.3	58.3	637062	751.3	377.8	6675
15	233.2	548.3	58.3	653580	770.7	397.3	7019
16	233.2	548.3	58.3	674702	795.6	422.2	7459
17	233.2	548.3	58.3	692290	816.4	443.0	7826
18	233.2	548.3	58.3	710385	837.7	464.3	8202
19	233.2	548.3	58.3	729004	859.7	486.2	8590
20	233.2	548.3	58.3	748162	882.3	508.8	8990

14. BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, A. (2000) *“Recursos hídricos de la cuenca Mendoza Norte. Información general en base al conocimiento actual”*, INA.

Burgos, V. H. (2005) *“Modelación Hidrológica de Cuencas Pedemontanas. Uso de Sistemas de Información Geográfica en Hidrología Superficial”*, XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza.

Burgos, V. H. (2007) *“Desarrollo Urbano de Bajo Impacto: Una alternativa para una adecuada hidrología urbana del Gran Mendoza”*, XXI Congreso Nacional del Agua, Tucumán.

Burgos, V. H. (2008) *“Estimación de la distribución espacial del Número de Curvas en cuencas piedemontanas del Gran Mendoza aplicando técnicas SIG”*, Workshop Internacional de Aplicaciones de SIG en Hidrología, FICH Universidad Nacional del Litoral.

Burgos, V. H. (2012) *“Evaluación de ASTER GDEM y SRTM-C/S para modelación hidráulica de la rotura de presa El Carrizal, Mendoza”*, 1º Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos (IFRH), Buenos Aires.

Chow, V.T.D.R. Maidment y L.W. Mays (1994), *Hidrología aplicada*, McGraw-Hill Interamericana S.A., Santafé de Bogotá, Colombia.

Damiani, O. (1991), *“Síntesis de las condiciones hidrogeológicas en el área de Campo Espejo”*, Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Nación, DI-169, Centro Regional de Aguas Subterráneas, San Juan.

Fatorrelli, S., Fernandez, P. (2007), *“Diseño Hidrológico”*, Zeta Editores.

Fernandez B. et al (2004), *“Drenaje de aguas lluvias urbanas en zonas semiáridas”*, ARQ Nº57 Zonas áridas, Santiago, pág. 64-67. ISSN 0717-6996.

Fornero Luis, Aldo Pavese, Jorge Maza, Diego Vega (2002), *“Actualización del modelo hidrológico ATHYMO”*, Congreso Nacional del Agua, Carlos Paz, Córdoba.

Haestad Press (2000), *“Computer applications in Hydraulic Engineering”*.

HEC-GeoHMS Hydrologic Engineering Center Geospatial Hydrologic Modeling Extension (2000), *“User Manual”* Us Army Corp of Engineers.

Hernandez, J. y Martinis N. (2001) *“Particularidades de las cuencas hidrogeológicas explotadas con fines de riego en la Provincia de Mendoza”*, INA.

IPH (2005) *“Manual de Drenagem Urbana”* Vol. VII, Instituto de Pesquisas Universidade Federal de Rio Grande do Sul.

Martinis, N.J. Robles (2000) *“Cuenca hidrogeológica del Oasis Norte de Mendoza. Variación del almacenamiento en el acuífero libre. Período 1969/99”*, Provincia de Mendoza, INA-CRA, IT 4, Mendoza.

Maza J.A., Burgos V., López P., Benegas V. (2004) *“Sustentabilidad hidrológica de urbanizaciones del pedemento”*, Informe Técnico IT N° 51, CRA-INA, Mendoza.

Maza, Jorge; Fornero L.; Litwin C y Fernandez P. (1993), *ARHYTMO. Manual del Usuario*, INCyTH-CRA, Mendoza.

Robles, J. (1997), *“Espesor del relleno aluvial moderno. Interpretación geoelectrica. Cuenca Norte”*, Provincia de Mendoza. INAS, DI 288, San Juan, 1997.

Schreider et al (2002) *“Aplicación del método de Lischtván y Lebediev al cálculo de la erosión general”*, Universidad Nacional del Litoral.

WPCF (1969), *“Manual of Practice N09: Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers”*, Water Pollution Control Federation.