



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Título Monográfico

“Análisis Hidrotécnico del Drenaje Transversal para el Diseño Final de la Pavimentación del Corredor Alterno Turístico INTA – PROINCO – Intersección km. 17 ½ Carretera a Masaya.”

Para optar al Título

Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Yadira Isabel Gámez Herrera.
Br. Cristian Alexander Gutiérrez Martínez.

Tutor:

Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía

Managua, Julio 2009



DEDICATORIA

A Dios, por poner muchos amigos en nuestro camino, que como ángeles nos guiaron en nuestro trabajo.

A nuestros padres y familiares, quienes después de Dios han sido nuestra fuerza para luchar.

A nuestros maestros, por su paciencia y dedicación en todos estos años que participaron en nuestra formación profesional.

A nuestros amigos, por compartir muchas vivencias, alegrías y desencantos en todos estos años.



AGRADECIMIENTO

Damos infinitas gracias a Dios por la vida, por permitirnos culminar con éxitos el presente trabajo, por darnos fortaleza y sabiduría para hacerlo.

A nuestros padres y familiares, por su amor, confianza y apoyo incondicional para formarnos como profesionales.

A nuestros maestros, por ayudarnos a crecer en el conocimiento.

A nuestro amigo, Ing. David Abel Garay por darnos su asesoría y su tiempo para poder realizar nuestro trabajo, también al Ing. Hugo Arévalo por compartir sus conocimientos y su valiosa ayuda con nosotros y a la Empresa Consultora de Diseños Viales EDICO.

A nuestro tutor, Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía por guiarnos en el proceso monográfico.

Al MTI, por suministrarnos información referente al proyecto.



RESUMEN EJECUTIVO

Los procedimientos del análisis hidrotécnico del tramo de carretera **Corredor Alternativo Turístico INTA – PROINCO – Km 17 ½, Intersección Carretera a Masaya** se realizan debido a la importancia socio económica que representa para la zona donde se ha proyectado, ya que está caracterizada por ser productiva (ver fotos, anexo II.31), de fácil acceso para los residenciales, además del turismo que sería objetivamente atraído por esta vía, asimismo únicamente 4 kms del tramo es camino existente, por consiguiente los restantes 10.98 kilómetros constituyen camino nuevo, siendo éste último considerado para el estudio.

También es debido precisar que por medio del estudio hidrológico se delimitó la cuenca principal y se determinaron sus características físicas; para el cálculo del caudal máximo probable que puede recorrer el cauce se consideró un periodo de retorno de 25 años, realizado primeramente por el Método Racional (para cuencas pequeñas no mayores a 500 Ha) y luego el método definitivo Tránsito de Avenidas para el que se tomó como muestra la microcuenca más grande de todo el proyecto con un área de 900.32 ha, a través de ésta se demuestra el proceso y cálculos adecuados paso a paso; posteriormente con estos datos se realizó el análisis hidráulico para determinar la capacidad de las secciones propuestas a instalar en los cruces de corrientes que afectan la carretera en proyecto, de esto resultó un total de 8 alcantarillas (desde 1 hasta 3 alcantarillas por obra de cruce) y 3 cajas puentes (entre estas 1 caja doble) con diferentes diámetros de sección, al realizar la evaluación se usó el programa de modelación hidráulica HEC-RAS v 3.1.3 para caja puente y para las alcantarillas se utilizó una hoja de cálculo en Excel elaborada y facilitada por la empresa consultora EDICO, basada en los nomogramas de capacidad del Ministerio de Obras Públicas (MOP) Venezuela.



Asimismo, este tipo de estudio o evaluación hidrotécnica permite al lector una guía práctica y fácil, o más bien una muestra del uso de métodos que determinan una parte importante en el trabajo del ingeniero civil.



INDICE

CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 JUSTIFICACION	3
1.4 ANTECEDENTES	5

CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1 ALCANCES Y METODOLOGIA	6
2.2 METODOLOGIA DEL ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO	7
2.2.1 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA	7
2.2.2 METODOLOGÍA DEL CÁLCULO HIDROLÓGICO	12
2.2.2.1 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO PROBABLE POR EL MÉTODO RACIONAL	14
2.2.2.1.1 UBICACIÓN DE PUNTO DE INTERÉS	14
2.2.2.1.2 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA	14
2.2.2.1.3 DIVISIÓN DE LA CUENCA EN SUB-CUENCAS	16
2.2.2.1.4 IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE CONTROL DE CADA SUB-CUENCA	16
2.2.2.1.5 IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROMETEROLÓGICAS DE CADA SUB-CUENCA	17
2.2.2.1.6 GRAFICO DEL HIDROGRAMA TRIANGULAR SINTÉTICO	23
2.2.2.2 ANÁLISIS DE CUENCAS GRANDES (TRÁNSITO DE AVENIDAS)	24
✓ Cálculo de los parámetros para el tránsito	25
✓ Secuencia lógica en la aplicación del Método	27
2.2.3 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO	28



2.2.3.1 INGENIERÍA DE CAMPO Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	28
2.2.3.2 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS	29
2.2.3.2.1 LEVANTAMIENTO DE CAUCES	29
2.2.3.3 CONSIDERACIONES HIDRAULICAS	29
2.2.3.3.1 ECUACIONES UTILIZADAS EN EL PROGRAMA HEC RAS V 3.1.3	30
2.2.3.3.2 LONGITUD DEL TRAMO EN HEC RAS	32
2.2.3.3.3 COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE ENERGIA	32
2.2.3.3.4 COEFICIENTE DE CONTRACCION Y EXPANSION	33
2.2.3.3.5 REGIMEN DEL FLUJO	33
2.2.3.3.6 CONDICIONES DE BORDE	34
2.2.3.3.7 INFORMACION DE DESCARGA	34
2.2.3.3.8 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING n	34
2.2.3.4 ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA ALCANTARILLAS	39
2.2.3.4.1 UBICACIÓN DE ALCANTARILLAS	39
2.2.3.4.2 FLUJO CON CONTROL A LA ENTRADA	40
2.2.3.4.2.1 CARGA PERMISIBLE EN LA ENTRADA (HEP)	41
2.2.3.4.3 FLUJO CON CONTROL A LA SALIDA	41
2.2.3.4.4 VELOCIDADES PERMISIBLES A LA SALIDA DE LAS ALCANTARILLAS DE CONCRETO PARA EVITAR LA EROSIÓN DEL TERRENO.	42
2.2.3.4.5 CONTROL DE EROSIÓN A LA SALIDA	43
2.2.3.4.5.1 MUROS DE ALA	43
2.2.3.4.5.2 OBRAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA	44
2.2.3.4.6 ARRASTRE	44
2.2.3.4.7 SELECCIÓN DEL TAMAÑO Y TIPOS TENTATIVOS DE ALCANTARILLAS	46
CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	47
3.1 DATOS DEL TRAMO	47
3.1.1 LOCALIZACION DEL AREA DEL PROYECTO	47



3.2 CARACTERISTICAS GENERALES DEL TIPO Y USO DEL SUELO	47
3.3 CUENCA HIDROLÓGICA	48
3.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA PRINCIPAL	49
3.4 PRINCIPALES PARAMETROS CLIMATICOS DE LA ZONA	50
3.4.1 COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN	50
3.4.2 HUMEDAD RELATIVA	51
3.4.3 COMPORTAMIENTO ANUAL DEL VIENTO	51
3.4.4 TEMPERATURA	51
3.4.5 CLASIFICACION CLIMÁTICA	52
CAPITULO 4: CÁLCULOS	53
4.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA EN ESTUDIO	53
4.1.1 MORFOLOGÍA DE LA CUENCA PRINCIPAL DEL PROYECTO	53
4.2 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO RACIONAL	54
4.2.1 PARÁMETROS DE LA MICROCUENCA EN ESTUDIO	54
4.2.2 PARAMETROS DEL TRÁNSITO DE LAS SUB-CUENCAS	56
✓ Cálculo de los Parámetros del Tránsito	56
✓ Hidrograma transitado del punto 1 al punto 2	56
✓ Cálculo del Cauda de la Microcuenca Transitada	57
✓ Análisis Hidráulico de Caja Puente en HEC-RAS v 3.1.3	59
✓ Gráfico en planta de las secciones transversales del cauce en estudio	60
✓ Gráfico del Perfil de Aguas	61
✓ Sección de Cruce Aguas Arriba de Caja Puente Doble 2.5 m x 2.5m	62
✓ Sección de Cruce Aguas Abajo de Caja Puente Doble 2.5 m x 2.5m	63
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1 CONCLUSIONES	64
5.2 RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66



ANEXO I

Mapa 1. Ubicación de Puentes Caídos y Dañados en el Huracán Mitch	I.1
Mapa 2. Frecuencia de los 40 Eventos Meteorológicos Extraordinarios Periodo 1892 – 1996	I.2
Mapa 3. Geodésico de Ubicación de Microcuenca Evaluada	I.3
Mapa 4. Trazado de la Cuenca Principal del Proyecto	I.4
Mapa 5. Trazado de la Vía del Proyecto	I.5
Tabla 1 - Elementos de Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales	I.6
Tabla 2 - Coeficiente de escorrentía	I.7
Tabla 3 –Frecuencia de Diseño Recomendadas	I.8
Tabla 4 - Ecuaciones de las curvas IDF Estación Aeropuerto. (Periodo 1974-2000)	I.9
Tabla 5- Intensidades Máximas Anuales de Precipitación (mm)	I.9
Tabla 6 - Curvas IDF Estación Aeropuerto Internacional	I.10
SELECCIÓN DEL TIEMPO DE RETORNO	
Tabla 7 - Periodos de Retornos según la vía.	I.12
Tabla 8 - Periodos de Retorno según longitud de puentes y alcantarillas	I.12
Tabla 9 - Periodos de Retornos según MOP	I.13
Tabla 10 - Periodos de Retornos según la Obra de Drenaje	I.14
Tabla 11 - Valores de Coeficientes de Rugosidad n	I.15
Tabla 12 - Valores de Coeficientes de Rugosidad n	I.16
Tabla 13 - Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.	I.17
Tabla 14 - Dimensión de Alcantarillas	I.18
Tabla 15 - Mínima dimensión de una obra de cruce	I.18
Tabla 16 - Velocidades para que no se produzcan erosión en los elementos del desagüe superficial	I.18
Tabla 17- Coeficientes de pérdidas de carga en la entrada	I.19



ANEXO II. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

ECUACIONES DESARROLLADAS PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO PROBABLE PARA LA MICROCUENCA ESTUDIADA. II.1

Tabla 1. Análisis Hidrológico de las cuencas del proyecto donde se situarán las obras de drenaje. (Tránsito de Avenidas) II.4

Gráfica 1- Planta de Secciones Transversales del Cauce de Microcuena usadas para la Modelación Hidráulica (HEC-RAS 3.1.3) (Est. 9+685.55, sobre el eje de la vía) II.5

Gráfica 2- Secciones Transversales del Cauce de Microcuena usadas para la Modelación Hidráulica (HEC-RAS 3.1.3) (Est. 9+685.55, sobre el eje de la vía) II.6

Gráfica 3- Secciones Transversales del Cauce de Microcuena usadas para la Modelación Hidráulica (HEC-RAS 3.1.3) (Est. 9+685.55, sobre el eje de la vía) II.7

Gráfica 4- Secciones Transversales del Cauce de Microcuena usadas para la Modelación Hidráulica (HEC-RAS 3.1.3) (Est. 9+685.55, sobre el eje de la vía) II.8

Gráfica 5- Secciones Transversales del Cauce de Microcuena usadas para la Modelación Hidráulica (HEC-RAS 3.1.3) (Est. 9+685.55, sobre el eje de la vía) II.9



RESULTADO DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA	II.10
Tabla 3 – Estructuras Propuestas para el Drenaje Menor y Mayor	II.18
Tabla 4 – Cálculo de la Capacidad Hidráulica de las Obras de Drenaje Menor	II.19
Esquema 1- Entrada de Datos y Resultados del Análisis en Hoja de Cálculo Excel (EDICO)	II.21
Esquema 2- Nomograma para Tubos de Concreto con Control a la Entrada	II.22
Esquema 3- Nomograma para Tubos de Concreto con Control a la Salida	II.23
Esquema 4- Nomograma para calcular la sección en colectores llenos	II.24
Esquema 5- Profundidad Crítica en Conductos Circulares	II.25
Esquema 6 - Control a la entrada y salida en alcantarillas	II.26
Esquema 7- Control en Alcantarilla	II.27
Tabla 5 - Coeficientes de Pérdidas de Carga en la Entrada $H_L=C_E V^2/2g$	II.28
FOTOS. DESCRIPCIÓN DE LA TOPOGRAFÍA DEL TERRENO	II.29
FOTOS. USO DEL SUELO EN LA CUENCA DEL PROYECTO	II.31
ANEXO III. PLANOS DE UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CRUCE PROPUESTAS Y PLANOS DE SECCIÓN TÍPICA DE ALCANTARILLA Y CAJA PUENTE	
ANEXO IV. PROCEDIMIENTOS PARA LA MODELACIÓN HIDRÁULICA EN HEC-RAS V 3.1.3	
GLOSARIO DE TÉRMINOS GENERALES	
GLOSARIO DE TERMINOS DE HEC-RAS	





CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

Los riesgos de ocurrencia de fenómenos naturales, que tengan que ver con el elemento agua, ya sean huracanes o tormentas fuertes, aumentan con el paso de los años, generando grandes inundaciones, poniendo a prueba las estructuras de drenaje, teniendo como grandes evidencias en nuestro país de este tipo de catástrofe el huracán Joan (1,988) (ver Mapa 2, anexo I), Mitch (Octubre 1,998 de categoría 5); este último demostró la vulnerabilidad de la infraestructura y la sensibilidad de nuestro medio ambiente ante este tipo de evento, tal como sucedió con el deslave del Volcán Casita que debido a la erosión de sus suelos por deforestación se perdió gran cantidad de vidas humanas, destrucción total o parcial de viviendas, además quedaron colapsadas gran parte de las vías terrestres y sistemas de drenajes por todo el país.

Las posibles soluciones a los efectos de los desastres, dependen en gran medida al desarrollo de la hidrología y al monitoreo sistemático de estos acontecimientos que facilitan el análisis de áreas propensas, especialmente en proyectos viales, estas consecuencias están determinadas por las alteraciones climáticas provocadas por el calentamiento global, empeorados por el mal manejo de los recursos naturales.

La finalidad de los Estudios Hidrológicos e Hidráulicos en toda obra civil, como en el caso del **“Tramo del Corredor Alternativo Turístico INTA – PROINCO – KM 17 ½, Intersección Carretera a Masaya”** que consta de 14.98 kilómetros, es la necesidad de éste, que radica en elaborar una adecuada evaluación del sistema de drenaje transversal para conocer si las alcantarillas y/o cajas puentes propuestas son capaces de evacuar las escorrentías que intervienen en la vía para garantizar su vida útil.



1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Realizar análisis hidrológico e hidráulico del drenaje transversal del tramo de carretera **Corredor Alterno Turístico INTA – PROINCO – Km 17 ½, Intersección Carretera a Masaya.**

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Realizar la caracterización de la cuenca, mediante índices morfométricos, para evaluar atributos relacionados tanto con su forma como con la velocidad de evacuación de agua.
- ✓ Determinar por medio del estudio hidrológico los caudales máximos probables de escorrentía para un periodo de retorno específico.
- ✓ Efectuar análisis hidráulico de las obras de drenaje transversal.



1.3 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de efectuar un **“análisis hidrotécnico del drenaje transversal para el diseño final de la pavimentación del Corredor Alterno Turístico INTA – PROINCO – KM 17 ½, intersección carretera a Masaya”** radica en poder evitar o disminuir el desbordamiento de las obras de drenaje en períodos lluviosos, ya que el peligro aumenta debido a la presencia de velocidades de flujo muy altas en los cauces que provocan daños en las estructuras de cruce.

Sabemos que las aguas de escorrentía son uno de los peores enemigos que reducen la vida útil de las carreteras, por tanto se pretende realizar este trabajo con el fin de obtener un poco más de datos sobre nuestras cuencas hidrográficas; haciendo el uso correspondiente de los métodos que nos ofrece la hidrología y los recursos para dar solución que nos da la hidráulica, además dar respuesta al tramo propuesto para contribuir de forma óptima y positiva al desarrollo de nuestro país.

1.3.1 IMPORTANCIA DEL TRAMO

Su importancia radica en dinamizar el intercambio comercial, mediante la promoción del desarrollo económico, agrícola y turístico de la zona adyacente a la vía.

La interconexión facilita el ingreso a la capital de la población de las áreas adyacentes o el traslado expedito de la circulación proveniente del norte hacia la región sur y viceversa.

Cabe destacar que dada la cercanía del Aeropuerto Internacional al proyecto y como única vía de acceso al país para el transporte aéreo y la comunicación internacional, la vía servirá para el traslado inmediato de los visitantes extranjeros, siendo estos inversionistas o turistas y que utilicen este traslado



interno, hacia la zona sur y oriental del país, ya que esta zona trae fuertes fuentes de divisas para el desarrollo económico, turístico y agrícola.

Por otra parte, esto viene a reducir el tiempo de viaje y recorrido del usuario y por consiguiente disminuye significativamente los costos de operación vehicular, convirtiéndose esta en una vía troncal secundaria basándonos en las especificaciones del manual SIECA. (ver Tabla 1, anexo I).



1.4 ANTECEDENTES

En Nicaragua, se han realizado anteriormente estudios de vulnerabilidad de las estructuras de drenaje que se determinan mediante una combinación de factores que influyen en la descarga de las aguas escurridas después de la lluvia, las consecuencias fueron fuertemente confirmadas con el paso del Huracán Mitch (Octubre 1,998) con daños parciales y totales en 68 puentes (3,731.55 ml) y 2,023.21 kms de carreteras y caminos destruidos (ver Mapa 1, anexo I), además se han elaborado estudios de algunas cuencas con diversos fines, ya sean para generación de energía hidroeléctrica, para aprovechamiento en la agricultura hasta para el consumo humano.

La primera parte de la vía en estudio representa el 10 % de la misma, se ubica sobre camino existente, aunque éste no cuenta con material estable en su superficie, son dos tramos de la carretera que conforman este porcentaje. El segundo comienza a partir del terreno sur del INTA, el trazo se aleja de la carretera existente y se aloja sobre terrenos agrícolas y la última parte del tramo se conforma por terrenos no cultivados.

En lo que respecta a la localización del **Tramo del Corredor Alterno Turístico INTA – PROINCO – KM 17 ½, Intersección Carretera a Masaya**”, intersecta en dos sitios al cauce El Arroyo, cuya cuenca con un área aproximada de 11,215.38 hectáreas, recibe la escorrentía superficial de los territorios de Ticuantepe y El Crucero donde se han formado un sinnúmero de cauces debido a su formación geológica. El cauce principal se forma en la comarca La Borgoña, teniendo una longitud de 25 kilómetros hasta la carretera Norte.



CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1 ALCANCES Y METODOLOGIA

Para el proceso del Análisis Hidrológico se determinan caudales máximos probables que sirvan en el diseño de obras hidráulicas para cruces de corrientes; en este caso se analizarán alcantarillas y cajas puentes las cuales sirven para asegurar la permanencia y vida útil de la obra vial, para un período de retorno específico basado en las características de la vía y la intensidad de las precipitaciones; para tal resultado, el proceso es el siguiente:

Es preciso realizar varias visitas de campo al área del proyecto, a fin de observar in-situ las características topográficas, tales como: cauces naturales, cruces de corrientes, cambios de pendientes, límites de cuenca, estructuras de cruce existente, tipo de vegetación, usos del suelo, etc. (Ver fotos, anexo II.31)

De acuerdo a la información topográfica del proyecto de carretera se obtendrá el levantamiento de las secciones transversales del cauce aguas arriba y aguas abajo, asimismo las pendientes características y el sentido del flujo a evacuar en cada cruce de obra hidráulica.

Sobre las hojas cartográficas, en escala 1:50.000, las cuales contienen las áreas de drenaje de los cauces que afectan el proyecto, se delimitarán los parte aguas y la huella de la corriente; mediante el programa AUTO CAD 2007 se obtendrán los siguientes datos: áreas, perímetro de las cuencas, longitudes de cauces y diferencias de elevación entre el punto más alto del cauce y el más bajo.

Para el cálculo de caudales se usará el Método Racional (para cuencas menores a 5 km²) previo al método definitivo que es el Tránsito de Avenidas y para el análisis de estructuras de cruce se utilizará el Programa de Modelación Hidráulica



HEC – RAS V 3.1.3 para caja puente y nomogramas de capacidad para alcantarilla.

Además, es necesario precisar que para evaluar, se tomará en cuenta como muestra del cálculo la microcuenca más grande del proyecto.

2.2 METODOLOGIA DEL ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO

2.2.1 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA

a. Forma de la Cuenca¹

Determina la distribución de las descargas de agua a lo largo del curso principal y es en gran parte responsable de las características de las crecientes que presentan las mismas.

b. Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius²

Este parámetro constituye la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de la circunferencia cuya área, igual a la del círculo, es equivalente al área de la cuenca en estudio.

$$\text{Ec. 1 } K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similaridad con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985):

^{1,2} Hidrología. Tomo I: Componente Biofísico. Corporación Suna Hisca (Colombia). Bibliografía.



- ✓ Clase Kc1: Rango entre 1 y 1.25. Corresponde a forma redonda a oval redonda.
- ✓ Clase Kc2: Rango entre 1.25 y 1.5 Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.
- ✓ Clase Kc3: Rango entre 1.5 y 1.75 Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.

c. Factor de Forma (Ff)³

Es un índice que permite establecer la tendencia morfológica general en función de la longitud axial de la cuenca, y de su ancho promedio. Una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor forma tiende a uno. Este factor, como los otros que se utilizan en este trabajo, es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una cuenca, teniendo en cuenta que aquellas cuencas con formas alargadas, tienden a presentar un flujo de agua más veloz, a comparación de las cuencas redondeadas, logrando una evacuación de la cuenca más rápida, mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base, principalmente. Por otra parte, el ancho medio de la cuenca se obtiene dividiendo el área de la misma entre la longitud del curso de agua más largo.

$$\text{Ec. 2 } Ff = \frac{Am}{L} = \frac{A/L}{L} = \frac{A}{L^2}$$

d. Sistema de Drenaje

Está constituido por un curso principal y sus tributarios. Por lo general, cuanto más largo sea el curso de agua principal, más bifurcaciones tendrá la red de drenaje. Dentro de esta característica se consideran los siguientes parámetros:

³ Hidrología. Tomo I: Componente Biofísico. Corporación Suna Hisca (Colombia). Bibliografía.



d.1 Grado de Ramificación

De acuerdo a las bifurcaciones que tienen los tributarios del cauce El Arroyo, este tiene un curso de 5^o orden, ya que cuenta con varios ramales.

d.2 Densidad de Drenaje (Dd)⁴

Este parámetro indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua y el área total de la misma. Principalmente se utiliza para determinar la disponibilidad hídrica de la cuenca en cada uno de sus sectores. La baja densidad de drenaje indica que las precipitaciones no influyen inmediatamente.

$$\text{Ec. 3 } Dd = \frac{\text{Longitud del Cauce Principal (km)}}{\text{Área Total de la Cuenca (km}^2\text{)}}$$

e. Patrón de Drenaje⁵

Se define como patrón de drenaje a la forma cómo una red se aprecia, esta suministra la información inicial sobre la dinámica interna y externa en un área determinada.

Estos patrones dependen de varios factores: pendiente de las laderas y del área de drenaje, cobertura vegetal, resistencia de la litología, caudal, permeabilidad del suelo, nivel e intensidad de lluvias, actividad estructural. Según esto, los patrones de drenaje pueden ser:

1. Drenaje Dendrítico: Son cursos pequeños, cortos e irregulares, que andan en todas las direcciones, cubren áreas amplias y llegan al río principal formando cualquier ángulo.

⁴ Hidrología. Tomo I: Componente Biofísico. Corporación Suna Hisca (Colombia). Bibliografía.

⁵ Escuela de Ingeniería de Antioquía. Geomorfología Ambiental. <http://suelos.eia.edu.co/geomorfologia/drenaje.htm>. Bibliografía



2. Drenaje en Enrejado o Trenzado (trellis): Ocurre cuando un tributario secundario corre en sentido paralelo al río principal o tributario de primer orden.
3. Drenaje Rectangular: Es cuando entre los tributarios y el cauce principal se generan ángulos rectos.
4. Drenaje Radial: En éste se aprecia que las pequeñas fuentes de agua salen de un punto central, indicando un punto elevado dentro del paisaje.
5. Drenaje Anular: Es muy similar al radial pero no es tan denso. Indica, al igual que el anterior, un resalto en una superficie plana.
6. Drenaje Paralelo: Se presenta cuando varias corrientes corren paralelas entre sí, sin importar el orden o la importancia en el conjunto total de tributarios.
7. Drenaje Pinado: Su nombre se atribuye por el parecido que presenta con las formas de las ramas de los pinos. Son caudales densos, cortos y generalmente de bajo orden.
8. Drenaje Sub-dendrítico: En este caso se tiene un tributario mayor bien definido, con mayor cantidad de caudal, donde llegan una serie de afluentes pequeños. Se presentan cuando hay una captura intensa y además existe un control estructural o topográfico.
9. Drenaje Meándrico: Éste es el caso en el cual un río posee una extensión apreciable como llanura de inundación, allí se generan curvas pronunciadas conocidas como meandros. Para que se genere un comportamiento de este tipo es necesario que el caudal involucrado sea importante, de cantidad apreciable.
10. Drenaje Anastomosado: Es típico de zonas y llanuras de inundación amplias, alta sedimentación pero moderado a bajo caudal, sin embargo son normales los eventos de crecientes. Este tipo de drenaje es común en las proximidades de zonas de derretimientos de casquetes.



11. Drenaje Angular: Es similar al rectangular, sin embargo en éste los ángulos formados entre los ríos y sus tributarios no son rectos. Se presentan cuando hay un control estructural y moderada a alta cobertura vegetal.

12. Centrípeto o Radial Inverso: En este caso se aprecia igual que el radial, sin embargo, en vez de que los cauces salen, confluyen hacia un punto, indicando que ese lugar en vez de ser elevado, es una depresión cerrada, por ejemplo: cráteres, calderas, cuencas, valles o domos colapsados.

13. Drenaje Sub-paralelo: Posee menos paralelismo y menor densidad que el drenaje paralelo, es un caso especial donde se aprecia la esquistosidad de las rocas.

14. Drenaje Colineal: Es igual que el paralelo o sub-paralelo, pero los cauces se pierden, indicando: alta permeabilidad, densa cobertura vegetal, pendientes moderadas a bajas

Para el proyecto se clasifica como dendrítico, ya que existe un río principal con sus tributarios primarios, uniéndose libremente en diferentes direcciones.

f. Morfología del Cauce Principal ⁶

La importancia de poder determinar las características de los drenajes superficiales de una cuenca hidrográfica yace en la posibilidad que brindan estas de comprender mejor la dinámica de la regulación hídrica en una unidad hidrográfica particular y establecer la oferta natural del recurso en un área determinada.

⁶ Hidrotecnia de Alcantarillas y Puentes. Curso de Titulación en Obras Horizontales 2008.

Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía. Bibliografía.



2.2.2 METODOLOGÍA DEL CÁLCULO HIDROLÓGICO⁷

Considerando las pequeñas dimensiones, el método propuesto es el Método Racional, este método lo usamos previo al método definitivo (Tránsito de Avenidas) para efectos del cálculo del caudal. Este método es una herramienta muy utilizada para medir descargas de pequeños drenajes. Se adapta muy bien para la determinación de la escorrentía para drenaje superficial de caminos y descargas para alcantarillas de pequeñas cuencas. Se obtienen mejores resultados para cuencas no mayores de 500 hectáreas (5 km²), pero puede utilizarse para estimar cuencas grandes, con menos precisión, si otros métodos no son aplicables o disponibles. Además es muy utilizado para realizar el cálculo del caudal de diseño, debido a su gran simplicidad en el proceso de cálculos; tiene poca exigencia en la información, ya que los datos se determinan directamente de los mapas geodésicos y se procesan por la aplicación de fórmulas sencillas; pero se deben de considerar las limitaciones del mismo para evitar errores de gran magnitud. El Método está dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Ec.4 } Q = 0.2778C * I * A$$

Donde,

Q: Caudal en m³/seg.

I: Intensidad de la lluvia en mm/h.

A: Área de drenaje de la subcuenca en km².

C: Coeficiente de escorrentía, adimensional.

El cálculo del caudal máximo probable que pueda suceder en el punto de cierre de la cuenca es imprescindible para la toma de decisión en lo referente a la construcción de estructuras hidráulicas para determinar niveles de inundación producidos por avenidas.

⁷ Hidrología. Tomo I: Componente Biofísico. Corporación Suna Hisca (Colombia). Bibliografía.

Para cuencas mayores de 500 hectáreas (5 km²) se usa el **Método Tránsito de Avenidas en la variante Muskingum**, debido a que es un procedimiento matemático para predecir el cambio de magnitud, velocidad y forma de una onda de flujo en función del tiempo (Hidrograma de Avenidas), usando datos conocidos o supuestos en uno o más puntos aguas arriba del sitio de interés.

Las bases de este método son las siguientes:

- ✓ Se origina de las fórmulas de Saint Venant.
- ✓ No se consideran fuerzas dinámicas.
- ✓ No se puede aplicar cuando hay remanso.
- ✓ No se debe aplicar cuando el agua del río ocupa un cauce irregular.

a. El concepto de almacenamiento y descarga ⁸

Los métodos hidrológicos para calcular el tránsito de avenidas consideran el almacenamiento a medida que el agua se desplaza por los cauces pluviales y las estructuras de control de las aguas, ya que simulan el nivel y el caudal en estos.

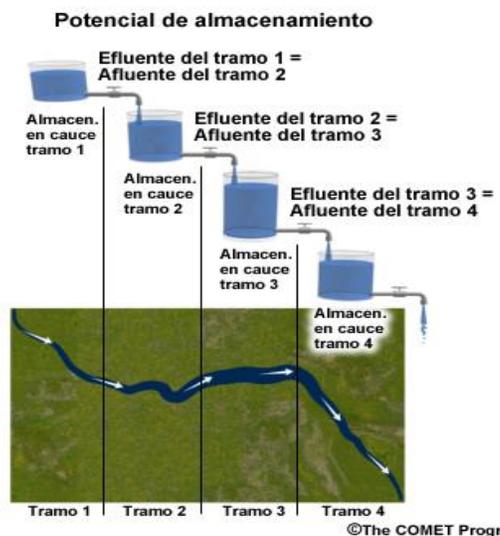


Fig. 1 Tránsito de Avenidas

⁸ Curso Básico de Hidrología - Tránsito de avenidas. Producido por The COMET® Program. <http://www.meted.ucar.edu/>. Bibliografía.



Se pueden representar las variaciones de caudal a lo largo del curso de un cauce como agua que pasa por una serie de recipientes. Estos recipientes, o vasos, pueden ser cuencas de captación, canales, embalses y llanuras de inundación.

Desde este punto de vista, el tránsito de avenidas es el cálculo del volumen de agua que se desplaza de un vaso a otro, en tiempos variables. El resultado del cálculo de propagación en tramos es un hidrograma calculado que contempla la geometría de la cuenca y las condiciones naturales.

2.2.2.1 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO PROBABLE POR EL MÉTODO RACIONAL

2.2.2.1.1 UBICACIÓN DE PUNTO DE INTERÉS⁹

El punto de interés se localiza en el mapa geodésico, sobre el cauce del río en el que interesa conocer su caudal para fines de una construcción Hidráulica, tales como: puente, caja-puente, alcantarilla, cortina hidráulica, etc.

El mapa a utilizar deberá estar en escala adecuada que permita interpretar con claridad la información, las curvas de nivel deben ser lo menos distantes posibles, de preferencia de cada dos o cinco metros.

2.2.2.1.2 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA¹⁰

En la formulación de obras hidráulicas tales como cajas puentes y alcantarillas de cruce, es primeramente necesario conocer el caudal proyectado con el que se

⁹ Hidrotecnia de Alcantarillas y Puentes. Curso de Titulación en Obras Horizontales 2008. Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía. Bibliografía.

¹⁰ Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Menor. CORASCO. Octubre 2008. Bibliografía.



debe diseñar dicha obra, por lo tanto será totalmente necesario conocer el caudal máximo probable que aporta la cuenca en el punto del proyecto, pero previo a eso debemos conocer la cuenca u olla hidrográfica, ese espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por una red natural con uno o con varios cauces naturales, que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar, es decir, se delimita una cuenca estableciendo como punto de control o de cierre el que corresponde al sitio de interés de acuerdo al propósito del estudio.

No existe ningún punto de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica.

Para el trazado de la divisoria topográfica de una cuenca se deben seguir las siguientes indicaciones:

1. Disponer de un plano geodésico con escala adecuada, generalmente 1:50,000 que permita distinguir y visualizar las curvas de nivel así como las salientes de los cerros y las entrantes de las vaguadas de los cauces.
2. Definir con coordenadas el punto de cierre o de interés, donde se colocará la obra hidráulica del estudio.
3. A partir del punto de cierre se inicia el trazado de la línea divisoria la cual irá cortando ortogonalmente las curvas de nivel de las salientes de los cerros o parte aguas, que dejan circunscrita la cuenca en estudio. Se recomienda usar la línea con sobre ancho de color rojo, así como localizar previamente los puntos más altos, generalmente, altitudes de cerros señalados en los planos.
4. En el trazado de la línea divisoria no se deben cortar otras corrientes de agua ni vaguadas, solamente la del punto de cierre. Tomar en consideración algunas referencias; cuando curvas del mismo valor están muy juntas significan una gran pendiente, pero si están muy separadas representan tierras planas. Curvas de forma cóncava hacia arriba y valores ascendentes



significan un curso de agua. Curvas con forma convexa hacia arriba y valores ascendentes, significan un cerro o montaña.

5. Para verificar que la divisoria dibujada está correcta, trazar las corrientes de agua internas y externas a la cuenca que nacen en la misma parte aguas; usar color azul.
6. Si el plano usado no tiene suficiente información, se deben agregar los rótulos de las curvas nivel al menos cada 100 metros en elevación y en los puntos donde gráficamente no está claro de la dirección de flujo de las aguas, se deben crear los puntos de interpolación de niveles que ayuden a definir la dirección de flujo correcta.
7. Como producto final se obtiene la cuenca delimitada, la red de drenaje y se puede repetir el procedimiento a nivel de sub-cuencas y micro cuencas.

2.2.2.1.3 DIVISIÓN DE LA CUENCA EN SUB-CUENCAS ¹¹

El tamaño de cada sub-cuenca está determinado por las limitaciones del método racional que se aplica en cuencas cuya área de aportación es menor de 500 Ha. (5 km²).

2.2.2.1.4 IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE CONTROL DE CADA SUBCUENCA ¹¹

La identificación puede ser por número, una o grupo de letras o un nombre.

¹¹ Hidrotecnia de Alcantarillas y Puentes. Curso de Titulación en Obras Horizontales 2008. Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía. Bibliografía.



2.2.2.1.5 IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROMETEROLÓGICAS DE CADA SUB-CUENCA ¹²

a. Nombre

Para identificar cada sub-cuenca generalmente se toma la primera letra o las siglas del sector en el que se localiza el punto de interés de la cuenca.

b. Área

El área de aportación se obtiene por lecturas directas con el programa AUTOCAD 2007 en el mapa geodésico, es simplemente la que contribuye a la escorrentía de agua de la alcantarilla. Los límites van desde la divisoria de aguas a los pies de talud de la alcantarilla. Sobre la superficie de rodamiento, el área de drenaje es la parte alta del talud de corte y la superficie de rodamiento, el área que está entre la alcantarilla o cuneta.

El área de aporte de caudal se calcula para cada cuenca de drenaje diferenciando entre el área urbana y el área rural, por los tipos de usos y coberturas del suelo.

c. Longitud del Cauce (Lc)

La longitud se mide tomando en cuenta el cauce principal, que generalmente es el de mayor recorrido partiendo del punto más remoto del punto de control.

¹² Hidrotecnia de Alcantarillas y Puentes. Curso de Titulación en Obras Horizontales 2008. Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía. Bibliografía.



d. Altura Máxima (H_{máx})

Es la elevación máxima del punto más remoto del cauce principal donde se inicia el escurrimiento del agua.

e. Altura Mínima (H_{mín})

Es la elevación mínima del punto de control de la sub cuenca.

f. Pendiente del Fondo del Cauce (S_c)

Es la pendiente del fondo del cauce principal.

$$\text{Ec. 5} \quad S_c = \frac{H_{máx} - H_{mín}}{L} * 100$$

Donde,

H_{máx}: Altura máxima (m)

H_{mín}: Altura mínima (m)

L: Longitud del Cauce (m)

g. Tiempo de Concentración(T_c)

La duración de la lluvia corresponde al tiempo de concentración de la cuenca, el que fue determinado usando la fórmula de Basso o método del proyecto hidrometeorológico centroamericano.

$$\text{Ec. 6} \quad T_c = 0.0041 (K)^{0.77}$$

Donde,

$$K = \frac{3.28L}{\sqrt{S_c}}$$



Tc = Tiempo de concentración en minutos.

L = Longitud máxima en metros.

S = Pendiente del fondo del cauce principal.

h. Selección de la Estación Meteorológica

La selección depende de la cercanía con el proyecto y de las condiciones topográficas de su área de influencia, para el análisis se usó la estación meteorológica del Aeropuerto Augusto C. Sandino. Esta estación es del tipo HMP o hidrometeorológica principal, estación muy confiable dado a que consta con una gran cantidad de datos históricos y la calidad del equipamiento que usan. Se hace notar que los registros están actualizados ya que incluyeron los datos del Huracán MITCH (1998), por otra parte el área de influencia respecto a la cuenca no debe ser mayor a los 50 km de acuerdo al Manual de Hidrología Superficial de la Alcaldía de Managua.

i. Intensidad de Precipitación (I)

Se define como la cantidad de agua que cae por unidad de tiempo. Se mide en milímetros por hora (o pulgadas por hora).

Se obtiene por la lectura directa en la curva de Intensidad Duración Frecuencia (IDF) o por la aplicación de su respectiva ecuación definida para el período de retorno (Tr) seleccionado para el diseño.

i.1 Intensidad Duración Frecuencia (IDF)

En estudios para relacionar datos de lluvias con caudales, se requiere desarrollar relaciones entre intensidades de lluvias, la duración de la misma con la frecuencia de ocurrencia. Normalmente se desarrollan ecuaciones de Intensidad – Duración – Frecuencia, (IDF).



Estas ecuaciones tienen la forma:

$$\text{Ec. 7} \quad I = \frac{A}{(t_c + d)^n},$$

Donde,

I = Intensidad de lluvias en mm/hora

t_c :Tiempo de concentración de la cuenca hidrográfica

A,d,n: Son coeficientes que se determinan con los datos intensidades de lluvias, proporcionados por INETER. (Ver tabla 4, anexo I.9).

La frecuencia e intensidad de las lluvias varía bastante de mes a mes, de año en año y de zona a zona geográfica, aún dentro de la misma zona afectada por la tormenta. En la región del pacífico del país se registran precipitaciones promedias que van desde los 10 mm hasta los 600 mm. Las formaciones montañosas del departamento de Managua-Masaya, también inciden en la probabilidad o frecuencia de diseño del aguacero y de la duración de la misma y para efecto del uso de la fórmula racional es el tiempo de concentración de la cuenca.

j. Periodo de Retorno

El periodo de retorno es el intervalo en años, en que determinada precipitación se espera que ocurra, o bien que este evento suceda una vez cada N años, no necesariamente significa que el evento se dé a intervalos constantes de cada N años, más bien existe 1/N de probabilidades que la crecida de N años ocurra dentro de cualquier período.

Tradicionalmente para elegir el período de retorno de diseño se recurre a la bibliografía de otros países (Ver selección tiempo de retorno, anexo I.11) adoptando criterios similares o sobre la base de experiencias, se han desarrollado algunos criterios generalizados para diseño en estructuras de drenaje.



Usualmente, se selecciona el periodo de retorno en base a la cual se fija la magnitud del evento. Por lo dicho, se comprende que el periodo de retorno que se debe considerar dependerá de: 1) la importancia de la carretera: no es igual una carretera con una circulación intensa que de servicio a una zona industrial importante que otra con escasos desplazamientos locales en un medio rústico, 2) la importancia de la obra concreta: no es lo mismo una alcantarilla que un gran puente, 3) el nivel de inversión que se considera apropiado (costo medio por kilómetro).

De los aspectos anteriores, en la práctica, el tercero suele ser el principal. Al aumentar el periodo de retorno resultan unos mayores caudales de diseño, lo que supone unas obras con mayor sección y, por lo tanto, más costosas.

Se puede decir que en el comportamiento de una lluvia no tienen necesariamente relación la intensidad máxima diaria con el volumen anual precipitado. Estas lluvias a su vez son comparables en cuanto a precipitaciones diarias con las que ocurren en otros países, región o cuencas adyacentes; pero a nivel de precipitaciones horarias se encuentran significativas diferencias, que corresponden precisamente a aquellas duraciones que tienen relevancia para la evacuación y drenaje de aguas lluvias urbanas.

Por tanto, en el establecimiento de una frecuencia de diseño para una instalación de drenaje, como diseñador se toma el riesgo que pueda ocurrir un flujo que sea mucho más grande que la capacidad de la estructura. Ese riesgo es necesariamente cuando los fondos públicos son limitados y es lo que se tiene disponible para la instalación del drenaje.

Un enfoque tradicional para el establecimiento de una frecuencia para diseño de una instalación de drenaje se debe al uso de tablas de referencia en la cual se establecen rangos específicos de periodo de retorno por tipo de instalación.

Por consiguiente, se presentan los rangos recomendados para proyectos de drenaje de carreteras de acuerdo a la Clasificación Funcional establecida por el



MTI en el Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Menor y para realizar el actual análisis hidrológico se propuso 25 años de período de retorno, esta categorización relaciona los niveles de protección mínimos para obras hidráulica del drenaje de carreteras (ver tabla 3, anexos I.8).

k. Coeficiente de Escorrentía (C)

Se define como la razón entre la cantidad de agua que escurre y la precipitación total que escurre hacia el drenaje, que depende del estado inicial del suelo de la cuenca, ya que un suelo seco absorbe más agua que un suelo saturado. Sin embargo, para estudios hidrológicos se asume un valor normalmente conservador pero no arbitrario, sino de una observación detallada de la naturaleza de la superficie, del uso del suelo y de la pendiente del terreno. Para estos datos, es importante su fecha de edición y deben constatarse con la información obtenida en las visitas de campo y de las fotografías aéreas disponibles.

Si la cuenca no es homogénea en lo referente al uso y tipo del suelo, este coeficiente debe ser ponderado por unidad de área, o sea:

$$\text{Ec. 8 } C = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i}$$

Donde,

C_i: Coeficiente de escorrentía de la cuenca homogénea.

A_i: Área de la cuenca homogénea.

El departamento de drenaje pluvial de la Alcaldía de Managua con base en los documentos de las “Normas checas para estabilización de cauces y cárcavas, esbozo de un plan maestro del drenaje pluvial subterráneo y superficial de la Ciudad de Managua”, propone tabla para la determinación del coeficiente de



escorrentía, en dependencia de los factores: el uso del suelo, tipo de suelo y pendiente del terreno (ver tabla 2, anexos I.7).

$$\text{Ec. 9 } C = U_s * T_s * P_t$$

Donde,

C: Coeficiente de Escorrentía

Us: Uso del Suelo

Ts: Tipo de Suelo

Pt: Pendiente del Terreno.

I. Caudal de Diseño (Q)

Con todos los parámetros conocidos se estima el caudal de diseño, para cada tramo de cuneta, haciendo uso de la fórmula del Método Racional. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Ec. 10 } Q = 0.2778C * I * A$$

Donde,

Q: Caudal en m³/seg.

I : Intensidad de la lluvia en mm/h.

A: Área de drenaje de la subcuenca en km².

C: Coeficiente de escorrentía, adimensional.

2.2.2.1.6 GRAFICO DEL HIDROGRAMA TRIANGULAR SINTÉTICO

Se genera utilizando los datos del tiempo de concentración y su caudal, llamado tiempo pico y caudal pico. Se establece el criterio que la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración de la subcuenca, que a la vez es el tiempo pico del hidrograma.



Se grafican los datos definiendo la ordenada para los valores del caudal y la abcisa para el tiempo. Se utiliza este tipo de hidrograma por la simplicidad de sus cálculos, sin embargo, la literatura hidrológica contiene diferentes métodos para generar hidrogramas sintéticos.

2.2.2.2 ANÁLISIS DE CUENCAS GRANDES (TRÁNSITO DE AVENIDAS)

Por lo expresado sobre las limitaciones del Método Racional para cuencas mayores de 500 hectáreas, luego de haber calculado el caudal por dicho método se procede a encausarlo hacia el cauce principal y el cruce con la carretera, utilizando el **Método de Muskingum**, para obtener el caudal de diseño.

Para realizar este traslado, con el caudal pico calculado para cada sub-cuenca se construye un hidrograma simplificado, dependiendo de la forma de la cuenca, cada hidrograma es trasladado al punto de concentración de caudales de la siguiente cuenca aguas abajo y se le suman los caudales que allí se concentren y así sucesivamente hasta llegar al punto de cruce.

Para el traslado ha utilizado la siguiente ecuación del tránsito:

$$\text{Ec. 11 } O_2 = C_0 * I_2 + C_1 * I_1 + C_2 * O_1$$

Donde,

O₂: Caudal de salida al momento del tránsito

I₂: Caudal de entrada al momento del tránsito

O₁: Caudal de salida un instante antes del tránsito

I₁: Caudal de entrada un instante antes del tránsito

C₀, C₁, C₂: Coeficiente de rugosidad del cauce



✓ **Cálculo de los parámetros para el tránsito**¹³

a. Velocidad de Tránsito (Vt)

$$\text{Ec. 12 } V = \frac{L}{tc}$$

Donde,

V: Velocidad de flujo (m/min)

L: Longitud total del cauce en la Subcuenca (m)

tc: Tiempo de concentración de la Subcuenca (min)

b. Longitud del Tránsito (Lt).

Es la distancia entre dos puntos de control consecutivos, medidos sobre el cauce principal de la cuenca.

c. Tiempo de Retardo (K).

Representa el desfase entre el tiempo pico del hidrograma a transitar y el tiempo pico del hidrograma transitado.

$$\text{Ec. 13 } K = \frac{L_t}{V_t}$$

Donde,

K: Tiempo de Retardo. (min)

Lt: Longitud del tramo del cauce principal a través del cual se hará el tránsito.

Vt: Velocidad del tránsito a realizar.

¹³ Hidrotecnia de Alcantarillas y Puentes. Curso de Titulación en Obras Horizontales 2008. Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía. Bibliografía.



d. Tiempo del Hidrograma a Transitar (T).

Es el cociente que resulta al dividir como mínimo por 2 el tiempo pico del hidrograma a transitar.

e. Coeficiente de Rugosidad.

$$\text{Ec. 14 } C_0 = -\frac{(KX - 0.5t)}{K - KX + 0.5t} \quad \text{Ec. 15 } C_1 = \frac{(KX + 0.5t)}{K - KX + 0.5t}$$

$$\text{Ec. 16 } C_2 = \frac{(K - KX - 0.5t)}{K - KX + 0.5t}$$

Donde,

K: Período de retorno (min.)

t : tiempo de concentración (min.)

X: Valor adimensional para cauces naturales toma un valor de 0.20

Si se encuentran disponibles hidrogramas de entrada y salida observados para un tramo del canal, pueden determinarse los valores de K y X. Suponiendo varios valores de X y utilizando valores conocidos de caudal de entrada y caudal de salida, pueden calcularse valores sucesivos del numerador y denominador para la siguiente expresión para K:

$$\text{Ec. 17 } K = \frac{0.5 \Delta t [(I_{j+1} + I_j) - (Q_{j+1} + Q_j)]}{X(I_{j+1} - I_j) + (1 - X)(Q_{j+1} - Q_j)}$$

Los coeficientes de rugosidad deben de cumplir:

$$\text{Ec. 18 } C_0 + C_1 + C_2 = 1$$



✓ **Secuencia lógica en la aplicación del Método.**

a. Tránsito del hidrograma del primero al segundo punto

El procedimiento se realiza de aguas arriba hacia aguas abajo partiendo del primer punto de control y utilizando el hidrograma triangular sintético en este punto.

Si dos o más subcuencas convergen en dicho punto, se hará una suma de hidrograma triangulares y el hidrograma resultante se transita hacia el segundo punto de control.

Una vez calculado los coeficientes de rugosidad, se procede a realizar el tránsito del hidrograma por medio de la ecuación del tránsito.

El tránsito se concluye cuando el caudal de salida (O_2) alcanza el valor cero en un tiempo total acumulado que resulta de sumar consecutivamente el intervalo de tiempo (t) del hidrograma a transitar, hasta el valor del caudal antes mencionado.

El tránsito se realiza considerando ingresos y egresos del caudal.

b. Gráfico del hidrograma transitado

Se elabora en papel milimetrado el gráfico Caudal vs. Tiempo del hidrograma transitado o en una hoja de cálculo de Excel.

c. Suma de hidrograma en el segundo punto

Se suma el hidrograma transitado y el hidrograma triangular sintético de la o las subcuencas que convergen hacia el segundo punto. El hidrograma suma se obtiene colocando los tiempos de los hidrogramas a sumar en orden cronológico



ascendente con su respectivo caudal. Los caudales faltantes en cada hidrograma se leen del gráfico correspondiente o interpolando.

d. Gráfico del hidrograma suma en el segundo punto

Se elabora en papel milimetrado del gráfico Caudal vs. Tiempo o en una hoja de cálculo de Excel utilizando los tiempos en orden cronológico ascendente y los caudales respectivos resultantes de la suma.

e. Tránsito del hidrograma suma en el segundo punto hacia al tercer punto

El hidrograma resultante de la suma en el segundo punto se transita hacia el tercer punto, y aplicando la ecuación de tránsito de avenida.

f. Dado el caso, se prosigue la secuencia lógica del método hasta finalizar los cálculos en el punto de cierre de la cuenca.

2.2.3 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL CÁLCULO HIDRÁULICO

2.2.3.1 INGENIERÍA DE CAMPO Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Durante esta fase, se realizan los reconocimientos y levantamientos topográficos, los estudios hidrológicos e hidráulicos, también se recaba toda la información que generan otras instituciones del Estado y que es necesaria para los distintos estudios, tales como INETER, M.T.I.



2.2.3.2 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

2.2.3.2.1 LEVANTAMIENTO DE CAUCES

Para el levantamiento se usan equipos electrónicos conocidos como Total Station y prismas para obtener una mayor precisión en los datos que se toman.

Con el trazado en planta del eje de la carretera en las proximidades de los accesos y fijadas las elevaciones de los BM's, se procede a levantar el perfil longitudinal sobre el terreno natural actual, en puntos coincidentes con el estacado y se toman estaciones cada 10 metros y puntos notables de la línea central, obteniéndose las elevaciones correspondientes, para obtener el alineamiento vertical y poder diseñar en la etapa correspondiente, la plantilla de los cauces.

El perfil se comprueba en cada BM de llegada con una tolerancia de 2 mm por “turning point”. Las estaciones establecidas como sus respectivas elevaciones son la base o punto de apoyo para el levantamiento de las secciones transversales del camino.

Las secciones transversales se extienden 10 metros a cada lado de la línea central o más cuando las condiciones del sitio lo exigen o donde es necesario hacer cambios menores en el trazado, siendo utilizados para el cálculo del movimiento de tierra y sus alternativas.

2.2.3.3 CONSIDERACIONES HIDRAULICAS

Posterior al uso del Método Racional aplicamos el Método Tránsito de Avenidas para la determinación del caudal de escorrentía y con sus probabilidades de recurrencia se procede al análisis hidráulico de cajas puentes y alcantarillas.



El análisis hidráulico para alcantarillas se hará usando la hoja de cálculo en Excel facilitada por la empresa consultora EDICO que hace uso de nomogramas para tubos de concreto con control en la entrada y salida; los que fueron tomados del Manual de Drenaje del MOP Venezuela que se basa en las normas norteamericanas del Hydraulic Design of Highway Culvert – U.S Department of Transportation – y para caja puente se realizará con el apoyo del Programa de Modelación Hidráulica **HEC RAS v 3.1.3** desarrollado por el U.S Army Corps of Engineers.

Este sistema de modelación es capaz de ejecutar cálculos de perfiles de agua en flujos permanentes y variables. Este programa básicamente tiene tres componentes: una de entrada de datos geométricos, otra para introducir los datos de flujo y una última para realizar la simulación.

Los datos geométricos se requieren en cualquier análisis a realizarse en el HEC-RAS, los cuales son: secciones transversales, longitud del tramo, datos de estructuras hidráulicas (cajas puentes, alcantarillas, puentes, etc).

2.2.3.3.1 ECUACIONES UTILIZADAS EN EL PROGRAMA HEC RAS V 3.1.3

a. Ecuación de Continuidad

$$\text{Ec. 19 } V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2$$

Donde,

V_1 : Velocidad aguas arriba.

V_2 : Velocidad aguas abajo.

A_1 : Área aguas arriba.

A_2 : Área aguas abajo.



b. Ecuación de la Energía

$$\text{Ec. 20 } Z_1 + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_e$$

Donde,

Z_1, Z_2 : Distancia vertical medida a partir del datum hacia la sección en consideración.

Y_1 : Tirante aguas arriba.

Y_2 : Tirante aguas abajo.

$\frac{V_1^2}{2g}$: Carga de velocidad aguas arriba.

$\frac{V_2^2}{2g}$: Carga de velocidad aguas abajo.

h_e : Pérdidas de energía.

c. Ecuación de Manning

$$\text{Ec. 21 } Q = \frac{A}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Donde,

Q: Caudal en m³/s.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning. (Adimensional)

A: Área de flujo en m².

R: Radio hidráulico en m.

S: Pendiente media del tramo en análisis en m/m.



d. Ecuación de Momento (Aplicada al salto hidráulico)

$$\text{Ec. 22 } \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{1}{2} \times \left[\sqrt{1 + 8F_2^2} - 1 \right]$$

$$\text{Ec. 23 } F_2 = \frac{V_2}{\sqrt{g \times D_2}}$$

$$\text{Ec.24 } D = \frac{A}{T}$$

Donde,

Fr₁: Numero de Froude.

V: Velocidad promedio. (m/s)

g: Aceleración debida a la gravedad.(m/s²)

D: Profundidad hidráulica de la sección transversal. (m)

A: Área de la sección transversal. (m²)

T: Ancho superficial. (m)

Fr < 1 Flujo Subcrítico. (y > y_c; v < v_c; So < Sc)

Fr = 1 Flujo Crítico. (y = y_c; v = v_c; So = Sc)

Fr > 1 Flujo Supercrítico. (y < y_c; v > v_c; So > Sc)

2.2.3.3.2 LONGITUD DEL TRAMO EN HEC RAS

La distancia medida entre secciones transversales se conoce como longitud del tramo. El largo de un tramo del canal se mide típicamente a lo largo de la línea de pendiente máxima.

2.2.3.3.3 COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE ENERGIA.

El programa **HEC RAS v 3.1.3** utiliza varios tipos de coeficientes de pérdida de energía para evaluar tales pérdidas.



- Valor n de Manning, pérdida por fricción.
- Coeficientes de contracción y de expansión para evaluar pérdidas de transición.
- Coeficientes de pérdidas por puente y alcantarillas para evaluar pérdidas relacionadas con la forma del vertedero, configuración de pilar y condiciones de entrada y salida.

2.2.3.3.4 COEFICIENTE DE CONTRACCION Y EXPANSION

Es causa común de pérdida de energía dentro de un tramo entre dos secciones transversales. Cuando el cambio de sección es pequeño los coeficientes de contracción y expansión son generalmente 0.1 y 0.3 respectivamente. Cuando el cambio en área efectiva es abrupto, tal es el caso de puentes, estos coeficientes son del orden de 0.3 y 0.5, y en ocasiones cerca de puentes y alcantarillas pueden llegar a ser tan altos con valores de 0.6 y 0.8 respectivamente, pero el mayor valor de estos coeficientes es 1.

Los datos adicionales que se requieren para cada sección transversal son: longitud del tramo aguas abajo, coeficiente de rugosidad y coeficiente de contracción y expansión.

Los datos de flujo permanente son necesarios para calcular el perfil de la superficie de agua. Estos datos son los siguientes: régimen del flujo, condiciones de borde e información sobre descarga máxima.

2.2.3.2.3.4 REGIMEN DEL FLUJO

Los cálculos de perfil empiezan en una sección transversal con condiciones iniciales conocidas o supuestas y siguen aguas arriba para flujo subcrítico o aguas abajo para flujo supercrítico.



Las elevaciones calculadas por el programa para perfiles subcríticos están restringidas al tirante crítico o a una profundidad mayor, y perfiles supercríticos están restringidos al tirante crítico o a una profundidad menor.

En casos donde el régimen del flujo cambia de subcrítico a supercrítico, o viceversa, el usuario debe ejecutar el programa en modo de régimen mixto.

2.2.3.3.6 CONDICIONES DE BORDE

Las condiciones de borde son necesarias para establecer la superficie de agua inicial en los extremos del cauce o río (aguas arriba y aguas abajo).

La superficie de agua inicial es necesaria para comenzar los cálculos. En un régimen de flujo subcrítico las condiciones de borde son necesarias solamente en el extremo aguas abajo.

Al calcular un régimen de flujo supercrítico, las condiciones de borde deben ser introducidas solamente en el extremo aguas arriba. Si se calcula un régimen de flujo mixto las condiciones de borde deben introducirse en todos los extremos.

2.2.3.3.7 INFORMACION DE DESCARGA.

La información de descarga se requiere en cada sección para poder calcular el perfil de superficie de agua. Los datos de descarga se introducen desde aguas arriba hacia aguas abajo para cada tramo, por lo menos un valor de flujo debe ser ingresado para cada tramo.

2.2.3.2.3.7 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING n

La mejor manera de conocer el coeficiente de rugosidad de un canal es mediante la calibración hidráulica, pero esto se hace imposible cuando no se dispone de



datos observados. Para resolver este problema se puede disponer de tablas de referencia y fotografías de ciertos ríos estudiados para realizar comparaciones visuales. (Ver tablas 11-12, anexo I.15)

El coeficiente de rugosidad de Manning varía en un canal de acuerdo a muchas condiciones, por ejemplo: la profundidad del agua, la variación de la vegetación del canal de acuerdo a la época del año, la remoción del material del canal para diferentes propósitos, etc.

Aún con todo lo anteriormente mencionado es necesario incluir en los análisis hidráulicos un valor para representar la resistencia del canal al flujo.

✓ Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning ¹⁴

Los factores que ejercen la mayor influencia sobre el coeficiente de rugosidad tanto en canales artificiales como en canales naturales, están hasta cierto punto interrelacionados.

a. Rugosidad Superficial.

La rugosidad superficial se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forman el perímetro mojado y que producen un efecto retardador del flujo. Por lo general éste se considera como el único factor para la selección de un coeficiente de rugosidad, pero en realidad es sólo uno de varios factores principales. En general, granos finos (arena, arcilla, limo) dan como resultado un valor relativamente bajo de n , y granos gruesos (gravas), un valor alto de n . Por tanto, el efecto retardador en materiales finos es mucho menor que en materiales gruesos.

¹⁴ Hidráulica de Canales Abiertos. Ven Te Chow.



b. Vegetación.

La vegetación puede considerarse como una clase de rugosidad superficial, pero también reduce de manera notable la capacidad del canal y retarda el flujo. Este efecto depende por completo de la altura, la densidad, la distribución y del tipo de vegetación, y es muy importante en el diseño de pequeños canales de drenaje.

c. Irregularidad del Canal.

Las irregularidades del canal incluyen irregularidades en el perímetro mojado y variaciones en la sección transversal, tamaño y forma de ésta a lo largo del canal. Estas irregularidades introducen rugosidad adicional a la causada por la rugosidad superficial y otros factores. En general, un cambio gradual y uniforme en la sección transversal o en su tamaño y forma no produce efectos apreciables en el valor de n , pero cambios abruptos o alteraciones de secciones pequeñas y grandes requieren el uso de un valor grande de n .

d. Alineamiento del Canal.

Curvas suaves con radios grandes producirán valores de n relativamente bajos, en tanto que curvas bruscas con meandros severos incrementarán el valor de n . En general, el incremento de la rugosidad en canales no revestidos que conducen agua con baja velocidad es insignificante. Un aumento de 0.002 en el valor de n constituye una provisión adecuada para la pérdida en curvas en la mayor parte de las canaletas que contengan curvaturas pronunciadas sin importar que estén construidos en concreto o en otros materiales. La presencia de meandros en corrientes naturales, sin embargo puede incrementar el valor de n tan alto como 30%.



e. Sedimentación y Socavación.

En general, la sedimentación puede cambiar en un canal relativamente uniforme y disminuir el n , en tanto que la socavación puede hacer lo contrario e incrementar el n . Sin embargo, el efecto dominante de la sedimentación dependerá de la naturaleza del material depositado. Depósitos no uniformes, como barras de arena y ondulaciones de arena, constituyen irregularidades del canal e incrementarán la rugosidad. La cantidad y uniformidad de la socavación dependerán del material que conforma el perímetro mojado. La energía utilizada para erosionar y mover el material en suspensión o por saltación a lo largo del lecho también incrementará el valor de n . El efecto de la socavación no es importante siempre y cuando la erosión causada en el lecho del canal por velocidades altas progrese igual y uniformemente.

f. Obstrucción.

La presencia de obstrucciones de troncos, pilas de puente y estructuras similares tiende a incrementar el valor de n . La magnitud de este aumento depende de la naturaleza de las obstrucciones, de su tamaño, forma, número y distribución.

g. Tamaño y Forma del Canal.

No existe evidencia definitiva acerca del tamaño y la forma del canal como factores importantes que afecten el valor de n . Un aumento en el radio hidráulico puede aumentar o disminuir el n .

h. Nivel y Caudal.

En la mayor parte de las corrientes el valor de n disminuye con el aumento en el nivel y en el caudal. Cuando el agua es poco profunda, las irregularidades del fondo del canal quedan expuestas y sus efectos se vuelven pronunciados. Sin



embargo, el valor de n puede ser grande en niveles altos si las bancas están cubiertas por pastos o son rugosas.

Cuando el caudal es muy alto, la corriente puede rebosar sus bancas y una parte del flujo se localizará en la planicie de inundación. El valor de n para planicies de inundación por lo general es mayor que el del canal en sí y su magnitud depende de la condición superficial o de la vegetación.

i. Cambio Estacional.

Debido al crecimiento estacional de plantas acuáticas, hierbas, malezas, sauces y árboles en el canal o en las bancas, el valor de n puede aumentar en la estación de crecimiento y disminuir en la estación inactiva. Este cambio estacional puede producir cambios en otros factores.

j. Material en Suspensión y Carga del Lecho.

El material en suspensión y la carga del lecho, ya sea en movimiento o no, consumirá energía y causará una pérdida de altura e incrementará la rugosidad aparente del canal.

Todos los factores anteriores deben estudiarse y evaluarse con respecto a las condiciones relacionadas con el tipo de canal, el estado de flujo, el grado de mantenimiento y otras consideraciones. Ellos dan una base para determinar el valor de n apropiado para un problema determinado. Como una guía general para la escogencia, debe aceptarse que las condiciones que tiendan a inducir turbulencia y a causar retardo incrementarán el valor de n , y aquellas que tiendan a reducir la turbulencia y el retardo disminuirán el valor de n .



2.2.3.4 ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA ALCANTARILLAS¹⁵

Las alcantarillas son estructuras de evacuación de las aguas de escorrentía superficial, localizadas transversalmente a la calzada de las carreteras, son instaladas en cursos naturales de agua que cruzan la carretera, ya sea a ángulo recto o desviado, en lo esencial consta de un cuerpo de tubería (parte de conducción) bajo el relleno del terraplén, con obras de protección a su entrada y salida. Normalmente se construyen muros de cabeceras en la entrada, con o sin muros de defensa, y una barrera de desechos. Si es necesario, se construye en la salida un muro con estructura de disipación de energía.

El proyecto de una alcantarilla para un cauce exige el conocimiento del caudal en las crecientes máximas extraordinarias, en las ordinarias y en el verano, la duración de las mismas, los niveles que alcanza el río, las zonas de inundación, la dirección de la corriente en las crecientes. Toda ésta información es indispensable cuando se va a definir las características de este tipo de obra.

2.2.3.4.1 UBICACIÓN DE ALCANTARILLAS

El sitio lógico para ubicar una alcantarilla es el cauce natural existente. Esta solución puede realizarse donde el alineamiento y la pendiente del cauce natural así lo permiten. Caso contrario, el colocar la alcantarilla con la pendiente existente traería como consecuencia que la velocidad resultante fuera mayor que la máxima permitida.

En caso de no colocar la alcantarilla en el fondo se debe ubicar sobre terreno firme en zanjas excavadas en trinchera en el terreno original, a fin de evitar el esfuerzo por cortante que sobre la alcantarilla ejercería el terraplén.

¹⁵ Manual de Drenaje del Ministerio de Obras Públicas de Venezuela.



Con respecto a los cauces naturales que cruzan el eje de la carretera en dirección oblicua, es necesario puntualizar que la entrada de la alcantarilla debe interceptar la corriente lo más directo posible.

Al realizar el diseño de una alcantarilla, generalmente son datos el caudal Q que se desea conducir y el gradiente (o pendiente) de que se dispone, la misma que puede variar dentro de ciertos límites. También se conoce el coeficiente de rugosidad n el mismo que depende del tipo de revestimiento que se escoja.

El funcionamiento hidráulico de una alcantarilla puede corresponder a un canal, tubería, orificio o como flujo bajo compuerta; es decir, cuando las alcantarillas trabajan parcialmente llenas o a sección plena con presiones nulas, se clasifican como canales abiertos y poseen todas las características de los mismos. Por el contrario, cuando las alcantarillas trabajan a presión se tratan como conductos cerrados. Por lo tanto, desde el punto de vista hidráulico es muy importante definir si la alcantarilla trabaja o no a presión para así poder estimar su capacidad.

El tránsito de la escorrentía puede ser a presión o libre. El flujo subcrítico, crítico o supercrítico con régimen uniforme o variado.

Por lo tanto, según observaciones de campo y de laboratorio muestran que el flujo en alcantarilla es de dos tipos:

2.2.3.4.2 FLUJO CON CONTROL A LA ENTRADA

Control a la entrada significa que la capacidad hidráulica de la alcantarilla esta controlada en la entrada por la carga de agua (HE) y la geometría de la entrada, incluyendo la forma de la alcantarilla y el área de la sección transversal y la forma de los extremos de la entrada, o sea la rugosidad, la longitud de la alcantarilla y las condiciones a la salida no influyen en la determinación de la alcantarilla.



2.2.3.4.2.1 CARGA PERMISIBLE EN LA ENTRADA (HEP)

- ✓ Un borde libre mínimo de 0.40 m hasta el nivel de la subrasante.
- ✓ Evitar en lo posible inundaciones de las propiedades aguas arriba de la alcantarilla.
- ✓ La carga en la entrada no debe ser mayor de 1.2 veces la altura de la sección.

(Estas condiciones están dadas en el Manual de Drenaje del MOP Venezuela, basado en Hydraulic Design of Highway Culvert. Hydraulic Design Series Number 5, Federal Highway Administration – U.S Department of Transportation – September 2001)

2.2.3.4.3 FLUJO CON CONTROL A LA SALIDA

Las alcantarillas con control de salida puede funcionar con flujo llenando toda la alcantarilla o parcialmente. Si la sección completa se llena con agua en la longitud total, la alcantarilla se dice que funciona llena. La carga total o energía requerida para pasar una cantidad de agua a través de la alcantarilla funcionando llena con control a la salida esta formada de tres partes: la carga de velocidad, la pérdida en la entrada y la pérdida por fricción. Esta energía es obtenida del agua almacenada a la entrada. (Ver esquemas 6-7, anexo II.26)

Para cada tipo, se emplean diferentes factores, gráficas, fórmulas y nomograma para la selección de alcantarillas de carretera.

La velocidad de flujo en alcantarillas, en la salida con control a la entrada puede ser estimada calculando la velocidad promedio para la sección de la alcantarilla usando la ecuación de Manning. Con control a la salida, la velocidad promedio será calculada a través de la ecuación de continuidad en la sección transversal del flujo a la salida.



Según las condiciones hidráulicas de salida puede ser con salida libre, cuando el tirante hidráulico inmediatamente aguas abajo de la alcantarilla es inferior al crítico correspondiente al caudal de diseño; si la pendiente del conducto es igual o mayor que la crítica la alcantarilla funciona con control de entrada.

Para el presente trabajo consideramos proponer la alcantarilla desde el cálculo del caudal hasta su dimensionamiento.

2.2.3.4.4 VELOCIDADES PERMISIBLES A LA SALIDA DE LAS ALCANTARILLAS DE CONCRETO PARA EVITAR LA EROSIÓN DEL TERRENO.

Las velocidades permisibles dependen de la constitución del terreno. Cuando la alcantarilla se ubica fuera del cauce natural hay que considerar el caso bastante común, de que aguas abajo de la salida de la alcantarilla la pendiente del terreno pueda aumentar la velocidad de las aguas hasta producir erosiones considerables, en cuyo caso hay que considerar el control de la velocidad mediante obras diseñadas a tal efecto.

Las velocidades máximas y mínimas serán función del gasto de diseño y de las características del drenaje. En general, no se deben tener velocidades mayores que las siguientes:

- ✓ 7m/s, cuando la corriente no arrastra materiales abrasivos como arenas gruesas, granzón, piedras, etc.
- ✓ 5m/s, cuando haya evidencias de que el material arrastrado sea del tipo descrito anteriormente.
- ✓ A fin de evitar la deposición de los acarrees dentro de las alcantarillas, las velocidades no deben ser menores de 1m/s. Por la misma razón se debe evitar reducir la velocidad del cauce natural al entrar a la alcantarilla.



2.2.3.4.5 CONTROL DE EROSIÓN A LA SALIDA

Las alcantarillas generalmente producen velocidades mayores que las del cauce natural, las cuales alcanzan su valor máximo y por lo tanto su máximo potencial de erosión a la salida. Por lo tanto, es imprescindible calcular la velocidad de salida, con el fin de decidir si es necesario utilizar obras de protección o de disipación de energía.

2.2.3.4.5.1 MUROS DE ALA

Los muros de ala se utilizan para contener el terraplén y para limitar la transición del canal. Es una solución económica desde el punto de vista de muro de retención, pero generalmente al trabajar como transiciones entre la salida de las alcantarillas y los cauces naturales, no son tan efectivos porque los ángulos de ensanche son demasiado pronunciados y la longitud de transición es muy corta, lo cual propicia zonas de separación de la corriente hacia los lados, originándose torbellinos que van más allá del final de los muros y erosionan el terraplén a ambos lados de la transición.

Deberán tomarse medidas adaptadas a cada sitio en particular, para evitar la socavación lateral de los muros de alas.

- ✓ Con el fin de disipar energía, para velocidades hasta 5 m/s y gastos no muy altos, se recomienda utilizar zampeados con piedras que sobresalgan sobre el fondo 0.30 ó 0.40m, por una distancia igual a seis diámetros. Para cajones de concreto se podrán utilizar disipadores sencillos tales como pozos amortiguadores.
- ✓ Para velocidades de salida más o menos altas (3 a 5 m/s) se pueden proyectar transiciones alabeadas que se adapten a canales trapeciales, o en forma de U.



- ✓ Para velocidades mayores de 5 m/s, es conveniente utilizar una estructura para disipar la energía, lo cual acorta la transición.
- ✓ Para evitar el peligro de socavación al fin de las transiciones de salida, estas, deben ser ancladas al terreno mediante un dentellón, con una profundidad suficiente.

2.2.3.4.5.2 OBRAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

Sirven para disipar la energía de las aguas a la salida de las alcantarillas y canales.

2.2.3.4.6 ARRASTRE

Al diseñar alcantarillas no basta con proporcionar suficiente sección para el paso de las aguas; también hay que considerar el volumen probable de arrastres que lleva cada cauce en particular. Prueba de ello son las frecuentes obstrucciones de alcantarillas, ocasionadas por la deposición de sedimentos y por la presencia de ramas, árboles y otros residuos vegetales. Para gastos menores que el de diseño estas obstrucciones pueden producir inundaciones, poniendo en peligro la estabilidad del terraplén, causando daños a las propiedades vecinas y aumentando los costos de mantenimiento.

En general, resultaría costoso dimensionar las alcantarillas para que sean capaces de pasar el gasto líquido y el gasto sólido.

Existen algunas medidas para evitar la deposición de arrastres a la entrada de la alcantarilla:

1. Asegurar mediante obras de canalización, aguas arriba de la alcantarilla, y por diseño mismo de las alcantarillas, la no existencia de transiciones que propicien la deposición del material.



2. Asegurar velocidades mínimas que dificulten la deposición del material acarreado. Estas velocidades deben ser mayores o al menos iguales las que se producen en el cauce natural para cualquier gasto.
3. Durante la construcción de la carretera no se deben permitir, aguas arriba de la alcantarilla trabajos provisionales que perturben los suelos, tales como: caminos de acceso y pasos de máquina de un corte a otro. En aquellos casos donde sea imposible evitar estos tipos de trabajo, debe realizarse una intensa reforestación.
4. Nunca se debe permitir el bote incontrolado del material sobrante en zonas que queden aguas arriba de las alcantarillas.
5. Una vez terminado los trabajos de movimientos de tierra se debe proceder de inmediato a canalizar los cauces, reforestar terraplenes y zonas erosionables en las hoyas, estabilizar los cauces erosionados, controlando su velocidad y su capacidad de arrastre, mediante gaviones, torrenteras, etc.
6. En los cauces donde se presenten probabilidades de sedimentos en grandes cantidades que pongan en peligro la capacidad de las alcantarillas, se debe proteger la entrada de las mismas con trampas de sedimentos (pueden ser tanquillas o pequeños embalses), con capacidad suficientes y adaptadas a las necesidades del sitio.
7. En los cauces que puedan transportar materiales flotantes como troncos y ramas de árboles de un tamaño que pongan en peligro el funcionamiento de la alcantarillas, se sugiere la construcción de barreras y deflectores cuya separación vertical no exceda la mitad del ancho de la alcantarilla, y también de elementos como muros o pilas que tiendan a dirigir los objetos flotantes en dirección paralela al eje de la alcantarilla.



2.2.3.4.7 SELECCIÓN DEL TAMAÑO Y TIPOS TENTATIVOS DE ALCANTARILLAS

Es conveniente resaltar la importancia de un análisis económico de las alternativas posibles, que incluya los costos de adquisición, colocación, construcción, conservación y mantenimiento, para la selección del tamaño y tipo de alcantarilla; además su selección dependerá principalmente de las condiciones de cada sitio en particular, esto puede realizarse con la ayuda de nomogramas tomando en cuenta previamente las recomendaciones generales.



CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 DATOS DEL TRAMO

3.1.1 LOCALIZACION DEL AREA DEL PROYECTO

El área de este estudio se ubica en el costado este de la Ciudad de Managua, iniciándose en el kilómetro 14 de la carretera Norte (Coordenadas Norte: 1343715,66 Este: 582831,56), con rumbo 25°17'32.88" Sur-Este hasta los 400 metros, donde cambia a rumbo 16°49'30.78" Sur-Oeste, pasando por el caserío de Veracruz, hasta alcanzar el kilómetro 17 ½ de la Carretera Managua-Masaya, en el Departamento de Managua.

El trazo de la carretera se ubica dentro de la hoja cartográfica de escala 1:50,000 N° 2952-Nindirí (ver mapa 5, anexo I.5), la longitud del proyecto es de 14+ 980 kilómetro de los cuales 4.0 kilómetros son sobre ruta existente y la mayor parte corresponde a una nueva ruta en la que se trata de salvar los problemas de incremento en infraestructura hidráulica, alejamiento de áreas pobladas y tener un trazado vial que se ajuste a normas técnicas nacionales e internacionales en lo que respecta a curvas verticales, curvas horizontales y derechos de vía, que permitan que la vía funcione con velocidades que alivien el tráfico vehicular.

3.2 CARACTERISTICAS GENERALES DEL TIPO Y USO DEL SUELO

Los suelos de la cuenca son color café-claro, gris-oscuro a negro y bastante compacto, seguido de suelos más gruesos con relleno de carbonato o como horizontes de suelos aluviales limo-arcilloso con gravas y rodados de roca volcánica con espesores variables de uno a 3 metros, la parte Norte con pendientes menores del 3% es una acumulación de materiales volcánicos y aluviales que predominan en el área del proyecto, son suelos de color gris de textura areno limosa. Parte de su territorio es cubierto por palmeras, árboles de



Nim en cercos y matorrales hacia el Norte, muchas áreas de siembras agrícolas en la parte media de la cuenca tales como maní, trigo, yuca y pastos como y bosques ralos en la parte Sur, donde se encuentran, árboles de ceibo, mango, jiñocuabo, marango, michigüiste, guásimo, guarumo, pochote y palo de hule.

Los suelos que sirven como soporte de rodamiento, son suelos profundos con alto contenido areno limoso, lo que los hace con alta permeabilidad y vulnerables a la erosión por el transporte de flujo superficial.

En un contexto geológico estructural se localiza dentro de una estructura volcánico-tectónica, el graben Aeropuerto; una zona de deposición de sedimentos y de recarga de agua subterránea que incluye el importante acuífero de Managua en la Subcuenca Oriental.

3.3 CUENCA HIDROLÓGICA

El proyecto de carretera intersecta en dos sitios al cauce El Arroyo, cuya cuenca con un área aproximada de 11,215.38 hectáreas recibe la escorrentía superficial de los territorios de Ticuantepe y El Crucero donde se han formado un sinnúmero de cauces debido a su formación geológica. El cauce principal se forma en la comarca La Borgoña, teniendo una longitud de 25 kilómetros hasta la carretera Norte. La cuenca se encuentra altamente deteriorada debido a desarrollos urbanos y principalmente a las altas erosiones del suelo fértil. El escurrimiento es fuerte y la infiltración es alta, por lo que dentro de la cuenca existen dos (2) campos de pozos para extracción de agua potable de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados, ENACAL y varios pozos privados.



3.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA PRINCIPAL

El cauce El Arroyo, nace al pie de las faldas del costado Sur del cerro “El Crucero” y en el trayecto es alimentado por otros cauces corrientes primarios con longitudes menores de 10.0 km, el río Santa Elena es afluente del río El Borbollón, el cual descarga al Lago Xolotlán y la cuenca hidrográfica en su punto de cierre tiene un área de 112.15 Km², corresponde a una cuenca longitudinal con patrón de drenaje dendrítico (ver mapa 4, anexo I.4). Ésta área se encuentra en la cuenca hidrológica N° 69 de Nicaragua que corresponde al río San Juan. La longitud del cierre al punto más alejado sobre la cresta es de 32.81914 Km. La pendiente hidráulica promedio entre 860 msnm y 90 msnm es del 2.35%. y una pendiente promedio ajustada al lecho del río, se divide en una pendiente del 1.358% hasta el estacionado 21 + 352.91 y una pendiente de 4.186% hasta llegar a la cresta de la cuenca.

En la cuenca se encuentran desarrollos urbanos conocidos tales como: Veracruz, Residencial Palmanova, urbanización La Cascada, Villa Asturias, Residencial Casa Blanca, urbanización La Cañada, Planes de Veracruz, Ciudad Real, Residencial Vizcaya, Las Lomas, Nuevo Milenium, La Puesta del Sol, Los Almendros, Ticuantepe, Leonel Reynosa, Las Conchitas, La Borgoña y otras urbanizaciones.

La cuenca hidrográfica tiene los siguientes límites:

Norte: Barrio Monte Fresco en la costa del Lago de Managua

Este: Volcán Masaya, Comarca Buena Vista y Cofradía

Sur: Comarca Palo Solo y Comarca Los Moncadas.

Oeste: Aeropuerto Internacional, Sabana Grande, Las Jagüitas, Las Cuaresmas y las Sierras de Managua.



3.4 PRINCIPALES PARAMETROS CLIMATICOS DE LA ZONA ¹⁶

La zona de la cuenca del proyecto se encuentra a una altura de 980 metros sobre el nivel del mar para la parte más alta y de 90 msnm para la parte más baja, por lo que el clima del área de influencia de acuerdo al mapa de confort climático de Nicaragua emitido por INETER, con datos registrados entre los años 1971 – 2000 para el mes de Enero es, templado por la zona de El Crucero, Agradable por la zona de Ticuantepe y Cálido para el área menos elevada. En los meses de verano estas mismas áreas se convierten en Agradable, Cálido y Cálido Opresivo. La precipitación media en el mes de enero se mueve entre 10 mm y 25 mm con datos de los años 1971 – 2000, y la precipitación media anual registrada para la zona del proyecto es de 1.400 mm.

3.4.1 COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN

La curva de probabilidades a un nivel del 75 %, muestra que en la estación Managua - Aeropuerto se pueden esperar acumulados mensuales de precipitaciones mayores a 67 mm e inferiores a 126 mm, en Mayo y Junio. En los meses de Junio, Septiembre y Octubre, dichos acumulados superan los 300 mm. En Managua, durante los meses de Mayo, Julio y Agosto, los totales mensuales superan los 105 mm. Mientras que en la estación San Francisco Libre, las precipitaciones presentan una probabilidad del 75% de ocurrencia en los meses lluviosos de 33 mm a 108 mm, correspondiendo el valor más bajo al mes de Julio y el más alto a Junio. En ambas localidades, el nivel de probabilidad al 75%, indica que los acumulados de lluvia en Junio son inferiores a 200 mm.

¹⁶ INETER



3.4.2 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa media anual en el Departamento de Managua, varía de 64% en la estación de San Francisco Libre, y hasta 75% en la estación Managua - Aeropuerto. Según el mapa de distribución espacial de la humedad relativa media anual, se muestra que en la parte Suroeste del Departamento se localizan valores mayores al 75% de humedad, mientras que en la parte Central y Norte de dicho Departamento, éstos son inferiores al 75% de humedad.

Con respecto al régimen de evaporación, se observa que los totales anuales de evaporación oscilan entre 2380 mm y 2806 mm, incrementándose ésta en la zona Norte del Departamento.

3.4.3 COMPORTAMIENTO ANUAL DEL VIENTO

La velocidad media del viento presenta sus valores máximos en el mes de Enero y Marzo. La presión con un valor máximo de 754.6 (hPa) y el viento alcanza una velocidad media máxima de 3.0 m/s, debido a la influencia de los Anticiclones Continentales Migratorios, procedentes del continente norteamericano. El valor mínimo de la presión atmosférica ocurre en Octubre con un valor de 753.2 hPa, coincidiendo con el valor mínimo de la velocidad media mensual del viento, que también se da en Octubre, con un valor de 1.0 m/s. La dirección predominante del viento durante todo el año es de componente Este.

3.4.4 TEMPERATURA

Las temperaturas registradas son de 24°C para el sector de El Crucero, 26°C para Ticuantepe y Veracruz y de 28°C para Managua. La clasificación climática según KÖPPEN se ubica en “Clima Caliente y Sub Húmedo con Lluvias en Verano”, pero de acuerdo a las condiciones térmicas se encuentran AWO, el más seco de los sub húmedos; AW1, intermedio entre el más seco y el más húmedo de los sub húmedos y el A(C)W1 que es intermedio seco-húmedo y clima



templado con verano caliente y fresco y puede alcanzar temperaturas entre 12° y 18°.

3.4.5 CLASIFICACION CLIMÁTICA

El clima predominante en Managua, es el de Sabana Tropical (Aw) según clasificación de Koppen. Este clima, se caracteriza por presentar una marcada estación seca de cuatro a cinco meses de duración, extendiéndose principalmente entre los meses de Diciembre a Abril.



CAPITULO 4: CÁLCULOS

4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA EN ESTUDIO

4.1 MORFOLOGÍA DE LA CUENCA PRINCIPAL DEL PROYECTO

Datos de la cuenca:

Perímetro	=	62.081 kilómetros.
Superficie total	=	11,215.38 hectáreas.
Longitud del cauce	=	32.82 kilómetros.

✓ **Coefficiente de Compacidad o Índice de Gravelius**

$$Kc = 0.28 \frac{62.081 \text{ Km}}{\sqrt{112.15 \text{ Km}}} = 1.64$$

Clase Kc3: Rango entre 1.5 y 1.75, confirma que es una cuenca alargada, por lo tanto la probabilidad de crecientes es menos oportuna.

✓ **Factor de Forma**

$$Ff = \frac{3.417 \text{ Km}^2}{(32.819 \text{ Km})^2} = 0.00317$$

Esta cuenca por su factor de forma bajo, está sujeta a menos creciente.

✓ **Densidad de Drenaje**

$$Dd = \frac{32.819 \text{ Km}}{112.15 \text{ Km}^2} = 0.29$$

La baja densidad de drenaje indica que las precipitaciones no influyen inmediatamente.



4.2 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO RACIONAL

4.2.1 PARÁMETROS DE LA MICROCUENCA EN ESTUDIO

- ✓ **Parámetros físicos determinados directamente en el plano geodésico***

Parámetros	Datos
Área	900.32 Ha.
Perímetro	14,643.86 mt.
Longitud del Cauce	5,458 mt.
Altura Máxima	240 mt.
Altura Mínima	130 mt.
Tiempo de Retorno	25 Años

- ✓ **Tabla de Resultados para el Cálculo del Caudal (Método Racional)****

Subcuenca	Área (Ha)	L. Cauce (m)	H(máx)	H(mín)	S (%)	Tc(min)	I(mm/h)	Q(m ³ /s)
SC-1	453.71	2636.65	240	200	1.5	22.11	127.01	20.02
SC-2	446.61	2821.35	200	130	2.5	19.27	133.69	20.75

- ✓ **Coefficiente de Escorrentía*****

Parámetros	Valor
Uso del suelo : Sin vegetación o con cultivos anuales	Us = 0.10
Tipo de suelo : Semipermeable (terreno arcilloso arenoso)	Ts = 1.25
Pendiente del terreno : (0% – 3%)	Pt = 1.00
C = Us * Ts * Pt	0.125=0.10*1.25*1.00

* Ver mapa 3, anexo I.23

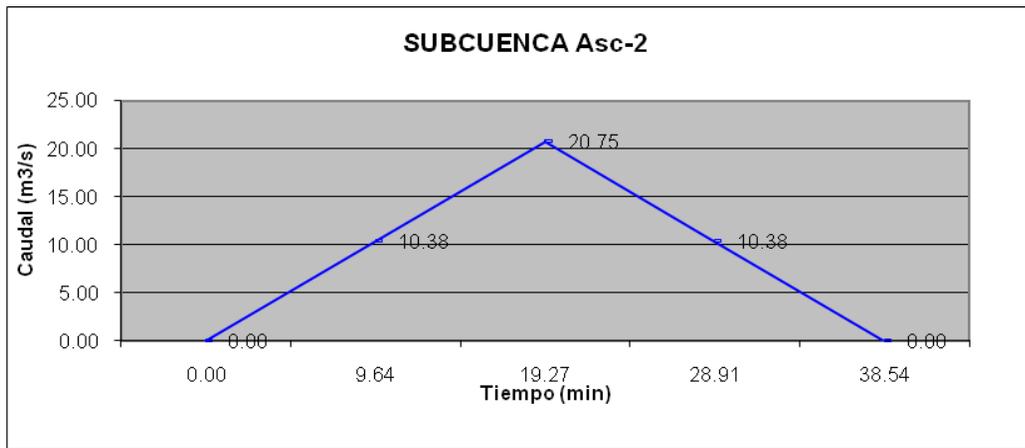
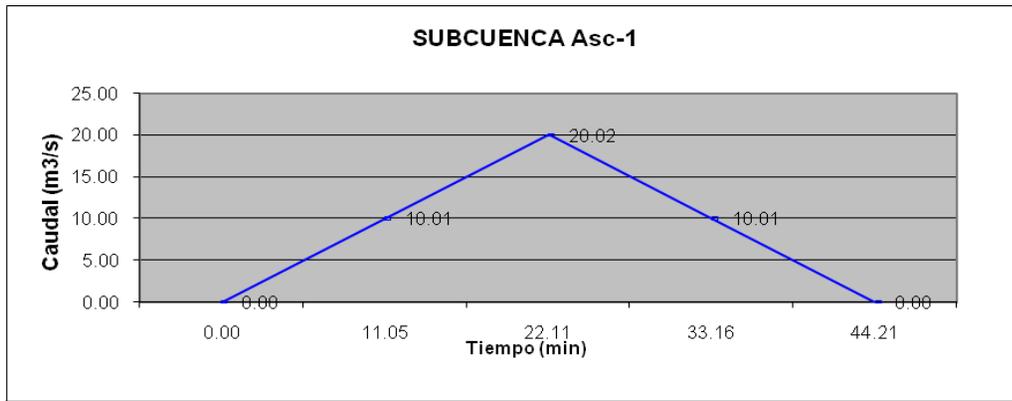
** Ver anexo II.1

*** Ver tabla 2, anexo I.7



✓ **Hidrograma Triangular Sintético**

Hidrograma Asc-1		Hidrograma Asc-2	
t/2= 11.05		t/2= 9.64	
t(min)	Q(m3/s)	t(min)	Q(m3/s)
0.00	0.00	0.00	0.00
11.05	10.01	9.64	10.38
22.11	20.02	19.27	20.75
33.16	10.01	28.91	10.38
44.21	0.00	38.54	0.00





4.2.2 PARAMETROS DEL TRÁNSITO DE LAS SUB-CUENCAS

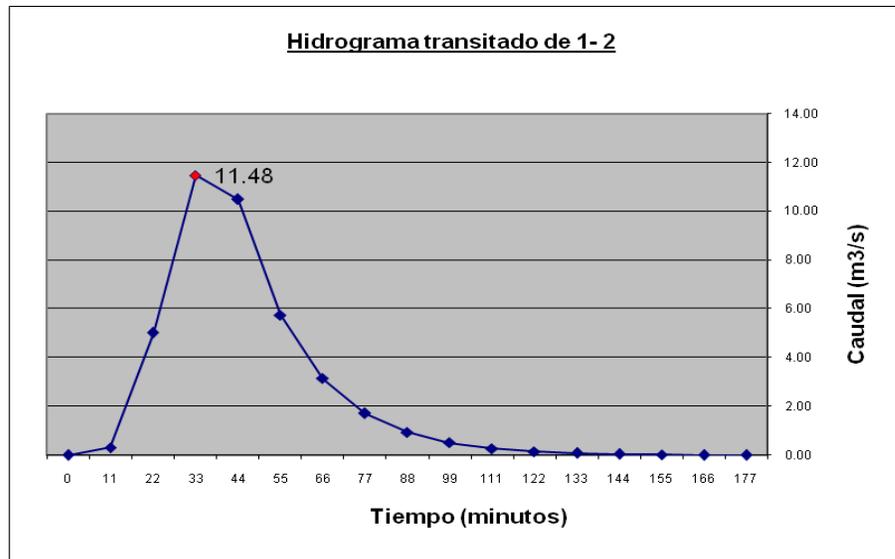
✓ Cálculo de los Parámetros del Tránsito*

SUB CUENCA	Vcuenca	Vtransito	Ltránsito	K	tp	t	X	C0	C1	C2	SUMA
	m/min	m/min	m	min	min	min					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Parámetro de tránsito del punto de control 1 al punto de control 2											
Asc-1	119.25	119.25	2636.65	22.11	11.06	11.06	0.20	0.0476	0.4286	0.5240	1.0000
Parámetro de tránsito del punto de control 2 al punto de control 3											
Vt(1-2)	119.25										
Asc-2	146.41	132.83	2821.35	19.27	9.64	9.64	0.20	0.0476	0.4286	0.5240	1.0000

✓ Hidrograma transitado del punto 1 al punto 2

K=	23.66		t=	11.05			
C0=	0.0324	C1=	0.4195	C2=	0.5481		
t				antes del tráns		momento del tránsito	
min	C0*I2	C1*I1	C2*O1	I1	O1	I2	O2
1	2	3	4	5	6	7	8
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11.06	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	10.01	0.32
22.11	0.65	4.20	0.18	10.01	0.32	20.02	5.03
33.16	0.32	8.40	2.75	20.02	5.03	10.01	11.48
44.21	0.00	4.20	6.29	10.01	11.48	0.00	10.49
55.26	0.00	0.00	5.75	0.00	10.49	0.00	5.75
66.31	0.00	0.00	3.15	0.00	5.75	0.00	3.15
77.36	0.00	0.00	1.73	0.00	3.15	0.00	1.73
88.41	0.00	0.00	0.95	0.00	1.73	0.00	0.95
99.46	0.00	0.00	0.52	0.00	0.95	0.00	0.52
110.51	0.00	0.00	0.28	0.00	0.52	0.00	0.28
121.56	0.00	0.00	0.16	0.00	0.28	0.00	0.16
132.61	0.00	0.00	0.09	0.00	0.16	0.00	0.09
143.66	0.00	0.00	0.05	0.00	0.09	0.00	0.05
154.71	0.00	0.00	0.03	0.00	0.05	0.00	0.03
165.76	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01
176.81	0.00	0.00	0.00	0.0	0.01	0.00	0.00

*Ver anexo II.2



✓ **Cálculo del Caudal de la Microcuenca Transitada**

Hidrograma Suma: Transitado del 1 al 2 e Hidrograma Asc-2

t min	Hidrograma Transitado (m³/s)	Hidrogram de Asc-2 (m³/s)	Suma (m³/s)
1	2	3	4
0.00	0.00	0.00	0.00
9.64	0.28	10.38	10.66
11.06	0.32	10.01	10.33
19.27	3.82	20.75	24.57
22.11	5.03	20.02	25.05
28.91	9.00	10.38	19.38
33.16	11.48	10.01	21.49
38.54	11.00	0.00	11.00
44.21	10.49	0.00	10.49
55.26	5.75	0.00	5.75
66.31	3.15	0.00	3.15
77.36	1.73	0.00	1.73
88.41	0.95	0.00	0.95
99.46	0.52	0.00	0.52
110.51	0.28	0.00	0.28
121.56	0.16	0.00	0.16
132.61	0.09	0.00	0.09
143.66	0.05	0.00	0.05
154.71	0.03	0.00	0.03
165.76	0.01	0.00	0.01
176.81	0.00	0.00	0.00



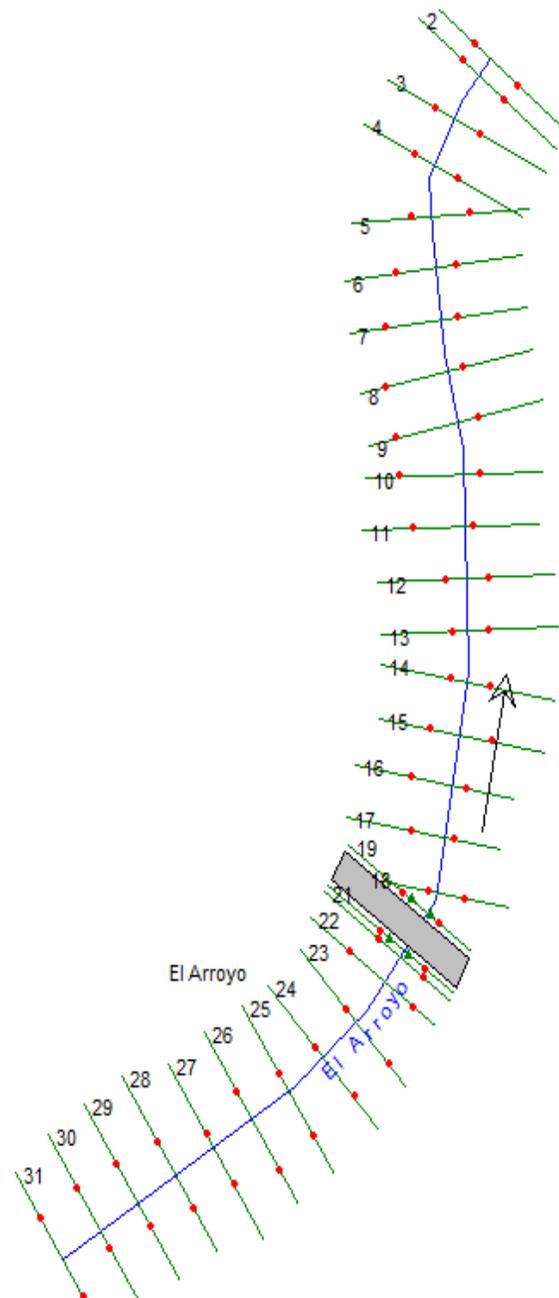
Caudal de Diseño Transitado $Q= 25.05 \text{ m}^3/\text{s}$



✓ **Análisis Hidráulico de Caja Puente en HEC-RAS v 3.1.3**

El análisis con el Programa de Modelación Hidráulica **HEC RAS v 3.1.3** (River Analysis System) se describe a continuación:

- a. Datos Geométricos: El cauce se analizó en un tramo de 100 m de longitud aguas arriba y 210 m de longitud aguas abajo de la obra de cruce, los cuales fueron proporcionados a través de un levantamiento altiplanimétrico del cauce, en el que se muestran las secciones transversales a cada 10m, estas fueron levantadas desde aguas arriba hacia aguas abajo en la dirección de la corriente para flujo positivo. Los coeficientes de rugosidad de Manning tanto para el cauce como para la obra de cruce se determinaron a través de una tabla proporcionada en Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos. El valor estimado de **$n = 0.030$ para Corrientes naturales** (limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos) y para la obra de cruce **$n=0.011$ Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos de concreto** (Alcantarilla recta, libre de basuras), (ver tabla 11-12, anexo I.15), se introdujeron las dimensiones de una caja puente doble (2.5 m x 2.5 m) ubicada en la Est.. 9+685.917, sobre el eje de la vía.
- b. Datos de Flujo: el dato de flujo fue determinado en magnitud y frecuencia para 25 años de retorno con un caudal transitado de 25.05 m³/s.

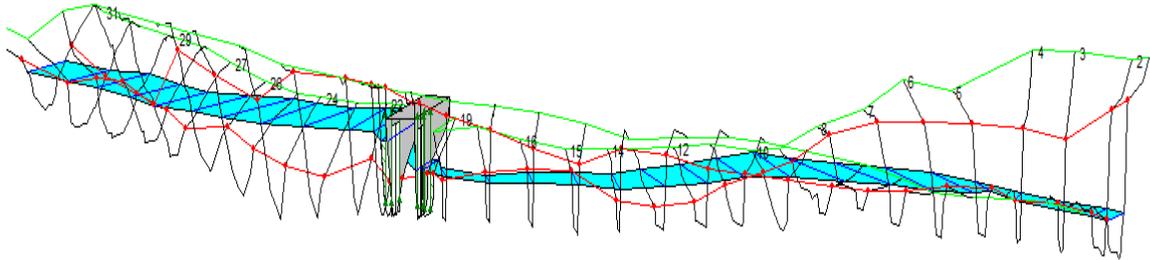


- ✓ **Gráfico en planta de las secciones transversales del cauce en estudio.** La sección transversal 31 corresponde al tramo aguas arriba y la sección 1 corresponde al tramo aguas abajo. (Caja Puente Doble 2.5 m x 2.5m)

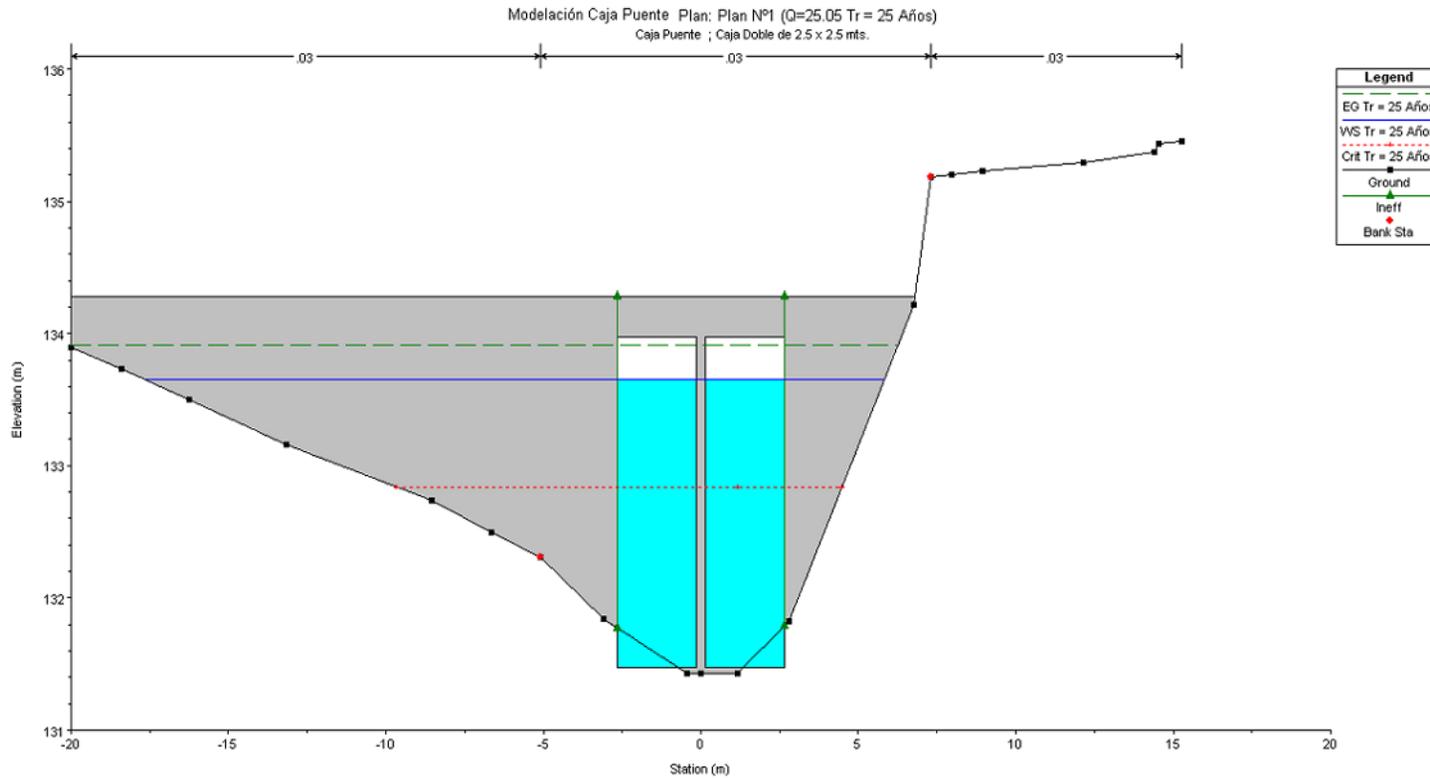


Modelación Caja Puente El Arroyo Plan: Plan N°1 (Q=25.05 Tr = 25 Años) 24/03/2009

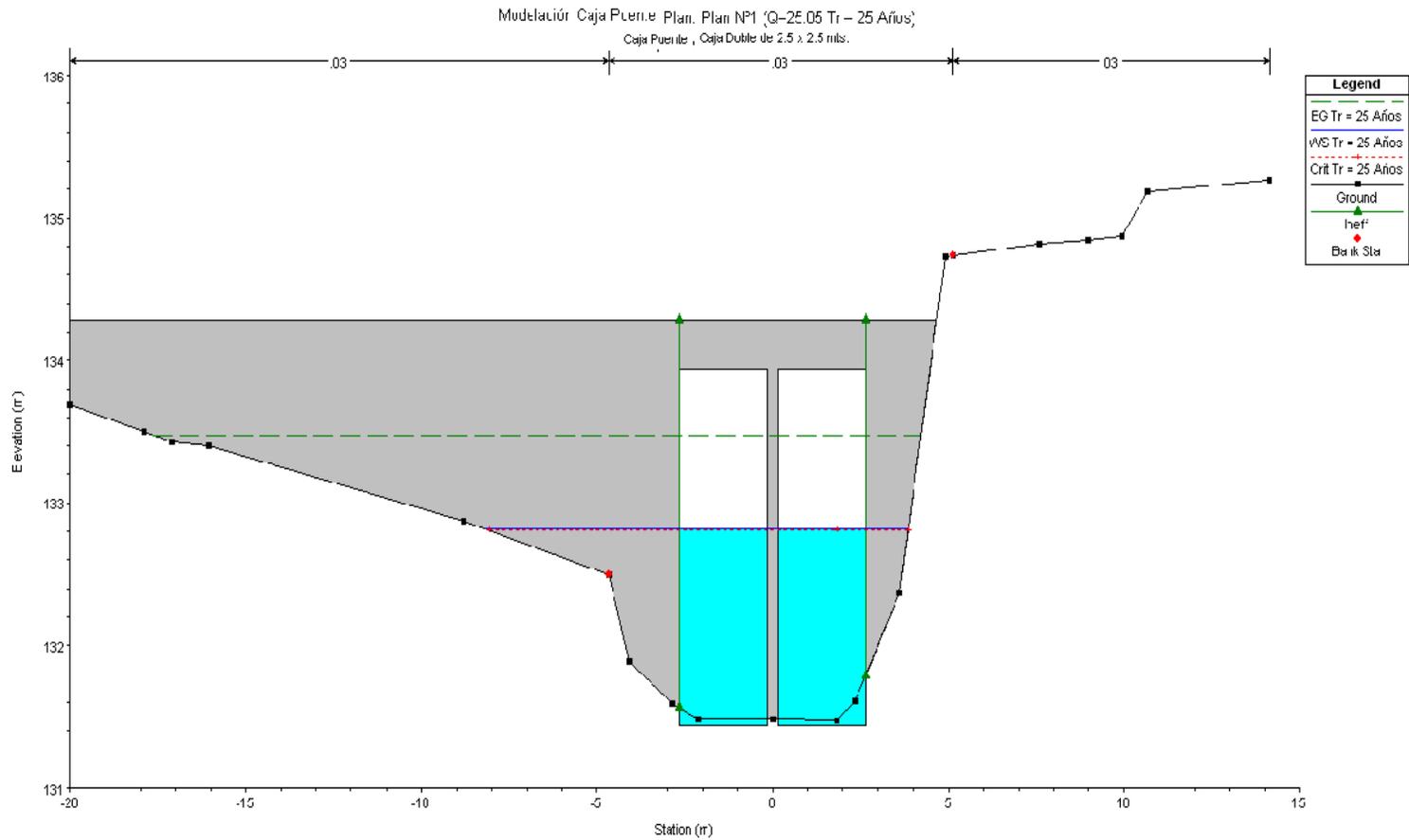
Legend
WS Tr = 25 Años
Ground
Bank Sta
Ineff



- ✓ **Gráfico del Perfil de Aguas.** Aguas arriba (sección 31), aguas abajo (sección 1), se puede observar que todas las secciones son capaces de transportar el caudal de 25 de retorno. (Caja Puente Doble 2.5 m x 2.5m)



✓ **Sección de Cruce Aguas Arriba de Caja Puente Doble 2.5 m x 2.5m**
(Est. 9+685.917, sobre el eje de la vía)



✓ **Sección de Cruce Aguas Abajo de Caja Puente Doble 2.5 m x 2.5m**
(Est. 9+685.917, sobre el eje de la vía)



CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. La caracterización hidrográfica de la cuenca que involucra todo el proyecto nos muestra que es alargada según el coeficiente de compacidad $K_c=1.64$ que coincide con el rango entre 1.5 y 1.75, por lo tanto la probabilidad de crecientes es menos oportuna y la baja densidad de drenaje de 0.69 indica que las precipitaciones no influyen inmediatamente.
2. Las secciones transversales del cauce de la microcuenca en estudio e introducidas en el programa de modelación HEC-RAS v 3.1.3 dieron como resultado que estas son capaces de transportar el caudal transitado de 25.05 m³/s para el periodo de retorno específico de 25 años, el cual rige la capacidad hidráulica de la obra de drenaje (tipo caja puente) propuesta.
3. La sección propuesta de la caja puente es capaz de transportar el caudal de 25.05 m³/s tanto en la entrada como en la salida.
4. Asimismo todas las estructuras de alcantarillas presentadas en anexos (ver tabla 4, anexo II.19) son capaces de transportar el caudal estimado para cada una de ellas, su capacidad hidráulica fue determinada por medio de nomogramas para tubos de concreto con control en la entrada y salida (ver esquemas 2-4, anexo II.22).



5.2 RECOMENDACIONES

De hacerse realidad la construcción del Corredor Alterno Turístico, es recomendable que las autoridades correspondientes realicen el mantenimiento debido de las obras de drenaje, como ya es sabido esta actividad es la que garantiza la vida útil no sólo de la sección (en este caso alcantarilla o caja puente), sino de la vía; por tanto se asegura que no se interrumpa el flujo vehicular y de transeúntes en un evento natural, es decir, las estructuras funcionarían para lo que fueron proyectadas. Además, es preciso que se tome en cuenta la tarea de reforestación, por lo que este sitio pertenece a la zona de recarga de agua subterránea que incluye el importante acuífero de la Subcuenca Oriental de Managua, la que ha tenido por muchos años impactos ambientales negativos debido al mal manejo de la misma.



BIBLIOGRAFÍA

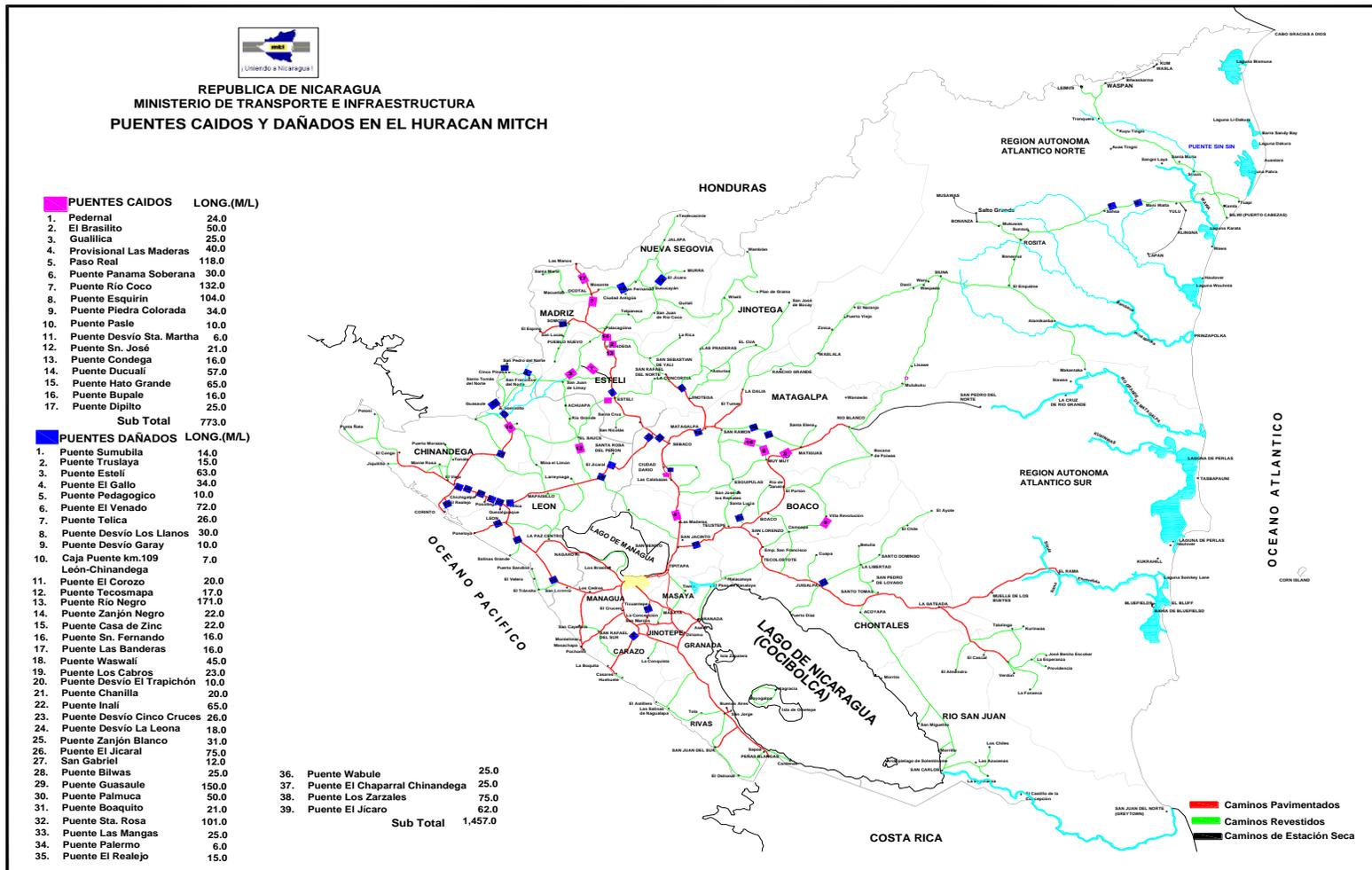
1. Departamento de Drenaje Fluvial (ALMA) con base en:
Normas checoslovacas para estabilización de cauces y cárcavas, esbozo de un plan maestro del drenaje pluvial subterráneo y superficial de la ciudad de Managua.
2. Manual para la revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Menor.
Corea y Asociados S.A (CORASCO)- Octubre 2,008
3. Ven Te Chow - 1,994
Hidráulica de Canales Abiertos.
4. Manual de Drenaje del Ministerio de Obras Públicas de Venezuela.
Dirección de Vialidad – División de Estudios y Proyectos.
5. Hydraulic Design of Highway Culvert. Hydraulic Design Series Number 5
Federal Highway Administration – U.S Department of Transportation –
September 2001 (Revised May 2005)
6. Diccionario de la Real Academia Española. (Enciclopedia Encarta Premium
2008)
7. Manual Básico para el Uso del Programa HEC-RAS, U.S Corps of
Engineers. San Diego, California, U.S.A. USACE 2,001.
8. Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las
Carreteras Regionales SIECA.
Raúl Leclair – Consultor
Proyecto USAID N° 596-0181.20, Febrero 2,001



- 9.** Informe Técnico de la Inspección de los Daños Causados a la Red Vial por el Huracán Mitch en el Tramo Chinandega-Guasaule, Matagalpa-Jinotega, Telica-San Isidro.
MTI - Managua, Nicaragua, 1,998
- 10.** Reflexiones a partir del Huracán Mitch.
Preparado por: Arnoldo J. Martínez S.
MTI – Managua, Diciembre 1,998
- 11.** Hidrotecnia de Alcantarillas y Puentes
Curso de Titulación de Obras Horizontales 2008.
Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía
- 12.** Guía Hidráulica para el Diseño de Obras de Drenaje en Caminos Rurales.
Elaborado por Ing. Elmer Bervis para PAST-DANIDA, Septiembre 2,004.
- 13.** Escuela de Ingeniería de Antioquía. Geomorfología Ambiental.
<http://suelos.eia.edu.co/geomorfologia/drenaje.htm>.
- 14.** Hidrología. Tomo I: Componente Biofísico. Corporación Suna Hisca (Colombia).
- 15.** Curso Básico de Hidrología - Tránsito de avenidas. Producido por The COMET[®] Program. <http://www.meted.ucar.edu/>.



ANEXO I



Mapa 1. Ubicación de Puentes Caídos y Dañados en el Huracán Mitch

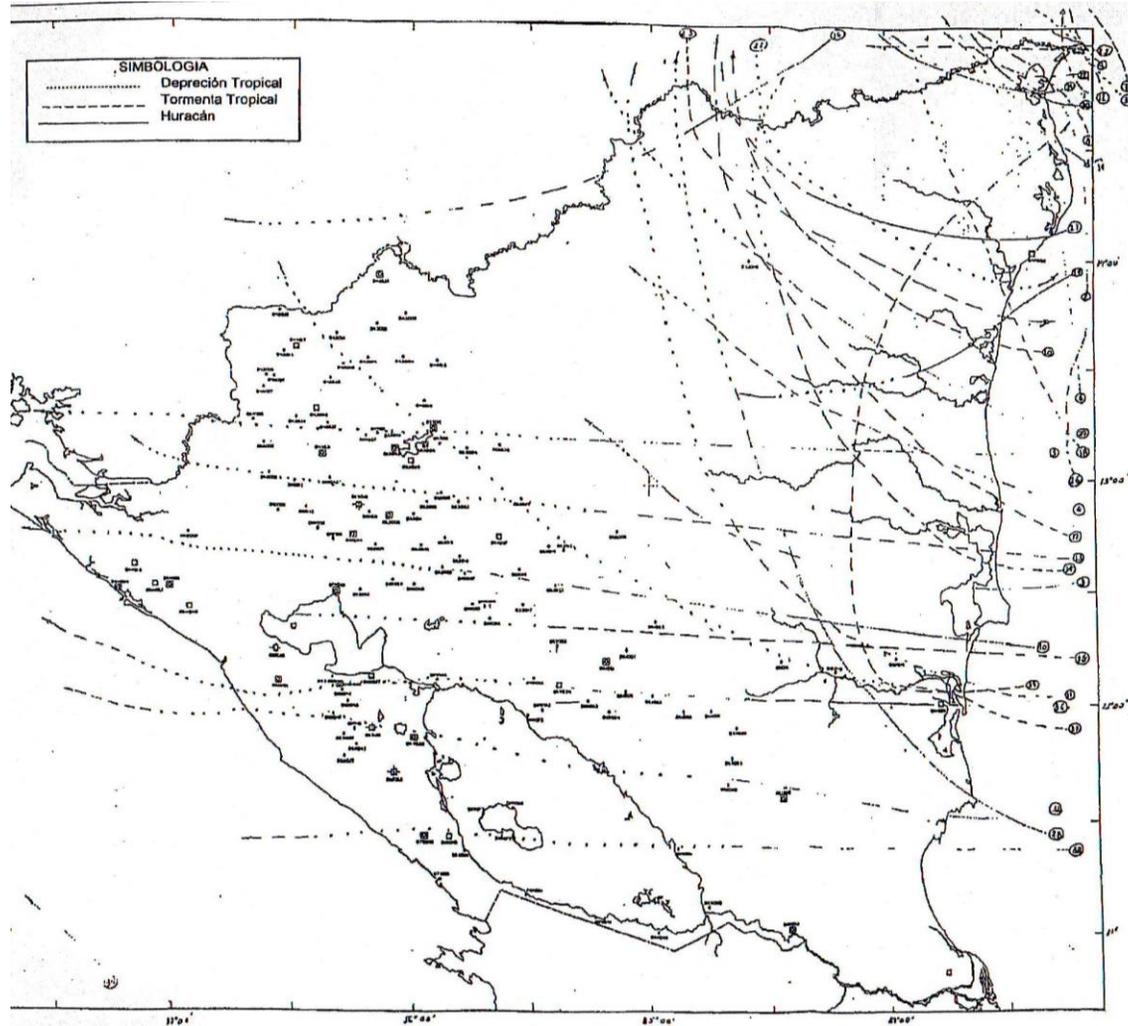


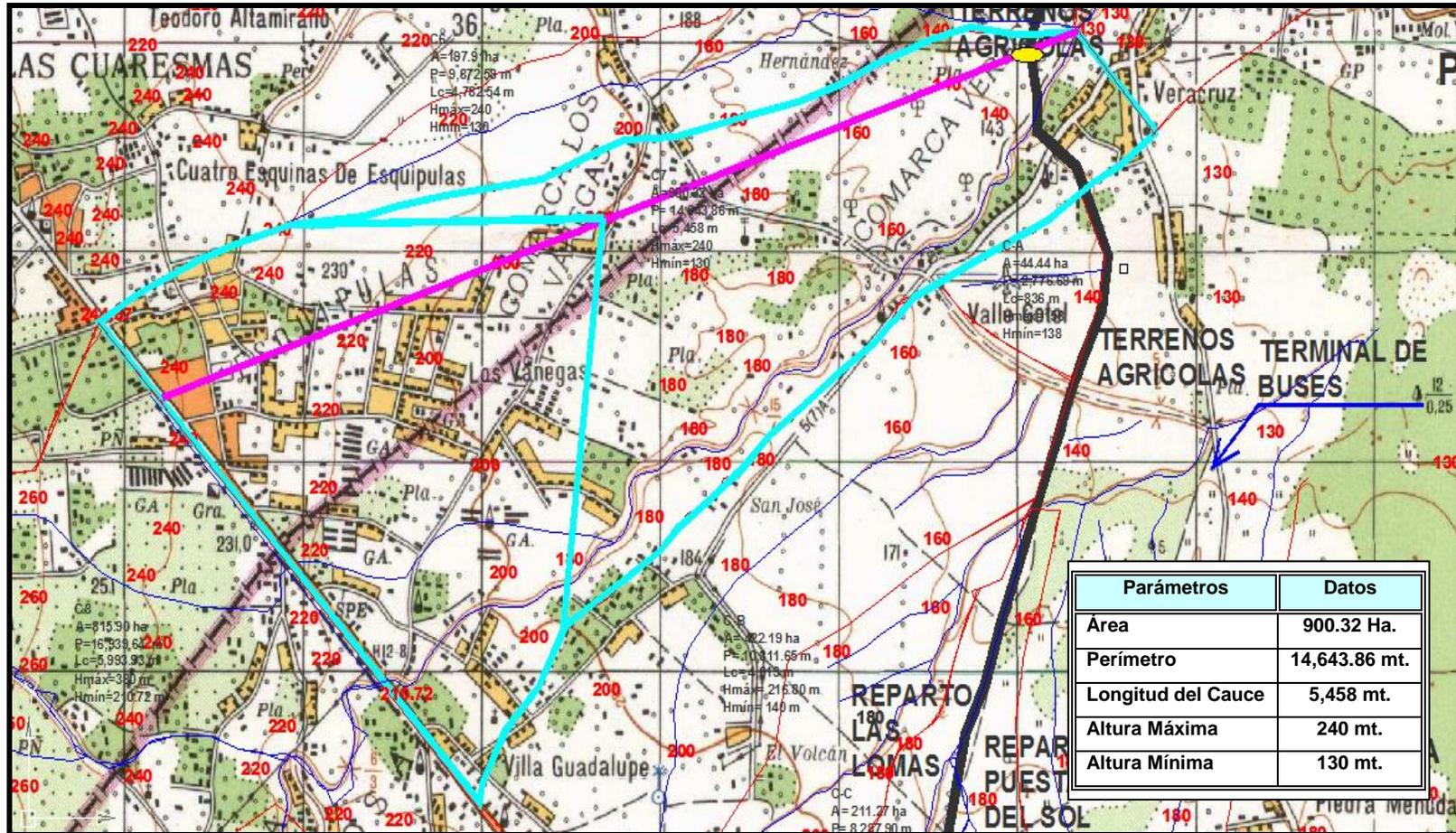
FIGURA 1

MAPA DE FRECUENCIA DE LOS 40 EVENTO METEOROLÓGICOS EXTRAORDINARIOS EN EL PERÍODO 1892 - 1996

No.	FECHA	CATEGORÍA	NOMBRE
1	Octubre-1892	Huracán	
2	Julio-1893	Huracán	
3	Octubre-1906	Huracán	
4	Octubre-1908	Tormenta Tropical	
5	Septiembre-1911	Huracán	
6	Junio-1913	Huracán	
7	Julio-1916	Tormenta Tropical	
8	Septiembre-1920	Tormenta Tropical	
9	Octubre-1922	Tormenta Tropical	
10	Junio-1924	Tormenta Tropical	
11	Septiembre-1924	Tormenta Tropical	
12	Octubre-1926	Tormenta Tropical	
13	Junio-1931	Tormenta Tropical	
14	Mayo-1933	Tormenta Tropical	
15	Noviembre-1933	Tormenta Tropical	
16	Octubre-1935	Huracán	
17	Junio-1939	Tormenta Tropical	
18	Septiembre-1940	Tormenta Tropical	
19	Octubre-1940	Huracán	
20	Septiembre-1941	Huracán	
21	Noviembre-1949	D. Tropical	
22	Octubre-1950	Tormenta Tropical	King
23	Mayo-1953	Tormenta Tropical	Alice
24	Septiembre-1954	Huracán	Gilda
25	Julio-1961	Tormenta Tropical	
26	Octubre-1964	Tormenta Tropical	Isabekke
27	Noviembre-1964	Huracán	
28	Junio-1966	Huracán	Alma
29	Septiembre-1968	Huracán	
30	Septiembre-1970	D. Tropical	
31	Septiembre-1971	Huracán	Edith
32	Septiembre-1971	Huracán	Irene
33	Septiembre-1974	Huracán	Fili
34	Mayo-1982	Huracán	Aleta
35	Agosto-1985	Huracán	Allan
36	Octubre-1988	Huracán	Juan
37	Septiembre-1993	Tormenta Tropical	Gert
38	Agosto-1993	Tormenta Tropical	Bret
39	Noviembre-1994	Tormenta Tropical	Gordon
40	Julio-1996	Huracán	César

Mapa 2. Frecuencia de los 40 Eventos Meteorológicos Extraordinarios Periodo 1892 - 1996

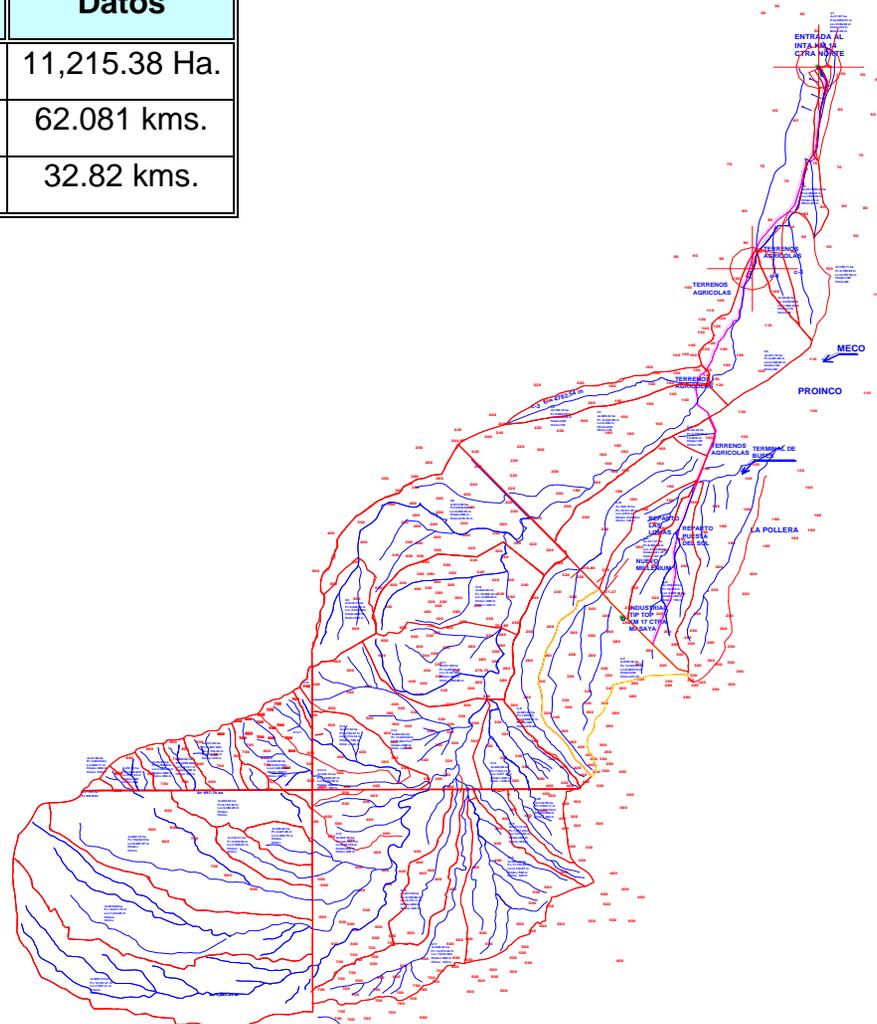
Fuente: Reflexiones a partir del Huracán Mitch. Arnoldo J. Martínez S. MTI – Managua, Diciembre 1,998



Mapa 3. Geodésico de Ubicación de Microcuenca Evaluada



Parámetros	Datos
Área	11,215.38 Ha.
Perímetro	62.081 kms.
Longitud del Cauce	32.82 kms.



Mapa 4. Trazado de la Cuenca Principal del Proyecto



Mapa 5. Trazado de la Vía del Proyecto



No.	DESCRIPCION	AUTOPISTAS REGIONALES	TRONCALES			COLECTORAS	
			Suburbanas	Rurales		Suburbanas	Rurales
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000		3,000-500	3,000-500
2	VHD, vehículos por hora	>2,000	2,000-1,000	1,500-450		300-50	450-75
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92	0.92	0.95-0.91		0.92	0.85
4	Vehículo de Diseño	WB-20	WB-20	WB-20		WB-15	WB15
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M
6	Velocidad de Diseño o Directriz, km/hora	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50	70 60 50
7	Número de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4		2	2
8	Ancho de Carril, metros	3.6	3.6	3.6		3.3-3.6	3.3
9	Ancho de Hombros/Espaldones, metros	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 0.5 - 1.0 Ext: 1.2 - 1.8		Ext: 1.2 - 1.5	Ext: 1.2 - 1.5
10	Tipo de Superficie de Rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.		Pav.	Pav.-Grava
11	Dist.de Visibilidad de Parada, metros	110-245	110-170	85-140		65-110	65-110
12	Dist. de Visib. Adelantamiento, metros	480-670	480-600	410-540		350-480	350-480
13	Radio Min. de Curva, Peralte 6%, metros	195-560	195-335	135-250		90-195	90-195
14	Maximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'		12°44' - 5°53'	12°44' - 5°53'
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8		10	10
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10		10	10
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5-3	1.5-3		1.5-3	1.5-3
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-5	2-5	2-5		2-5	2-5
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable		7.8-8.7	7.8-8.1
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44+25%		HS20-44	HS20-44
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50		20-30	20-30
22	Ancho de Mediana, metros	4-12	4-10	2-6		-	-
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-D	C-D		C-D	C-D
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control Parcial	Sin Control		Sin Control	Sin Control
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR		TS-CS	TR-CR

Notas: Pav: Pavimento asfáltico o de cemento Portland

P: Plano O: Ondulado M: Montañoso

AR:Autopista Regional, TS: Troncal Suburbana, TR: Troncal Rural, CS: Colectora Suburbana, CR: Colectora Rural

Tabla 1 - Elementos de Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales

Fuente: Manual SIECA



<u>Uso del suelo</u>	<u>Us</u>
Vegetación densa, bosques, cafetal con sombras, pastos	0.04
Malezas, arbustos, solar baldío, cultivos perennes, parques, cementerios, campos deportivos	0.06
Sin vegetación o con cultivos anuales	0.10
Zonas suburbanas (viviendas , negocios)	0.20
Casco urbano y zonas industriales	0.30 – 0.50
<u>Tipo de suelo</u>	<u>Ts</u>
Permeable (terreno arenoso, ceniza volcánica, pómez)	1.00
Semipermeable (terreno arcilloso arenoso)	1.25
Impermeable (terreno arcilloso, limoso, marga)	1.50
<u>Pendiente del terreno (%)</u>	<u>Pt</u>
0.0 – 3.0	1.00
3.1 – 5.00	1.50
5.1 – 10.0	2.00
10.1 – 20.0	2.50
20.1 y más	3.0
$C = Us * Ts * Pt$	

Tabla 2 - Coeficiente de escorrentía

Fuente: Hidrotecnia de Alcantarillas y Puentes
 Curso de Especialización de Obras Horizontales
 Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía



Frecuencias de Diseño Recomendadas (años)						
Clasificación Funcional de Carreteras	Diseño					Revisión
	2	5	10	25	50	Flujo 100
Troncal Principal:						
➤ Alcantarillas de paso				X	X	X
➤ Alcantarillas de alivio			X			X
➤ Puentes grandes					X	X
➤ Puente - Vado						
Troncal Secundaria:						
➤ Alcantarillas de paso				X		X
➤ Alcantarillas de alivio			X			X
➤ puentes pequeños y cajas				X	X	X
➤ Puente - Vado						
Colectora Principal:						
➤ Alcantarillas de paso				X		X
➤ Alcantarillas de alivio			X			X
➤ Puentes pequeños				X	X	X
➤ Puente - Vado						
Colectora Secundaria:						
➤ Alcantarillas de paso				X		X
➤ Alcantarillas de alivio			X			X
➤ puentes pequeños			X	X		X
➤ Puente - Vado						
Caminos Vecinales:						
➤ Alcantarillas de paso			X	X		X
➤ Alcantarillas de alivio			X			X
➤ puentes pequeños				X	X	X

Tabla 3 – Frecuencia de Diseño Recomendadas (años)

Fuente: Manual para Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Menor y Mayor MTI



Periodo de Retorno (años)	Ecuación de la Intensidad (mm / hora)
10	$\frac{2345.42}{(T_c + 21)^{0.805}}$
25	$\frac{2152.98}{(T_c + 21)^{0.752}}$
50	$\frac{1962.68}{(T_c + 20)^{0.712}}$
100	$\frac{2023.81}{(T_c + 21)^{0.696}}$

Tabla 4 – Ecuaciones Ajustadas de las curvas IDF (ESTACION AEROPUERTO). Periodo 1974 – 2000.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Departamento de Meteorología.



INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES INETER TENSIDADES MAXIMAS ANUALES DE PRECIPITACION (mm).							
ESTACION : AEROPUERTO DE MANAGU.		Latitud : 12° 08' 36"		Longitud : 86° 09' 49"			
CODIGO : 069027		Elevación : 56 Msnm		Tipo : HMP			
Periodo : 1971=2006							
AÑOS	5	10	15	30	60	120	360
1971	199.2	112.8	106.4	69.4	41.7	30.2	-
1972	212.4	123.6	86.8	58.8	29.5	18.1	-
1973	200.4	137.4	121.2	89.2	77.7	44.7	-
1974	198.0	115.2	84.0	59.0	44.4	30.9	-
1975	126.0	125.4	118.4	100.0	90.0	65.6	-
1976	123.6	118.2	113.6	72.4	41.6	22.8	-
1977	187.2	142.2	118.4	79.2	52.1	29.2	-
1978	126.0	125.6	90.8	77.0	49.0	30.2	-
1979	121.2	111.6	92.8	57.8	42.4	26.8	-
1980	180.0	178.2	158.4	99.0	63.8	37.3	-
1981	153.6	109.2	104.8	59.6	36.7	23.0	-
1982	155.6	122.4	95.6	68.0	57.7	33.6	-
1983	133.2	102.0	80.8	55.8	35.4	18.1	-
1984	151.2	150.0	123.2	112.8	63.2	32.7	-
1985	150.0	134.4	109.6	106.4	77.3	67.9	-
1986	158.4	103.8	88.0	54.4	28.5	8.9	-
1987	200.4	151.8	119.2	84.4	47.1	17.4	-
1988	212.4	168.8	134.4	93.2	64.2	21.2	-
1989	150.1	120.7	98.0	36.4	25.2	14.8	-
1990	106.2	86.4	72.4	62.5	36.9	14.8	-
1991	238.8	204.0	159.6	82.2	33.8	23.0	-
1992	123.6	111.0	98.0	69.0	39.3	21.5	-
1993	150.0	111.0	87.2	66.0	49.3	29.1	-
1994	122.4	108.6	90.0	60.6	54.3	32.8	-
1995	115.2	114.0	113.0	76.0	76.0	45.8	-
1996	124.8	121.8	120.0	69.6	43.5	23.3	-
1997	120.0	120.0	80.0	64.0	33.4	14.9	-
1998	230.4	141.6	110.4	76.6	43.1	24.5	-
1999	126.0	109.8	84.0	62.4	32.6	22.7	-
2000	124.8	116.4	125.2	89.2	51.2	19.8	-
2001	230.4	164.0	119.2	76.8	46.0	30.6	9.9
2002	126.0	120.0	114.0	90.0	66.5	62.7	27.0
2003	165.6	130.8	120.8	110.0	95.1	58.9	4.6
2004	132.0	104.4	82.0	64.0	36.4	17.3	-
2005	132.0	120.0	108.0	88.0	77.0	42.7	19.0
2006	110.4	108.0	74.8	53.4	41.8	11.0	-

Tabla 5- Intensidades Máximas Anuales de Precipitación (mm)

Fuente: INETER

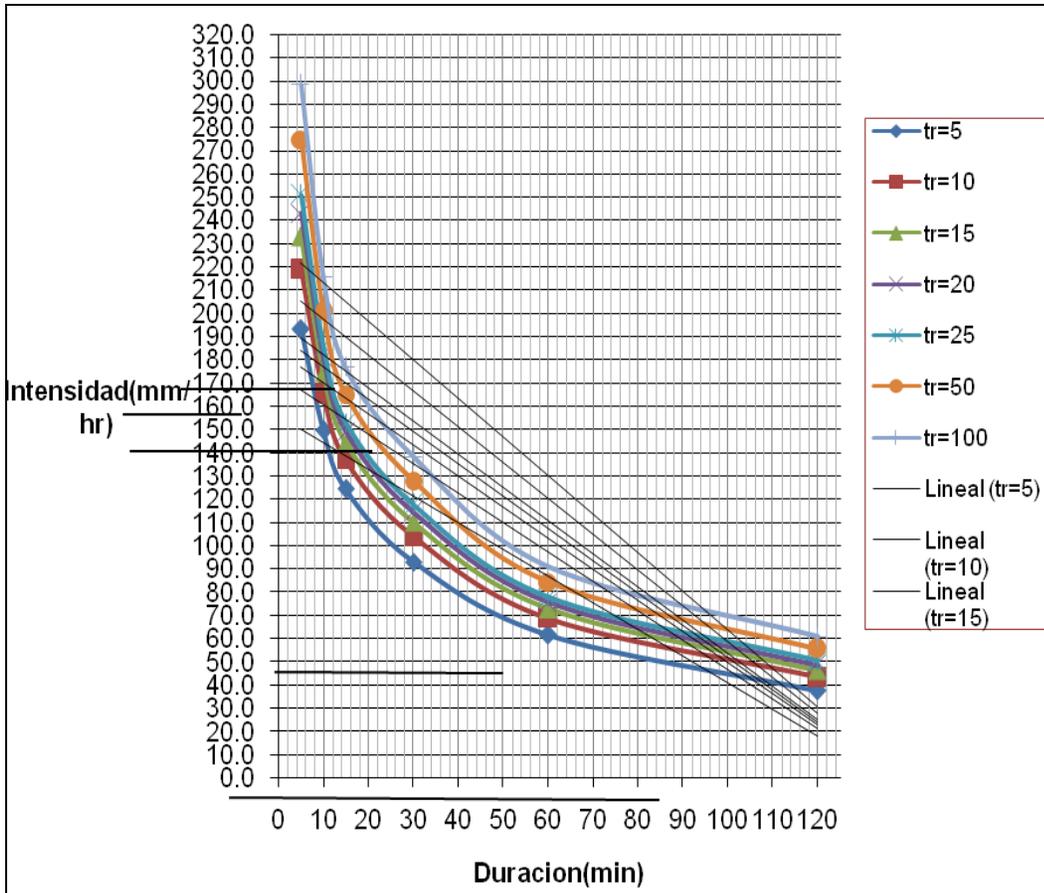


Tabla 6 - Curvas IDF Estación Aeropuerto Internacional

Fuente: INETER

SELECCIÓN DEL TIEMPO DE RETORNO

Para el caso de los ríos que pasan por zonas urbanas los municipios proceden a zonificar las áreas sujetas a riesgo que se dividen en tres zonas:



- **Zona 1, de pasada de la crecida**, $Tr = 5$ a 10 años. Permite el escurrimiento de la crecida, no se permite la construcción, sólo agricultura, líneas eléctricas, tuberías, etc.
- **Zona 2, de restricción**, $Tr = 50$ a 100 años. Área inundable reglamentada, afectada por pequeñas profundidades y bajas velocidades de agua, que no contribuyen en forma importante al escurrimiento. Se permite uso agrícola, parques, actividades recreativas o deportivas de bajo costo de manutención, actividad comercial o industrial con áreas de carga, estacionamiento, almacenamiento y maquinaria fácil de remover o no sujeta a daños por crecidas. No se permiten artículos perecibles o tóxicos.

Se permiten servicios básicos como líneas de transmisión, postes, etc. con medidas de protección.

- **Zona 3, de bajo riesgo**, $Tr > 50$ o 100 años. Área con una baja probabilidad de ocurrencia de inundación, en años excepcionales tiene pequeñas láminas y bajas velocidades de agua. Esta área se establece sólo para alertar a la población de los riesgos a que está sujeta, no necesita reglamentación. Los métodos de protección son individuales, del tipo seguros, viviendas con segundos pisos para uso en crecidas, etc.

Otros autores recomiendan:

- **Según el tipo de vía**, se recomiendan los siguientes períodos de retorno:

Vialidad Local (avenidas y calles importancia no traspasa la zona)	2 años
--	--------



Vialidad Distribuidora (distribuye o alimenta la vía arterial)	5 años
Vialidad Arterial (autopistas urbanas y avenidas básicas)	10 años
Vialidad Especial (acceso Inst. seguridad o Serv. Públicos vitales)	10 años

Tabla 7 - Periodos de Retornos según la vía.

- **Dependiendo del tipo de obra y la calidad de la vía**, se consideran los siguientes períodos de retorno:

Alcantarillas L < 6 m.:

Pasajes y otros	2 - 5 años
Locales	10 años
Colectoras	25 años
Arterias	50 años

Puentes y Alcantarillas L > 6 m.:

Pasajes y otros	5-10 años
Locales	25-10 años
Colectoras	50 años
Arterias	100 años

Tabla 8 - Periodos de Retorno según longitud de puentes y alcantarillas

En todas las obras deben ser chequeados los efectos de remanso para un período de retorno de 100 años.

- **El Manual de Carreteras del MOP** recomienda como mínimo para las obras de drenaje en una carretera, dependiendo del tipo de obra y calidad de la carretera, los siguientes períodos de retorno:



- **Drenaje de la plataforma**

vía secundaria	5 - 10 años
vía principal	10 - 25 años.

- **Alcantarillas D < 1500 mm.**

vía secundaria	10-20 años
vía principal	25- 50 años

- **Alcantarillas D > 1500 mm.**

vía secundaria	25-50 años
vía principal	50-100 años.

- **Puentes**

vía secundaria	100 años
vía principal	100-200 años.

Tabla 9 - Periodos de Retornos según MOP

Vía principal son autopistas, primarias (colectoras) y el resto son secundarias. Es importante notar que el concepto de período de retorno en el caso de las carreteras normalmente está asociado al concepto de falla, la cual puede ocasionar la destrucción de la obra al ser sobrepasado y daños económicos significativos por corte de la carretera.

Tanto para el estudio de la erosión, como para el cálculo y diseño de las estructuras de conservación de suelos e hidráulicas, es necesario el estudio de las precipitaciones máximas. El período de retorno será mayor cuanto mayor sea la importancia y la repercusión social, ecológica y económica de la obra. Así la



necesidad de disponer de amplios períodos de retorno contrasta con la disponibilidad de series de datos climatológicos, por lo que se debe recurrir a estimaciones estadísticas.

OBRA	PERIODO DE RETORNO (años)
Estructuras provisionales en zanja	5
Drenaje longitudinal, cunetas, etc...	5 - 10
Estructuras semi-permanentes	10
Terrazas de desagüe	10
Pequeñas estructuras permanentes	15 - 20
Terrazas de absorción, aliviaderos	20
Grandes estructuras permanentes	50 - 100

Tabla 10 - Periodos de Retornos según la Obra de Drenaje

Fuente: Hidrotecnia de Alcantarillas y Puentes
Curso de Especialización de Obras Horizontales
Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía
(Tabla 7-10)



Tabla 5-6. Valores del coeficiente de rugosidad n
(las cifras en **negritas** son los valores generalmente recomendados para el diseño)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A-1. Metal			
<i>a.</i> Latón, liso	0.009	0.010	0.013
<i>b.</i> Acero			
1. Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
<i>c.</i> Hierro fundido			
1. Recubierto	0.010	0.013	0.014
2. No recubierto	0.011	0.014	0.016
<i>d.</i> Hierro forjado			
1. Negro	0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017
<i>e.</i> Metal corrugado			
1. Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias	0.021	0.024	0.030
A-2. No metal			
<i>a.</i> Lucita	0.008	0.009	0.010
<i>b.</i> Vidrio	0.009	0.010	0.013
<i>c.</i> Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
<i>d.</i> Concreto			
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	0.013	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa	0.012	0.014	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa	0.015	0.017	0.020
<i>e.</i> Madera			
1. Machihembrada	0.010	0.012	0.014
2. Laminada, tratada	0.015	0.017	0.020
<i>f.</i> Arcilla			
1. Canaleta común de baldosas	0.011	0.013	0.017
2. Alcantarilla vitrificada	0.011	0.014	0.017
3. Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017
4. Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas	0.014	0.016	0.018
<i>g.</i> Mampostería en ladrillo			
1. Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
2. Revestida con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
<i>h.</i> Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones	0.012	0.013	0.016
<i>i.</i> Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso	0.016	0.019	0.020
<i>j.</i> Mampostería de piedra, cementada	0.018	0.025	0.030

Tabla 11- Valores de Coeficientes de Rugosidad n

Fuente: Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos.



Tabla 5-6. Valores del coeficiente de rugosidad *n* (continuación)
(las cifras en **negritas** son los valores generalmente recomendados para el diseño)

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
C. Excavado o dragado			
a. En tierra, recto y uniforme			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
c. Excavado con pala o dragado			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060
d. Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080
3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140
D. Corrientes naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150

Tabla 12 - Valores de Coeficientes de Rugosidad *n*

Fuente: Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos.



Tabla 2-1. Elementos geométricos de secciones de canal

Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Ancho superficial T	Profundidad hidráulica D	Factor de sección Z
 Rectángulo	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y	$by^{1.5}$
 Trapezoido	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\frac{[(b + zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}}$
 Triángulo	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{2.5}$
 Círculo	$\frac{1}{8}(\theta - \text{sen } \theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right)d_0$	$\frac{(\text{sen } \frac{1}{2}\theta)d_0}{2\sqrt{y(d_0 - y)}}$ or $2\sqrt{y(d_0 - y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } \frac{1}{2}\theta}\right)d_0$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \text{sen } \theta)^{1.5}}{32(\text{sen } \frac{1}{2}\theta)^{0.5}}d_0^{2.5}$
 Parábola	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8}{3}\frac{y^2}{T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3}{2}\frac{A}{y}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{2}{3}\sqrt{6}Ty^{1.5}$
 Rectángulo con esquinas redondeadas ($y > r$)	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b + 2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2r}}$
 Triángulo con fondo redondeado	$\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1 + z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{A}{P}$	$2[z(y - r) + r\sqrt{1 + z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

* Aproximación satisfactoria para el intervalo $0 < x \leq 1$, donde $x = 4y/T$. Cuando $x > 1$, utilice la expresión exacta $P = (T/2)[\sqrt{1 + x^2} + 1/x \ln(x + \sqrt{1 + x^2})]$.

Tabla 13 - Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.

Fuente: Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos.



Diámetros Alcantarillas		Area
Pulgadas	Metros	m ²
Ø18	0.4572	0.16417322
Ø24	0.6096	0.29186351
Ø30	0.762	0.45603673
Ø36	0.9144	0.65669289
Ø42	1.0668	0.89383199
Ø48	1.2192	1.16745403
Ø54	1.3716	1.47755901
Ø60	1.524	1.82414692
Ø72	1.8288	2.62677157

Tabla 14- Dimensión de Alcantarillas

Longitud de la obra (m)	Diámetro mínimo (plg)	Diámetro mínimo (m)
< 3	2	0.60
3 – 4	2 1/2	0.80
4-5	3	1.0
5-10	4	1.20
10-15	5	1.50
> 15	6	1.80

Tabla 15- Mínima dimensión de una obra de cruce

Naturaleza de la superficie	Máxima velocidad admisible (m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.2 – 0.6
Arena arcillosa dura, margas duras	0.6 – 0.9
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0.6 – 1.2
Arcilla	1.2 – 2.0
Grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.2 – 1.5
Hierba	1.2 – 1.8
Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1.4 – 3.0
Mampostería, rocas duras	3.0 – 5.0
Hormigón (de buena calidad)	4.5 – 9.0

Tabla 16 - Velocidades para que no se produzcan erosión en los elementos del desagüe superficial



Entrada	K₁₂
Tubos de hormigón	
Exentos	0.6
Con muros de acompañamiento	0.4
Con aletones	0.3
Otros conductos de hormigón	
Exentos	0.6
Con muros de acompañamiento	0.4
Con aletones	0.2
Tubos corrugados	
Exentos	0.8
Ataluzados	0.7
Con muros de acompañamiento	0.6
Con aletones	0.3

Tabla 17 - Coeficientes de pérdidas de carga en la entrada

Fuente: Hidrotecnia de Alcantarillas y Puentes
Curso de Especialización de Obras Horizontales
Dr. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía
(Tablas 14-17)



ANEXO II. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS



ECUACIONES DESARROLLADAS PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO PROBABLE PARA LA MICROCUENCA ESTUDIADA.

a. MÉTODO RACIONAL

✓ Pendiente del Terreno

$$S_{c_1} = \frac{240\text{ m} - 200\text{ m}}{2,636.65\text{ m}} = 0.015 \text{ m/m} = 1.5\% \quad S_{c_2} = \frac{200\text{ m} - 130\text{ m}}{2,821.35\text{ m}} = 0.025 \text{ m/m} = 2.5\%$$

✓ Tiempo de Concentración

$$T_{c_1} = 0.0041 \left[\frac{3.28 * 2,636.65\text{ m}}{\sqrt{0.015}} \right]^{0.77} = 22.11 \text{ min}$$

$$T_{c_2} = 0.0041 \left[\frac{3.28 * 2,821.35\text{ m}}{\sqrt{0.025}} \right]^{0.77} = 19.27 \text{ min}$$

✓ Intensidad de la Lluvia

$$I_1 = \frac{2,152.98}{(22.11 \text{ min} + 21)^{0.752}} = 127.01 \text{ mm/h}$$

$$I_2 = \frac{2,152.98}{(19.27 \text{ min} + 21)^{0.752}} = 133.69 \text{ mm/h}$$

✓ Caudal por el Método Racional

$$Q_1 = 0.2778 * (0.125) * (127) * (4.54) = 20.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 0.2778 * (0.125) * (133.69) * (4.47) = 20.75 \text{ m}^3/\text{s}$$



b. MÉTODO TRÁNSITO DE AVENIDAS

Parámetros del Tránsito de las Sub-cuencas

✓ Velocidad del Tránsito

$$Vt_1 = \frac{2,636.65m}{22.11 \text{ min}} = 119.25 \text{ m/min}$$

$$Vt_2 = \frac{2,821.35m}{19.27 \text{ min}} = 146.41 \text{ m/min}$$

✓ Longitud del Tránsito

$$Lt_1 = 2,636.65m, \quad Lt_2 = 2,821.35m$$

✓ Tiempo de Retardo

$$K_1 = \frac{2,636.65m}{119.25 \text{ m/min}} = 22.11 \text{ min}, \quad K_2 = \frac{2,821.35m}{146.41 \text{ m/min}} = 19.27 \text{ min}$$

✓ Tiempo del hidrograma a transitar (t)

$$t_1 = 22.11 \text{ min} \quad t_2 = 9.64 \text{ min}$$

✓ Coeficiente de rugosidad (C) :

Debe de cumplirse que $C_0 + C_1 + C_2 = 1$,

$$K_1 = 22.11 \text{ min}, \quad t = \frac{22.11 \text{ min}}{2} = 11.05 \text{ min}, \quad X = 0.20$$

$$C_0 = - \frac{(22.11 \text{ min})(0.20) - 0.5(11.05 \text{ min})}{22.11 \text{ min} - (22.11 \text{ min} * 0.20) + (0.5 * 11.05 \text{ min})} = 0.0476$$

$$C_1 = \frac{(22.11 \text{ min})(0.20) + 0.5(11.05 \text{ min})}{22.11 \text{ min} - (22.11 \text{ min} * 0.20) + (0.5 * 11.05 \text{ min})} = 0.4285$$



$$C_2 = \frac{22.11 \text{ min} - (22.11 \text{ min})(0.20) - 0.5(11.05 \text{ min})}{22.11 \text{ min} - (22.11 \text{ min} * 0.20) + (0.5 * 11.05 \text{ min})} = 0.5240$$

$$0.0475 + 0.4285 + 0.5240 = 1$$

✓ **Tránsito del hidrograma del primero al segundo punto**

$$t_1 = 11.05 \text{ min} , \quad I_2 = 10.01 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_1 = 0.0 \text{ min} , \quad I_1 = 0.00 \text{ m}^3/\text{s}$$

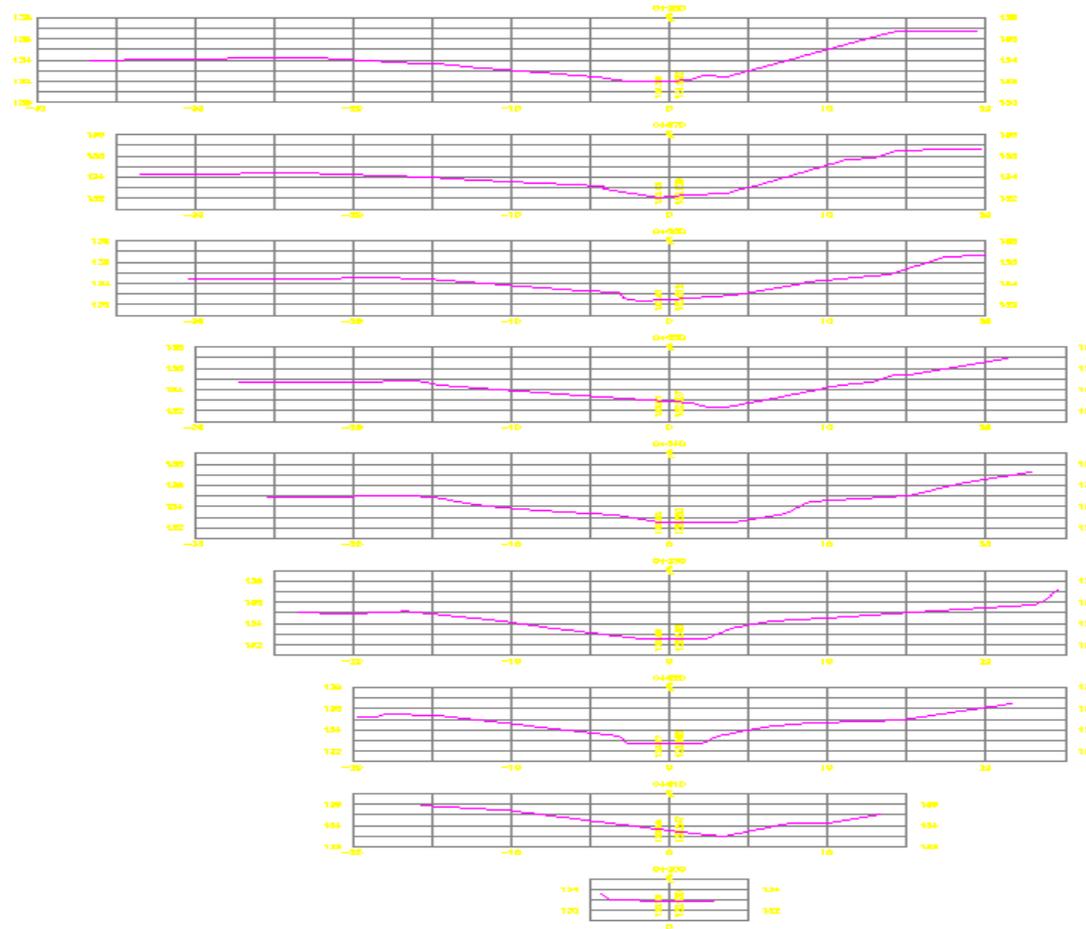
$$O_1 = 0.00 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$O_2 = C_0 * I_2 = 0.0476 * 10.01 \text{ m}^3/\text{s} = 0.48 \text{ m}^3/\text{s}$$

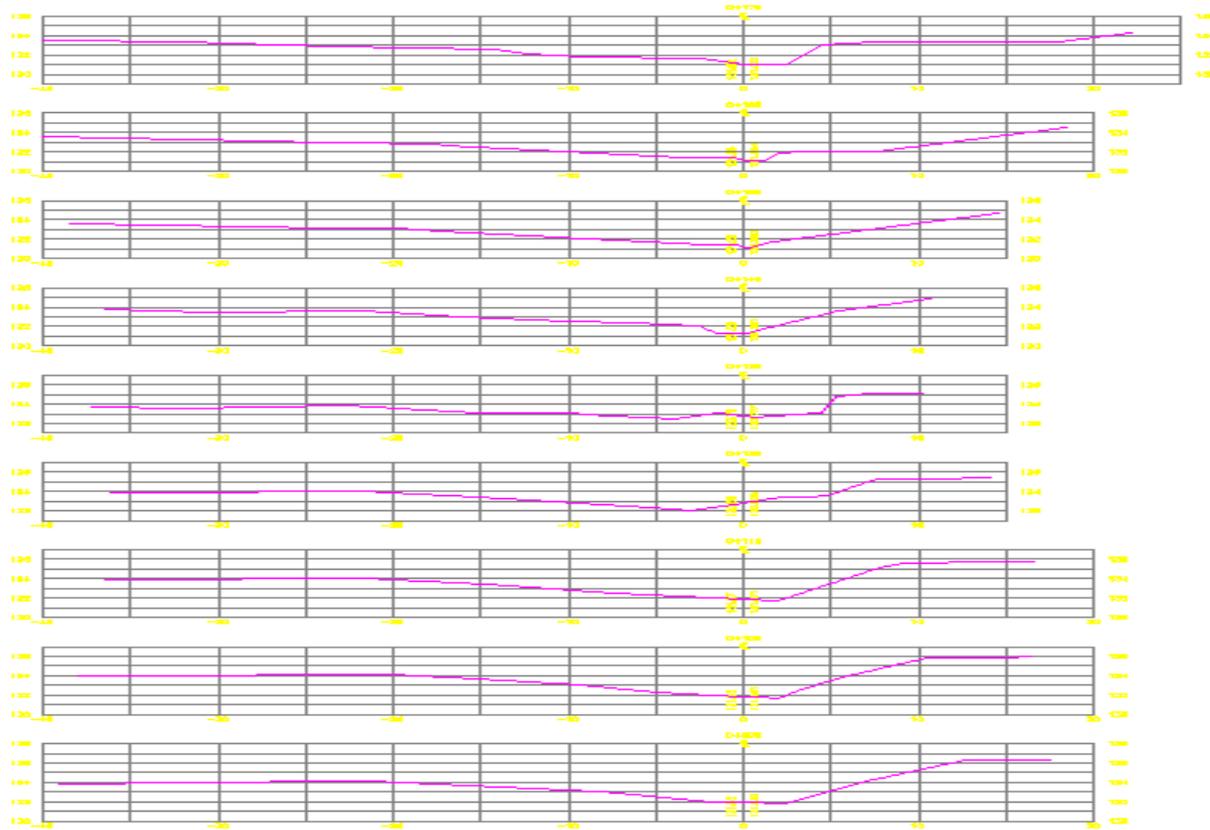


Estación (Obra cruce)	Cuenca	Q (m ³ /S)	Área (Ha)	L.Cauce (m)	V trán (m/min)	Tc (min)	K (min)	t(min)	Co	C1	C2	Suma C=1
2+495.146	C2	5.96	70.7	1,936.68	56.18	34.47	10.76	17.24	0.38	0.63	0.0007	1.00
3+808.262	C3	4.31	188.71	2,357.64	92.93	25.37	13.10	12.69	0.22	0.53	0.25	1.00
4+265.585	C4	3.60	70.98	1,664.45	114.63	14.52	9.25	7.26	0.16	0.50	0.34	1.00
4+840.697	C5	46	431.79	3,708.69	113.14	32.78	20.60	16.39	0.17	0.50	0.34	1.00
9+152.646	C6	7.01	197.91	4,782.54	160.54	29.79	26.57	14.90	0.07	0.44	0.48	1.00
9+685.917	C7	25.05	900.32	5,458.00	246.86	22.11	23.66	11.05	0.03	0.42	0.55	1.00
9+822.18	CA	0.82	44.44	836.00	109.14	7.66	4.64	3.83	0.18	0.51	0.32	1.00
10+765.312	CB	7.77	422.19	4,013.00	143.63	27.94	22.29	13.97	0.10	0.46	0.44	1.00
11+732.512	CC	4.68	214.09	3,522.05	151.94	23.18	19.57	11.59	0.09	0.45	0.46	1.00
	D4	4.98	43.08	1,250.00	119.85	10.43	6.94	5.21	0.15	0.49	0.36	1.00
12+338.67	D3	4.45	90.32	2,090.54	153.38	13.63	11.61	6.82	0.09	0.45	0.46	1.00
12+544.81	D2	3.97	44.67	980.16	108.54	9.03	5.45	4.52	0.18	0.51	0.32	1.00

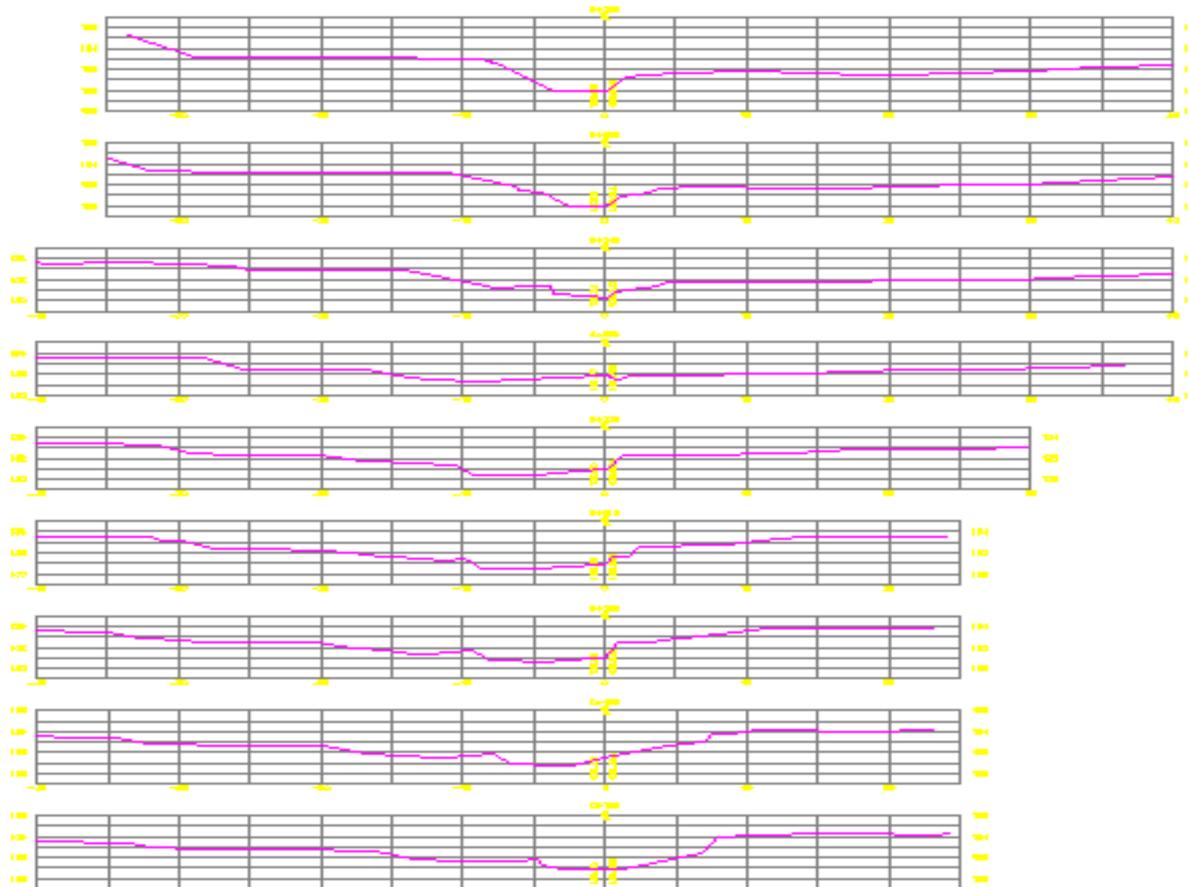
**Tabla 1 - Análisis Hidrológico de las cuencas del proyecto donde se situarán las obras de drenaje.
 (Tránsito de Avenidas)**



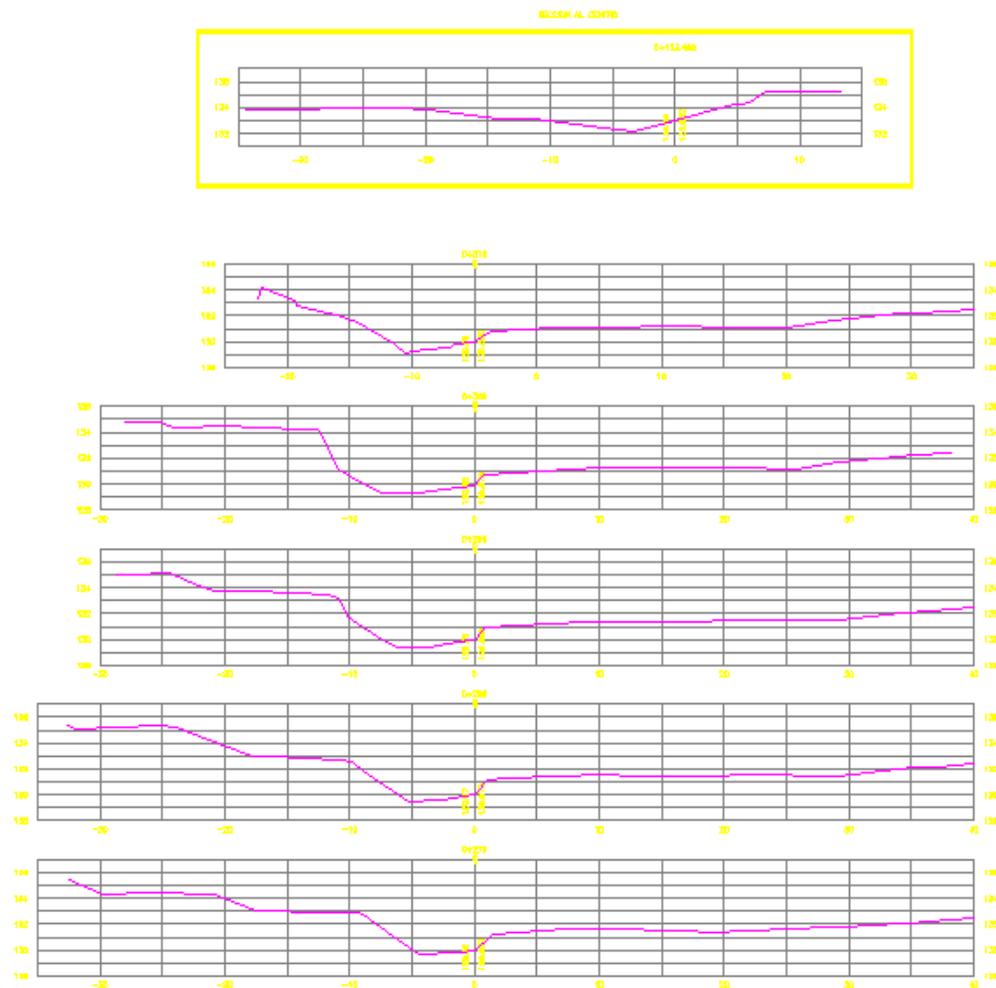
Gráfica 2- Secciones Transversales del Cauce de Microcuenca usadas para la Modelación Hidráulica (HEC-RAS 3.1.3), (Est. 9+685.55, sobre el eje de la vía)



Gráfica 3- Secciones Transversales del Cauce de Microcuenca usadas para la Modelación Hidráulica (HEC-RAS 3.1.3), (Est. 9+685.55, sobre el eje de la vía)



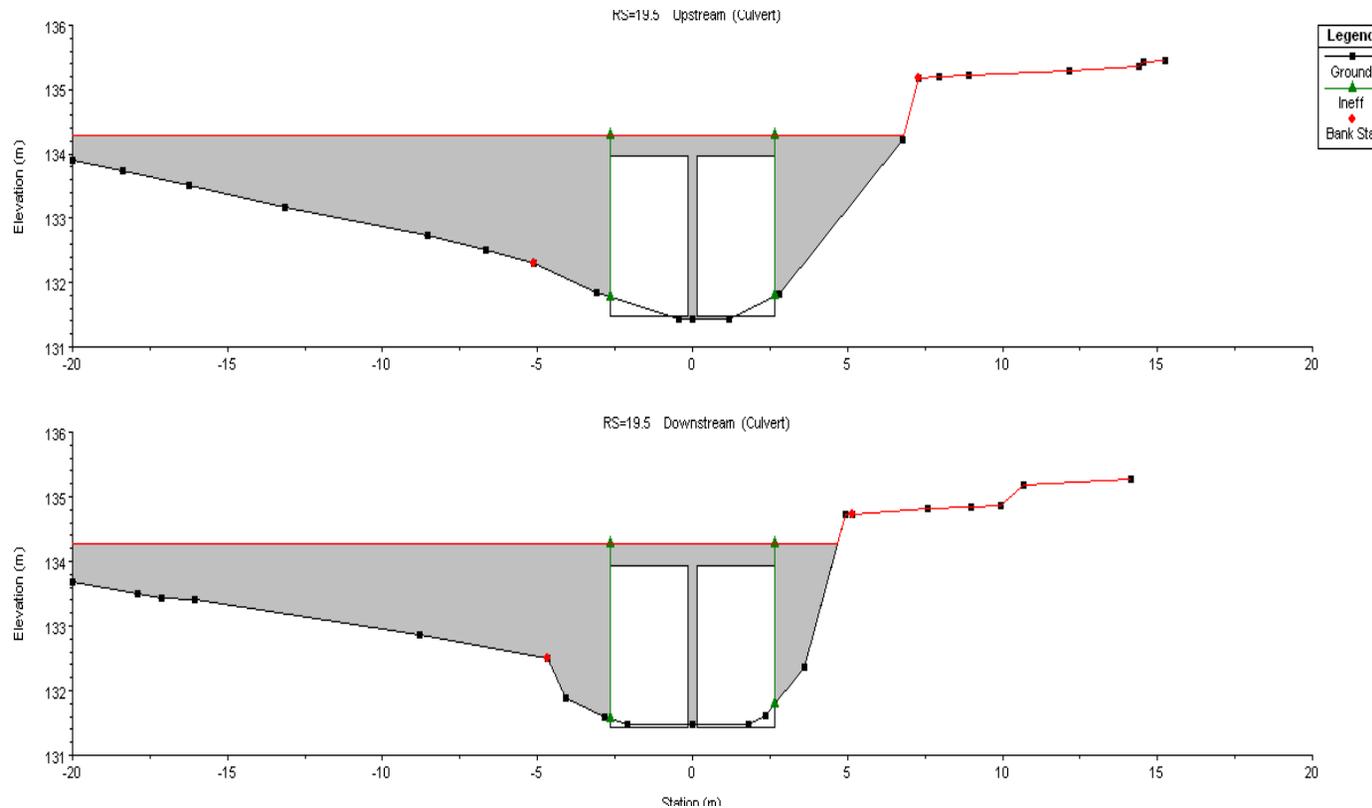
Gráfica 4 - Secciones Transversales del Cauce de Microcuenca usadas para la Modelación Hidráulica (HEC-RAS 3.1.3), (Est. 9+685.55, sobre el eje de la vía)



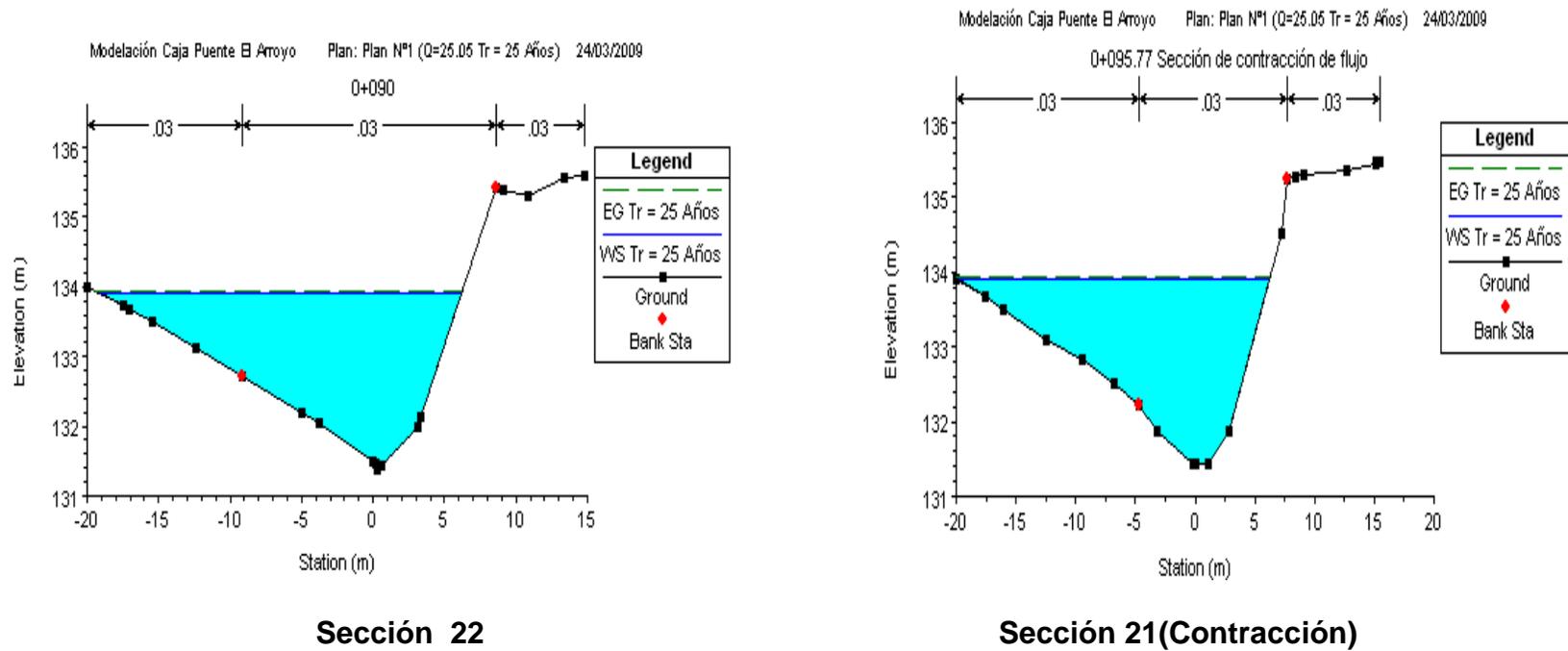
Gráfica 5 - Secciones Transversales del Cauce de Microcuenca usadas para la Modelación Hidráulica (HEC-RAS 3.1.3), (Est. 9+685.55, sobre el eje de la vía)



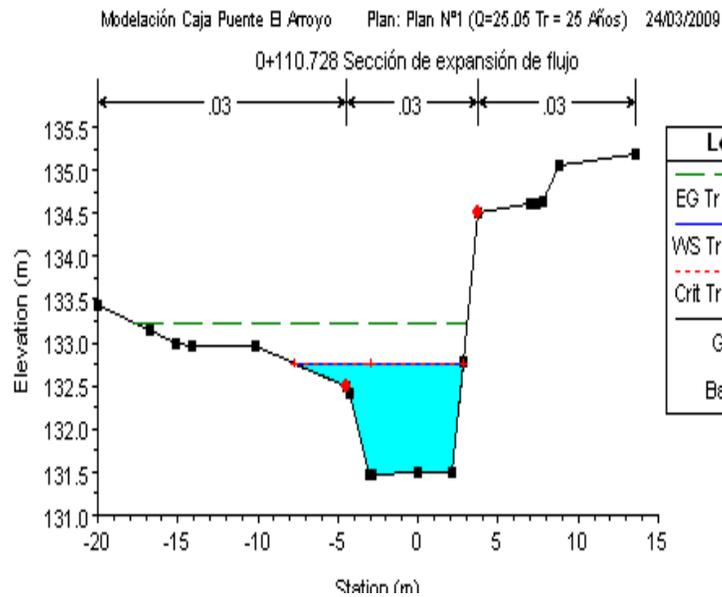
RESULTADO DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA



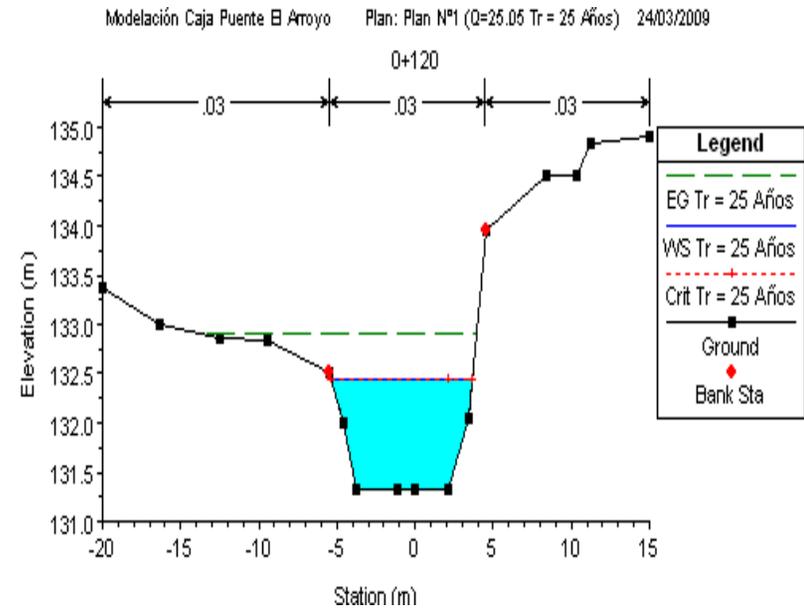
Gráfica 6 - Secciones Transversales Aguas Arriba y Aguas Abajo de la Caja Puente
(Ubicado sobre el eje principal de la vía en la Est. 9+685.917)



Gráfica 7 - Secciones Transversales Aguas Arriba de la Caja Puente
(Est. 9+685.917, sobre el eje de la vía)

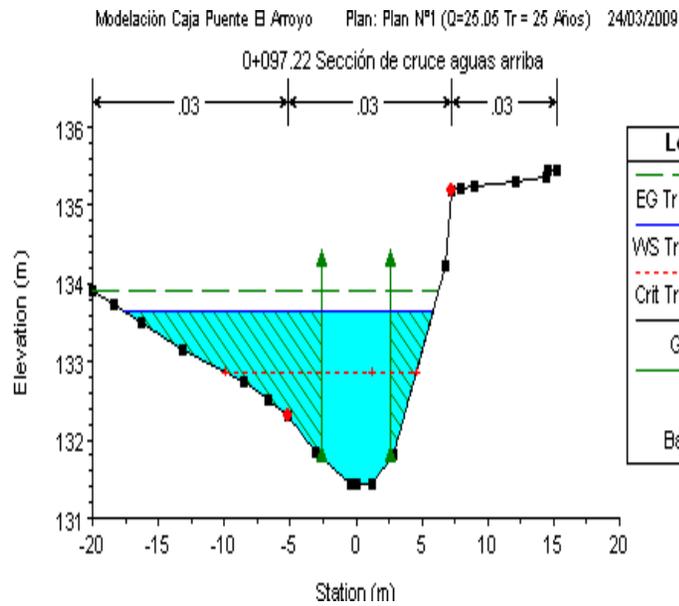


Sección 18 (Expansión)

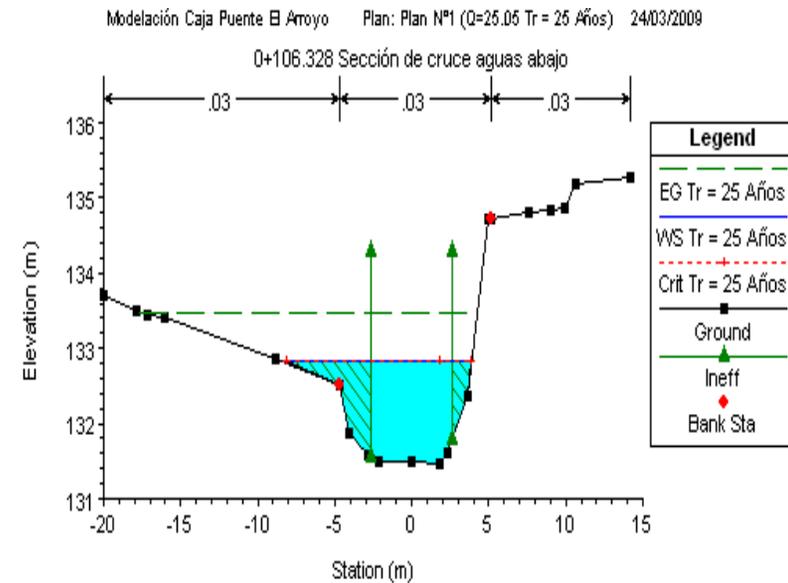


Sección 17

Gráfica 8 - Secciones Transversales Aguas Abajo de la Caja Puente (Est. 9+685.917, sobre el eje de la vía)



Sección 20 (Cruce Arriba)



Sección 19 (Cruce Abajo)

Gráfica 9 - Secciones Transversales de Cruce Aguas Arriba y Abajo de la Caja Puente (Est. 9+685.917, sobre el eje de la vía)



HEC-RAS Plan: 01 River: El Arroyo Reach: El Arroyo Profile: Tr = 25 Años												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
El Arroyo	31	Tr = 25 Años	25.05	132.93	134.11	134.11	134.46	0.010264	2.63	9.52	13.49	1.00
El Arroyo	30	Tr = 25 Años	25.05	132.61	133.95		134.13	0.003450	1.88	13.38	14.97	0.61
El Arroyo	29	Tr = 25 Años	25.05	132.46	133.98		134.09	0.001664	1.49	17.58	18.46	0.44
El Arroyo	28	Tr = 25 Años	25.05	132.49	133.89		134.06	0.003280	1.86	14.27	17.90	0.60
El Arroyo	27	Tr = 25 Años	25.05	132.34	133.86		134.02	0.003477	1.90	14.53	18.99	0.61
El Arroyo	26	Tr = 25 Años	25.05	132.06	133.87		133.98	0.001893	1.56	17.64	20.90	0.46
El Arroyo	25	Tr = 25 Años	25.05	131.55	133.89		133.96	0.000731	1.18	24.95	25.49	0.30
El Arroyo	24	Tr = 25 Años	25.05	131.01	133.90		133.94	0.000417	0.97	30.25	25.43	0.23
El Arroyo	23	Tr = 25 Años	25.05	131.19	133.90		133.94	0.000487	1.02	28.69	23.59	0.24
El Arroyo	22	Tr = 25 Años	25.05	131.38	133.90		133.93	0.000353	0.87	31.78	25.23	0.21
El Arroyo	21	Tr = 25 Años	25.05	131.42	133.90		133.93	0.000365	0.92	32.22	26.04	0.22
El Arroyo	20	Tr = 25 Años	25.05	131.43	133.65	132.86	133.91	0.001735	2.25	11.11	23.43	0.50
El Arroyo	19.5		Culvert									
El Arroyo	19	Tr = 25 Años	25.05	131.48	132.82	132.82	133.48	0.008247	3.60	6.96	12.02	1.00
El Arroyo	18	Tr = 25 Años	25.05	131.48	132.76	132.76	133.23	0.008742	3.05	8.53	10.56	0.92
El Arroyo	17	Tr = 25 Años	25.05	131.32	132.44	132.44	132.90	0.010111	3.01	8.32	9.01	1.00
El Arroyo	16	Tr = 25 Años	25.05	131.14	132.44		132.68	0.004417	2.16	11.61	11.40	0.68
El Arroyo	15	Tr = 25 Años	25.05	131.00	132.48		132.62	0.002211	1.66	15.05	12.98	0.49
El Arroyo	14	Tr = 25 Años	25.05	131.00	132.24	132.24	132.56	0.006703	2.66	10.90	16.64	0.83
El Arroyo	13	Tr = 25 Años	25.05	131.00	132.26		132.46	0.004067	2.18	13.51	17.95	0.65
El Arroyo	12	Tr = 25 Años	25.05	131.00	132.26		132.41	0.002701	1.83	15.80	19.67	0.54
El Arroyo	11	Tr = 25 Años	25.05	130.85	132.28		132.38	0.001388	1.38	19.47	20.44	0.40
El Arroyo	10	Tr = 25 Años	25.05	130.63	132.29		132.36	0.000972	1.15	22.82	26.47	0.33
El Arroyo	9	Tr = 25 Años	25.05	131.00	132.17		132.33	0.004610	1.80	14.56	26.49	0.68
El Arroyo	8	Tr = 25 Años	25.05	131.00	132.03	132.03	132.26	0.008633	2.24	12.45	26.98	0.90
El Arroyo	7	Tr = 25 Años	25.05	130.41	131.86		132.02	0.003153	1.84	15.89	27.46	0.58
El Arroyo	6	Tr = 25 Años	25.05	130.00	131.70	131.70	131.97	0.005381	2.40	12.34	23.93	0.74
El Arroyo	5	Tr = 25 Años	25.05	129.98	131.37	131.37	131.81	0.010338	2.94	8.52	9.72	1.00
El Arroyo	4	Tr = 25 Años	25.05	129.75	131.04	131.04	131.55	0.010163	3.16	7.92	8.07	1.00
El Arroyo	3	Tr = 25 Años	25.05	129.52	130.80	130.80	131.29	0.010241	3.11	8.06	8.29	1.01
El Arroyo	2	Tr = 25 Años	25.05	129.46	130.71	130.71	131.16	0.010170	2.98	8.41	9.33	1.00
El Arroyo	1	Tr = 25 Años	25.05	129.44	130.64	130.64	131.07	0.010181	2.92	8.57	9.86	1.00

Tabla 2 - Resultados de la Modelación en HEC-RAS v 3.1.3

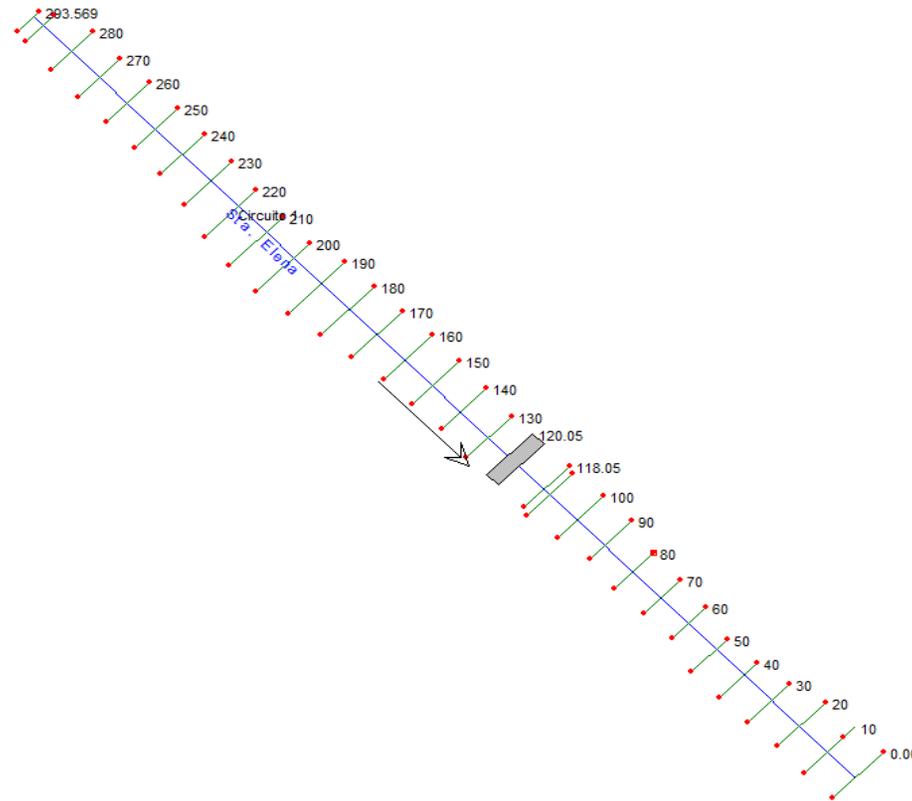


Gráfico 10-Planta de las secciones transversales del cauce. La sección transversal 293.56 corresponde al tramo aguas arriba y la sección 0.00 corresponde al tramo aguas abajo.(Caja Puente 4.5 m x 4.0m)
(Ubicado sobre el eje principal de la vía en la Est. 4+840.697)

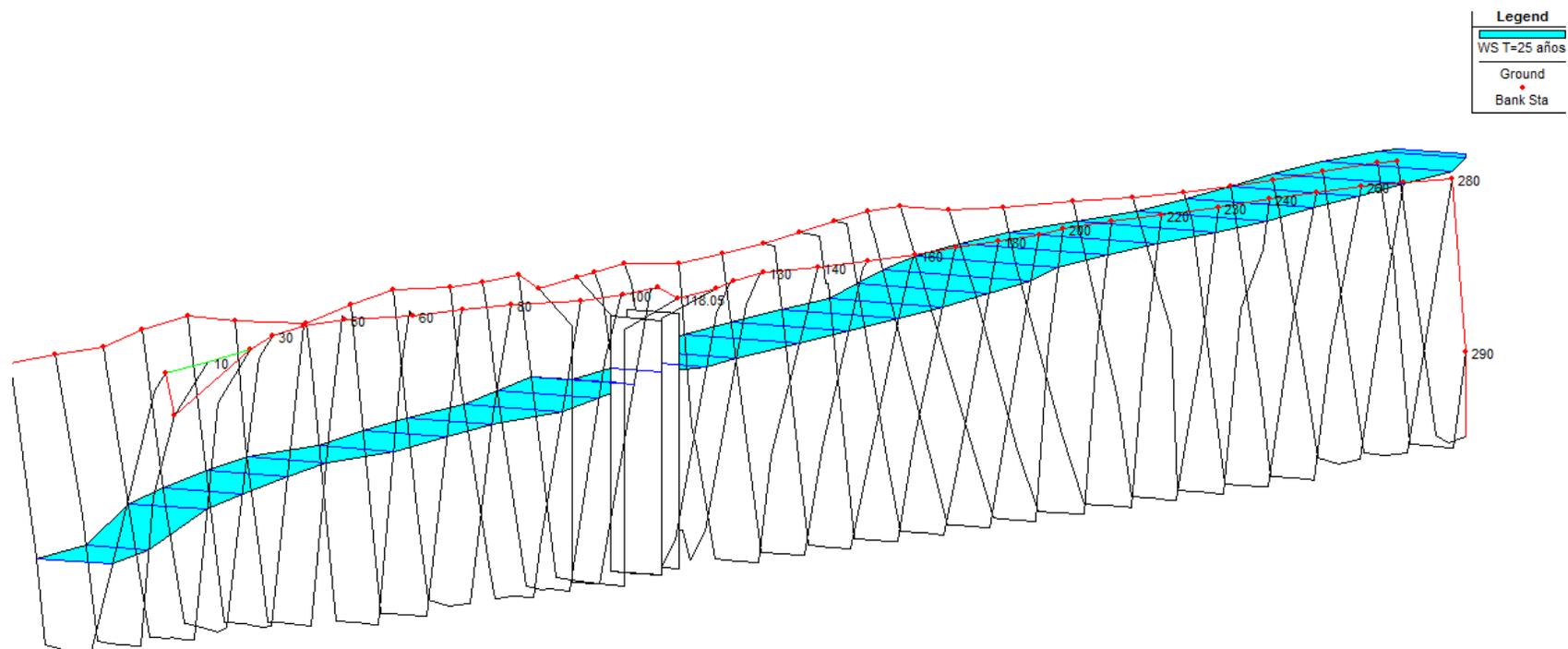
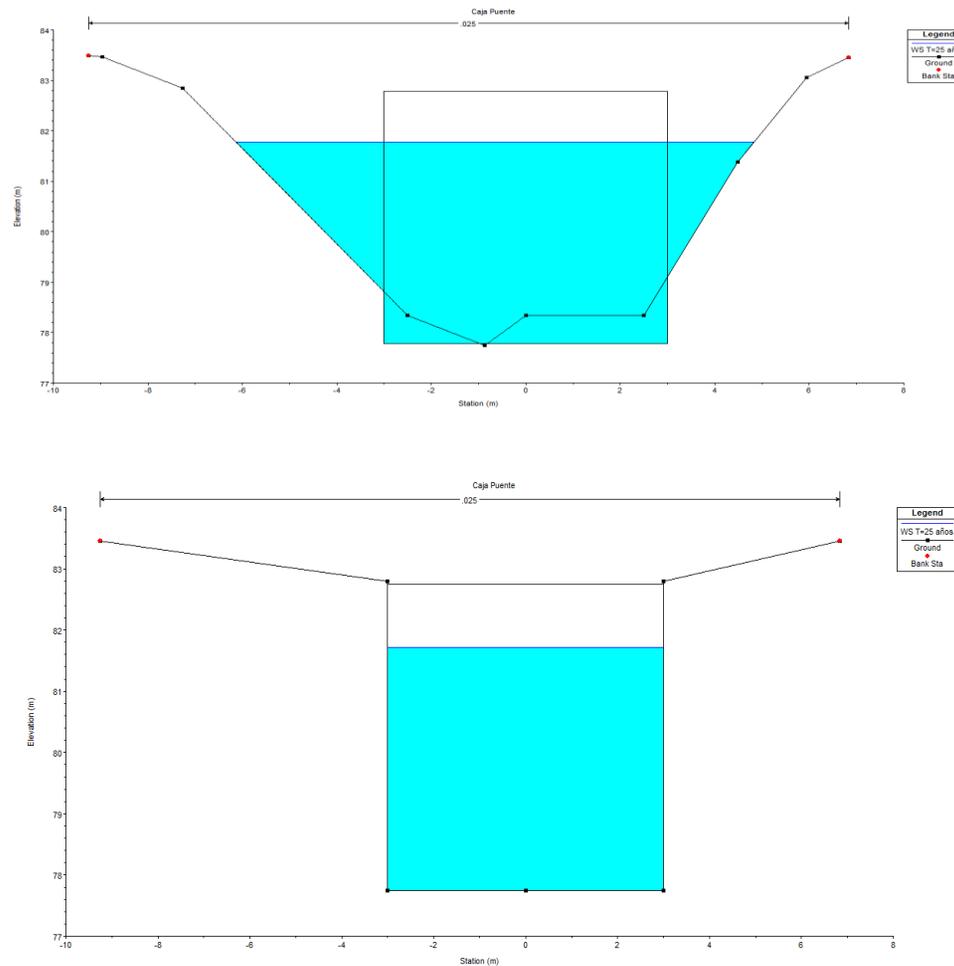


Gráfico 11- Perfil de Aguas. Aguas arriba (sección 293.56), aguas abajo (sección 0.00), se puede observar que todas las secciones son capaces de transportar el caudal de 25 de retorno. (Caja Puesto 4.5 m x 4.0m)



Gráfica 12 - Secciones Transversales Aguas Arriba y Aguas Abajo de la Caja Puente 4.5 m x 4.0m (Ubicado sobre el eje principal de la vía en la Est. 4+840.697)



**Corredor Alterno Turístico
INTA-VERACRUZ-KM 17 ½ CARRETERA A MASAYA (14.98 Km)**

SISTEMA DE DRENAJE DEL PROYECTO				PROYECCIÓN DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS.							
				Propuesta		Elevación Invert de Tubería			Datos complementarios		
Estructura de drenaje N°	Estación	Caudal (m ³ /s)	Descripción	Obras Hidráulicas	Estructura de drenaje a instalar (m)	Entrada	Salida	Centro (LC)	Esviaje	Pendiente (%)	Elevación Rasante L.C
1	2+495.146	5.96	Alcantarilla	3-TCR-42"	26.00	61.34	61.21	61.27	12° N-W	1.00	63.30
2	3+808.262	4.31	Alcantarilla	2-TCR-42"	18.00	73.24	73.11	73.18	08° N-W	1.00	75.21
3	4+625.585	3.60	Alcantarilla	2-TCR-42"	15.00	80.40	80.27	80.34	39° N-W	1.00	82.33
4	4+840.697	46	Caja	Caja puente 4.50 x 4.00 m	20.00	77.61	77.47	77.45	07° N-W	1.00	83.36
5	9+152.646	7.01	Alcantarilla	2-TCR-48"	18.00	131.43	131.30	131.36	69° N-E	1.00	131.52
6	9+685.917	25.05	Caja	Caja puente doble 2.50 x 2.50 m	15.00	125.73	125.60	125.67	50° N-E	1.00	129.53
7	9+822.18	0.82	Alcantarilla	1-TCR-30"	18.00	140.94	140.77	140.86	81° N-E	1.00	143.12
8	10+765.312	7.77	Caja	Caja puente 3.00 x 3.00 m	10.00	156.26	156.08	156.17	27° N-W	1.00	159.23
9	11+732.512	9.67	Alcantarilla	3-TCR-54"	23.00	131.49	131.35	131.42	53° N-W	1.00	135.03
10	12+338.67	4.45	Alcantarilla	2-TCR-42"	18.00	134.12	133.98	134.05	66° N-W	1.00	135.80
11	12+544.81	3.97	Alcantarilla	2-TCR-42"	18.00	160.91	160.75	160.83	65° N-W	1.00	163.87

Tabla 3 - Estructuras Propuestas para el Drenaje Menor y Mayor



CALCULO HIDRAULICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE MENOR (ALCANTARILLAS) Proyecto: Corredor Alterno Turístico INTA-PROINCO- Km 17 1/2 Intersección Carretera a Masaya																	
Información Hidrológica					ESQUEMA GENERAL												
Nº Cruce	Estación	Q(m3/s)															
1	2+495.146	1.99															
2	3+808.262	2.15															
3	4+625.585	1.8															
4	9+152.646	3.5															
5	9+822.18	0.82															
6	11+732.512	3.22															
7	12+338.67	2.22															
8	12+544.81	1.98															
Nº	Estación	Q (m3/seg)	Qd/B (Cajas)	Dimensión (m)	CALCULO DE LA PROFUNDIDAD A LA ENTRADA										He que Controla	Velocidad de Salida (m/seg)	PROPUESTA
					C. Entrada		C. Salida				He = H + H1 - LSo						
					He/D	He (m)	Ke	H	hc	(hc+D)/2	Hs	H1	LSo	He (m)			
1	2+495.146	1.99		1.06	1.18	1.25	0.2	0.436	0.8	0.93	-	0.93	0.26	1.11	1.25	2.42	3 - Ø 42" TCR
2	3+808.262	2.15		1.06	1.26	1.34	0.2	0.47	0.83	0.95	-	0.95	0.18	1.24	1.34	2.59	2 - Ø 42 " TCR
3	4+625.585	1.8		1.06	1.09	1.16	0.2	0.345	0.76	0.91	-	0.91	0.15	1.11	1.16	2.23	2 - Ø 42 " TCR
4	9+152.646	3.5		1.22	1.43	1.75	0.2	0.662	1.02	1.12	-	1.12	0.18	1.6	1.75	3.12	2 - Ø 48 ". TCR
5	9+822.18	0.82		0.76	1.13	0.86	0.2	0.292	0.56	0.66	-	0.66	0.18	0.77	0.86	1.96	1 - Ø 30 " TCR
6	11+732.512	3.22		1.37	1.05	1.44	0.2	0.41	0.96	1.16	-	1.2	0.23	1.34	1.44	2.42	3 - Ø 54 " TCR
7	12+338.67	2.22		1.06	1.3	1.38	0.2	0.495	0.85	0.95	-	1	0.18	1.27	1.38	2.66	2 - Ø 42 " TCR
8	12+544.81	1.98		1.06	1.18	1.25	0.2	0.412	0.8	0.93	-	0.9	0.18	1.16	1.25	2.42	2 - Ø 42 " TCR
OBSERVACIONES																	
Estas propuestas de drenaje menor cumplen con el requerimiento de que la carga permisible en la entrada no debe ser mayor del 20% de la altura de la sección, de lo contrario el flujo sobrepasa la altura de la calzada. Recomendado por el Manual de Drenaje del MOP- Venezuela, basado en el Manual de Diseño Hidráulico de Alcantarillas (FHA- Federal Highway Administration) U.S Department of Transportation.																	

Tabla 4. Cálculo de la Capacidad Hidráulica de las Obras de Drenaje Menor (Alcantarillas) – (Hoja de Cálculo en Excel facilitada por EDICO)



NOMENCLATURA

La lista de símbolos que aparece a continuación contiene los términos más usuales en el diseño de alcantarillas.

Q : Caudal (m^3/s)

He/D : Relación de capacidad permisible en la entrada.

He : Altura o carga de agua en la entrada (m).

Ke : Coeficiente de pérdida de carga en la entrada en la alcantarilla.

H : Carga utilizada (m)

hc :

(hc+D): Es el valor de la carga cuando la salida no está sumergida. $((hc+D)/2 > H_s)$

2

Hs : Altura de agua a la salida (m)

h1 : Se determina por medio del valor de Hs ó bien por $(hc+D)/2$. $h_1 = H_s$ cuando la salida es sumergida ó cuando $H_s > (hc+D)/2$, en caso contrario $h_1 = (hc+D)/2$

hc : Profundidad crítica. (m)

L : Longitud de la alcantarilla (m)

So : Pendiente (m/m)



EDICO. CALCULO DE ALCANTARILLAS CIRCULARES DE CONCRETO REFORZADO.

CALCULO DE ALCANTARILLAS CIRCULARES TCR

Cruce Nº: 1

Estación: 2+495.146

Nº Conductos: 3

Q (m3/seg): 5.96

Longitud (m): 26

Pendiente (m/m): 0.01

Coef. Manning: 0.011

Diametro (m): 42

Calcular

Nuevo

Salir

Guardar Resultados

Registrar Obra de Drenaje Mayor

Obsecciones:

EDICO. CALCULO DE ALCANTARILLAS CIRCULARES DE CONCRETO REFORZADO.

CALCULO DE ALCANTARILLAS CIRCULARES TCR

Cruce Nº: 1

Estación: 2+495.146

Nº Conductos: 3

Q (m3/seg): 5.96

Longitud (m): 26

Pendiente (m/m): 0.01

Coef. Manning: 0.011

Diametro (m): 1.06 (42 pulg.)

Calcular

Nuevo

Salir

DATOS GENERALES.

Alcantarilla Nº: 1

Estación: 2+495.146

Propuesta: 3 - Ø 42 Pulg. TCR

Alcantarilla trabajando con control de entrada

CONTROL DE ENTRADA

Relación H/D: 1.18

Altura de agua en la entrada HE (m) 1.25

Velocidad del agua en la salida (m/seg) 3.2

CONTROL DE SALIDA

Profundidad crítica (m) 0.8

Altura de agua en la entrada (m) 1.11

Altura de agua en la salida (m) 0.93

Pérdida de energía (m) 0.44

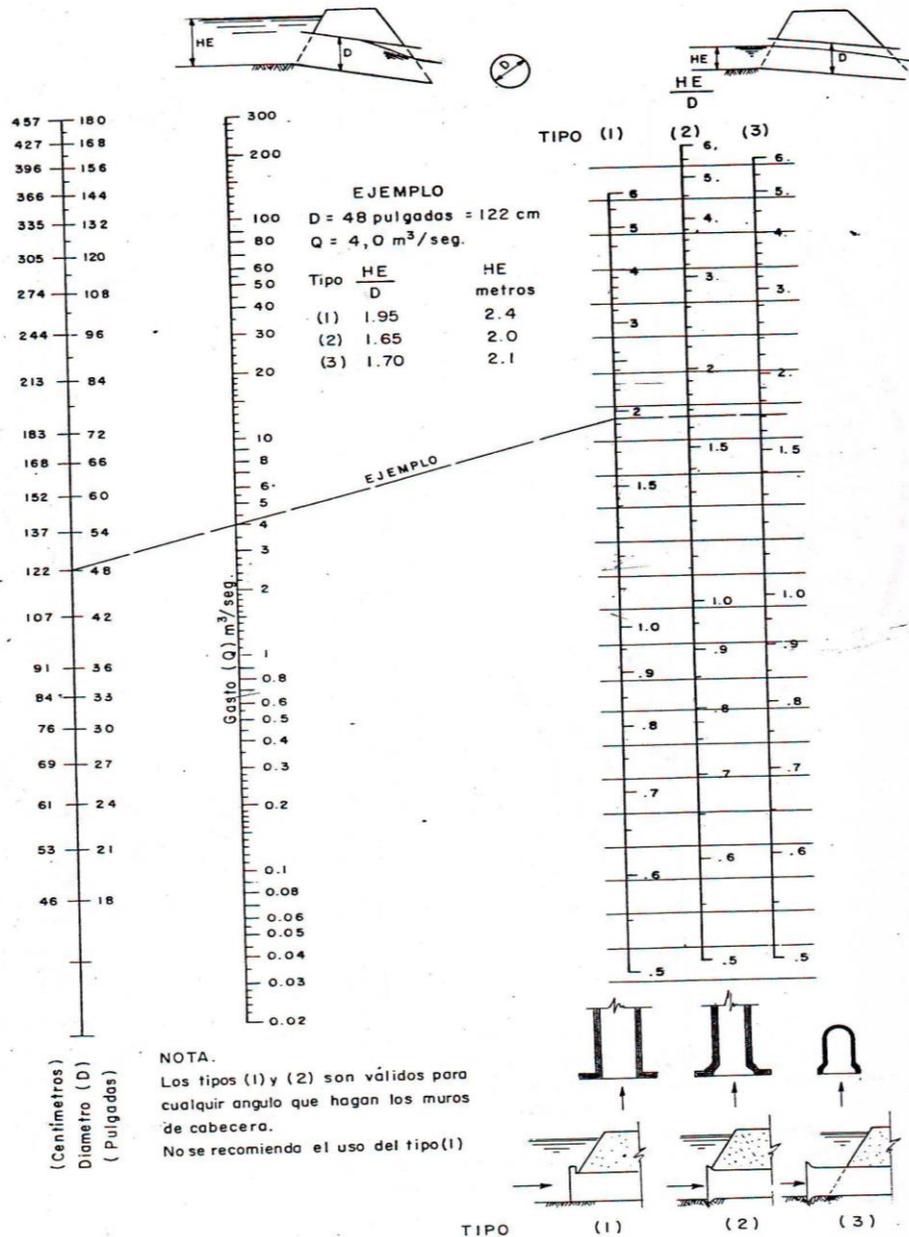
Velocidad de salida (m/seg) 2.42

Guardar Resultados

Registrar Obra de Drenaje Mayor

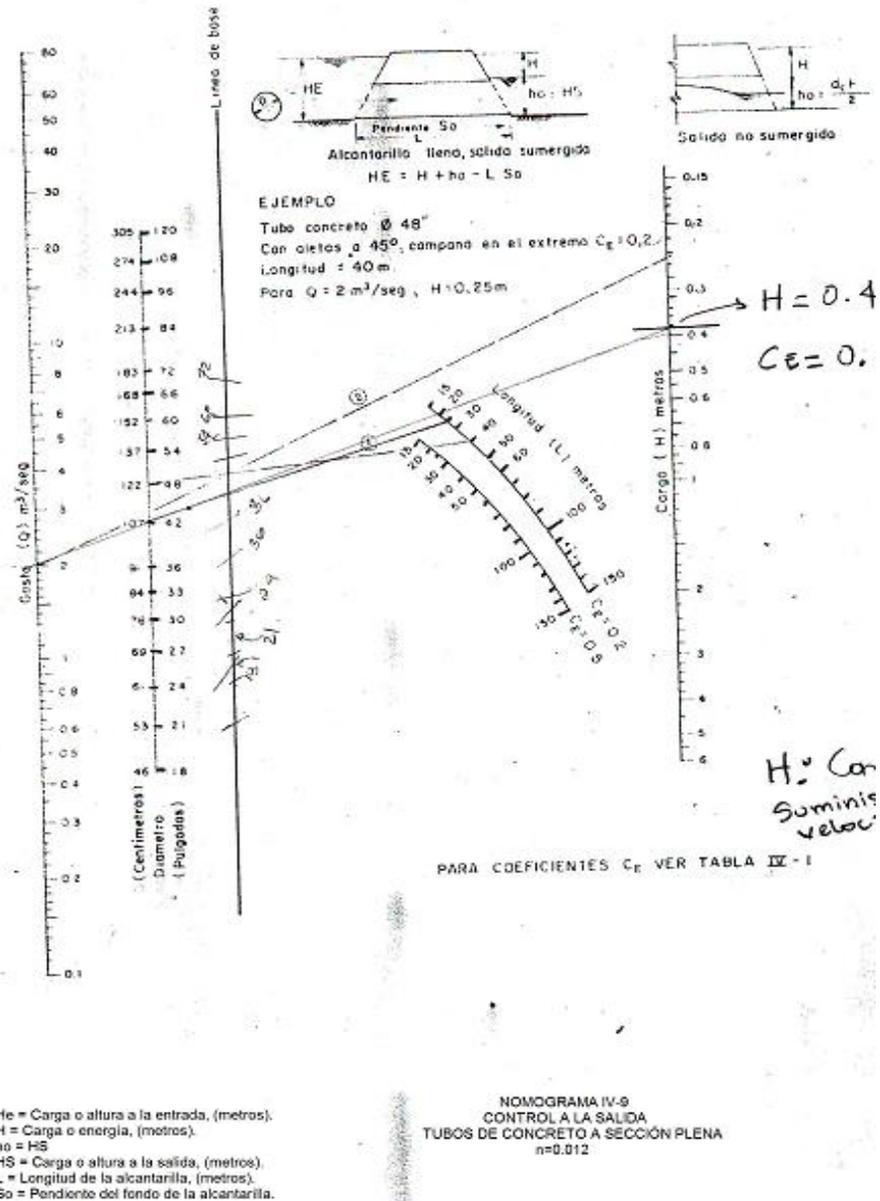
Obsecciones:

Esquema 1- Entrada de Datos y Resultados del Análisis en Hoja de Cálculo Excel (EDICO)



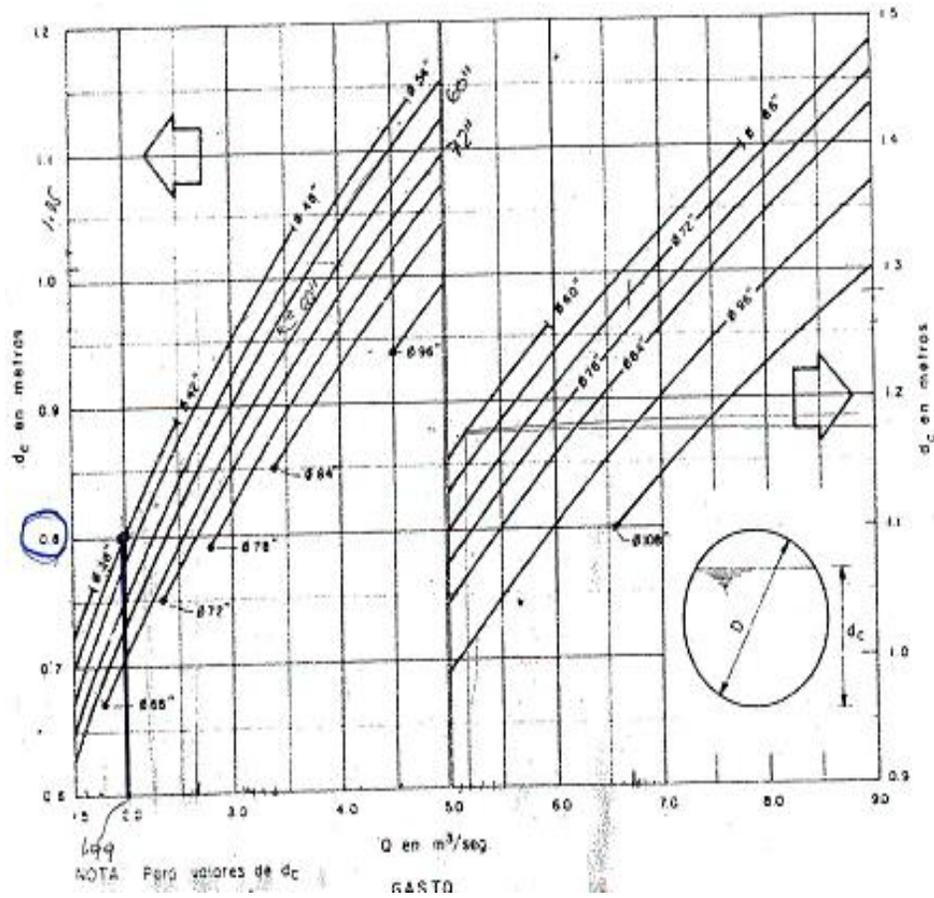
Esquema 2- Nomograma para Tubos de Concreto con Control a la Entrada

Fuente: MOP Venezuela



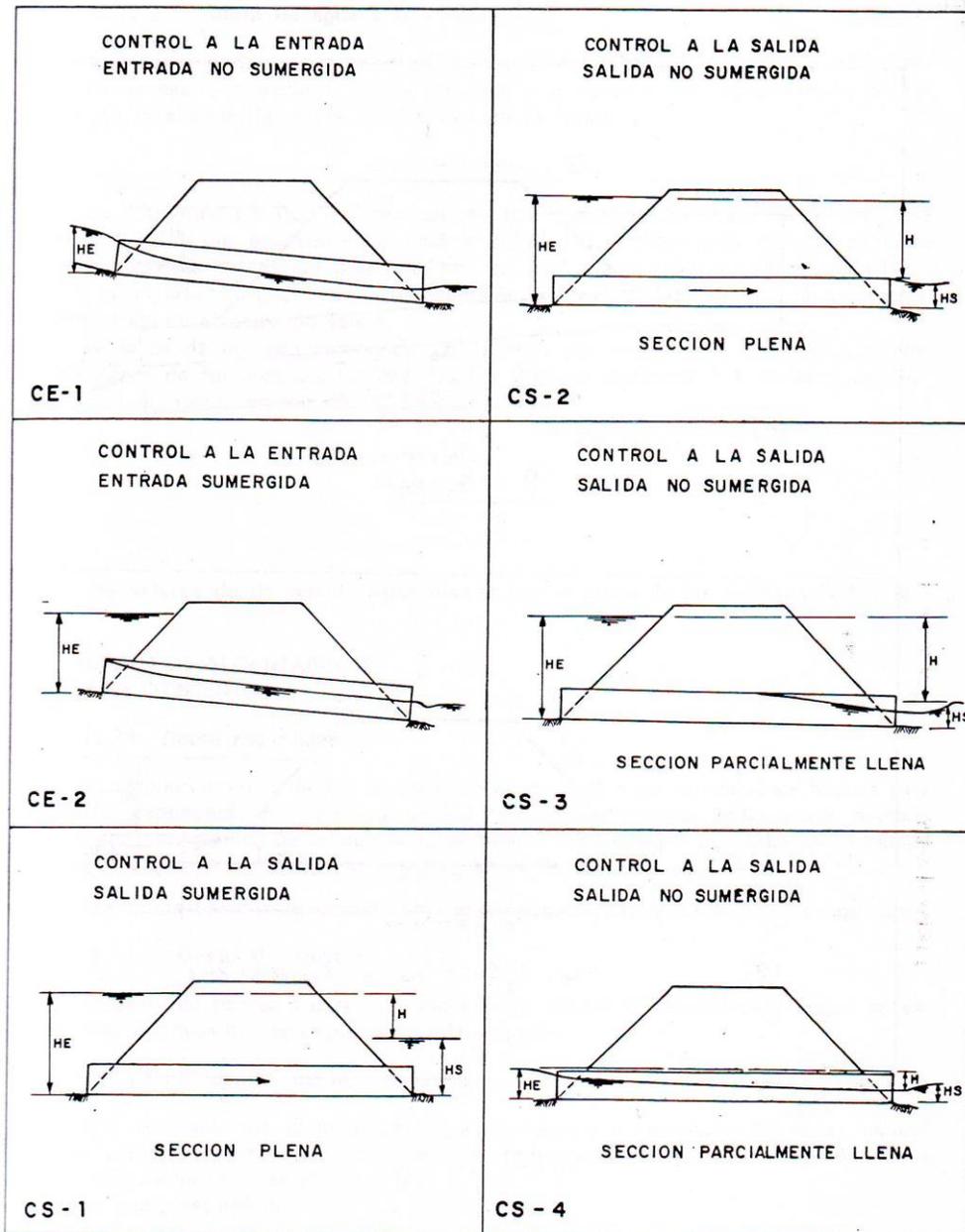
Esquema 3- Nomograma para Tubos de Concreto con Control a la Salida

Fuente: MOP Venezuela



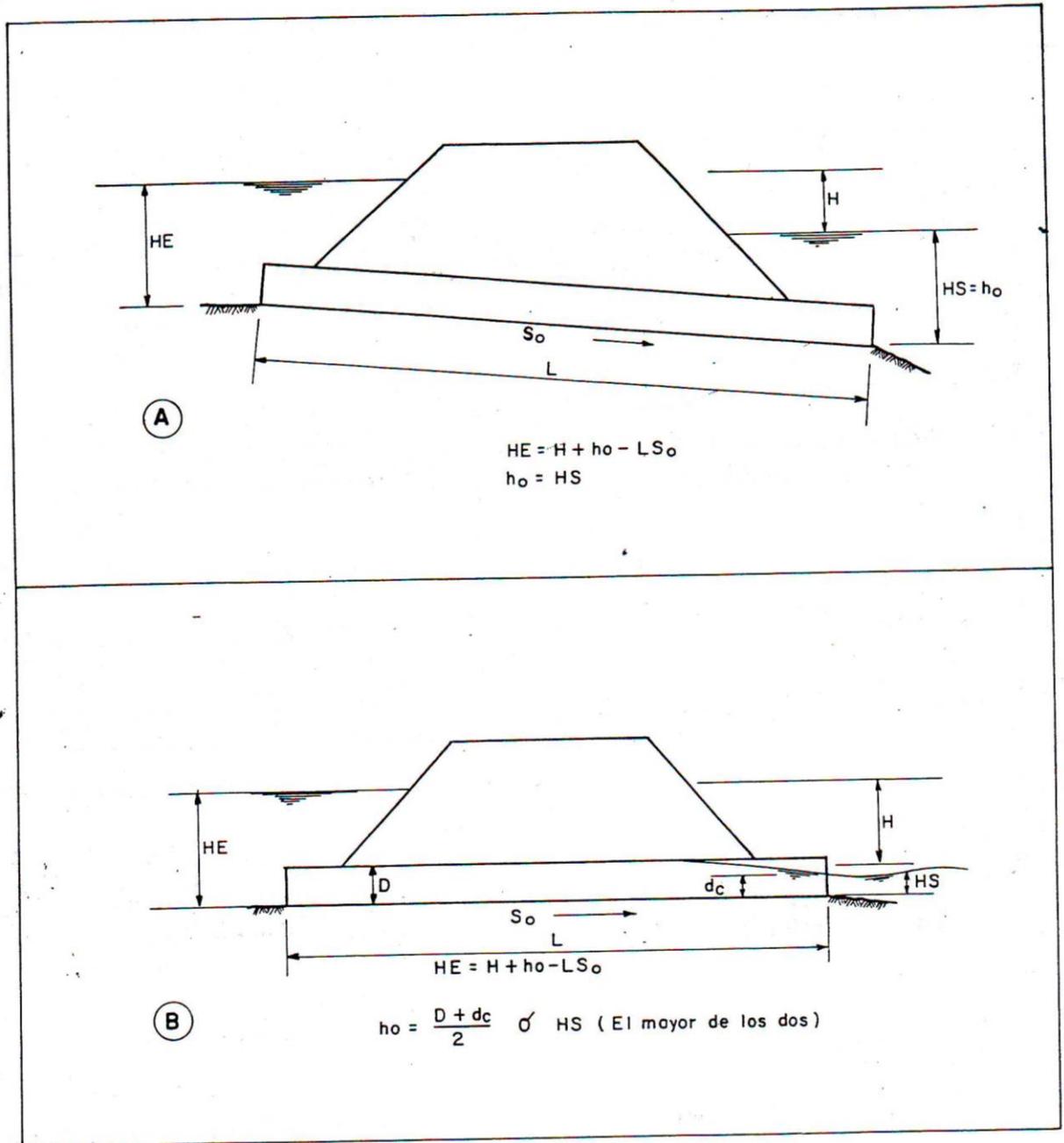
Esquema 5- Profundidad Crítica en Conductos Circulares

Fuente: MOP Venezuela



Esquema 6 - Control a la entrada y salida en alcantarillas

Fuente: MOP Venezuela



Esquema 7- Control en Alcantarilla

Fuente: MOP Venezuela

		DESCRIPCION	C_E
TUBOS DE CONCRETO		CAMPANA SALIENTE	0.2
		ESPIGA SALIENTE (No se recomienda su uso)	0.5
		CON ALETAS (α 0° a 90°) CAMPANA EN EL EXTREMO	0.2
		CON ALETAS (α 0° a 90°) ESPIGA EN EL EXTREMO (No se recomienda su uso)	0.5
		CON ALETAS (α 0° a 90°) REDONDEADA (Radio = $D/12$)	0.2
		SECCION TERMINAL PREFABRICADA DE ACUERDO CON TALUD	0.5
TUBOS O ARCOS METAL CORRUGADO		EXTREMO SALIENTE	0.9
		CON ALETAS (α 0° a 90°)	0.5
		CHAFLANADO DE ACUERDO CON TALUD	0.7
		SECCION TERMINAL PREFABRICADA DE ACUERDO CON TALUD	0.5
CAJONES DE CONCRETO ARMADO		ALETAS O MUROS DE CABECERAS ARISTAS SIN REDONDEAR.	$\alpha = 0^\circ$ 0.7 $10^\circ < \alpha < 25^\circ$ 0.5 $30^\circ < \alpha < 75^\circ$ 0.4 $\alpha = 90^\circ$ 0.5
		MURO DE CABECERA TRES ARISTAS REDONDEADAS (Radio = $\frac{1}{12}$ dimensión cajón)	0.2
		ALETA, α ENTRE 30° Y 75° ARISTA SUPERIOR REDONDEADA (Radio = $\frac{1}{12}$ dimensión cajón)	0.2

Tabla 5 - Coeficientes de Pérdidas de Carga en la Entrada $H_L = C_E V^2/2g$

Fuente: MOP Venezuela

FOTOS. DESCRIPCIÓN DE LA TOPOGRAFÍA DEL TERRENO



Foto 1. Inicio del Proyecto Est. 0+000



Foto 2. Cauce Principal



Foto 3. Cauce Principal



Foto 4. Fin del Proyecto Est. 14+980

FOTOS. USO DEL SUELO EN LA CUENCA DEL PROYECTO



Foto 5. Siembra de Yuca



Foto 6. Finca de Ganado Vacuno



Foto 7. Terrenos Agrícolas (Riego de Ajonjolí)



Foto 8. Campo de Siembra de Maní



Foto 9. Sitio de Extracción de Hormigón

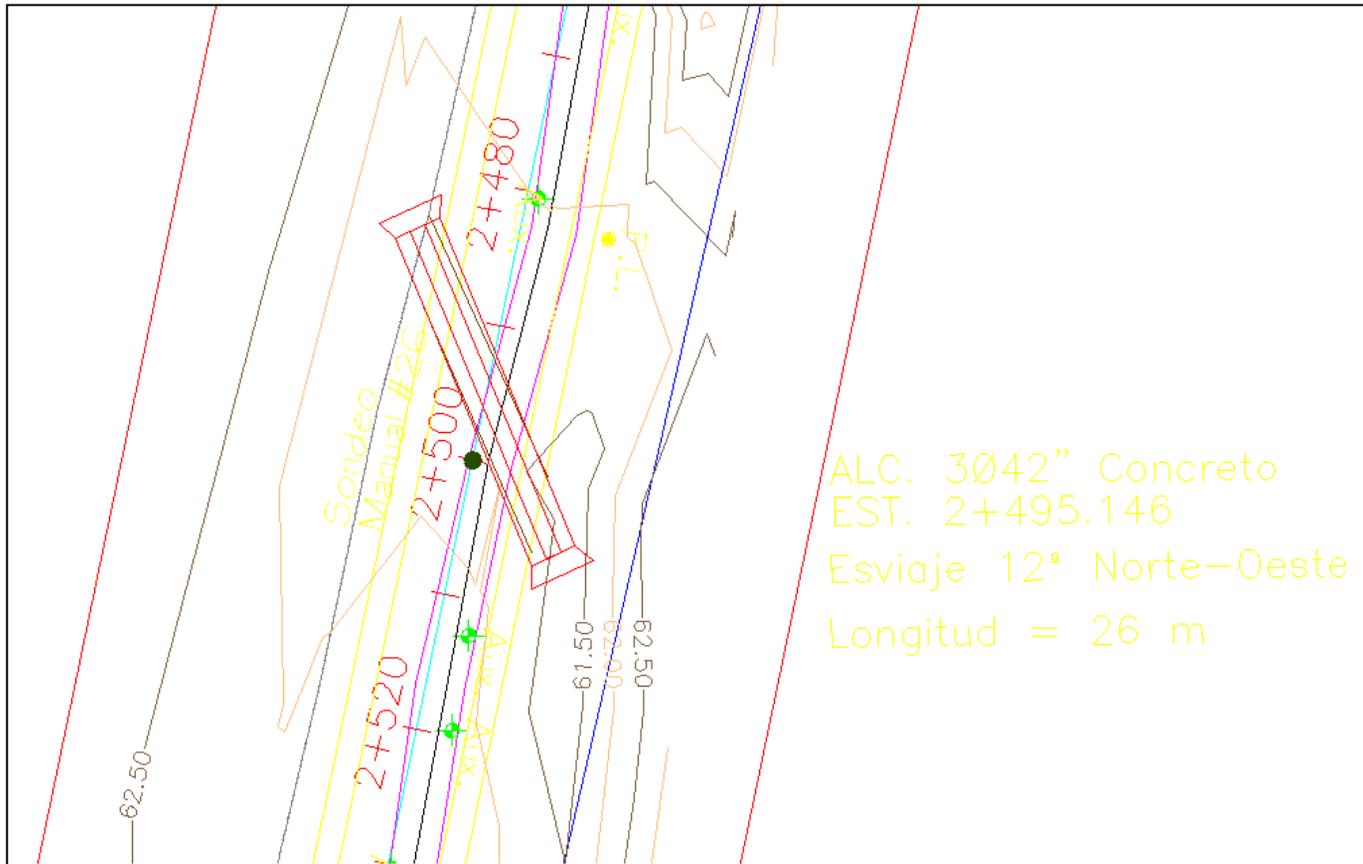


Foto 10. Siembra de Chagüite



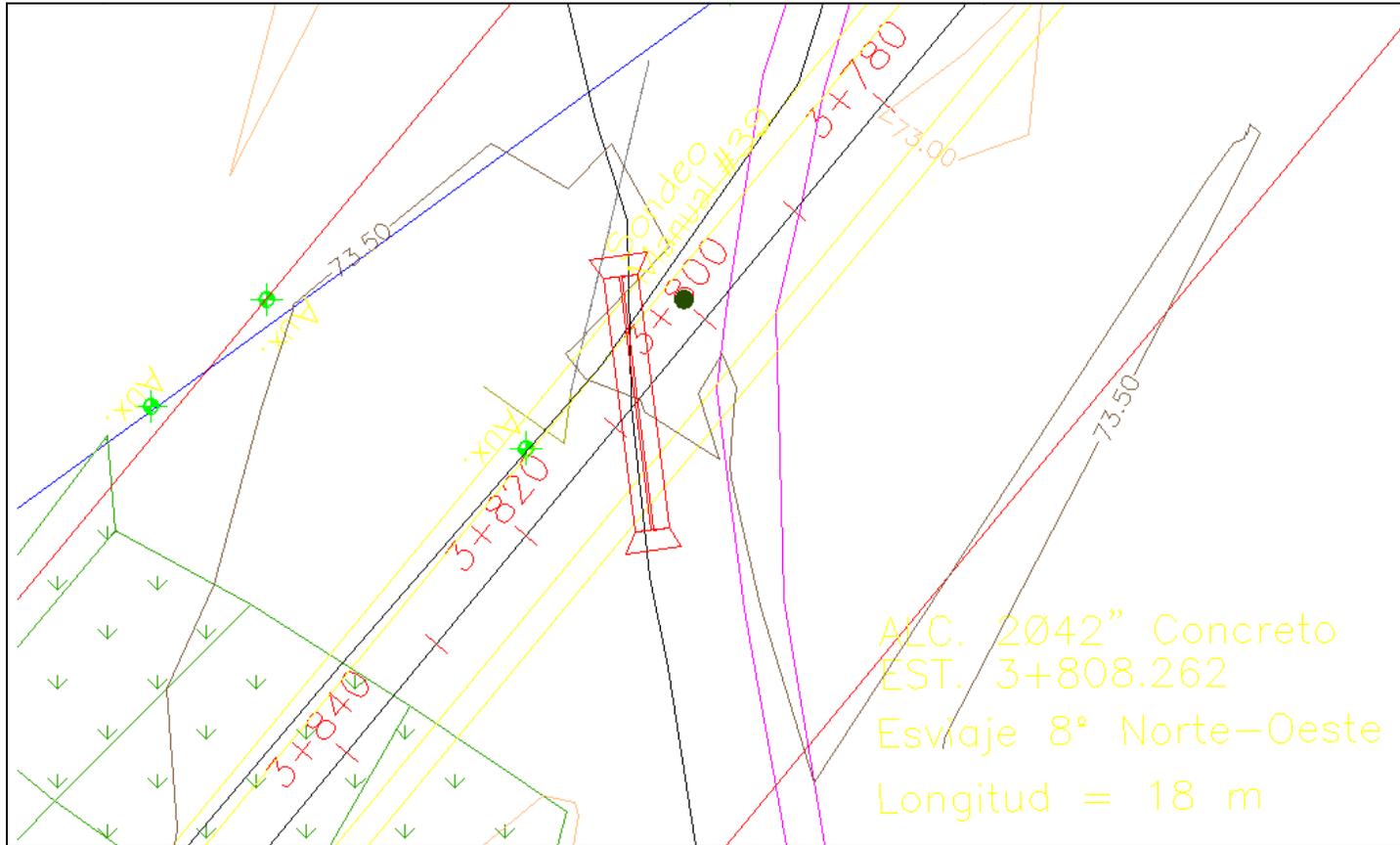
ANEXO III.

**PLANOS DE UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CRUCE PROPUESTAS
Y
PLANOS DE SECCIÓN TÍPICA DE ALCANTARILLA Y CAJA PUENTE**

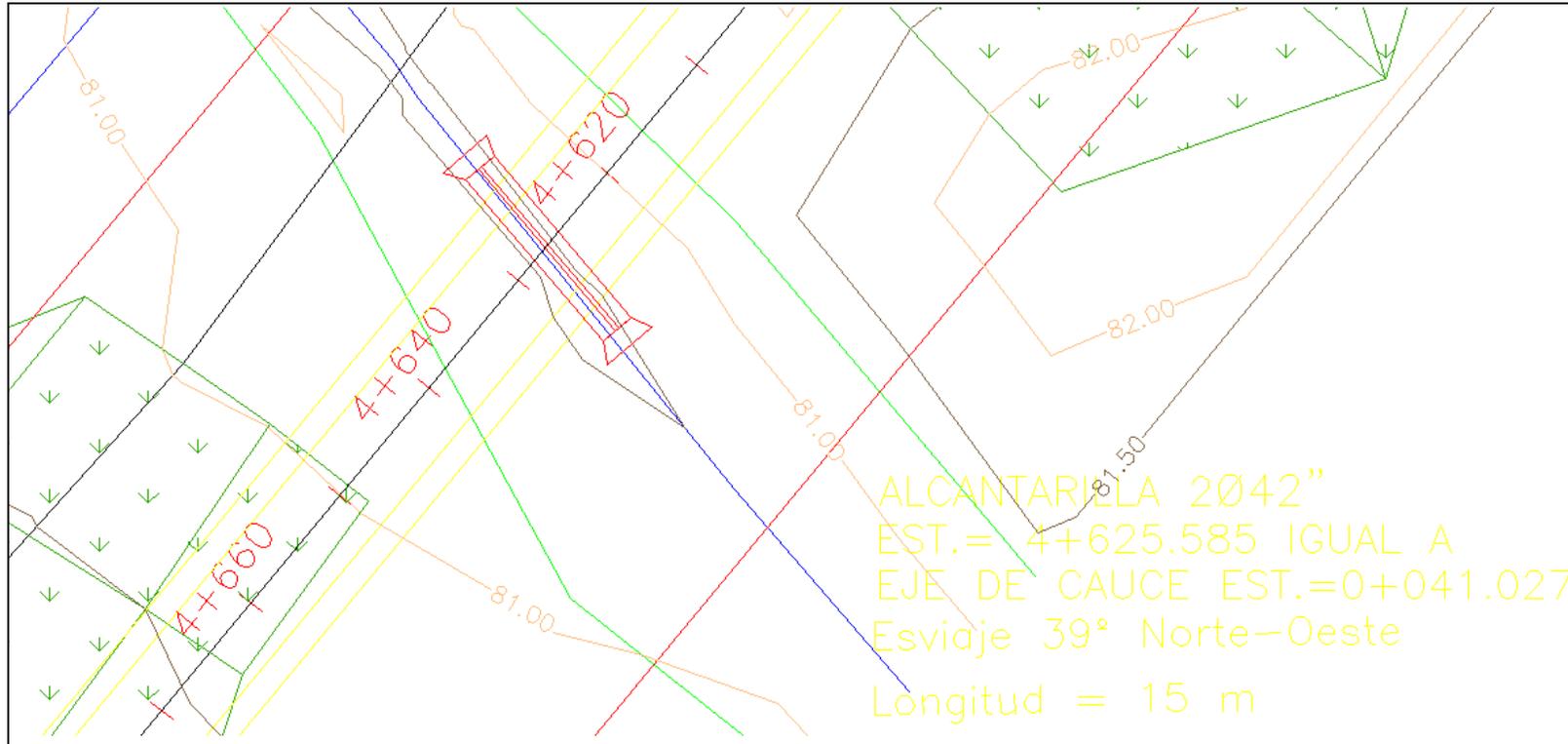


ALC. 3042" Concreto
EST. 2+495.146
Esviaje 12° Norte-Oeste
Longitud = 26 m

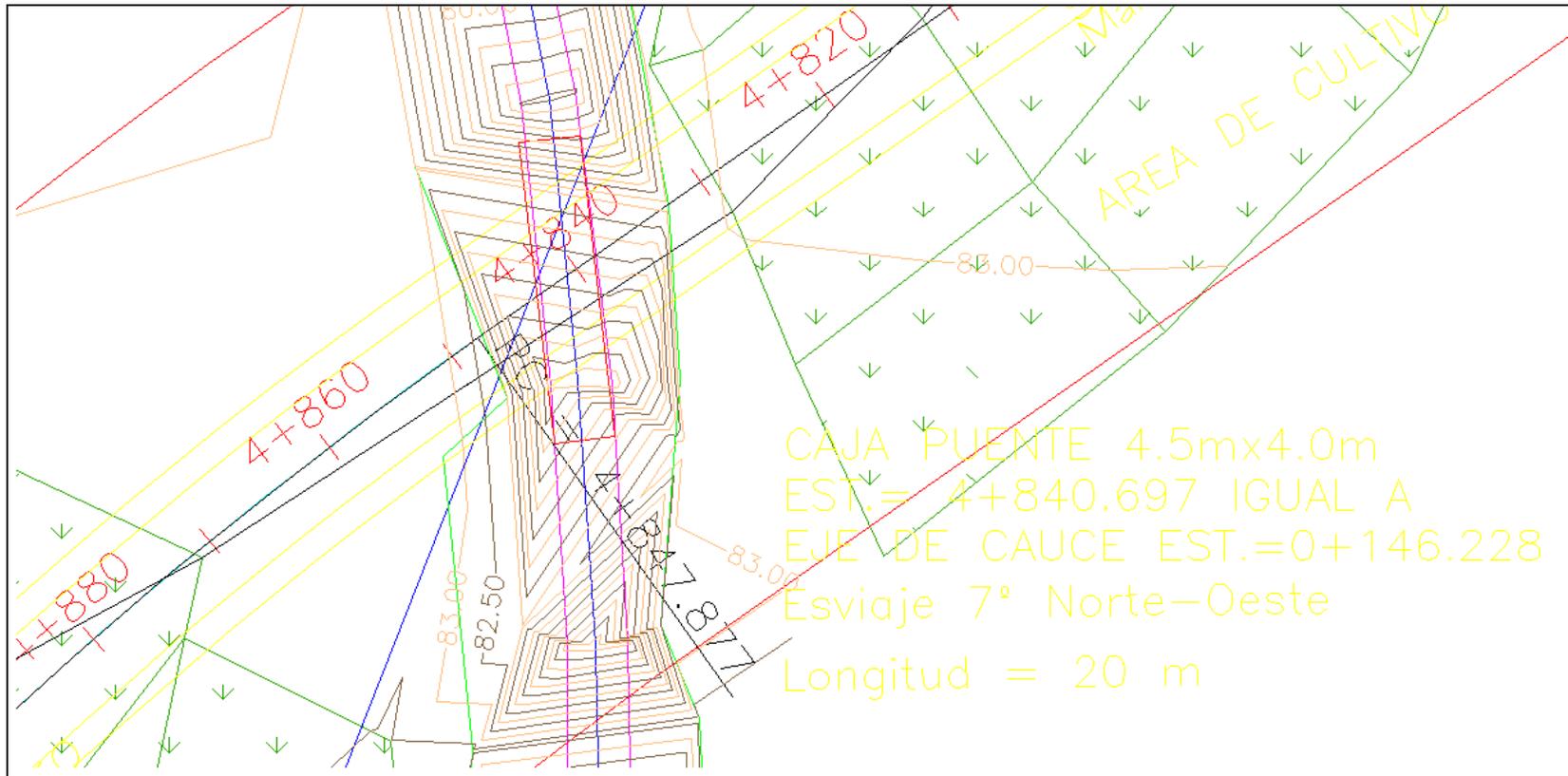
PLANO 1. UBICACIÓN DE ALCANTARILLA EST. 2+495.146



PLANO 2. UBICACIÓN DE ALCANTARILLA EST. 3+808.262



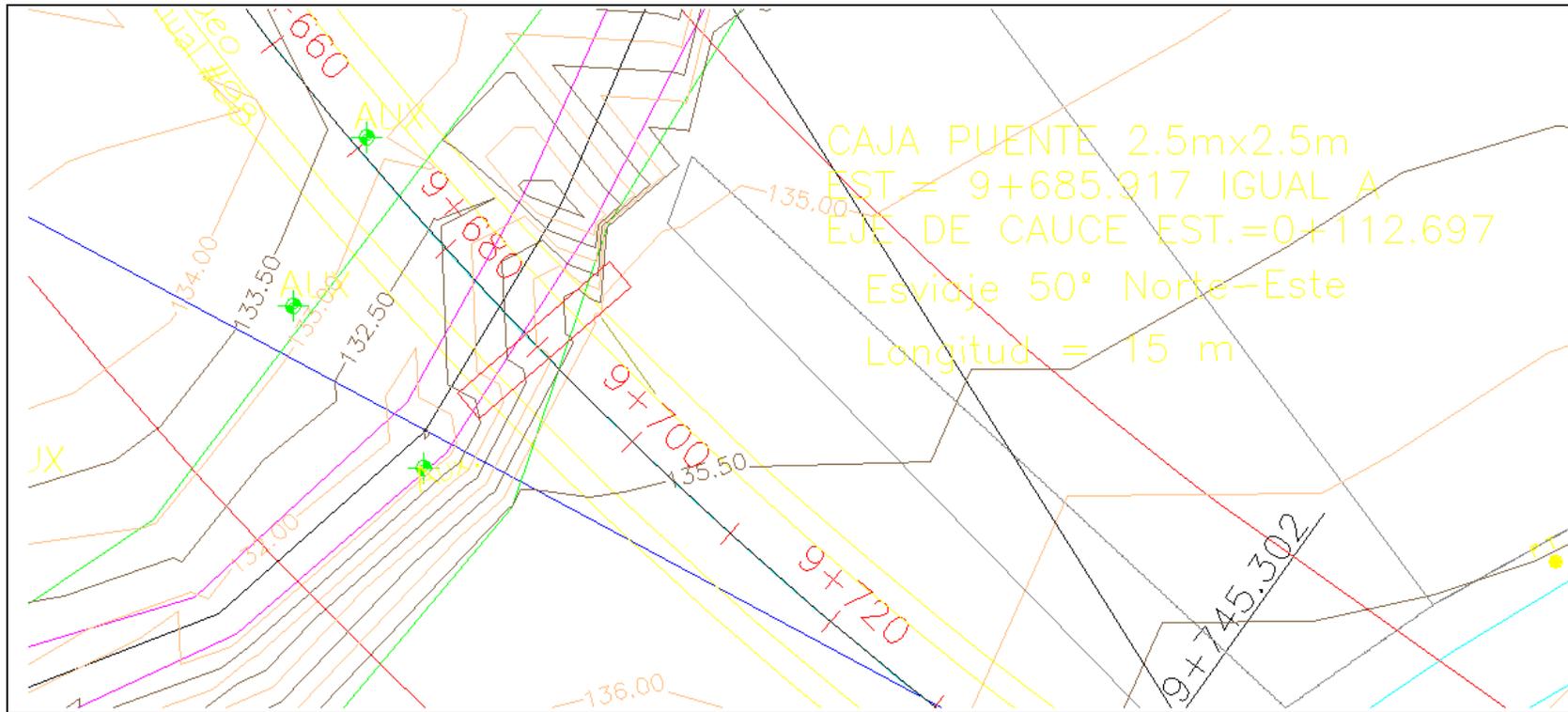
PLANO 3. UBICACIÓN DE ALCANTARILLA EST. 4+625.585



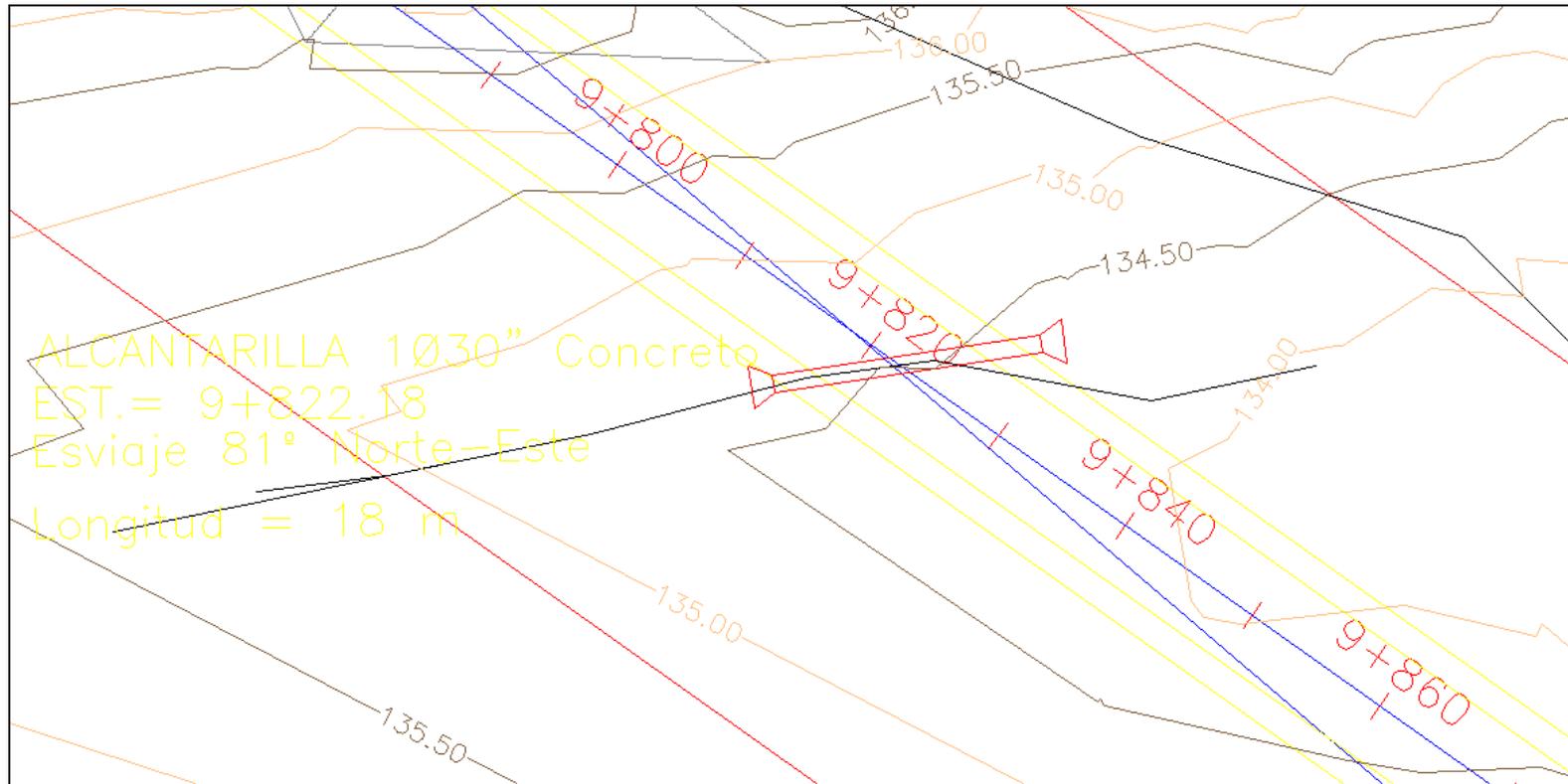
PLANO 4. UBICACIÓN DE CAJA PUENTE (4.5m x 4.0m) EST. 4+840.697



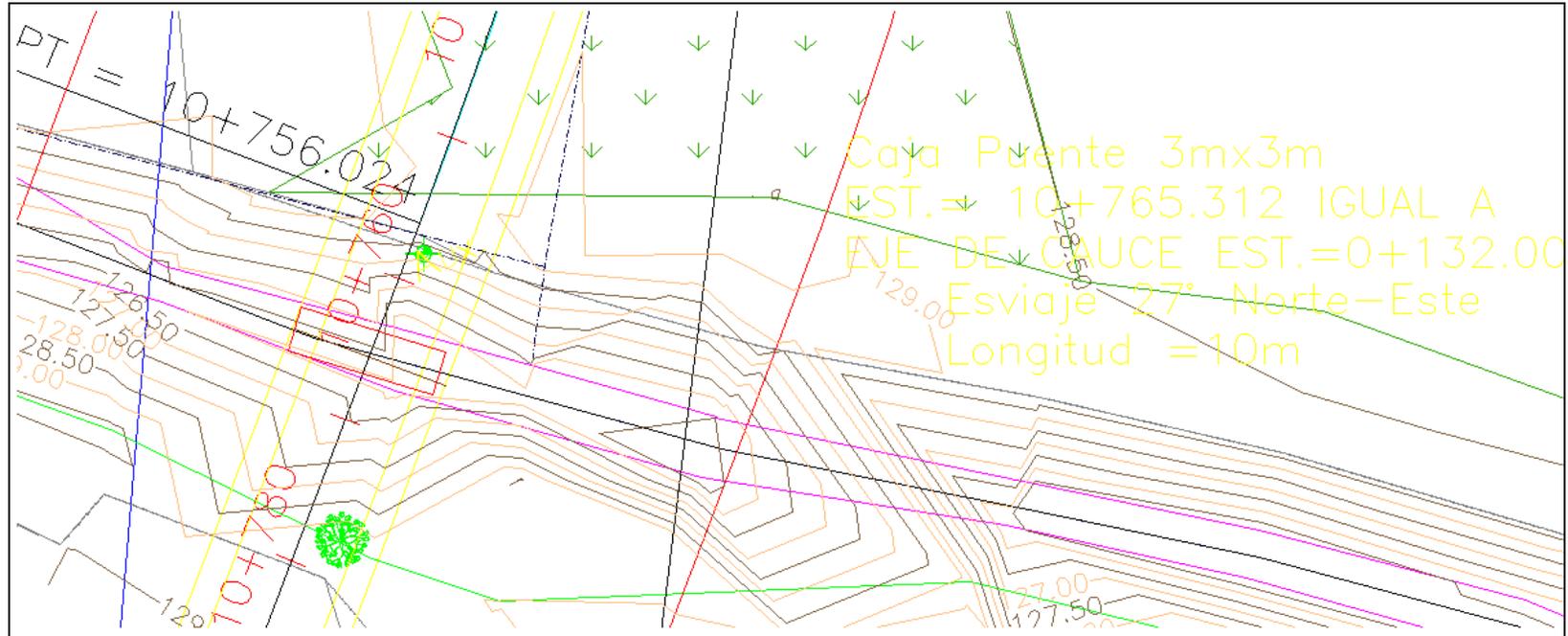
PLANO 5. UBICACIÓN DE ALCANTARILLA EST. 9+152.646



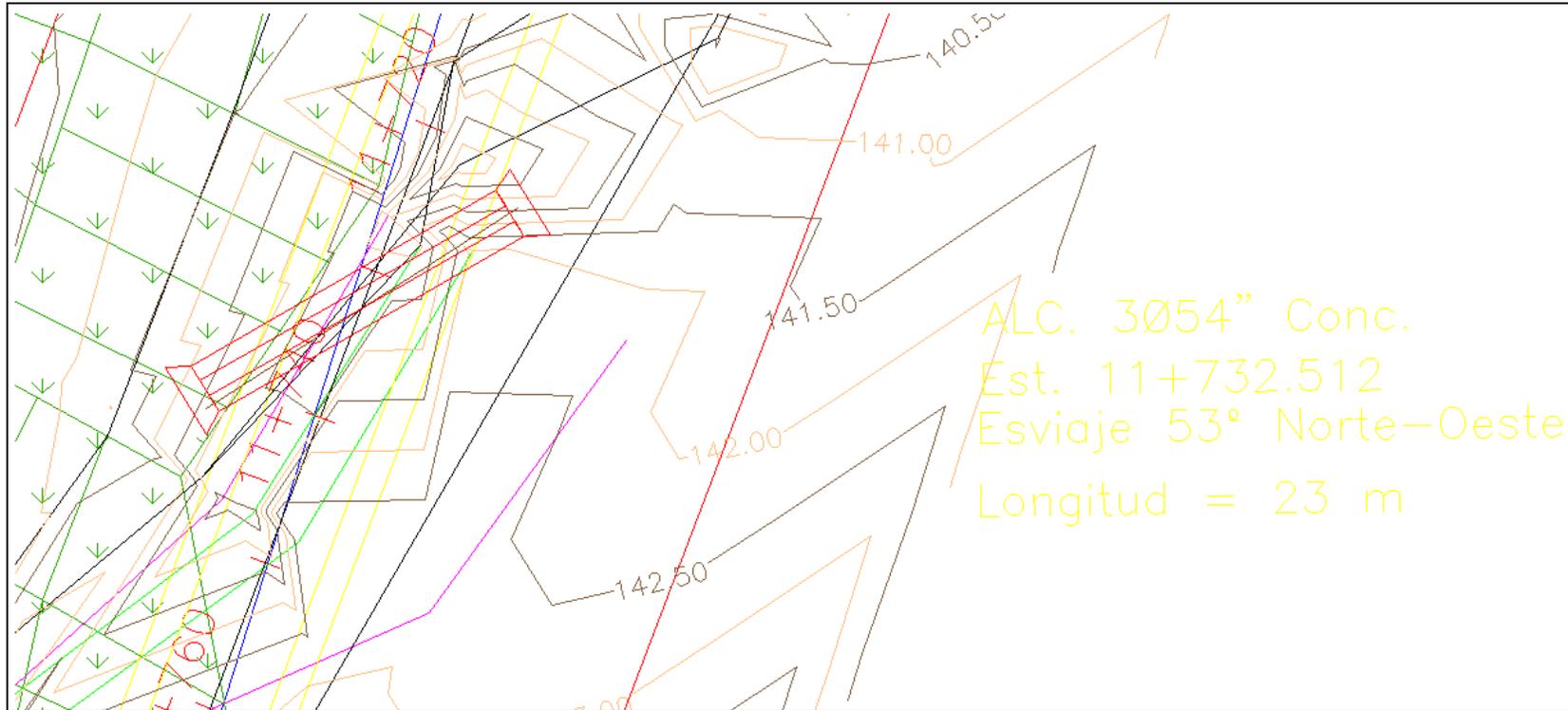
PLANO 6. UBICACIÓN DE CAJA PUENTE (2.5m x 2.5m) EST. 9+685.917



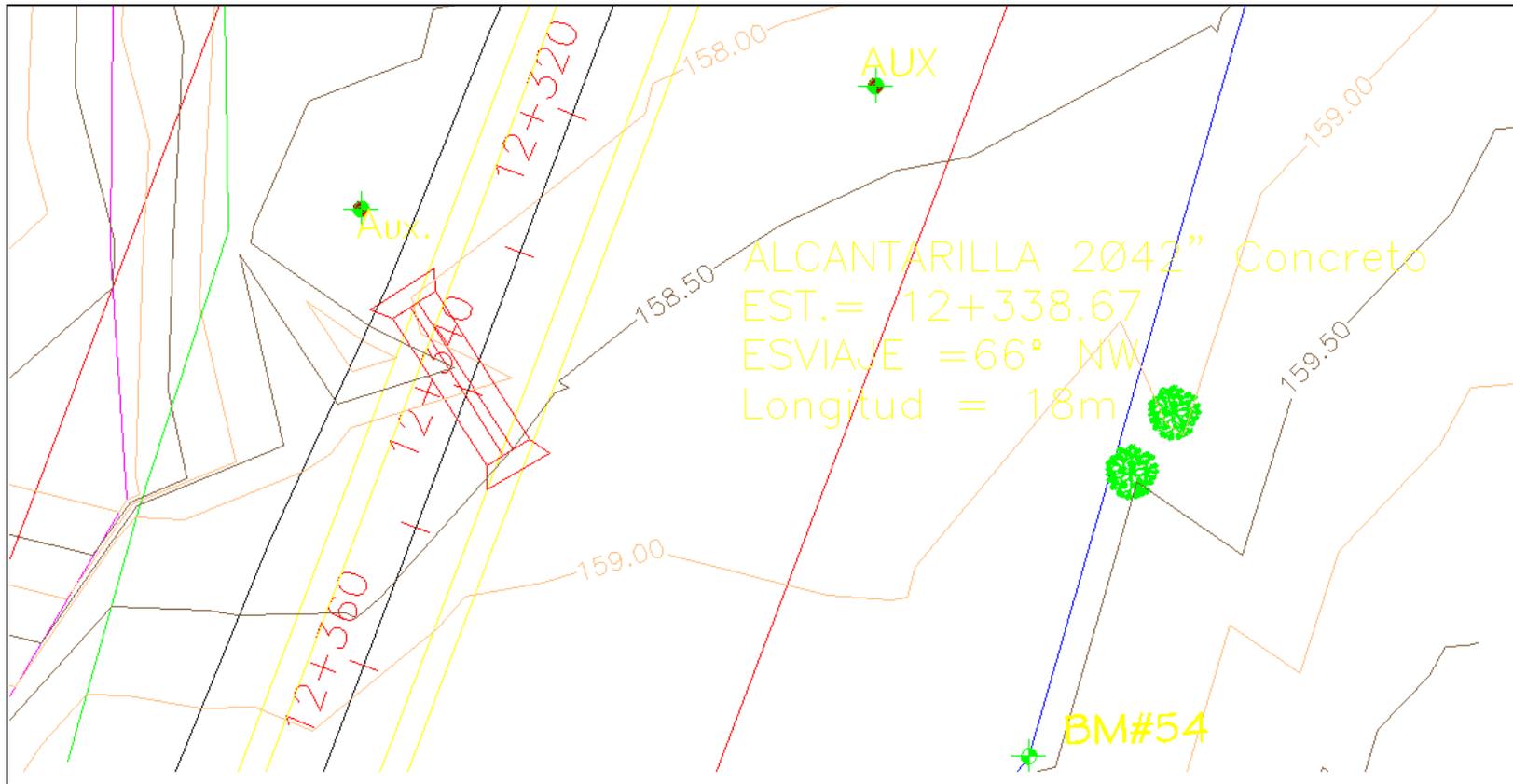
PLANO 7. UBICACIÓN DE ALCANTARILLA EST. 9+822.18



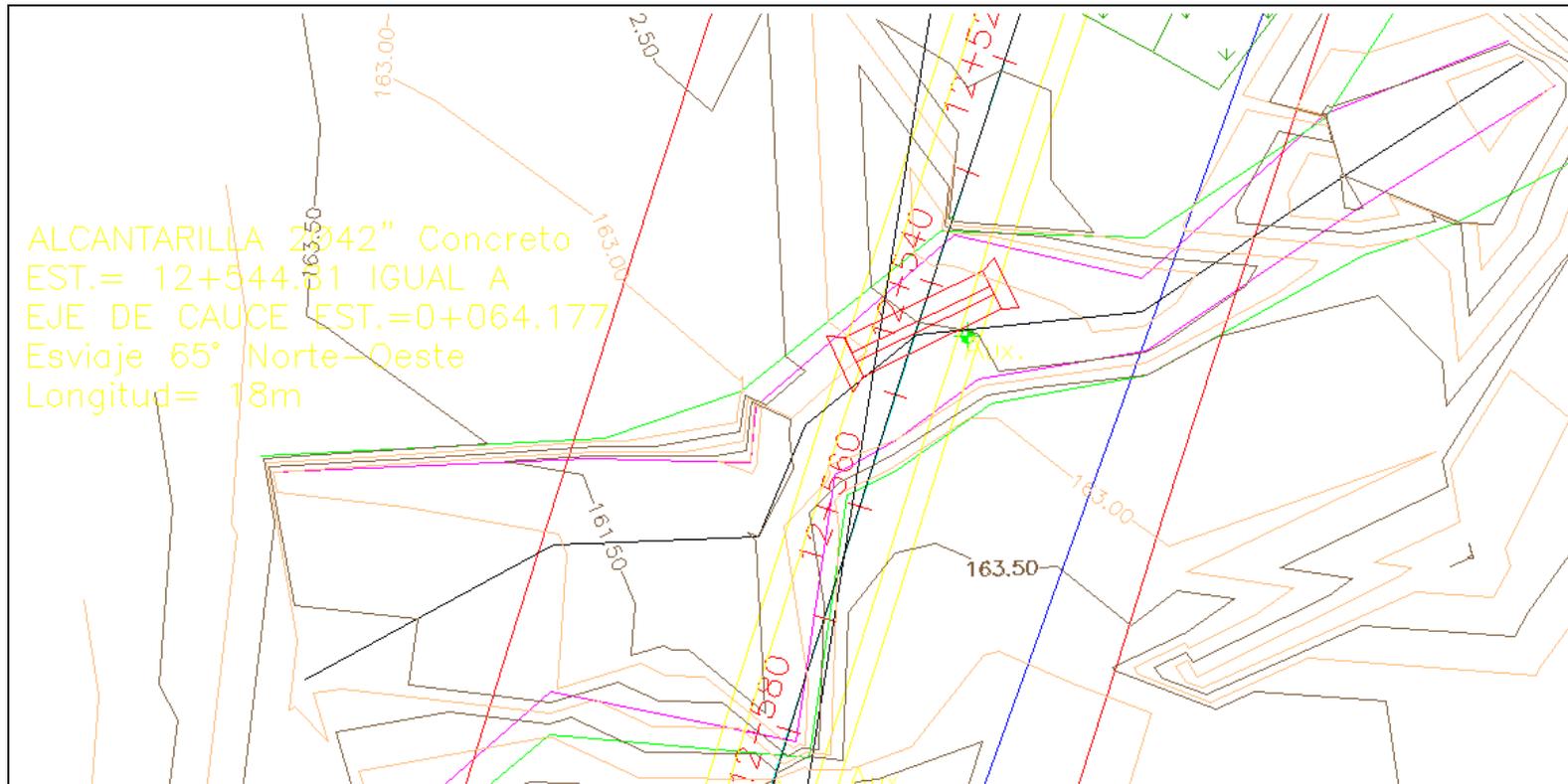
PLANO 8. UBICACIÓN DE CAJA PUENTE (3.0m x 3.0m) EST. 10+765.312



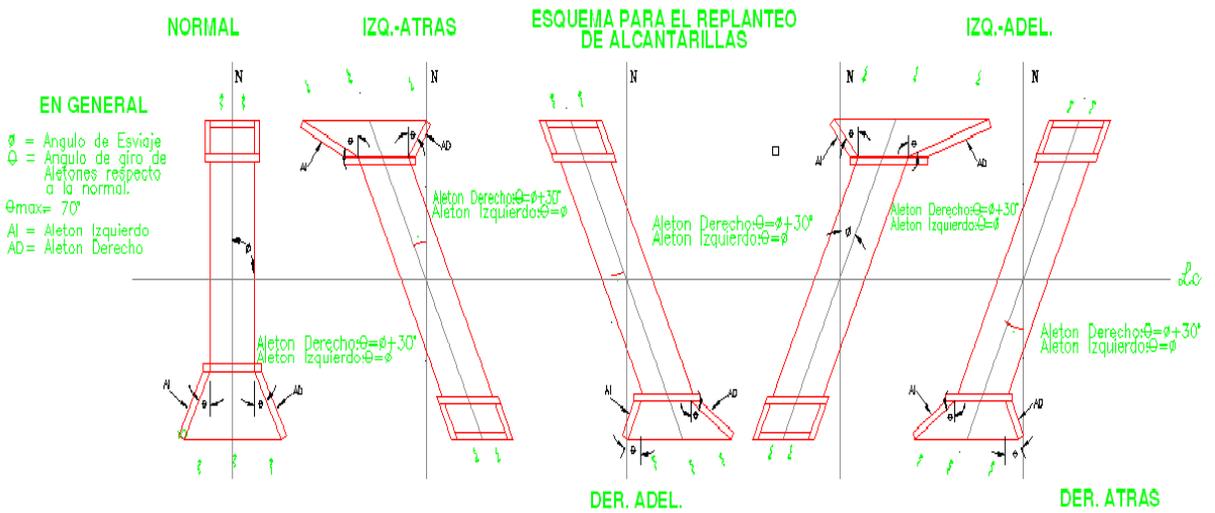
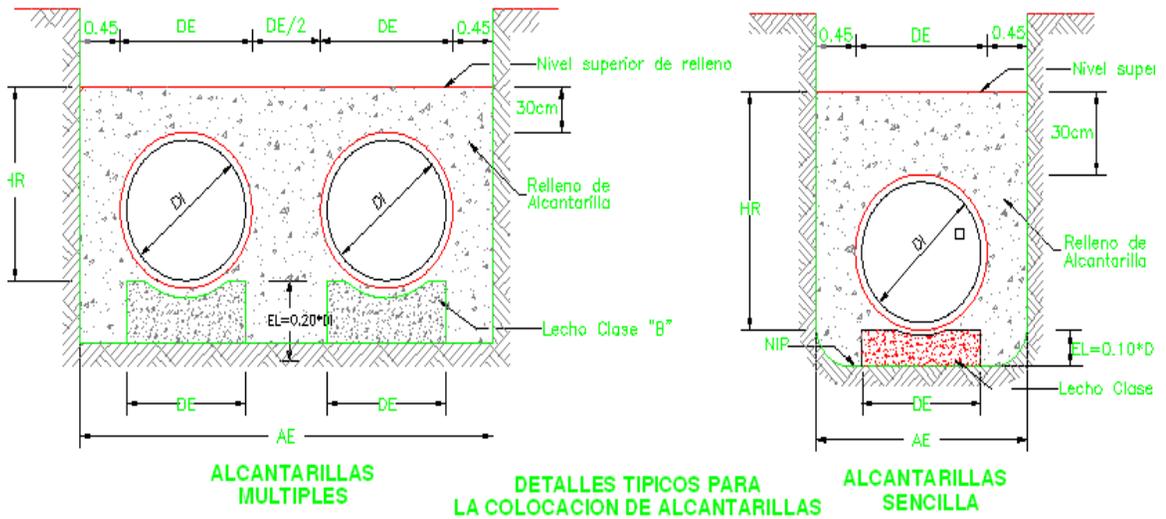
PLANO 9. UBICACIÓN DE ALCANTARILLA EST. 11+732.512



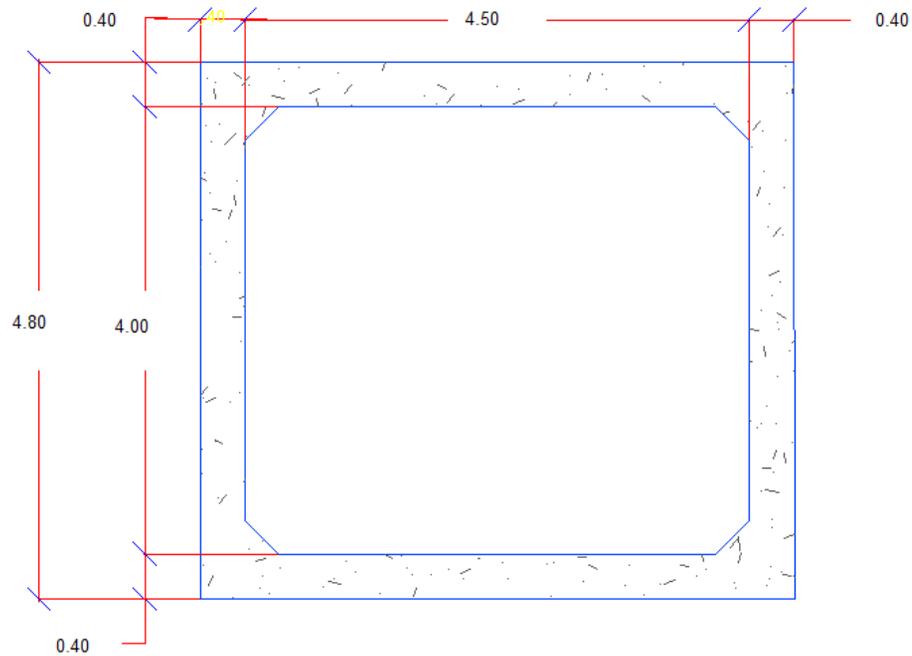
PLANO 10. UBICACIÓN DE ALCANTARILLA EST. 12+338.67



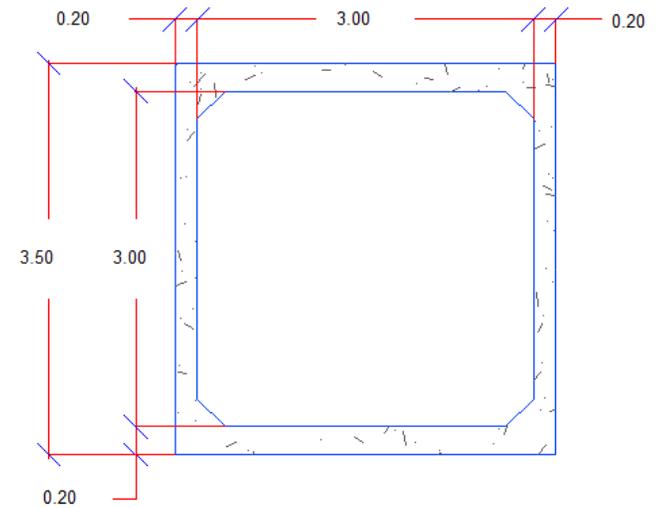
PLANO 11. UBICACIÓN DE ALCANTARILLA EST. 12+544.81



PLANO 12. SECCIÓN TÍPICA DE ALCANTARILLAS

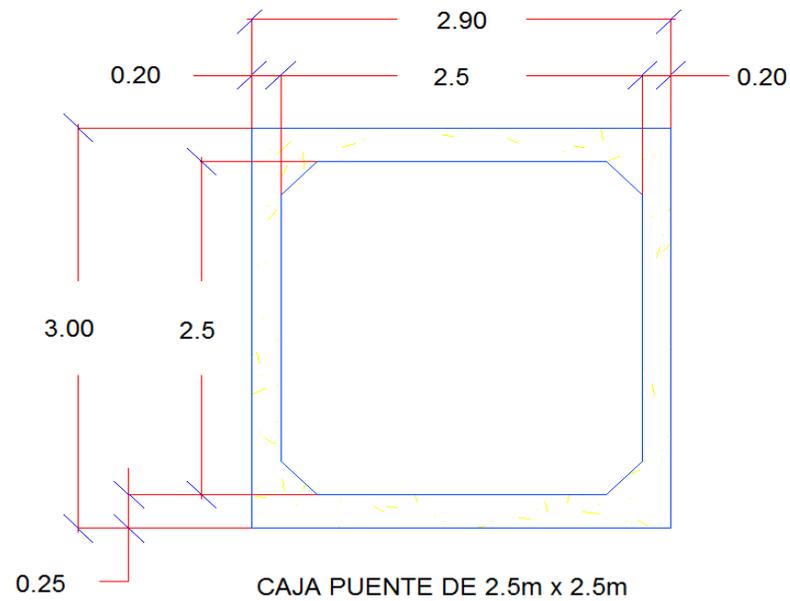


CAJA PUENTE DE 4.50m x 4.00m



CAJA PUENTE DE 3.00m x 3.00m

PLANO 13. SECCIÓN TÍPICA DE CAJA PUENTE



PLANO 14. SECCIÓN TÍPICA DE CAJA PUENTE



**ANEXO IV.
PROCEDIMIENTOS PARA LA MODELACIÓN HIDRÁULICA EN
HEC-RAS V 3.1.3**

PROCEDIMIENTO GENERAL DE MODELOS EN HEC-RAS

✓ General

Las rutinas de alcantarillas en HEC-RAS son similares a las rutinas de puentes, con la excepción de que se usan las ecuaciones estándares de la Administración Federal de Carreteras (FHWA, 1985) para la hidráulica de alcantarillas con el fin de computar las pérdidas en el caso de control de entrada en la estructura.

La Figura 1 ilustra un cruce de camino con una alcantarilla rectangular típica, el cual es muy similar a un puente, con las paredes y el techo de la alcantarilla correspondiendo a los estribos y cuerda inferior del puente, respectivamente.

Debido a las similitudes entre puentes de alcantarillas y otros puentes, los cruces con alcantarillas se modelan en forma similar a los puentes.

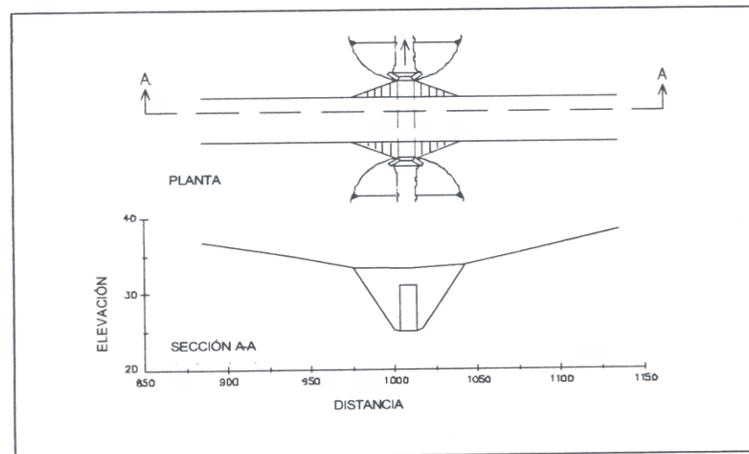


Figura 1. Típica Cruce de Camino con Alcantarilla

✓ Tipos de Alcantarillas

HEC-RAS tiene la capacidad de modelar nueve de las formas de alcantarillas más comunes.



Estas formas son: circular, rectangular, arco, arco de cañería, arco de perfil bajo, arco de perfil alto, elíptica (horizontal y vertical), semicircular, y ConSpan.

El programa tiene la habilidad de modelar hasta diez tipos de alcantarillas (cualquier cambio en la forma, pendiente, rugosidad, o número de diagrama y escala exige que el usuario entre un nuevo tipo de alcantarilla) en cualquier cruce de alcantarillas.

Para cualquier tipo de alcantarillas, el número de barriles idénticos está limitado a 25.

✓ **Ubicación de Secciones Transversales**

Las rutinas de alcantarillas en HEC-RAS requieren las mismas cuatro secciones transversales y localidades que se requieren para realizar las rutinas de puente.

Note, las secciones transversales en los dos extremos de la alcantarilla representan el canal fuera de la alcantarilla.

La información introducida en el editor de alcantarillas será usada para crear secciones transversales dentro de la alcantarilla.

La Figura 2 muestra las secciones transversales necesarias para un modelo de alcantarilla.

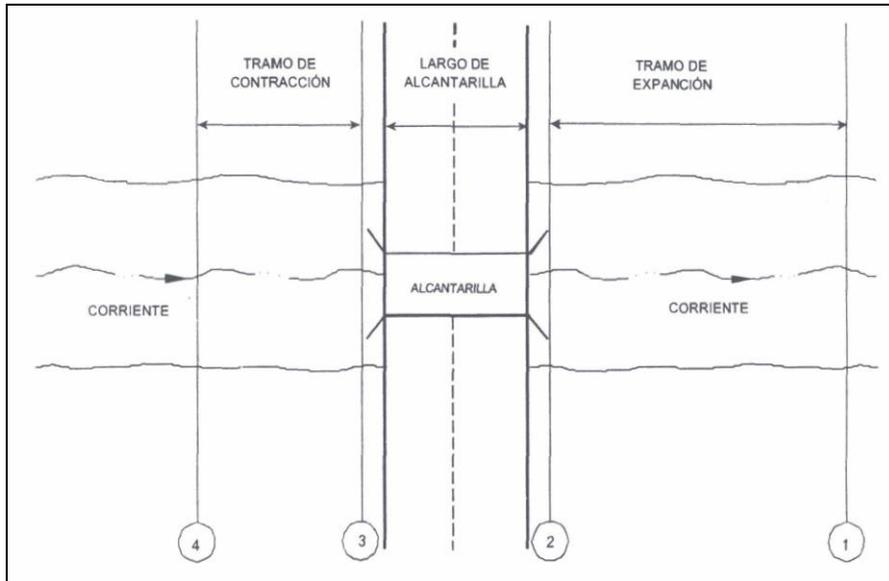


Figura 2. Ubicación de Secciones para el Método de Alcantarillas

✓ Sección Transversal 1 del Modelo de Alcantarillas

La Sección Transversal 1 debería ubicarse en un punto donde el flujo ha alcanzado su expansión completa después de que su ancho se redujo debido a la constricción causada por la alcantarilla.

El espacio entre secciones transversales aguas abajo de la alcantarilla puede basarse en el mismo criterio señalado en la clase de modelos de puentes.

✓ Sección Transversal 2 del Modelo de Alcantarillas

Ubicación y Forma de la Sección

La sección transversal 2 del modelo de alcantarilla se ubica a una distancia corta inmediata aguas abajo de la salida de la alcantarilla.

No incluye ninguna parte de la estructura de la alcantarilla a terraplenes, pero representa la forma física del canal inmediatamente aguas abajo de la alcantarilla.

Las secciones transversales 1 y 2 se sitúan de manera de crear un tramo de canal aguas abajo de la alcantarilla en el cual el programa HEC-RAS puede calcular en forma precisa las pérdidas debido a la fricción y por expansión aguas abajo de la alcantarilla.

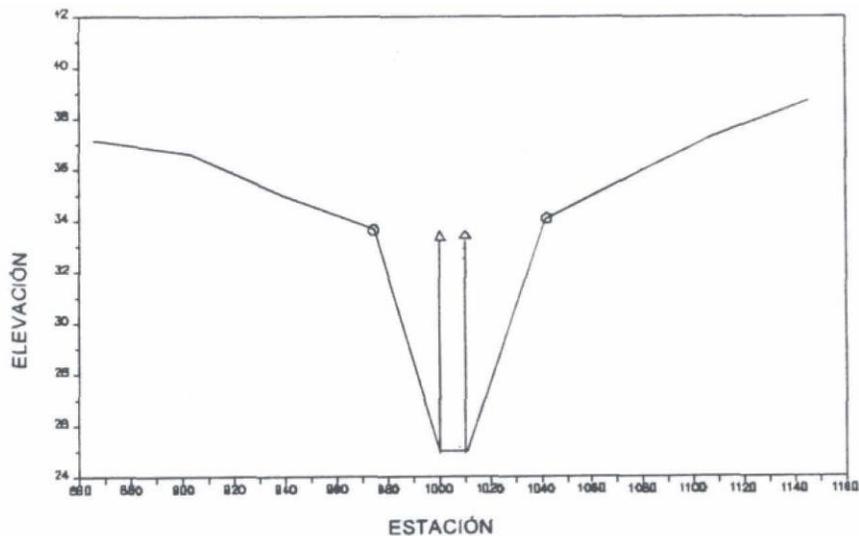


Figura 3. Sección Transversal 2 del Modelo de Alcantarillas

✓ Sección Transversal 3 del Modelo de Alcantarillas

Ubicación y Forma de la Sección Transversal

La sección transversal 3 en un modelo de alcantarillas se ubica a una distancia corta aguas arriba de la entrada de la alcantarilla y representa la configuración física del canal aguas arriba de la alcantarilla.



El método de alcantarillas combina el paso superior del puente, las secciones transversales 2 y 3, y los datos de alcantarillas para describir la alcantarilla y la calzada del camino.

Los datos de la alcantarilla que describen el cruce se ubican en una estación entre las secciones transversales 2 y 3.

La opción de área de flujo inefectivo se usa para restringir el área de flujo efectivo de la sección 3 al área alrededor o cerca de las orillas de las alcantarillas, hasta que el flujo rebalsa el camino.

La figura 4 ilustra la sección transversal 3 de un modelo típico de alcantarillas de una alcantarilla circular, incluyendo: el perfil de la calzada definido por el paso superior del puente, y la forma de la alcantarilla definida en el editor de puente y alcantarilla.

El perfil del terreno no define la forma de la alcantarilla en el modelo de alcantarilla.

Porque el flujo empezará a contraerse al entrar a la alcantarilla, el ancho del flujo activo en la sección transversal es generalmente mayor que la anchura de la alcantarilla y varía con la distancia a la salida de la alcantarilla.

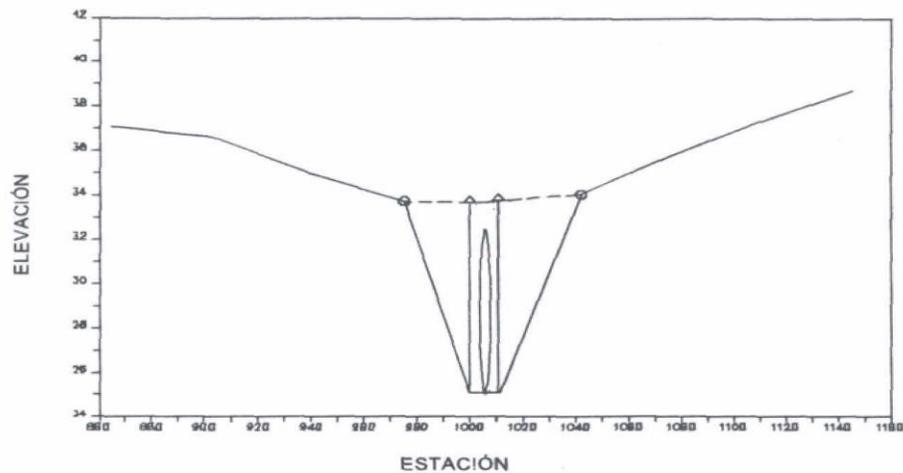


Figura 4. Sección Transversal 3 del Modelo de Alcantarillas

✓ Características Físicas de Alcantarillas

Una alcantarilla es un conducto cerrado relativamente corto el cual conecta dos segmentos de canal abierto o cuerpos acuosos.

Dos de los tipos de alcantarillas más comunes son:

Alcantarilla de tubería circular, de sección transversal circular

Alcantarilla trapecial, de sección transversal rectangular.

Figura 5 muestra una ilustración de alcantarillas circular y trapecial.

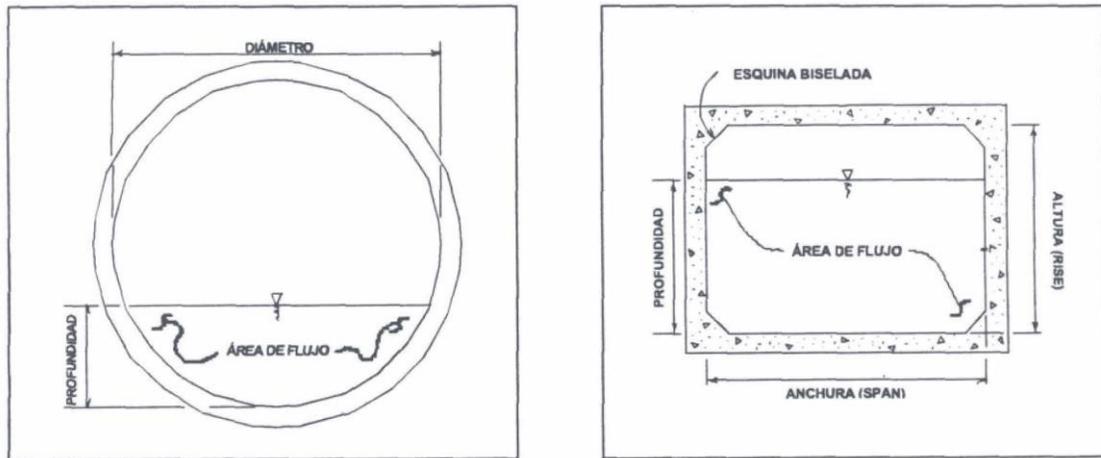


Figura 5. Sección Transversal de una Alcantarilla Circular y una Trapezial.

Las alcantarillas consisten en una entrada donde el agua fluye hacia la alcantarilla, un barril, que es la parte cerrada del conducto, y una salida donde el agua fluye fuera de la alcantarilla (ver Figura 6).

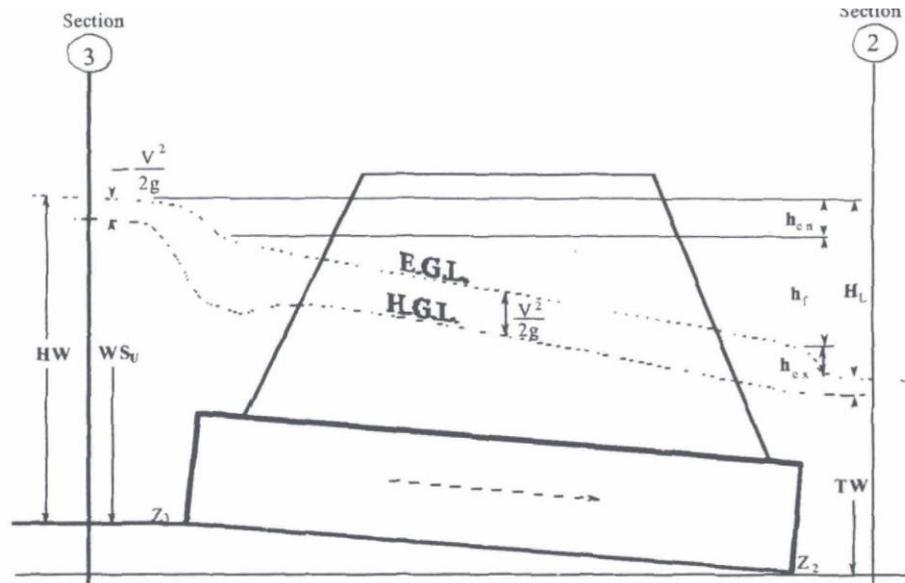
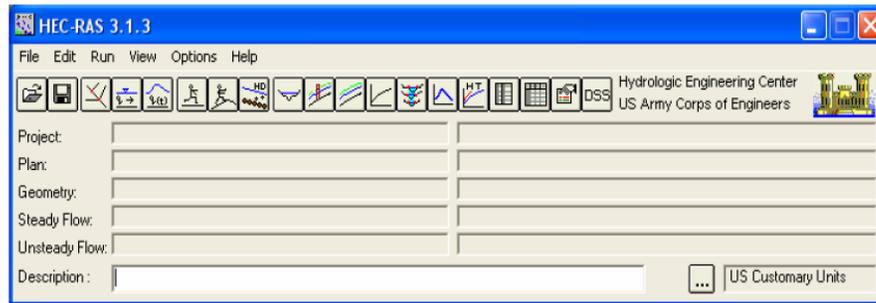


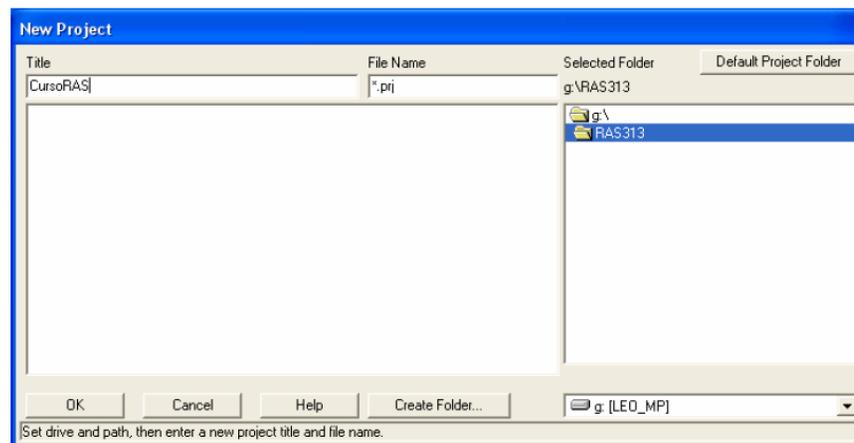
Figura 6. Alcantarilla Ahogada con líneas de Energía y Gradiente

PASOS PARA INTRODUCIR DATOS EN HEC-RAS V 3.1.3

1. Pantalla principal del programa de modelación HEC-RAS V 3.1.3

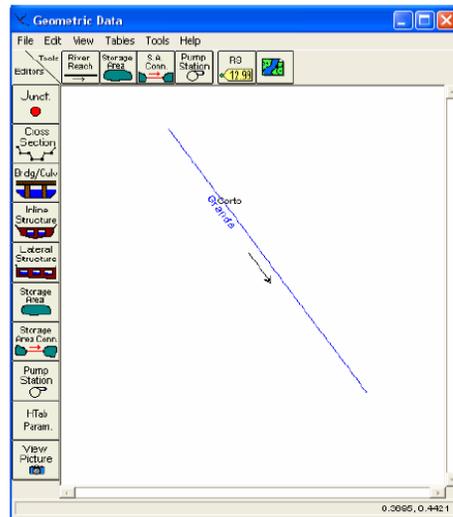
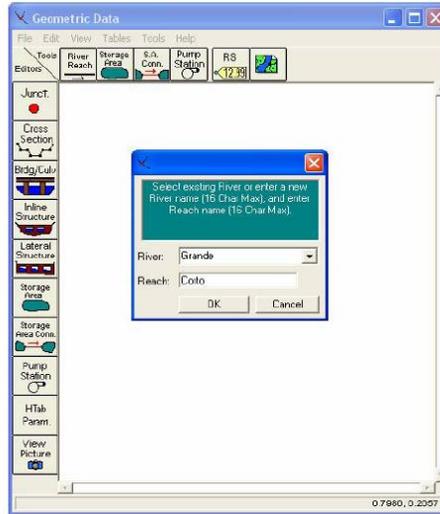


2. Para comenzar un proyecto nuevo, creamos una nueva carpeta.



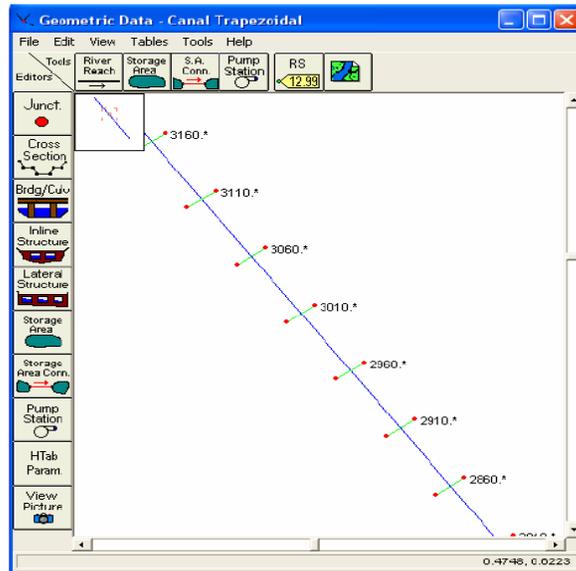
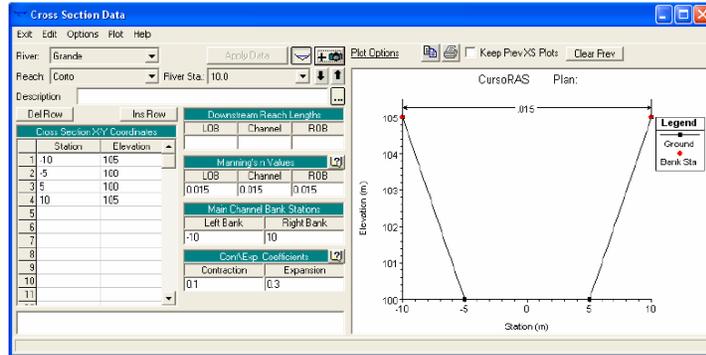


3. Para crear el tramo es necesario introducir los datos geométricos, previamente definimos el nombre del río y el nombre del tramo, luego con el puntero dibujamos el tramo del cauce, con el clic de inicio indicamos el extremo aguas arriba y con el clic del final indicamos el extremo aguas abajo.

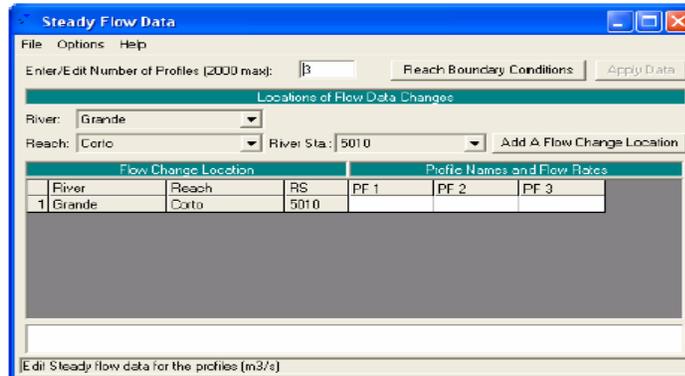




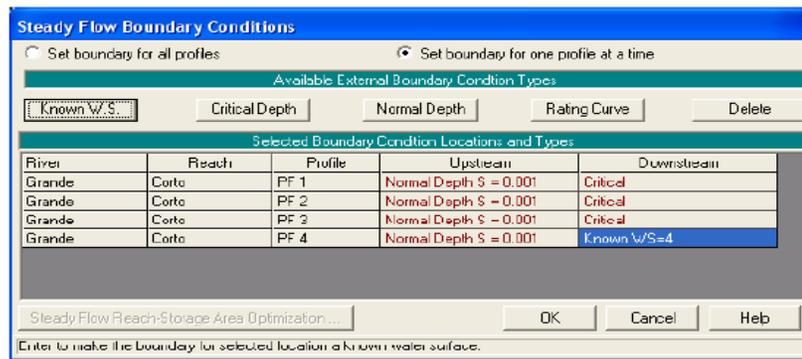
4. Introducir datos de las secciones transversales



5. Introducir los datos hidráulicos de flujo.



6. Introducir las condiciones de contorno

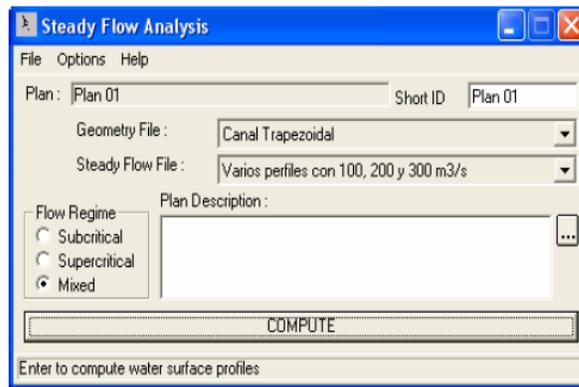


7. Para realizar una simulación hidráulica del cauce es necesario crear un plan que incorpore un fichero de datos de geometría y otro de datos hidráulicos.

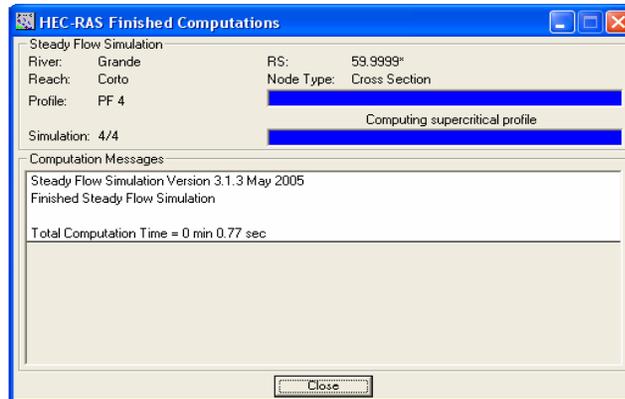
Este es el ícono para correr el análisis del flujo.



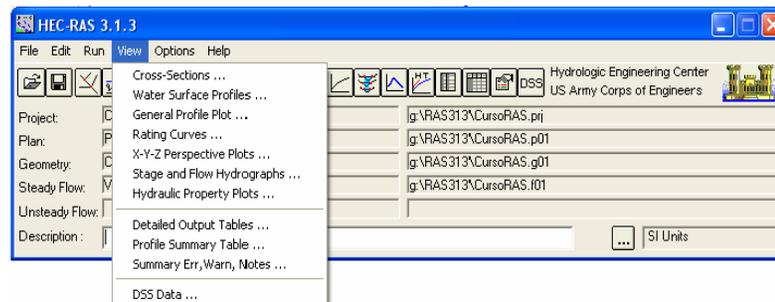
Seleccionamos el régimen de flujo que se espera encontrar (Subcrítico, supercrítico o mixto), luego ejecutamos la simulación seleccionando “compute”.



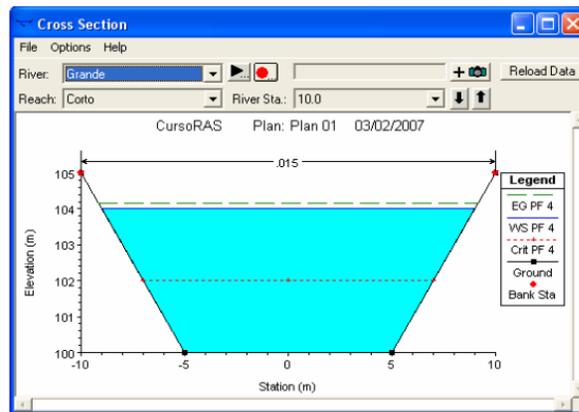
8. Una vez ejecutada la simulación correctamente, se mostrará la siguiente ventana.



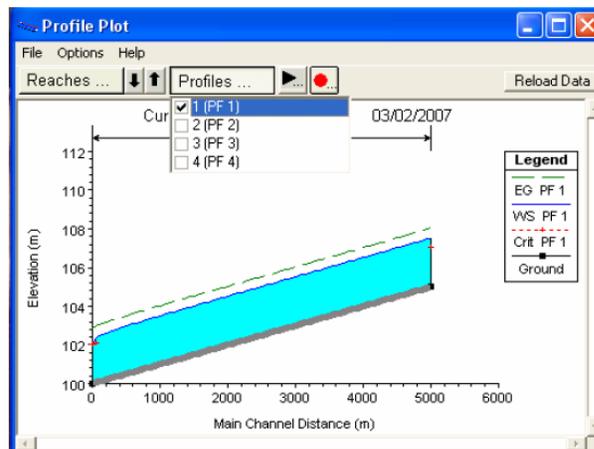
9. Para ver los resultados, se puede hacer uso del menú “view” que tiene las siguientes opciones de la ventana, o de forma accesible en los íconos de del menú principal.

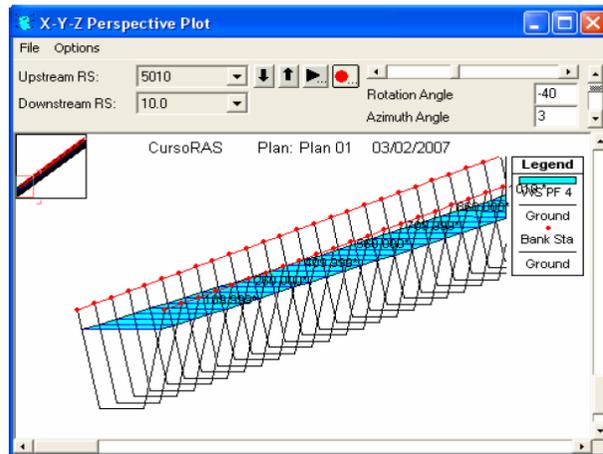


10. Para ver las secciones transversales, se muestra la siguiente ventana.



11. Perfiles de las láminas de agua.





12. Para ver la tabla de detalles.

Plan: Plan 01 Grande Coto RS: 10.0 Profile: PF 4			
E.G. Elev (m)	104.16	Element	Left OB
Vel Head (m)	0.16	W.L. n-Val	Channel
W.S. Elev (m)	104.00	Reach Len. (m)	0.015
Crit W.S. (m)	102.02	Flow Area (m2)	56.00
E.G. Slope (m/m)	0.000198	Area (m2)	56.00
Q Total (m3/s)	100.00	Flow (m3/s)	100.00
Top Width (m)	18.00	Top Width (m)	18.00
Vel Total (m/s)	1.79	Avg. Vel. (m/s)	1.79
Max Chl Dpth (m)	4.00	Hydr. Depth (m)	3.11
Conv. Total (m3/s)	7108.1	Conv. (m3/s)	7108.1
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	21.31
Min Ch El (m)	100.00	Shear (N/m2)	5.10
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	9.11
Frictn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)	
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)	
Errors, Warnings and Notes			
Select River Station			



13. Para ver tabla de resumen.

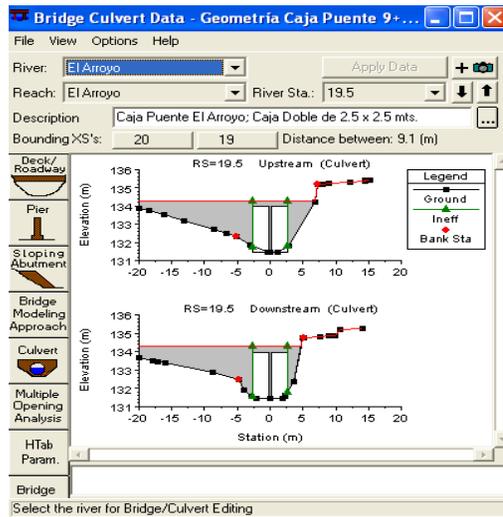
Profile Output Table - Standard Table 1

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Grande Reach: Corto Profile: PF 4

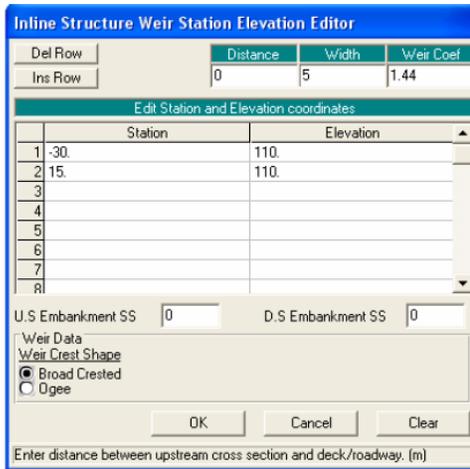
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Corto	5010	PF 4	100.00	105.00	107.52	107.02	108.03	0.000997	3.16	31.60	15.05	0.70
Corto	4960.*	PF 4	100.00	104.95	107.47		107.98	0.000997	3.16	31.60	15.05	0.70
Corto	4910.*	PF 4	100.00	104.90	107.42		107.93	0.000996	3.16	31.60	15.05	0.70
Corto	4860.*	PF 4	100.00	104.85	107.37		107.88	0.000996	3.16	31.60	15.05	0.70
Corto	4810.*	PF 4	100.00	104.80	107.32		107.83	0.000996	3.16	31.61	15.05	0.70
Corto	4760.*	PF 4	100.00	104.75	107.27		107.78	0.000995	3.16	31.61	15.05	0.70
Corto	4710.*	PF 4	100.00	104.70	107.22		107.73	0.000995	3.16	31.61	15.05	0.70
Corto	4660.*	PF 4	100.00	104.65	107.17		107.68	0.000995	3.16	31.62	15.05	0.70
Corto	4610.*	PF 4	100.00	104.60	107.12		107.63	0.000994	3.16	31.62	15.05	0.70
Corto	4560.*	PF 4	100.00	104.55	107.08		107.58	0.000994	3.16	31.63	15.05	0.70
Corto	4510.*	PF 4	100.00	104.50	107.03		107.53	0.000994	3.16	31.63	15.05	0.70
Corto	4460.*	PF 4	100.00	104.45	106.98		107.48	0.000993	3.16	31.64	15.05	0.70
Corto	4410.*	PF 4	100.00	104.40	106.93		107.44	0.000993	3.16	31.64	15.05	0.70
Corto	4360.*	PF 4	100.00	104.35	106.88		107.39	0.000992	3.16	31.65	15.05	0.70
Corto	4310.*	PF 4	100.00	104.30	106.83		107.34	0.000992	3.16	31.65	15.05	0.70
Corto	4260.*	PF 4	100.00	104.25	106.78		107.29	0.000991	3.16	31.66	15.05	0.70
Corto	4210.*	PF 4	100.00	104.20	106.73		107.24	0.000990	3.16	31.67	15.06	0.69
Corto	4160.*	PF 4	100.00	104.15	106.68		107.19	0.000989	3.16	31.68	15.06	0.69
Corto	4110.*	PF 4	100.00	104.10	106.63		107.14	0.000989	3.16	31.69	15.06	0.69
Corto	4060.*	PF 4	100.00	104.05	106.58		107.09	0.000988	3.16	31.70	15.06	0.69
Corto	4010.*	PF 4	100.00	104.00	106.53		107.04	0.000987	3.15	31.70	15.06	0.69
Corto	3960.*	PF 4	100.00	103.95	106.48		106.99	0.000986	3.15	31.71	15.06	0.69

Total flow in cross section.

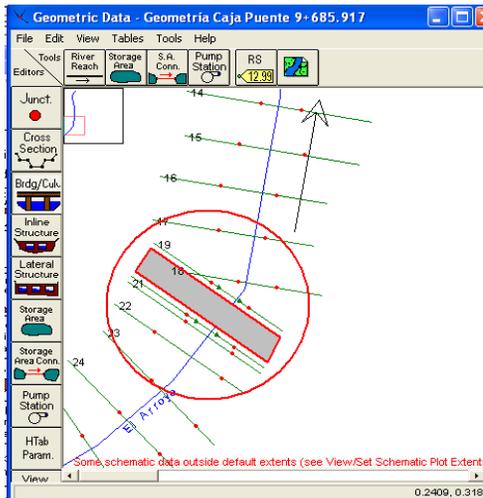
14. Para introducir caja puente.

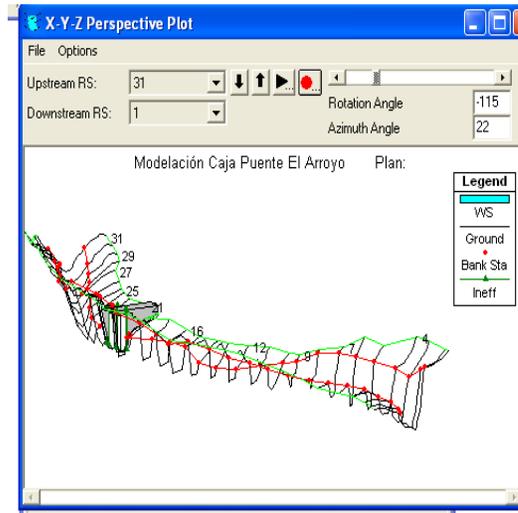


15. En esta ventana se introducen las dimensiones de la caja puente con sus debidas estaciones y elevaciones.



16. Con esta ventana se logra apreciar en perspectiva la ubicación de la estructura sobre el eje del cauce.





VENTAJAS DEL PROGRAMA HEC-RAS.

- ✓ Rápido en el cálculo, de fácil manejo y edición de los datos y con posibilidad de evaluación del modelo
- ✓ Permite la edición y actualización de las geometrías
- ✓ Programa gratuito y de código relativamente abierto
- ✓ Archivos de datos abiertos en formato ASCII



GLOSARIO DE TÉRMINOS GENERALES

Alcantarilla: Un conducto cerrado para la conducción de agua de drenaje superficial bajo una camino, vía férrea, canal u otro impedimento, posee de una a cuatro celdas o tramos que pueden ser de forma circular, rectangular u ovalada. La alcantarilla cuenta con el piso revestido y además de aletones, cabezales y delantales para garantizar su funcionamiento.

Alcantarilla Pluvial: Una alcantarilla que acarrea agua de lluvia, drenaje superficial, lavado de calles y otras aguas de lavado pero se excluyen alcantarillado sanitario y desechos industriales.

Área de drenaje: El área drenada dentro de una corriente en un punto dado. Puede ser de diferentes tamaños por escorrentía superficial, flujo sub superficial y flujo base, pero generalmente el área de escorrentía de superficie es considerada como el área de drenaje.

Área de cuenca: Toda la tierra y el agua dentro de los límites de un área que la divide.

Aguas superficiales: Las aguas que discurren en forma continua o discontinua en terrenos públicos o privados, o que se encuentra en lagos, embalses o cualquier otro cuerpo de agua sobre la superficie terrestre.

Agua de escorrentía: Parte de la lluvia que discurre sobre la superficie del terreno y eventualmente forma las quebradas y los ríos.

Canal: Una porción de un curso de agua natural o artificial que periódicamente o continuamente contiene agua en movimiento, o el cual forma una conexión entre dos cuerpos de agua. Tiene un lecho definido y paredes o taludes que sirven para confinar el agua.



Capacidad de infiltración: Velocidad máxima a la cual el agua puede ser absorbida por un suelo por unidad de superficie y en ciertas condiciones.

Cauce de crecientes: Canal comúnmente bordeado por terraplenes o diques y diseñado para conducir el agua de las crecientes.

Ciclo Hidrológico: El circuito del movimiento del agua desde la atmósfera a la tierra y su regreso a la atmósfera a través de varias etapas o procesos, tales como precipitación, percolación, almacenaje, evaporación y transpiración.

Creciente: Elevación rápida y comúnmente breve del nivel de las aguas de un cauce hasta un máximo, desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad.

Cuenca: La región drenada por o contribución de agua a punto específico que puede ser a lo largo de una corriente, lago u otra instalación de agua de lluvia. Las cuencas están a menudo analizadas en sub-áreas para el propósito de la modelación hidrológica.

Dendrítico: Concreción mineral que en forma de ramas de árbol suele presentarse en las fisuras y juntas de las rocas. Cristal metálico, producido generalmente por solidificación y caracterizado por una estructura parecida a la de un árbol de muchas ramas.

Duración de lluvia: La longitud de tiempo que el agua puede estar almacenada en cualquier instalación de control de agua de lluvia, calculada desde el primer tiempo y que el agua comenzó a ser almacenada.

Drenaje Natural: Los patrones de flujo del agua de lluvia que corre sobre la tierra en su estado de desarrollo.



Drenaje: La remoción de agua superficial en exceso o agua subterránea del suelo por medio de zanjas o drenes sub-superficiales.

Duración: El período de tiempo de un evento de lluvia.

Escorrentía Superficial: Precipitación que fluye sobre las superficies de los techos, calles, el suelo, etc., y no se infiltra al subsuelo y no se evapotranspira o retiene por esa superficie que la hace escurrir.

Erosión: Proceso físico y químico mediante el cual la superficie de la tierra sufre desgaste por lluvia, viento, escorrentía, hielo, gravedad u otros agentes geológicos.

Escorrentía de agua de lluvia: El agua derivada de las lluvias que caen dentro de una Cuenca tributaria, fluyendo sobre la superficie del suelo o colectada en canales o conductos.

Hidrología: (del griego hydor, agua) es la disciplina científica dedicada al estudio de las aguas de la tierra, incluyendo su presencia, distribución y circulación a través del ciclo hidrológico, y las interacciones con los seres vivos. También trata de las propiedades químicas y físicas del agua en todas sus fases.

Hidráulica: Ciencia que trata de los procesos o fenómenos físicos que controlan el movimiento de las aguas superficiales o subterráneas.

Hidrograma: Gráfico que representa la variación en el tiempo de algún dato hidrológico observado como nivel, gasto, velocidad, sedimento, etc.

Medio Ambiente: La suma total de todas las condiciones externas que pueden actuar sobre un organismo viviente o comunidad para influenciar su desarrollo o existencia.



Pendiente: Grado de desviación de una superficie desde el horizonte, medido como una razón numérica o porcentaje. Expresada como una razón, el primer número es comúnmente la distancia horizontal y la segunda es la distancia vertical.

Precipitación: Es el agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra.

Planímetro: Instrumento que sirve para medir áreas de figuras planas.

Río: Es una corriente de agua continua, y más o menos caudalosa, que desemboca en otra corriente o en el mar. Los ríos existen de forma perenne o intermitente. Los ríos perennes tienen agua todo el año; los intermitentes, sólo durante la época de lluvia.

Sección Transversal: Un gráfico o ploteo de las elevaciones del terreno a través de la corriente del valle o porción de él, usualmente es una línea perpendicular a la corriente o dirección del flujo.

Sedimento: Material sólido que está en suspensión, mientras está siendo transportado, o ha sido movido de su sitio original por el aire, agua, gravedad o hielo y viene a depositarse sobre la superficie de la tierra.

Sedimentación: El proceso en que los suelos se depositan, residuos y otros materiales sobre la superficie del suelo o en cuerpos o cursos de agua.

Suelo: El mineral no consolidado y material orgánico sobre la superficie inmediata de la tierra que sirve como un medio natural para el crecimiento de plantas en el suelo. Ver también suelo aluvial, arcilla, suelo cohesivo, marga, permeabilidad (suelo), arena, horizonte del suelo,, perfil del suelo, subsuelo, suelo superficial, capa vegetal.



Subcuenca: Porción de una cuenca hidrográfica dividida en unidades de drenaje homogéneas las cuales pueden ser modeladas para propósitos de determinación de tasas de escorrentía. Las subcuencas tienen distintas divisorias, como están definidas por la topografía del área.

Topografía: Descripción de los rasgos de la superficie de cualquier área, pudiendo incluir no sólo formas del relieve natural, sino también los aspectos y objetos antropogénicos.

Tiempo de Concentración (tc): Es el tiempo de viaje de una partícula de agua desde el punto hidráulicamente más remoto en el área de contribución de la cuenca hasta el punto bajo estudio.



GLOSARIO DE TERMINOS DE HEC-RAS

Plan:	Plan
RS:	River Station(estación en el río)
Profile:	Perfil(por ejemplo Q15años)
Cross Section	Sección Transversal
E.G. Elev (m)	Elevación del Gradiente Hidráulico
Vel Head (m)	Carga de Velocidad
W.S. Elev (m)	Elevación de la Superficie del Agua
Crit W.S. (m)	Elevación del Agua Profundidad Crítica
E.G. Slope (m/m)	Pendiente del Gradiente de Energía
Q Total (m3/s)	Caudal Total(en toda la sección)
Top Width (m)	Ancho Hidráulico
Vel Total (m/s)	Velocidad Total(velocidad media en la sección)
Max Chl Dpth (m)	Profundidad Máxima en el Canal
Conv. Total (m3/s)	Conveyance Total
Length Wtd. (m)	Longitud Ponderada basada en la distribución de flujo
Min Ch El (m)	Elevación Mínima del Canal (elevación de fondo)
W.S. Ch Dpth (m)	Altura de Agua
Alpha	Coeficiente Alfa
Frctn Loss (m)	Pérdidas por Fricción entre dos Secciones
C & E Loss (m)	Pérdidas por Contracción y Expansión
Element	Left OB(orilla Izq.) Channel(Canal) Right OB(Orilla Der.)
Wt. n-Val.	n - ponderado
Reach Len. (m)	Longitud del tramo aguas arriba
Flow Area (m2)	Area de Flujo (activo)
Area (m2)	Area de Flujo (activo e inactivo)
Flow (m3/s)	Flujo/Caudal
Top Width (m)	Ancho Hidráulico
Avg. Vel. (m/s)	Velocidad Media
Hydr. Depth (m)	Profundidad Hidráulica
Conv. (m3/s)	Conveyance
Wetted Per. (m)	Perimetro Mojado
Stream Power (N/m s)	Potencia Total
Cum Volume (1000 m3)	Volumen acumulado de agua en el tramo
Cum SA (1000 m2)	Area Superficial acumulada del agua en el tramo
Culvert/Bridge	Alcantarilla/Puente
Q Culv Group (m3/s)	Gasto en el grupo de Alcantarillas
# Barrels	# de Alcantarillas
Q Barrel (m3/s)	Gasto en la Alcant.
Q Total (m3/s)	Caudal Total
Q Bridge (m3/s)	Caudal Total que pasa por el Puente
Min El Weir Flow (m)	Elevación minima del flujo sobre la rasante
Min El Prs (m)	Elevación donde empieza la presión del flujo



BR Open Area (m2)	Área de la abertura del puente
BR Open Vel (m/s)	Velocidad en la abertura del puente
Br Sel Method	Método de calculo selecionado para el puente
E.G. US. (m)	Elevación del Gradiente Hidráulico Aguas Arriba
W.S. US. (m)	Elevación de la Superficie de Agua Arriba
E.G. DS (m)	Elevación del Gradiente Hidráulico Aguas Abajo
W.S. DS (m)	Elevación de la Superficie de Agua Abajo
Delta EG (m)	Gradiente Hidráulico Delta
Delta WS (m)	Superficie de aguas Delta
E.G. IC (m)	Gradiente Hidráulico a la entrada de la Alc.
E.G. OC (m)	Gradiente Hidráulico a la salida de la Alc.
Culvert Control	Control de la Alacant.
Culv WS Inlet (m)	Superficie del agua a la entrada de la Alc.
Culv WS Outlet (m)	Superficie del agua a la salida de la Alc.
Culv Nml Depth (m)	Profundidad Normal en la Alc.
Culv Crt Depth (m)	Profundidad crítica en la Alc.
Culv Full Len (m)	Alc. trabajando llena
Culv Vel US (m/s)	Velocidad de entrada en Alc.
Culv Vel DS (m/s)	Velocidad de salida en Alc.
Culv Inv EI Up (m)	Elevación de Fondo a la entrada de la Alc.
Culv Inv EI Dn (m)	Elevación de Fondo a la Salida de la Alc.
Culv Frctn Ls (m)	Pérdida de fricción en la Alc.
Culv Exit Loss (m)	Pérdida de fricción a la salida de la Alc.
Culv Entr Loss (m)	Pérdida de fricción a la entrada de la Alc.
Min EI Weir Flow (m)	Elevación mínima del flujo en la pared de la caja