



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN

16

**LA HIDROLOGIA Y LA HIDRÁULICA
APLICADA AL DISEÑO DE
PUENTES**

288903

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

IGNACIO OBDULIO HERNANDEZ LOPEZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. J. FERNANDO ROMERO MAGAÑA

MEXICO

2000.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

Petra López Martínez y Tiburcio Hernández León, Padres míos, los esfuerzos, sacrificios y dedicación que tuvieron para brindarme el legado precioso de la educación, no han sido en vano, hoy culmino la presente tesis, que cierra un ciclo de mi vida. Por lo que les doy las más sinceras GRACIAS y les dedico con todo mi alma este trabajo.

Karla Nohe mí García Abarca, pues como vez por fin pude culminar y cerrar con broche de oro la carrera de ingeniero civil. Debo de decirte que te estoy agradecido por todo el apoyo y amor que me has demostrado. De todo corazón te dedicó la tesis esposa mía.

Carmen, Enrique, Jaime y Adriana Hernández López, hermanitos del alma, una vez más comparto con ustedes uno de los buenos momentos que he tenido en la vida y me da mucho gusto que estén conmigo para disfrutarlo. Gracias camaradas.

La chispa que encendió mi ánimo aletargado durante cinco años, tiene una mención especial en este trabajo. A todos ellos, que sin ningún interés en particular colaboraron para que no estuviera "mocho" como ingeniero, sinceramente gracias: Ing. Esteban Ambríz Reyes, Ing. J. Fernando Romero Magaña e Ing. Dagoberto González Acosta.

La materia de "Tramitología" para la titulación nunca hubiera sido tan sencilla y fácil de comprender sin las valiosas intervenciones de: Ing. Gilberto García Santamaría González, Ing. María de los Angeles Sánchez Campos, Ing. María de la Luz Fernández Zurita e Ing. Rubén Candelario Reyes Delgadillo. A todos ellos Gracias.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento al personal de Servicios Escolares y de la Secretaría Académica, por su atenta y eficiente contribución.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I

1. Introducción

Página

1

CAPITULO II

TOPOGRAFIA

2.1. Programación de los trabajos en campo.	4
2.1.1. Visita de inspección a la zona en estudio.	4
2.1.2. Personal.	5
2.1.3. Equipo.	5
2.2. Levantamiento topográfico.	5
2.2.1. Eje de proyecto.	7
2.2.2. Retrazo del eje de proyecto.	7
2.2.3. Nivelación del eje de proyecto.	8
2.2.4. Poligonales de apoyo.	9
2.2.5. Secciones topográficas.	11
2.2.5.1. En la planta general.	12
2.2.5.2. En la planta detallada.	12
2.2.6. Secciones hidráulicas.	13
2.2.7. Pendiente geométrica e hidráulica.	14
2.2.8. Levantamiento de puentes cercanos sobre la corriente en estudio.	14
2.2.9. Planos del levantamiento topográfico.	15
2.2.9.1. Planta general.	15
2.2.9.2. Planta detallada.	16
2.2.9.3. Perfil de construcción.	16
2.2.9.4. Perfil detallado.	17
2.2.9.5. Plano de pendientes y secciones hidráulicas.	17

2.2.9.5.1.	Secciones hidráulicas.	18
2.2.9.5.2.	Perfil de la pendiente geométrica e hidráulica.	18
2.2.9.6.	Puentes cercanos sobre la corriente en estudio.	19
2.2.9.7.	Croquis de localización.	19

CAPITULO III

HIDROLOGIA

3.1. Conceptos básicos.		21
3.1.1. Ciclo hidrológico.		22
3.1.2. Precipitación.		23
3.1.2.1. Precipitación por convección.		23
3.1.2.2. Precipitación orográfica.		24
3.1.2.3. Precipitación por ciclónica.		24
3.1.2.4. Aparatos que miden la precipitación.		24
3.1.3. Escurrimiento		25
3.1.3.1. Escurrimiento superficial.		25
3.1.3.2. Escurrimiento sub - superficial.		25
3.1.3.3. Escurrimiento subterráneo.		25
3.1.3.4. Escurrimiento directo.		26
3.1.3.5. Escurrimiento base.		26
3.1.3.6. Factores que afectan al escurrimiento.		26
3.1.3.7. Análisis del escurrimiento.		26
3.1.4. Clasificación de las corrientes.		27
3.1.4.1. Por el tiempo en que transportan agua.		27
3.1.4.1.1. Corriente perenne.		27
3.1.4.1.2. Corriente intermitente.		28
3.1.4.1.3. Corriente torrencial o efímera.		28
3.1.4.2. Por su edad geológica.		29
3.1.4.2.1. Joven.		29
3.1.4.2.2. Maduro.		29

3.1.4.2.3. Viejo.	30
3.1.4.3. Por su posición topográfica.	30
3.1.4.3.1. De montaña.	31
3.1.4.3.2. De transición.	31
3.1.4.3.3. De planicie.	31
3.2. Material de consulta.	31
3.2.1. Cartas topográficas.	32
3.2.2. Cartas de climas.	34
3.2.3. Cartas geológicas.	38
3.2.4. Cartas de uso de suelo.	39
3.2.4.1. Uso agrícola	40
3.2.4.2. Uso pecuario	41
3.2.4.3. Uso forestal	42
3.2.4.4. Otros usos	43
3.2.5. Cartas edafológicas.	51
3.2.6. Cartas de uso potencial.	53
3.2.6.1. Capacidad de uso del suelo	54
3.2.6.2. Control de la erosión en el suelo	58
3.2.6.3. Propuestas de obras de infraestructura	59
3.2.6.3.1. Almacenamientos	59
3.2.6.3.2. Caminos	59
3.2.6.3.3. Servicios	60
3.2.7. Mapa urbano	61
3.2.8. Fotografías aéreas.	62
3.2.9. Información pluviográfica, pluviométrica y de aforos.	70

3.3. Características fisiográficas utilizadas de las cuencas.	71
3.3.1. Area de cuenca.	71
3.3.2. Parteaguas.	72
3.3.3. Longitud del cauce principal.	72
3.3.4. Pendiente del cauce principal.	73
3.3.4.1. Método aritmético.	73
3.3.4.2. Método por compensación de áreas.	73
3.3.4.3. Método de Taylor – Schwars.	74
3.4. Período de retorno.	74
3.5. Obtención del gasto hidrológico	75
3.5.1. Método Racional.	75
3.5.2. Método de Ven Te Chow.	79
3.5.3. Métodos Estadísticos.	86
3.5.3.1. Método de Gumbel.	88

CAPITULO IV

HIDRAULICA

4.1. Conceptos básicos.	98
4.2. Análisis hidráulico.	103
4.2.1. Determinación de las pendientes medias.	103
4.2.1.1. Pendiente geométrica media y pendiente media de la superficie del agua.	103
4.2.1.2. Pendiente hidráulica media.	106
4.2.2. Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning.	107
4.2.3. Determinación de la velocidad y gasto hidráulico.	110
4.2.3.1. Determinación de las características geométricas de la sección hidráulica.	111
4.2.3.1.1. Área hidráulica (Ah).	111
4.2.3.1.2. Perímetro mojado (Pm).	111

4.2.3.1.3.	Radio hidráulico (Rh).	111
4.2.3.2.	Determinación de las velocidades en la sección hidráulica.	112
4.2.3.3.	Determinación de los gastos en la sección hidráulica.	115
4.2.3.4.	Determinación del gasto hidráulico.	117

CAPITULO V

APLICACION PRACTICA

	Página
5.1. Generalidades.	118
5.2. Estudio hidrológico.	120
5.3. Estudio hidráulico.	121
5.4. Conclusiones.	121
5.5. Notas.	122
5.5.1. Nota 1.	122
5.5.2. Nota 2.	123
5.6. Croquis de localización.	124
5.7. Informe fotográfico.	125
5.7.1. Foto 1.	125
5.7.2. Foto 2.	126
5.8. Estudio hidrológico (Método de Gumbel).	127
5.9. Estudio hidráulico (Áreas y perímetros de la sección ubicada aguas arriba).	130
5.10. Estudio hidráulico (Áreas y perímetros de la sección ubicada aguas abajo).	132
5.11. Estudio hidráulico (Método de Manning aplicado a las dos secciones).	133
5.12. Estudio hidráulico (Áreas y perímetros para 100 años).	134
5.13. Estudio hidráulico (Método de Manning para gasto de 100 años).	136
5.14. Estudio hidráulico (Áreas y perímetros para 25 años).	137
5.15. Estudio hidráulico (Método de Manning para gasto de 25 años).	138
5.16. Estudio hidrológico (Método de Gumbel para calcular el periodo de retorno del gasto de campo).	139

5.17. Perfil de construcción.	140
5.18. Perfil detallado.	141
5.19. Plano de pendientes y secciones hidráulicas.	142
5.20. Planta topográfica.	143

CAPITULO VI

6. Conclusiones.	144
------------------	-----

CONCLUSIONES

144

BIBLIOGRAFIA

148

INTRODUCCION

La hidrología y la hidráulica aplicada al diseño de puentes constituyen la parte fundamental para la proyección de este tipo de estructuras, es decir, en términos ingenieriles podríamos considerarlas la base sobre la cual se sustentan los demás estudios que se efectúan en su planeación, tales como, la mecánica de suelos y el análisis estructural. Del buen análisis que se haga hidrológicamente e hidráulicamente del río por el cual pretenda cruzarse una carretera, se podrá definir la longitud adecuada, el tipo de cimentación más conveniente y la estructura y superestructura apropiadas.

Para realizar este tipo de estudios se requiere de consultar distinta información y realizar inspecciones técnicas al sitio donde se pretenda construir el puente, así como de realizar un levantamiento topográfico de la zona. Lo anterior permitirá que se tengan los elementos suficientes para proyectar, como ya se comentó, la estructura más conveniente.

El análisis de la hidrología y la hidráulica en los ríos de México es sumamente interesante y a la vez compleja, debido a que por las características topográficas que se tienen en el país se pueden encontrar todos los tipos de corrientes que existen en el mundo, así se pueden realizar los estudios para puentes que se ubicarán en zonas de planicie de inundación, como es el caso de las carreteras que se ubican en las costas del Pacífico, Golfo de México y en la Altiplanicie Mexicana, como también en zonas montañosas, siendo las carreteras representativas de este tipo de relieves, las que tienen su desarrollo por la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre del Sur.

De igual forma los ríos ubicados en un mismo tipo de topografía pueden tener en su área de cuenca diversos tipos de vegetación, uso de suelo, servicios, control del escurrimiento, forma del cauce distinta, cambios de dirección diferentes, entre otros, que hacen que el estudio de cada uno de los ríos sea un caso completamente diferente y único.

Así mismo, en la República Mexicana las avenidas máximas en los ríos son generadas por tormentas extraordinarias de distinta intensidad, duración y extensión, que a su vez se encuentran influenciadas, muy comúnmente, por

efectos ciclónicos, ayudando a que se presenten inundaciones periódicas, afectaciones a las poblaciones y a la infraestructura carretera del país.

Antes de realizar el levantamiento topográfico de la zona donde se construirá el puente para resolver el cruce del río, se debe de realizar una investigación exhaustiva de las características fisiográficas de la corriente, consultando el acervo cartográfico y de fotografías aéreas de la República Mexicana, disponible en el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y del que se detallan el tipo y contenido de cada una de las cartas en el capítulo III de Hidrología. Posteriormente al contar con la información necesaria se deberá calcular el gasto hidrológico que dará una idea preliminar de la longitud de puente que se requiere para resolver el cruce de la corriente.

El levantamiento topográfico, del cual se dan las especificaciones necesarias para su ejecución en el capítulo II de Topografía, permitirá tener las características del terreno y del río en el área que se ubique en las inmediaciones del puente a proyectar, así como en la secciones transversales al cauce de la corriente, que servirán de base para calcular el comportamiento del flujo, su cantidad y velocidad con la que discurre aplicando los conceptos que se describen en el capítulo IV de Hidráulica y que ayudarán a definir las dimensiones de la estructura.

En el capítulo V de Aplicación Práctica, el caso que se expone, podría considerarse un estudio de los más completos, ya que el puente que se proyectará, se ubica en un camino clasificado como de los menos importantes dentro de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y que comúnmente denominan como rural, el cual en su desarrollo, cruza al río Sabinas, una de las corrientes de agua más importantes que se tienen en el país. La complejidad de este estudio radica en que el cruce se ubica en una zona del cauce del río demasiado extensa, que si se decidiera cubrir todo el ancho del mismo resultaría una longitud de puente de por lo menos 500 m, lo que resultaría demasiado caro para el tipo de camino que se trata. Para este caso se llevaron a cabo análisis estadísticos de la estación hidrométrica que se ubica en la misma corriente hacia aguas abajo a unos 90 km aguas del lugar, de tal forma que se definieron los gastos correspondientes a periodos de retorno de 100 y

25 años, con los cuales se diseñó la obra, resultando que para resolver el paso del arroyo sería suficiente construir un puente de 100 m de longitud y mantener a pelo de tierra los terraplenes de acceso a la margen derecha.

La decisión de adoptar los gastos señalados, obedece a los criterios acordados en materia del cálculo de avenidas para períodos de retorno en carreteras, que salieron de las reuniones efectuadas entre personal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y de la Comisión Nacional del Agua, después de los eventos meteorológicos presentados en la costa de Chiapas que ocasionaron la falla estructural de más de 50 puentes de la red carretera y ferroviaria del estado, provocando que mucha de la población quedará incomunicada sin poder recibir alimentos y atención medica inmediata.

De lo anterior radica la importancia de efectuar un buen análisis e investigación de los gastos que se generan en la cuenca de un río y respetar los períodos de retorno que se enlistan en el capítulo II de hidrología en el párrafo correspondiente, entendiéndose por período de retorno como el intervalo de tiempo o numero de años al cabo de los cuales se igualará o superará un suceso, que en nuestro caso es el gasto de avenida en un río.

En el marco del presente trabajo se dan los lineamientos básicos y su forma en que deben de ser ejecutados, de tal forma que si se siguen al pie de la letra, el puente que se construya en la carretera para resolver el paso del río, será una estructura bien diseñada y planeada que insólitamente le ocasionará problemas a la vía de comunicación y permitirá el paso continuo de vehículos.

TOPOGRAFIA



2.1 Programación de los trabajos de campo

Para programar los trabajos de campo del levantamiento topográfico, el Ingeniero a cuyo cargo esté la ejecución del estudio debe tomar en cuenta los siguientes aspectos.

2.1.1. Visita de inspección a la zona en estudio

Se debe realizar una visita de inspección a la zona en donde se proyectará el puente que resuelva el paso de la vía terrestre sobre la corriente de agua que se requiera cruzar, de tal forma que se defina la ubicación de las secciones hidráulicas y la elevación del agua en crecientes máximas extraordinarias, así como la frecuencia con que ocurre, lo que permitirá programar adecuadamente las dimensiones del área de topografía por levantar, la longitud de la pendiente geométrica (del fondo del cauce) e hidráulica (de la superficie libre del agua) y del perfil de construcción. Debe investigarse además de lo anterior, el tipo y dimensiones de los cuerpos flotantes en la corriente, generalmente constituidos por árboles de la cuenca, para estar en posibilidad de recomendar la longitud adecuada de los claros de la obra que eviten su obstrucción, de igual forma el tipo y dimensiones de los materiales arrastrados por el fondo, tales como rocas, cantos rodados, grava y arena, entre otros, así como el tipo y densidad de la vegetación, con el propósito de determinar los coeficientes de rugosidad del cauce de la corriente.

2.1.2. Personal

El personal que se encargue de coordinar los trabajos de campo en el levantamiento topográfico para el diseño de puentes, debe ser un especialista en hidráulica con conocimientos de topografía, de manera que tome en cuenta todos los aspectos que se señalaron en la visita de inspección a la zona en estudio y se integre una información confiable que permita definir el puente que mejor drene a la corriente de agua que se pretenda cruzar. Los trabajos pueden ser ejecutados por una brigada de topografía que este conformada por no más de ocho gentes.

2.1.3. Equipo

Debido a que todas las operaciones en topografía están sujetas a las imperfecciones propias de los aparatos y a su manejo, es necesario que el levantamiento topográfico sea realizado utilizando un tránsito con precisión de un (1) minuto o menos y nivel fijo.

2.2. Levantamiento topográfico

Una vez programados los trabajos de campo, el Ingeniero debe realizar el levantamiento topográfico atendiendo los aspectos que se describen enseguida.

En esta etapa es de fundamental importancia realizar una investigación exhaustiva de los niveles alcanzados por el agua durante la creciente máxima extraordinaria de que se tenga noticia y de su frecuencia, información que debe ser obtenida consultando a las personas con mayor antigüedad que habiten en

las cercanías al sitio en donde se proyectara el puente. Si la creciente ocurrió recientemente, un año o dos, se pueden definir las trazas que dejó del nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) con el terreno natural, detectando las huellas máximas de arrastres en suspensión que la corriente haya dejado a su paso. De forma similar, se deben determinar los niveles de aguas mínimas (NAMIN) y de aguas máximas ordinarias (NAMO), que le permitirán al proyectista del puente definir los procedimientos constructivos, determinando las obras de desvío o de protección, entre otras, que puedan requerirse durante la etapa de construcción. Actualmente en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se está efectuando un análisis de los términos hidráulicos de campo que hasta la fecha se han empleado, dicho análisis consiste en redefinir el concepto de NAME y NAMO por Nivel de Aguas de Diseño (NAD) y Nivel de Aguas Ordinarias (NAO), respectivamente, a fin de facilitar la interpretación de los mismos en la ejecución de los estudios.

Para cauces con llanuras de inundación o con inestabilidad y/o erosión en sus márgenes, convendrá que el levantamiento topográfico comprenda los cambios de dirección que presente la corriente en una distancia tal que permita definir las obras auxiliares de encauzamiento y protección, que en su caso se requieran, como bordos, canalizaciones y enrocamientos, entre otras.

Las secciones hidráulicas deben ubicarse de preferencia en tramos rectos de la corriente en estudio donde la sección y el flujo sean sensiblemente uniformes, condiciones para las que se puede aplicar el Método de Manning que se suele utilizar en el análisis hidráulico del cauce y en sitios donde no existan desbordamientos o éstos sean de poca importancia, evitando que queden alojadas en sitios donde existan curvas y/o pozas, debidas estas últimas generalmente a la extracción de materiales del fondo.

Cuando exista una confluencia de dos escurrimientos cercana al cruce del cauce con el eje de proyecto de la carretera, que a juicio del Ingeniero a cuyo cargo esté la ejecución del estudio topohidráulico, pudiera influir en el comportamiento hidráulico de la estructura por proyectar, es necesario ubicar al menos una sección hidráulica sobre el cauce en estudio y otra en el afluente, ambas aguas arriba de la confluencia, así como una aguas abajo, de manera que sea posible determinar la influencia del afluente sobre el cauce en estudio.

Para complementar y elaborar el levantamiento topográfico se debe disponer de los planos de planta y perfil del proyecto geométrico de la vía terrestre para la que se proyectará el puente y sus secciones transversales de construcción, que incluya el trazo, los datos de banco de nivel, las referencias topográficas y las elevaciones de subrasante.

2.2.1. Eje de proyecto de la carretera

El eje de proyecto, es decir, la línea que define el trazo de una vía terrestre, es obtenida del proyecto geométrico y debe ser retrazado y nivelado en el área en el que se pretenda ubicar el puente de la siguiente manera.

2.2.2. Retrazo del eje de proyecto

Con base en las referencias topográficas establecidas en el proyecto geométrico, se debe realizar el retrazo del eje de proyecto de la vía terrestre, en una longitud mínima de 300 m a cada lado de los probables apoyos extremos del puente. En el caso del cruce del eje de proyecto de la vía terrestre

con barrancas profundas, su retrazo debe extenderse hasta una distancia de 100 m más allá de las intersecciones de la subrasante del proyecto geométrico con el terreno natural. El resto del perfil se puede determinar con los datos del proyecto señalado, de tal manera que se permita al proyectista definir la rasante del puente. Se debe indicar mediante estacas las estaciones cerradas a cada 20 m y trompos con tachuela en puntos singulares como los de inflexión (PI), principio y término de curvas horizontales (PC) y (PT) y punto sobre tangentes (PST), entre otros. Los cadenamientos se deben definir al centímetro y las deflexiones al minuto. Para llanuras de inundación extensas, de más de 1 km de ancho, los datos levantados en el campo se pueden complementar con los que proporcione el proyecto geométrico, hasta cubrir toda el área donde se presentan inundaciones hacia ambos lados del cauce principal.

Adicionalmente se deben construir dos monumentos de concreto en ambas márgenes del cauce, si es posible, fuera de la influencia del nivel de aguas máximas extraordinarias de la corriente, bien referenciados y apoyados en una estación en tangente del eje de proyecto, para poder reconstruir dicho trazo con mayor facilidad.

2.2.3. Nivelación del eje de proyecto

Una vez retrazado el eje de proyecto de la carretera y a partir de los bancos de nivel considerados para el proyecto geométrico, se debe realizar la nivelación de dicho eje, obteniendo las elevaciones, con aproximación al centímetro y comprobación de ida y vuelta, de todos los quiebres del terreno natural de las estaciones cerradas a cada 20 m y de los puntos singulares como los de inflexión (PI), principio y término de curvas horizontales (PC) y (PT) y punto sobre tangentes (PST), entre otros, en la longitud del puente y en el resto del

eje, sólo de las estaciones cerradas a cada 20 m, así como de los monumentos que se establecen en el inciso anterior.

2.2.4. Poligonales de apoyo

Las poligonales de apoyo deben tener una longitud capaz de ubicar las secciones de topografía que servirán para el levantamiento del área en estudio que permita la elaboración de los planos de Planta General y Planta Detallada. Por lo general las poligonales deben extenderse a 150 m aguas abajo y 500 m aguas arriba del eje de trazo. En el caso de cauces con inestabilidad y/o erosión en sus márgenes conviene que el levantamiento topográfico comprenda los cambios de dirección que presenta la corriente, en una distancia tal que permita definir las obras de protección y encauzamiento, tales como diques, bordos, enrocamientos, entre otros; esta distancia está en función del ancho de la corriente, por lo que pueden llegar a levantarse distancias mayores de 500 m aguas arriba. En ríos con llanuras de inundación muy extensas, de más de 1 km de ancho, hacia aguas arriba pueden extenderse hasta 1500 ó 2000 m, pero nunca deben ser menores de 500 m, de modo que permitan definir la tendencia del escurrimiento que pueda afectar a la estructura del puente, y aguas abajo basta con que cubran una distancia de 200 m, siendo recomendable complementar la topografía con la fotointerpretación de fotografías aéreas.

Se deben trazar y nivelar poligonales de apoyo sustentadas en el eje de proyecto de la carretera, de forma que la topografía que se levante, apoyada en estas poligonales, se prolongue hacia aguas arriba y abajo en longitudes tales que permitan definir la dirección de los escurrimientos, el esviajamiento de la obra, la ubicación de sus apoyos y en su caso, de las obras auxiliares,

indicando mediante estacas las estaciones cerradas a cada 10 m en los primeros 40 m de longitud, tanto aguas arriba como aguas abajo, a cada 20 m en los siguientes 400 m, a cada 40 m en los siguientes 400 m y en su caso en el resto de la poligonal a cada 80 m, y trompos con tachuelas en puntos singulares como los de inflexión (PI) y puntos sobre tangentes (PST). Los cadenamientos y niveles con comprobación de ida y vuelta se deben determinar al centímetro y las deflexiones al minuto.

En ríos con ancho mayor de 200 m, las poligonales de apoyo se deben trazar en ambas márgenes.

Para apoyar las secciones topográficas para el plano de Planta Detallada, se deben colocar estacas adicionales sobre la poligonal, tanto aguas arriba como abajo del eje de proyecto, hasta una distancia normal a dicho eje de 60 m, separados entre sí a cada 10 m en el sentido normal al eje mencionado, como se ilustra en la Figura 1. En casos especiales como viaductos, las estacas se deben colocar hasta una distancia del orden de 120 m en el sentido normal al eje de proyecto, aguas arriba y abajo.

En caso de ríos con cauce recto y encajonado o canales, con flujo, pendiente, sección y coeficiente de rugosidad uniformes, la Planta General puede omitirse, por lo que las poligonales pueden extenderse sólo lo necesario para apoyar las secciones topográficas para el plano de Planta Detallada.

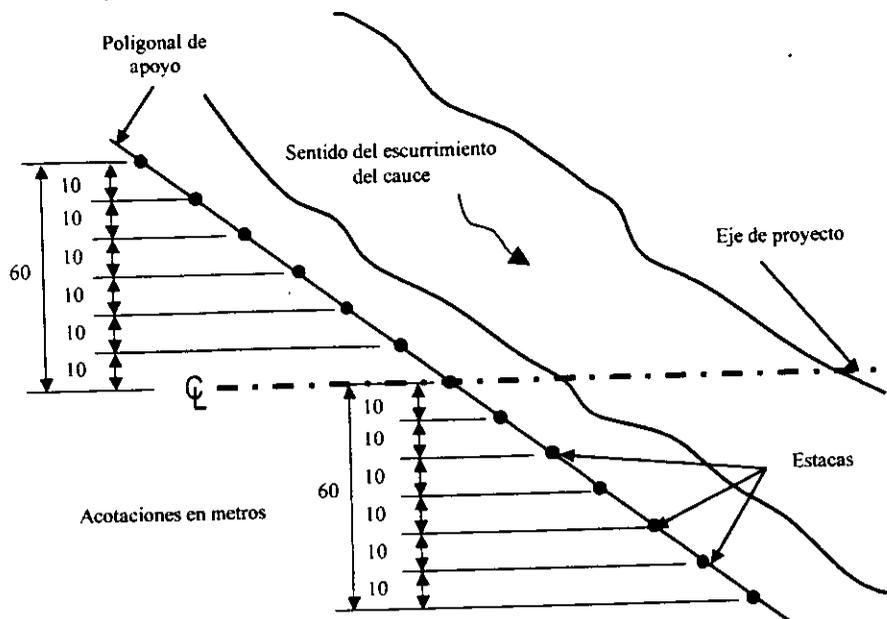


FIGURA 1.- Ubicación de las estacas sobre la poligonal de apoyo para sustentar las secciones topográficas para el plano de Planta Detallada

2.2.5. Secciones topográficas

Mediante las secciones topográficas que se indican a continuación, se deben levantar y nivelar todos los quiebres notables del terreno y ubicar las construcciones, colindancias, postes y cableados, torres de alta tensión, ductos superficiales y subterráneos, obras existentes, arroyos, vías de comunicación, o cualquier otro objeto que pudiera existir en el área en estudio, identificando los nombres de las vías de comunicación. Las medidas horizontales y los niveles se deben determinar al centímetro.

2.2.5.1. En la Planta General

Las secciones topográficas para la Planta General deben ser trazadas normales al sentido del escurrimiento, sustentadas en los puntos que, con tal propósito, se hayan señalado con estacas sobre las poligonales de apoyo y cubriendo el ancho del cauce hasta 30 m como mínimo, más allá de las trazas con el terreno natural del nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME), excepto cuando se trate de cauces con llanuras de inundación muy extensas, de más de 1 km de ancho, donde las secciones deben cubrir hasta 500 m a ambos lados del eje del cauce o una distancia igual a la longitud estimada del puente más 30 m a ambos lados, lo que resulte mayor.

2.2.5.2. En la Planta Detallada

Las secciones topográficas para la Planta Detallada deben ser trazadas paralelas al eje de proyecto de la carretera, sustentadas en los puntos que, con tal propósito, se hayan señalado con estacas sobre las poligonales de apoyo y cubriendo una superficie rectangular con una longitud en el sentido longitudinal de dicho eje hasta 30 m como mínimo, más allá de las trazas con el terreno natural del nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) o igual a la longitud estimada del puente si ésta resulta mayor, y en el sentido transversal de hasta 60 m aguas arriba y abajo del eje mencionado.

Cuando se trate de cauces con llanuras de inundación muy extensas, de más de un 1 km de ancho, las secciones deben cubrir la longitud estimada del puente y 120 m aguas arriba y abajo del eje de proyecto de la carretera.

En casos especiales como viaductos, las secciones topográficas, en el sentido longitudinal del eje de proyecto, pueden incrementarse hasta 60 m más allá de la intersección del terreno natural con la subrasante de proyecto y en el sentido transversal hasta distancias del orden de ciento 120 m aguas arriba y abajo, con el propósito de ubicar y cubrir cualquier irregularidad que pudiera afectar a los apoyos extremos del puente.

2.2.6. Secciones hidráulicas

Se deben trazar tres secciones hidráulicas como mínimo, sustentadas en la pendiente geométrica en el caso de cauces secos y en las poligonales de apoyo en el caso de cauces con agua; una aguas arriba, otra en el cruce del cauce con el eje de proyecto de la carretera y la última aguas abajo, separadas entre sí una distancia de aproximadamente 4 veces el ancho del cauce y normales al sentido del escurrimiento, que se extiendan hasta 30 m más allá de las trazas con el terreno natural del nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME), levantando y nivelando los quiebres importantes del terreno. Las medidas horizontales y niveles se deben determinar al centímetro.

Si el cruce se localiza cerca de la confluencia de dos escurrimientos es necesario aumentar el número de secciones hidráulicas, de manera que sea posible determinar la influencia del afluente sobre el cauce en estudio. Si no se encuentran lugares apropiados para levantar tres secciones, su número también puede ser menor. Así mismo, cuando dentro del área levantada para elaborar el plano de la Planta General, no existan sitios donde ubicar secciones hidráulicas que permitan determinar los gastos y velocidades de la corriente en forma confiable, es posible ubicar una sección fuera de dicha área, en algún sitio donde se pueda obtener un gasto representativo.

Cada sección hidráulica se debe dividir en tramos, atendiendo a las diferentes características de la vegetación y de los materiales que constituyan el cauce y a los tirantes de agua que se tengan, para determinar los coeficientes de rugosidad de Manning.

2.2.7. Pendiente geométrica e hidráulica

Para definir el caudal que escurre por el cauce en estudio se debe determinar la pendiente del terreno por su eje cuando esté seco, es decir, la pendiente geométrica y la pendiente hidráulica de la creciente máxima detectada, ésta última se obtiene con los niveles de agua indicados por la gente del lugar y trazarse paralela a la pendiente geométrica; en el caso de cauces con tirantes de agua importantes, la pendiente hidráulica se define con el espejo de agua y la pendiente de la creciente máxima se traza paralela a ésta de acuerdo a los Niveles de Aguas Máximas Extraordinarias obtenidos. El trazo y nivelación se realiza siguiendo el sentido general del escurrimiento en crecientes máximas extraordinarias y obteniendo los niveles del terreno en puntos señalados con estacas a cada 20 m. Las pendientes medias en cada tramo se obtienen en forma gráfica y las medidas horizontales y los niveles se deben determinar al centímetro.

2.2.8. Levantamiento de puentes cercanos sobre la corriente en estudio

Se debe investigar la existencia de puentes carreteros o de ferrocarriles construidos sobre el cauce de la corriente en estudio que por sus condiciones hidráulicas y topográficas semejantes a las del sitio donde se proyecta la nueva estructura, puedan constituir modelos hidráulicos a escala natural. De existir dichos puentes se debe hacer un levantamiento geométrico e hidráulico

poniendo especial énfasis en la elevación de la superficie del agua de la creciente máxima registrada en relación con el nivel inferior de la superestructura, en la antigüedad de la obra, en su esviaje respecto a la corriente y en la ubicación y geometría de sus apoyos.

2.2.9. Planos del levantamiento topográfico

Con base en el proyecto geométrico, en la información de campo obtenida durante la visita de inspección y en el levantamiento topográfico, el Ingeniero a cuyo cargo esté la ejecución del estudio, debe elaborar los planos que enseguida se mencionan.

2.2.9.1. Planta general

La Planta General es el plano topográfico que se debe dibujar sobre un sistema cartesiano basado en las coordenadas de las poligonales de apoyo, a escala 1:500 si la mayor dimensión levantada es de menos de 500 m. Para mayores extensiones de topografía se puede dibujar a escala 1:1 000, 1:2 000 o mayor en casos de corrientes naturales que tengan un cauce muy ancho y requieran de un levantamiento topográfico más amplio. Este plano debe tener curvas de nivel con equidistancia mínima de 1 m y contener el eje de proyecto de la carretera, indicando las estaciones cerradas a cada 20 m, sus referencias de trazo y los datos de las curvas horizontales; la ubicación y elevación de los bancos de nivel y monumentos, toda la información planimétrica levantada, como construcciones, cercas, líneas eléctricas, telegráficas y telefónicas, conductos superficiales y subterráneos, vías de ferrocarril, carreteras y brechas, indicando sus destinos, y almacenamientos que se ubiquen en el área estudiada, señalando con una simbología especial el tipo de material de las construcciones. Se debe indicar también el norte astronómico con declinación

magnética y la traza del nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) con el terreno natural en toda el área levantada, indicando el sentido y el esviaje de la corriente.

Para propósitos de revisión, convendrá dibujar en el plano en borrador, los datos de campo levantados para el trazo de las poligonales de apoyo, como referencias de trazo, coordenadas de cada vértice, longitud y rumbo de las tangentes, así como el ángulo de deflexión entre ellas.

2.2.9.2. Planta detallada

La Planta Detallada es el plano topográfico basado en el sistema cartesiano definido por las coordenadas de las poligonales de apoyo, cubriendo una extensión no menor de 60 m a cada lado del eje de proyecto de la carretera y en el sentido longitudinal de la misma, al menos 30 m más allá de las trazas del nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) con el terreno natural. Este plano se debe dibujar a escala 1:100 o uno a 1:200, aunque en el caso de grandes puentes se puede utilizar una escala mayor. Debe tener curvas de nivel con equidistancia máxima de 0.5 m y contener toda la información indicada en la Fracción anterior en el área cubierta.

2.2.9.3. Perfil de construcción

El Perfil de Construcción es el plano topográfico que muestra el perfil del terreno natural por el eje de proyecto de la carretera en la longitud total levantada, que se debe dibujar con una escala horizontal de 1:2 000 y la vertical de 1:200. Si el proyectista lo requiere para definir la rasante definitiva del

puente, el perfil se puede complementar más allá de la longitud levantada, con los datos del proyecto. Este plano, además del perfil, los cadenamientos y las elevaciones del terreno, debe contener el trazo en planta, con los datos de las curvas horizontales, su orientación y la longitud de las tangentes; la ubicación y elevación de los monumentos para referenciar el trazo, la ubicación y elevación de los bancos de nivel; el perfil de la subrasante del proyecto geométrico, sus elevaciones y las diferencias entre éstas y las del terreno natural, así como las elevaciones de los niveles de aguas máximas extraordinarias (NAME), de aguas máximas ordinarias (NAMO) y de aguas mínimas (NAMIN).

2.2.9.4. Perfil detallado

El Perfil Detallado es el plano topográfico que muestra detalladamente el perfil del terreno por el eje de proyecto de la carretera en la longitud del puente, que se debe dibujar a una escala, tanto horizontal como vertical, de 1:100 o 1:200, aunque para grandes puentes, la escala puede ser mayor. Este plano debe contener los datos hidráulicos de gasto, velocidad y esviaje de la corriente que se utiliza para el diseño del puente, y la misma información que el plano del perfil de construcción a excepción de los datos del proyecto de la vía terrestre.

2.2.9.5. Plano de pendiente y secciones hidráulicas

El Plano de Pendiente y Secciones Hidráulicas es aquel que integra la información hidráulica obtenida en campo, determinando el comportamiento del flujo en el cauce estudiado. Este plano debe contener todas las secciones hidráulicas y el perfil que define la pendiente geométrica del terreno natural en el fondo del cauce y/o la pendiente hidráulica, en la forma y con la información que enseguida se detalla.

2.2.9.5.1. Secciones hidráulicas

En el Plano de Pendiente y Secciones Hidráulicas, todas las secciones levantadas se deben dibujar con una misma escala, tanto horizontal como vertical, la que puede ser 1:100, 1:200 o 1:500 en caso de secciones muy amplias. En cada sección se debe indicar su posición con relación al sitio donde el eje de proyecto de la carretera cruza el cauce del río ó arroyo que se analiza; todos los quiebres del terreno; la posición del punto levantado sobre la pendiente geométrica y su elevación; la línea que represente el nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) obtenido con la pendiente hidráulica media y los valores de los coeficientes de rugosidad de Manning según el tirante y las características de la vegetación y de los materiales que constituyan el cauce en cada tramo en que se haya dividido la sección hidráulica.

Para facilitar la lectura de las secciones hidráulicas, en el extremo izquierdo de cada una y en su parte inferior, se deben dibujar las escalas vertical y horizontal que correspondan, respectivamente.

2.2.9.5.2. Perfil de la pendiente geométrica e hidráulica

En el Plano de Pendiente y Secciones Hidráulicas, el perfil que define la pendiente geométrica y/o hidráulica se debe dibujar en el sentido del escurrimiento, con una escala horizontal de 1:1 000 y vertical de 1:100. El levantamiento debe cubrir una longitud de 100 m aguas abajo de la sección hidráulica extrema que se ubique aguas abajo, hasta 200 m o dos veces el ancho del cauce, lo que resulte mayor, aguas arriba de la sección hidráulica

localizada aguas arriba. En este perfil, además de los cadenamientos y las elevaciones del terreno, se deben indicar las posiciones de las secciones hidráulicas y del sitio donde cruza el eje de proyecto de la carretera; las pendientes geométricas y/o hidráulicas medias determinadas y su representación mediante una línea, con sus elevaciones en los sitios de las secciones hidráulicas.

El Plano de Pendiente y Secciones Hidráulicas debe contener el cuadro de los cálculos hidráulicos de la velocidad y del gasto para cada sección.

2.2.9.6. Puentes cercanos sobre la corriente en estudio

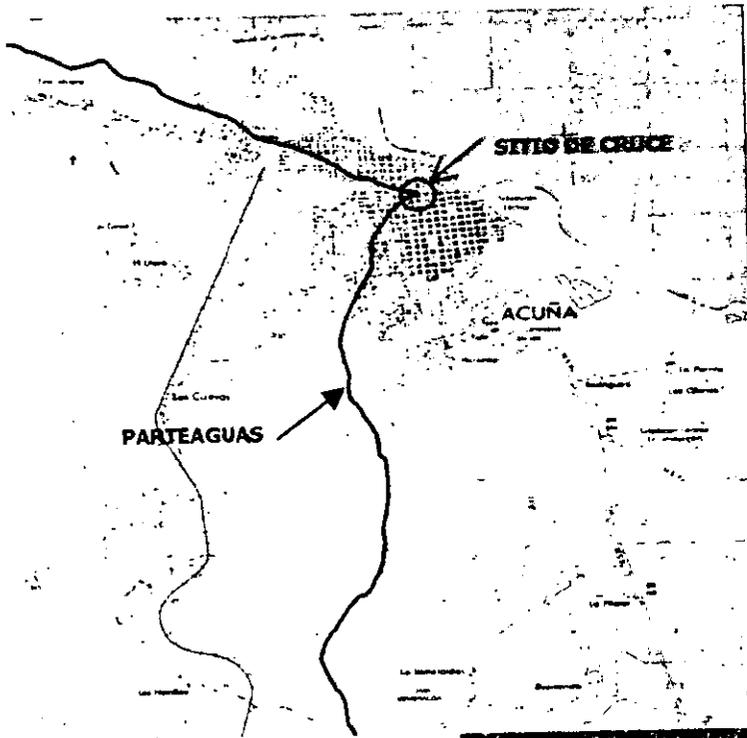
De cada puente carretero o de ferrocarril construido sobre el cauce en estudio, que por sus condiciones hidráulicas y topográficas semejantes a las del sitio donde se construirá la nueva estructura, pueda constituir un modelo hidráulico a escala natural, se debe elaborar un plano que muestre un corte longitudinal del puente levantado y su correspondiente sección transversal, dibujados a escalas 1:100, 1:200 o 1:500, dependiendo de sus dimensiones, indicando el esviaje del puente respecto a la corriente, la posición y geometría de sus apoyos y demás elementos estructurales, los materiales empleados en su construcción y la elevación de la crecida máxima registrada, en relación con el nivel inferior de la superestructura.

2.2.9.7. Croquis localización

El Croquis de Localización debe mostrar claramente la localización geográfica del sitio en estudio y la ubicación física de la obra por proyectar. En su elaboración se pueden aprovechar las cartas topográficas o hidrológicas

editadas por el Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI), en cuyo caso quedará a la escala de la carta que se utilice y debe contener información sobre las poblaciones cercanas, las rutas de acceso y las distancias aproximadas entre puntos importantes, que permitan el acceso al sitio, así como los escurrimientos importantes y almacenamientos de agua que puedan influir en el cauce en estudio.

HIDROLOGIA



3.1. Conceptos básicos

Los estudios hidrológicos son de gran importancia en cuanto al proyecto de puentes se refiere, ya que con éstos se determina el caudal que se genera en el área de cuenca de una corriente de agua, que posteriormente forma ríos o arroyos y del buen análisis que se haga del flujo depende el óptimo funcionamiento hidráulico y la capacidad del puente que se proyecte, por lo que es necesario efectuarlos para toda obra de drenaje, sin importar el tipo de camino de que se trate.

Para la determinación del gasto que fluye por el cauce de un río el ingeniero se apoya en la hidrología, ciencia que estudia las propiedades físicas y químicas del agua así como su ocurrencia, circulación, distribución en la superficie terrestre y su relación con el medio ambiente incluyendo a los seres vivos.

La hidrología es una ciencia muy amplia e interdisciplinaria, en la cual el ingeniero Hidrólogo por lo regular es parte de un equipo de trabajo en donde colaboran especialistas en disciplinas diversas como son la Ingeniería de Mecánica de Suelos y la Ingeniería de Diseño Estructural.

El objetivo principal de la aplicación de la Hidrología en el proyecto de puentes, es la determinación por alguno de sus métodos del cálculo de avenidas extraordinarias, del caudal que se genera en un río o arroyo para un cierto período de retorno.

En el presente trabajo, se mencionarán los métodos de los que hace uso más frecuente la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en su departamento de Hidrología e Hidráulica, siendo necesario tener presente los siguientes

conceptos:

3.1.1. Ciclo hidrológico

Es una iteración de acciones y efectos que tiene el agua en la atmósfera y la superficie terrestre y como todo ciclo no tiene principio ni fin; su interpretación se puede iniciar en cualquier punto de este. Al ciclo hidrológico se le considera como parte fundamental de la Hidrología.

Este ciclo lo podemos describir con inicio en la evaporación de agua de los océanos por acción del sol. El vapor emanado es transportado por masas de aire en movimiento, bajo determinadas circunstancias el vapor de agua se condensa dando origen a las nubes, que estas a su vez, pueden ocasionar precipitaciones. El agua cuyo origen es la precipitación, cae sobre el terreno; una parte es retenida por la superficie, otra escurre sobre ella y la restante penetra en el suelo.

El agua que es retenida en la superficie por plantas y el terreno mismo regresa a la atmósfera mediante la evaporación y transpiración de los elementos retenedores.

El agua que se transporta por la superficie del terreno es drenada por arroyos y ríos hasta los océanos, pero en el transporte el agua sufre pérdida por evaporación e infiltración; otra parte es absorbida por las plantas, para ser transpiradas y devuelta a la atmósfera; otra porción fluye bajo la superficie de la tierra, donde abastece a depósitos subterráneos y donde posteriormente continúa su camino hacia las corrientes de los ríos, o bien descarga en los océanos.

En la descripción hecha en párrafos anteriores del ciclo hidrológico no se contempló la acción del tiempo, ya que éste parámetro es determinante en el comportamiento de almacenaje y transporte del agua, dentro y sobre la superficie. Es decir, después de que se presenta una tormenta, los efectos se hacen sentir inmediatamente en ríos, por los escurrimientos superficiales; además de existir recarga en los mantos subterráneos.

3.1.2. Precipitación

La precipitación es un fenómeno meteorológico en donde el agua producto de la evaporación, al unirse con masas de diferente temperatura se condensa en estado sólido, semisólido y líquido (granizo, nieve, lluvia) y está ligada o regida por los fenómenos meteorológicos que se suceden en la atmósfera, motivo por el cual se puede clasificar a la precipitación en:

3.1.2.1. Precipitación por convección

Esta precipitación se origina por el intercambio de temperatura entre masas de aire, es decir, cuando el aire está próximo al suelo es calentado por la acción sol-suelo y el aire caliente tiene un movimiento ascendente; pero a cierta altura que es llamada de condensación este vapor se condensa y a partir de ese nivel se presenta el fenómeno de nubosidad que continúa ascendiendo siempre y cuando la corriente de aire que dio origen al ascenso sea fuerte y se mantenga en la misma o semejante magnitud por un periodo suficiente de tiempo. Se inicia la precipitación cuando la masa de nubes alcanza una altura tal que la temperatura baje de forma brusca o haya presencia de turbulencia.

3.1.2.2. Precipitación orográfica

Cuando los vientos cargados de humedad soplan del océano a tierra; encuentran una barrera de macizos montañosos o pasan de la influencia de un mar relativamente caliente a vastas zonas de extensiones de suelo más frío, por lo regular las masas de aire frío tienen la tendencia de elevarse produciéndose un estado de calma relativa, además de dar origen a un enfriamiento que propicia la formación de nubes y estas a su vez desatan las precipitaciones de lluvia.

3.1.2.3. Precipitación ciclónica

Esta precipitación esta relacionada al paso de ciclones.

3.1.2.4. Aparatos que miden la precipitación

El pluviómetro y pluviógrafo son aparatos para medir la precipitación. El primero proporciona la altura de precipitación en (mm) y el segundo aporta la altura de precipitación con respecto al tiempo y sus unidades son (mm/hr).

Los datos que se obtienen del pluviógrafo se grafican y a tal gráfica se le conoce como hietograma el cual se puede definir como una gráfica de barras que indica el incremento de la altura de lluvia o de su intensidad con respecto a un intervalo de tiempo.

3.1.3. Escurrecimiento

Es el agua que circula sobre o bajo la superficie terrestre y tiene su origen en la precipitación. La circulación del agua por lo regular concluye al llegar a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

3.1.3.1. Escurrecimiento superficial

La característica de este es la circulación por la superficie terrestre y la precipitación que lo origina es llamada en exceso.

3.1.3.2. Escurrecimiento sub-superficial

En este tipo de escurrecimiento el agua de lluvia que se infiltra a poca profundidad circula relativamente cerca de la superficie y puede subdividirse en lento o rápido; y es determinado por el tipo del suelo y la topografía del terreno.

3.1.3.3. Escurrecimiento subterráneo

Es la cantidad de agua que deja pasar el suelo, ya saturado hacia niveles inferiores al frático, para luego reiniciar su circulación.

Con los conceptos anteriores los escurrecimientos se relacionan entre ellos lo cual da origen a la subclasificación siguiente:

3.1.3.4. Escorrimento directo

Es la suma del escurrimento superficial más el escurrimento sub-superficial rápido.

3.1.3.5. Escorrimento base

Es la suma del escurrimento sub-superficial lento más el escurrimento subterráneo.

3.1.3.6. Factores que afectan al escurrimento

Entre los factores que afectan el escurrimento se pueden mencionar las siguientes:

- Área de la cuenca.
- Pendiente y longitud del cauce.
- Características de la tormenta, como son tipo de precipitación duración e intensidad.
- Características fisiográficas de la cuenca, tales como: tamaño, forma, pendiente, tipo y uso del suelo, etc.

3.1.3.7. Análisis del escurrimento

Una de las maneras de analizar el escurrimento, es por medio de la representación gráfica llamada hidrograma; el cual es una tabulación y gráfica de la variación del flujo (gasto), por unidad de tiempo. Por lo general el flujo se le asigna el eje de las ordenadas y su unidad es (m^3/s) y para el tiempo el eje

de las abscisa con unidad de tiempo en horas.

Se puede decir que un hidrograma nos proporciona la conjunción de las características propias de una cuenca como son: fisiográficas y climáticas que rigen la precipitación y escurrimiento.

3.1.4. Clasificación de las corrientes

Las corrientes son tipificadas de acuerdo al tiempo en que transportan agua, edad geológica y posición topográfica.

3.1.4.1. Por el tiempo en que transportan agua

3.1.4.1.1. Corriente perenne

Estas corrientes conducen agua todo el año, y su fuente de abastecimiento son los escurrimientos de agua subterránea y tienen la característica que el punto más bajo del cauce se localiza por lo regular abajo del nivel de aguas friáticas.



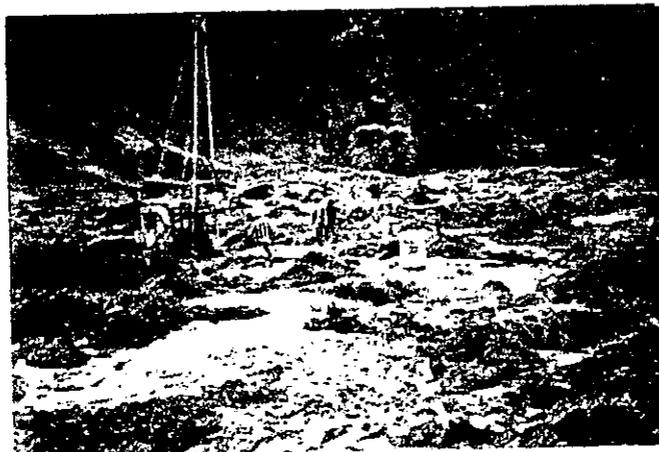
3.1.4.1.2. Corriente intermitente

Estas corrientes únicamente conducen agua durante la temporada de lluvias de cada año; que es cuando el nivel freático asciende hasta quedar por arriba del punto más bajo del cauce. En época de estiaje el nivel freático por lo general está por debajo del punto más bajo del cauce.



3.1.4.1.3. Corriente torrencial o efímera

Este tipo de corrientes solo conducen agua inmediatamente después que se presente una tormenta, además de ser la abastecedora de almacenamientos subterráneos.



3.1.4.2. Por su edad geológica

Los ríos se clasifican de acuerdo a la velocidad con la que transitan por el terreno, debido a la pendiente que presenten en río joven, maduro y viejo.

3.1.4.2.1. Joven

Son los que se encuentran en los cauces de montaña; tienen pendientes fuertes y sección transversal tipo "V". Son muy irregulares y están generalmente en proceso de degradación.



3.1.4.2.2. Maduro

Se presentan en valles amplios y tienen pendientes relativamente bajas; la erosión de las márgenes ha reemplazado a la erosión del fondo. Los ríos maduros son estables y la sección transversal en cada tramo es capaz de transportar la carga de sedimento en todo su recorrido.



3.1.4.2.3. Viejo

Se encuentran en valles amplios, donde su ancho es 15 a 20 veces el ancho de los meandros y las pendientes son muy bajas. En estos ríos se forman depósitos naturales de sedimento, a lo largo de las márgenes. Frecuentemente se forman amplias planicies y pantanos en las zonas vecinas a las márgenes del río. Los ríos viejos no tienen rápidas o caídas, pero cerca de ellos puede haber lagos con forma de cuerno o herradura, que son restos de meandros abandonados y que se cortaron en forma natural.



3.1.4.3. Por su posición topográfica

Las corrientes son definidas de acuerdo a la forma del terreno en corrientes de montaña, transición y de planicie.

3.1.4.3.1. De montaña

Se localiza a grandes alturas sobre el nivel del mar, tiene pendientes fuertes y pocas curvas, la velocidad es alta. De acuerdo a la edad geológica este tipo de corriente es similar a la clasificada como joven.

3.1.4.3.2. De transición

Los ríos de transición presentan algunas curvas y velocidades moderadas. De acuerdo a la edad geológica este tipo de corriente es similar a la clasificada como maduro.

3.1.4.3.3. De planicie

Los ríos de planicie se caracterizan por tener velocidades bajas, sus cotas se encuentran muy próximas al nivel de mar. De acuerdo a la edad geológica este tipo de corriente es similar a la clasificada como viejo.

3.2. Material de consulta

En la elaboración y ejecución de los estudios hidrológicos se requiere conocer el tipo de suelo, topografía, uso de suelo, geología, clima, etc. del sitio de estudio ya que estos factores son los condicionantes del tipo y cantidad de escurrimiento que se presenta en cuencas, por lo que es necesario consultar las cartas editadas por las distintas dependencias gubernamentales, para definir cada una de las características que se requieren para efectuar el estudio hidrológico y que fueron señaladas en el párrafo anterior.

A continuación se describen las cartas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), por ser un conjunto bien fundamentado y tener una secuencia ordenada, es decir, la carta topográfica se apoya en fotografías aéreas y técnicas fotogramétricas, la carta de uso de suelo se apoya a su vez en la carta edafológica y de uso potencial, que se apoyan en todas y cada una de las anteriores.

3.2.1. Cartas topográficas

Es la carta básica para todas las demás; se hace a escala 1:50,000 con curvas de nivel a 10 ó 20 m de equidistancia, según las características del terreno y cada 50 m las curvas maestras.

Se forma a partir de las fotografías aéreas a escala 1:50,000 por medio de métodos fotogramétricos, o sea haciendo mediciones en modelos estereoscópicos, montados en instrumentos de precisión, para conocer posiciones y elevaciones, es decir las coordenadas, de puntos consignados en cada modelo. Se dispone de coordenadas tridimensionales terrestres conocidas y con la triangulación aérea se propaga el apoyo terrestre.

La triangulación aérea analítica se efectúa con estereocomparador STK-1 con registradores electrónicos de coordenadas y con el auxilio de modernos sistemas de cómputo, a efecto de obtener la propagación del apoyo terrestre a puntos fotogramétricos de control suplementario.

Las poligonales de primero y segundo orden se ligan a los vértices trigonométricos de la red geodésica nacional. Las primeras para proporcionar

apoyo geodésico en las zonas carentes de él y las segundas para el apoyo terrestre necesario. Así también se propagan líneas a lo largo de las carreteras pavimentadas a partir de los bancos de precisión existentes, formando circuitos de nivelación de menor precisión a través de caminos de orden secundario.

Las mediciones del apoyo horizontal se efectúan con aparatos electrónicos y teodolitos de 1" de aproximación.

El apoyo vertical se efectúa por medio de nivelaciones hechas con niveles NA2, NAK2 ó NI2 y estadales de madera con niveleta, utilizando el método de doble altura de aparato.

Se usan la metodología y las especificaciones de precisión y tolerancias establecidas por la Unión Geodésica y Geofísica Internacional.

Las precisiones absolutas obtenidas en el producto cartográfico es del orden de ± 25 m planimétricamente y de ± 3 m en elevación.

Se fijan monumentos en los bancos de nivel, describiendo clases y orden en una placa de aluminio.

La restitución o transferencia de los detalles de importancia cartográfica de los modelos estereoscópicos al mapa se efectúan con la ayuda de los Stereosimplex II C.

La anterior descripción se refiere a la forma de la obtención de datos y transcripción de los mismos a la carta que en última instancia, sirve para conocer la posición en la superficie de la tierra de los elementos que forman el

paisaje, tanto los naturales como los artificiales. La posición está dada por coordenadas geográficas: latitud y longitud, que se indican en grados, minutos y segundos y la altitud, por medio de curvas de nivel, en (m).

Los elementos culturales que se pueden localizar son las poblaciones, las rancherías y las chozas; las vías terrestres y los aeropuertos con su clasificación respectiva.

Se localizan también las líneas de conducción de energía eléctrica, telégrafo, teléfono, ductos, poliductos, torres de microondas, etc. ; almacenamientos de agua, orografía, elementos hidrográficos como ríos, arroyos, canales, estéreos, etc.; vegetación cuya clasificación general es, en el uso agrícola, cultivos y huertos; en el uso forestal, bosques o selvas; en las asociaciones, palmar, manglar, chaparral, etc.

Se indican los límites tanto internacionales como estatales y la ubicación de los puntos de verificación de vértices geodésicos, apoyo horizontal, bancos de nivel de precisión, bancos de nivel topográfico y cotas fotogramétricas.

En resumen, la carta topográfica describe la ubicación de los rasgos superficiales de la corteza terrestre y sirve para estudiar las cuencas hidrográficamente.

3.2.2. Cartas de climas

El clima es un recurso natural importante; influye en la disponibilidad de agua, en cantidad, frecuencia, etc.; en el tipo de suelo, en la fauna, en la vegetación y en el hombre mismo, determinando sus costumbres, vestidos, alimentos,

habitación, transportes, estado de ánimo, etc.

El conocimiento adecuado del clima permite prevenir las épocas de calor o frío, inundaciones y sequías para implementar actividades productivas.

La carta de climas de la República Mexicana la formó la Dra. Enriqueta García Amaro en 1964 con base en la clasificación de W. Köppen, que definió cinco grupos de climas.

En 1969 se imprimieron las cartas de climas sobre la lámina negra de la carta topográfica de la Secretaría de la Defensa Nacional a escala 1:500,000.

El grupo de climas A es el de los tropicales lluviosos, con temperatura media del mes más frío mayor que 18 °C. En nuestro país se encuentran a lo largo de las vertientes de ambos océanos. Los del Pacífico tienen como límite norteño el paralelo 24° N, hacia el Oeste el mar y hacia el Este unas curvas de nivel con altitud entre 800 y 1000m. Los del Atlántico se extienden desde el paralelo 23° N hacia el sur y hacia el oeste hasta una altitud de 1300 m.

El grupo de climas B es el de los secos; se encuentran éstos en amplias regiones de la mitad septentrional del país.

El grupo de climas C comprende los templados lluviosos, con temperatura media del mes más frío en un intervalo de -3 a 18° C y la del mes más caliente mayor que 10° C. Se localizan en las zonas montañosas o llanuras con altitudes mayores que 800 m y menores que 1000 m.

El grupo de climas D o boreal, que se subdivide en continental boreal o

transbaicálico y ruso canadiense u oceánico boreal. No existe en el país.

El grupo de climas E es el de los fríos con temperatura media del mes más caliente menor que 10° C. Se encuentran en superficies reducidas, como son las partes más altas de las grandes montañas del centro del país.

El sistema de Köppen es un sistema general de clasificación que define grandes zonas climáticas del mundo, el cual al ser aplicado a México en su concepción original, clasifica extensas regiones dentro de un mismo grupo cuando en realidad hay diferencias climáticas notables.

Las designaciones de Köppen se establecieron con base en formaciones vegetales que constituyen zonas latitudinales y en México no existen algunas de esas formaciones vegetales o no coinciden con los tipos climáticos que deben de definir.

Se les cambió el nombre también a varios tipos de climas, con lo que quedan mejor definidos; como ejemplo está el siguiente: el clima Af, "clima de selva" se cambió por "clima caliente y húmedo con lluvias todo el año".

A los tipos de climas se les agregaron más características para que quedaran mejor definidos y adaptados a las condiciones climáticas de México, Hubo necesidad de introducir nuevas fórmulas empíricas para delimitar ciertos tipos fundamentales de clima con regímenes de lluvia que no se habían tomado en cuenta. Las modificaciones y adaptaciones se hicieron sin apartarse de los lineamientos generales de la clasificación original, pues se siguen usando todos los símbolos y fórmulas ideados por Köppen.

La temperatura del aire es el elemento que expresa la intensidad de la energía solar, que es función del ángulo de incidencia y tiempo de exposición a los rayos solares; también influyen la altitud y la latitud. Se registra por medio de termómetros manuales o automáticos.

La precipitación es el agua que proviene de la atmósfera en cualquier estado físico y está influida directamente por la latitud, los vientos y el relieve. Se mide su altura en mm por medio de pluviómetros pluviógrafos cuando se dispone de ellos.

El sistema de clasificación de climas se basa fundamentalmente en los promedios mensuales y anuales de precipitación y temperatura. Se tomaron en cuenta unas 2000 estaciones meteorológicas con un mínimo de 10 años de registro, dentro del lapso de 1921-1960; datos tomados del servicio Meteorológico Nacional, de la extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de la Comisión Federal de Electricidad.

La clasificación de la Dra. García está definida en cada una de las 45 cartas climáticas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. En dichas cartas se iluminan con un mismo color todas las zonas que tienen la misma denominación climática. Aparecen las isoyetas medias anuales con diferencia de 100 mm entre ellas y las isotermas medias anuales con diferencia de 2° C. En las cartas se localizan las estaciones meteorológicas, en cuyo reverso además de explicar el sistema de clasificación climática están graficados los climogramas, que relacionan la temperatura y la precipitación medias mensuales con el tiempo, en las diferentes estaciones. También se han anotado la división estatal, las vías de ferrocarril, estaciones climatológicas, localidades y altitudes de los puntos más elevados.

3.2.3. Cartas geológicas

Esta carta se elabora mediante la interpretación foto geológica, tanto en fotografías aéreas en color, como en blanco y negro, a escala 1:25,000, completándola siempre con la verificación en el campo de las unidades litológicas. En el mapa se ilustran los diferentes tipos de rocas o suelos superficiales con diversos colores.

Las rocas se clasifican en tres grupos, que comprenden a la gran mayoría de ellas: las ígneas, las sedimentarias y las metamórficas. Las ígneas, provenientes del magma, se subdividen en extrusivas o lavas y cenizas, e intrusivas que se presentan en forma de batolitos, lacolitos, diques, etc. Las rocas sedimentarias resultan del depósito y diagénesis de materiales de varias dimensiones arrastrados por el agua o el viento. Las rocas metamórficas son aquellas ígneas o sedimentarias que han sufrido grandes cambios por esfuerzos muy intensos, por temperaturas muy elevadas y procesos químicos.

El suelo es el producto de la destrucción de las rocas, con dimensiones de grava o más pequeñas. Se clasifican en residuales y transportados. Este tema está ampliamente tratado en el seminario de terracerías y pavimentos con el título de Clasificación de Materiales Pétreos y suelos que edita la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

También aparecen en las cartas las estructuras, que con los plegamientos o deformaciones en forma de ondulaciones, como son los anticlinales y los sinclinales, además de estar representadas las fracturas, fallas, diques, vetas, volcanes, dolinas, manantiales, minas, catas y bancos de material. Aparecen

también los caminos y ferrocarriles, almacenamientos, límites estatales e internacionales, aeropuertos, líneas de conducción y en general rasgos culturales.

Al ubicar la cuenca en estudio en la carta geológica, se conocen los materiales de que está formada, así como sus características, pues hay información adicional de los puntos de verificación, que son representativos de la unidad geológica de que forman parte. Una de las propiedades importantes que nos describen éstos es la permeabilidad, la cual es determinante del escurrimiento superficial que se puede esperar en el sitio en estudio.

3.2.4. Cartas de uso de suelo

Esta carta se elabora utilizando las técnicas de fotointerpretación en gabinete, apoyada con trabajos de campo y realizada por biólogos, agrónomos y geógrafos.

El trabajo de gabinete consiste en hacer la interpretación de uso del suelo y tipos vegetativos, utilizando las fotografías pancromáticas y a colores a escala media 1: 25,000 de la zona en estudio indicando a lo que esté dedicado al terreno en el momento en que fue fotografiado.

La información que contiene se refiere a las actividades agrícolas, pecuarias y forestales, señalando los diferentes tipos de vegetación, clasificándolos de acuerdo con los sistemas del Dr. Faustino Miranda y del Ing. Efraín Hernández Xalocotzi y el Dr. J. Kzedowski modificados en parte por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

3.2.4.1. Uso agrícola

El uso agrícola se representa en la carta mediante el color naranja, el cual se sustituirá en ediciones próximas por color blanco para las zonas de agricultura de temporal y por azul claro para las de riego.

El uso agrícola comprende aquellas zonas dedicadas a la agricultura. La de temporal es la que depende básicamente del agua de lluvia en el período vegetativo y puede ser de tipo permanente o nómada. La permanente es la sujeta a una actividad continúa, regular, que se efectúa año con año y la nómada, la que el hombre efectúa por un lapso entre 1 y 5 años y la suspende por el agotamiento del suelo y la erosión.

Los indicadores de las zonas de agricultura nómada son: la fuerte pendiente, el suelo delgado y la huella de la perturbación de la vegetación.

La agricultura de riego es la que asegura el ciclo vegetativo y reproductivo de los cultivos mediante el agua de riego. Este puede ser por gravedad, bombeo, goteo o cualquier otra técnica.

Hay agricultura de riego, que es la que asegura el ciclo vegetativo y reproductivo de los cultivos mediante el agua de riego. Este puede ser por gravedad, bombeo, goteo o cualquier otra técnica.

Hay agricultura de temporal que recibe algún riego de punteo o auxilio, es decir, un riego eventual.

Donde hay zonas con agricultura de temporal mezclada con agricultura de riego

se podrán utilizar las dos claves, dándole preferencia a la dominante.

Los tipos de cultivo clasificados son los anuales, semipermanentes y permanentes.

Los anuales son aquellos cuyo período vegetativo transcurre en un período menor que 1 año, como sucede con el maíz, el frijol, la cebada, el trigo, el garbanzo, etc.

Los semipermanentes tienen una duración variable en el terreno dependiendo de la costeabilidad. Esta duración varía de un año a 10 años. Algunos de ellos son la alfalfa, la caña de azúcar, la piña, el plátano, etc.

Los cultivos permanentes son aquellos que permanecen en el terreno más de 10 años, como son los frutales leñosos, es decir, el durazno, el naranjo, el manzano y otros como el cocotero, los nopales, los magueyes cultivados, etc.

3.2.4.2. Uso pecuario

Clasifica a los pastizales que se dedican a la ganadería en tres grupos.

Pastizales Naturales: se consideran en este grupo aquellos de vegetación cloimal, es decir, que son producto del suelo y clima, sin que hayan influido otros factores.

Pastizales Inducidos: son los que resultan cuando se perturba la vegetación primaria. Se inducen estas gramíneas, principalmente cuando el hombre elimina la vegetación arbustiva o arbórea y entonces se establece una cubierta

herbácea.

Pastizales Cultivados: se consideran como tales aquellos pastos que se hayan introducido en una región intencionalmente, donde no existían, haciendo un verdadero cultivo. Proceden de otros países, tales como los zacates pangola, jaragua, guinea, bermuda, etc.

3.2.4.3. Uso forestal

El uso forestal comprende las zonas que están cubiertas por bosques y selvas.

Se entiende por bosque, la vegetación arbórea de clima templado y frío, con poca variación de especies, las cuales no tienen espinas y generalmente tienen pocos o ningún bejuco.

El árbol es una planta leñosa generalmente con más de cuatro metros de altura y fuste bien desarrollado.

Los bosques se clasifican de acuerdo con su naturaleza, en bosque natural, cultivado, de galería y mesofilo de montaña.

El bosque natural es producto del suelo y clima, sin intervención de la mano del hombre. La mayoría de los bosques del país son naturales.

El bosque artificial es el que el hombre ha establecido mediante plantaciones. Están formados por una o varias asociaciones de árboles.

El bosque de galería es el que se localiza a la orilla de los ríos o arroyos con

agua permanente o estacional. Hay bosques de ahuehuete o sabino, de álamo, de eucalipto, de sauce, etc.

Además, los bosques se clasifican en bosques de coníferas y de latifoliadas, de hojas anchas, pueden ser de roble, encino, aile, álamo, etc.

Se entiende por selva la vegetación densa arbórea de clima cálido con numerosas especies mezcladas, con bejucos y lianas o con árboles espinosos dominantes. Hay selva baja, media y alta. La selva baja es la que tiene de 4 a 15 m de altura, la media de 15 a 30 m y la alta, mayor de 30 m.

Por la persistencia o caducidad de la hoja se clasifica como perennifolia si no tira la hoja, caducifolia si la tira en alguna época del año, por lo general en época de sequía; subperennifolia si entre el 25% y 50% de las especies tiran las hojas y subcaducifolia si entre el 25 y 50% de las especies se quedan con la hoja.

3.2.4.4. Otros usos

Existe además vegetación herbácea, subarborescente, arbustiva o arbórea no considerada en el uso pecuario, aunque en un sentido estricto caiga en algunos de los usos mencionados anteriormente, pero que tiene características especiales. Dentro de este grupo quedan comprendidos los siguientes tipos:

Palmar : grupo de plantas conocidas con el nombre de palmas en las zonas tropicales; se encuentran en grupos dentro de la zona de selvas o sobre suelos con características de sabana. Algunas de las más comunes tienen los siguientes nombres: corozo, palma de coquito de aceite, manacá, que tiene

hojas pinatifidas ; botan, guano, tasiste, con hojas en forma de abanico.

Manglar : vegetación con característica de selva muy espesa, que llega a alcanzar hasta 25 m de altura; tiene sistema radicular parcialmente aéreo en forma de zarcos; crece en los climas tropicales, en las orillas bajas y gangosas de las costas en ambos litorales tanto del Golfo como del Pacifico, en los esteros, en las penilagunas costeras y estuarios de ríos bajo influencia de agua salobre.

Los manglares más comunes son el mangle rojo, el mangle blanco, el mangle prieto y el botoncillo.

Popal : vegetación herbácea que se desarrolla en lugares pantanosos con agua permanente de aproximadamente un metro de profundidad. Las plantas están enraizadas en el fondo; tienen grandes hojas largas y anchas que sobresalen del agua. Los popales crecen densamente; los más conocidos son el popay, el quentó, el platanillo y algunos zacates acuáticos.

Tular : vegetación herbácea que vive en el agua y cuyos tallos sobresalen de la superficie. Las plantas tienen hojas largas y angostas ; se encuentran en los climas cálidos templados húmedos o secos, a la orilla de lagos y lagunas. El tule, el tule rollizo, etc. y los carrizales se incluyen dentro de este grupo.

Cardonal : agrupación de plantas crasas altas de 5 a 10 m ; se encuentran en zonas de climas áridos o semiáridos con temperaturas altas y casi siempre suelo somero y de difícil aprovechamiento ; se conocen comúnmente con el nombre de : cardones, órganos, sahuaros, canelabors, garambullos, viejitos, teteches, gigantes, etc.

Izotal : se presenta en climas áridos, subcálidos o templados, sobre suelos profundos o someros. Predominan en esta asociación los izotes, como se conocen en el sur del país y palmas, es decir la palma china, la palma loca, la palma samandoca, etc.

Nopalera : Asociación de nopales : se presenta en climas subtemplados áridos de las mesas centrales, sobre suelos someros. Se incluyen los de tallo cilíndrico que crecen en las zonas de extrema aridez del norte y noreste, como las chollas, cardenche, tasajillos, etc.

Sabana : pradera constituida por gramíneas principalmente, áspera, amacollada, con vegetación arbórea dispersa o nula, sobre suelos con drenaje deficiente, inundable en época de lluvias y muy seco en época de sequías; los árboles que con más frecuencia se encuentran son el nanche y el techicón. Estos árboles se encuentran dentro de la selva en climas tropicales.

Chaparral : agrupación densa de encinos arbustos, asociada generalmente con otras especies arbustivas de otro género como el madroño, manzanita, etc.

Se encuentran en el contacto del clima árido con el templado y a veces mezclado con los pinares y encinares.

Matorral : vegetación arbustiva con varios tallos que nacen cerca de la superficie del suelo. Se encuentran en zonas de clima cálido, semiseco y árido, a veces como resultado de perturbaciones en los diferentes tipos de selva, sobre todo en la Baja California.

Algunos ejemplos de matorral son el huizache, con espinas terminales, el mezquite, con espinas laterales, la gobernadora que es parvifolia. Otros tienen importancia industrial como el guayule y la candelilla.

El matorral se clasifica de acuerdo a la presencia o ausencia de espina como matorral espinoso, inerme y subinerme.

El matorral espinoso es aquel que tiene como composición florística un mínimo de 70% de elementos espinosos, ya sea de espinas laterales, terminales o de las dos. Se pueden citar el huizache, mezquite, grangeno, uña de gato, chaparro prieto, barreta, etc.

El matorral inerme tiene una composición de por lo menos 70% de elementos no espinosos, tales como la gobernadora, el hojasén, mariola, etc.

El matorral subinerme tiene una composición intermedia de los anteriores, es decir, menor del 30% de elementos espinosos o mayor que 70% de elementos inermes. Como ejemplos, el conjunto de acacia, mimosa o mezquite con gobernadora y hojasén.

Vegetación secundaria: Vegetación en vías de recuperación tendiendo a veces al estado original y otros presentando un aspecto de composición diferente. Se establece como consecuencia de la perturbación humana o de cualquier otro factor que ha hecho que desaparezca la vegetación primaria y original.

Vegetación halófila: Crece sobre suelos con fuerte concentración de sales, o sea en las cuencas cerradas de las zonas áridas y semiáridas, como las asociaciones de chamizo, la jauja, que son plantas herbáceas o subarborescentes.

bajas, de hojas pequeñas y carnosas; los zacates salado y toboso, etc.

En los climas cálidos, en los lugares cercanos a la costa que se inundan temporalmente con agua salada y en las orillas de las lagunas de agua salobre crecen los saladillos, zacates salados, etc.

Vegetación de dunas costeras: Vegetación que invade a las dunas costeras; la composición florística es variable desde cactáceas, gramíneas, leguminosas, hasta algunas especies arbustivas y arbóreas que proceden de la selva contigua y en último caso alguna especie que se establece en forma artificial, como la casuarina que sirve para estabilizar las dunas.

Vegetación de desiertos arenosos: Pequeños manchones de vegetación sobre dunas más o menos fijas en las zonas desérticas del norte del país. Vegetación que procede de las partes áridas contiguas, por ejemplo el mezquite, la gobernadora, nopales, zacates rodadilla, etc.

Vegetación de páramos de altura: Son plantas bajas de pocos centímetros de altura, por lo general de aspecto cespitoso o arrosetado como la arenaria bryoides, draba popocatepetlensis, algunas gramíneas, etc.

Se encuentran arriba del límite altitudinal de la vegetación arbórea, cerca de las nieves perpetuas, es decir, arriba de los 4000 m de altitud.

Crasirasulifolios espinosos: Agrupaciones de plantas de hojas en roseta, carnosas, espinosas y de tallo reducido como el maguey, la lechuguilla, guapillas, espadines, así como el sotol, yuca de tallo reducido, etc.

Mezquital : Vegetación arbórea cuya altura es mayor de 4 m formada por mezquites y por huizaches; crecen en los aluviones profundos o a la orilla de los arroyos.

Encinar tropical: Conjuntos de encinos que se desarrollan en las zonas de clima cálido en las planicies de la vertiente del Golfo de México; la especie más abundantes es el *Quercus Oleaoides*.

Vegetación de galería: Vegetación arbustiva o arbórea, generalmente compuesta por una mezcla de varias especies que se desarrolla a lo largo de las riberas de los ríos y arroyos, presentando una fisonomía diferente a la de la vegetación que la rodea; por sus mismas condiciones de humedad, se presenta en zonas tanto de clima árido como cálido.

Zonas desprovistas de vegetación: La superficie terrestre está cubierta parcialmente por la vegetación, pues la otra parte carece de ella, o mejor dicho hay otra porción que está en proceso de desmonte.

Esta última comprende las zonas cuya vegetación se está eliminando con determinado fin, como son los terrenos que se destinarán a la agricultura, el uso pecuario, a la industria, a la construcción de vías terrestres, etc.

En las zonas desprovistas de vegetación, la acción del agua o del viento, en general deja huellas perceptibles. Esta erosión se clasifica según el agente y se nombra hídrica, causada por el agua, y eólica, causada por el viento; se mencionan los grados de erosión, siendo éstos los siguientes:

Leve : Si solamente presentan pequeños deslaves o canalillos.

Moderada : Erosión laminar o combinada con surcos y cárcavas menores de medio metro de profundidad.

Fuerte : Si se aprecian cárcavas profundas mayores que medio metro de profundidad torrentes, canalillos y erosión laminar considerable.

Hay lugares característicos desprovistos de vegetación, como el erial que es un roquerío, el arenal, la laguna en zonas áridas y en general aquellas zonas que han carecido de sucesión vegetal por falta de suelo; la escoria que es el deshecho de las plantas de beneficio de minerales o zonas de jales; las dunas costeras, es decir, montículos de arena sin vegetación, acumuladas por acción del viento a lo largo de los litorales; los desiertos arenosos que son aquellas zonas de dunas sin vegetación en las zonas desérticas del norte del país; la playa que es la franja de arena a las orillas del río, mar, lago o laguna; las salinas, es decir, depósitos artificiales de agua usados con el fin de extraer sal.

Se localizan además los cursos de agua tanto permanentes como estacionales, las zonas industriales tanto de extracción como de procesamiento y de fabricación, los aserraderos, etc.

La carta de uso del suelo se considera básica, pues aparte de señalar los usos de cada porción de suelo, informa de los servicios existentes en cada población, así como la localización en forma semejante a la que se hace en la carta topográfica, de los caminos, desde autopistas hasta brechas; de los almacenamientos, sean presas, bordos o en general depósitos de agua; de los límites internacionales y estatales; de los aeropuertos en sus diferentes clasificaciones; de las líneas de conducción de energía eléctrica, de telégrafo,

de teléfono, de los conductos superficiales y subterráneos; de los elementos culturales, tales, como ruinas, edificios mayores que 25 m de longitud, cementerios, iglesias, hospitales, escuelas, cercas, bardas, divisiones, faros, minas, casas aisladas, etc.

Como se dijo anteriormente esta carta informa de los servicios existentes en las poblaciones. Informa del abastecimiento de agua y de la fuente de procedencia, del medio de almacenamiento y de la forma de distribución en algún sistema de eliminación de aguas negras. Informa también de la existencia de los centros médicos asistenciales, de rastros, de cementerios, de los centros escolares tanto de los de pre - primaria como de enseñanza superior, pasando por toda la gama de niveles intermedios.

Informa también cuando se proporciona al público fluido eléctrico y la clase de comunicaciones que disfrutan, como pueden ser el correo, telégrafo, teléfono, radio comunicación, radio difusora y televisión.

En resumen la carta de uso del suelo informa de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales del suelo, señalando los diferentes tipos de vegetación; figuran en la carta las poblaciones con sus nombres, el número de habitantes, los principales accidentes topográficos, cuerpos de agua, vías de comunicación líneas de conducción y transmisión, zonas erosionadas, así como las desprovistas de vegetación y las que están en proceso de desmonte.

En general, la carta de uso del suelo sirve para dar a conocer en qué está ocupado o cómo se aprovecha cada porción de territorio y con qué servicios municipales, asistenciales y educacionales dispone cada una de las poblaciones, por pequeñas que éstas sean.

Los puntos de verificación, información disponible y adicional a esta carta, aportan dimensiones como la altura promedio, la altura dominante y diámetros de los árboles, rendimiento, precio, etc. de los cultivos y propiedades y observaciones generales, útiles para fines hidrológicos.

3.2.5. Cartas edafológicas

Esta carta proporciona la información del suelo, considerándolo tridimensional, limitándolo por la superficie terrestre, por el lecho rocoso, y a los lados por otras clases de suelo. La información se refiere a la clasificación empleada por la FAO/UNESCO que sirve como marco de referencia nacional e internacional para comparar la productividad agropecuaria bajo diferentes tratamientos en suelos de la misma clase ubicados en muy diferentes lugares y así aprovechar la experiencia lograda en las regiones que cuentan con tecnología más avanzada.

La clasificación taxonómica de los suelos de la FAO/UNESCO es ecléctica y se basa en las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los mismos que determinan su vocación agrícola, prático o forestal.

El recurso suelo es de suma importancia en el desarrollo económico, pues hasta la fecha es la fuente principal de productos alimenticios y también fuente de materia prima para la elaboración de habitación, vestido, así como obras de infraestructura.

Esta carta se elabora por medio de técnicas fotointerpretativas sobre fotografías aéreas a colores y pancromáticas a escala 1:25,000 y analizando los mapas

topográfico, geológico y de uso del suelo de la propia Comisión, Se hace la respectiva verificación de campo por medio de pozos a cielo abierto de 2.5 m de profundidad, hechos expofeso y representativos. Se usan vehículos de doble tracción y a veces helicópteros en regiones inaccesibles.

Se verifican los límites de unidades de suelo mediante barrenación. Se obtienen muestras superficiales para obtener datos relativos a la fertilidad y a la vez para hacerles análisis fisicoquímicos.

Posteriormente se reinterpreta y se vacían los datos a la carta planimétrica a escala 1:50,000.

Los datos de campo de las verificaciones de todas las cartas se archivan en microfilm; también se archivan los cuestionarios de campo que comprenden la descripción morfológica de los perfiles de suelo y la descripción de las condiciones ambientales del lugar del perfil. Se archivan también los registros de los análisis fisicoquímicos de las muestras de suelo.

La descripción de las diferentes clases de suelo no se incluyen aquí, pues aparecen en el apéndice, en el "Manual para la Aplicación de las Cartas Edafológicas de INEGI para fines de Ingeniería Civil".

Cada unidad de suelo es fácil de localizar en la carta, pues cada una se representa por un color diferente y por su símbolo de la unidad representado por una letra mayúscula y el de la subunidad por una minúscula a continuación, abajo de las cuales se indican con un número y una letra minúscula, la clase textural y la pendiente del terreno, respectivamente, Por medio de pantallas diferentes de líneas y figuras se mencionan las fases.

No es indispensable que el ingeniero civil comprenda a fondo la clasificación usada en esta carta, pues existe la traducción en el manual ya mencionado, el cual es conveniente consultar al usar esta carta.

La carta edafológica también proporciona la información de caminos, ferrocarriles y aeropuertos, almacenamientos, líneas de conducción, límites y obras culturales.

La permeabilidad de los suelos es una de las principales características que se obtiene de las cartas, de los puntos de verificación y del manual.

3.2.6. Cartas de uso potencial

La carta de Uso Potencial se elabora, a semejanza de las demás cartas, usando técnicas fotointerpretativas sobre las fotografías aéreas tanto a color, como en blanco y negro a escala 1: 25,000, por ingenieros agrónomos, civiles y biólogos; se verifica la fotointerpretación en el campo y posteriormente es reinterpretada.

Esta carta clasifica la capacidad de uso del suelo, según la clasificación adoptada por el Departamento de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América.

La segunda parte indica proposiciones del control de erosión de los suelos. Se hacen también proposiciones de obras de infraestructura, como son caminos, aeropistas, presas, etc. Por último se proponen servicios a las poblaciones.

3.2.6.1. Capacidad de uso del suelo

La clasificación de la capacidad agrológica del terreno se señala con números ordinales del (I) al (VIII).

La clase (I) no tiene limitantes, es la óptima; la (VIII) es inservible agrológicamente.

Las clases de la (II) a la (VII) están determinadas por uno más de los factores limitantes, suelo, clima, topografía, erosión, inundación y salinidad.

Actualmente está en estudio el aumento de los factores limitantes para una más completa descripción y clasificación de la potencialidad de los diferentes suelos con que cuenta el país y además, mediante el conocimiento de un mayor número de propiedades y características de los suelos y de la región, se podrá aconsejar la clase de los cultivos más apropiados y la manera de mejorar las condiciones del suelo.

Las clases de suelo de la (I) a la (IV) son propias para la agricultura.

La clase (I) no tiene limitaciones, es un suelo muy bueno, con más de 1 m de profundidad, con agua suficiente todo el año, con pendiente igual o menor que 2% careciendo de erosión, pedregosidad, inundación y teniendo sales y sodio en cantidades mínimas. No presentan problemas de textura, el drenaje interno y el drenaje externo o superficial, ya sea natural o artificial

La clase (II) tiene limitaciones leves. El suelo es bueno y se trabaja con prácticas de labranza especiales, pero sencillas; hay buena disponibilidad de

agua ; el suelo tiene una mediana profundidad de medio metro a un metro ; la pendiente del terreno es "suave" de 2 a 6% . Presenta salinidad y/o sodicidad baja, e inundaciones ocasionales o periódicas; la pedregosidad no estorba las labores agrícolas, la erosión es incipiente.

Las prácticas de conservación de suelo más usuales son los cultivos en contorno, los cultivos en fajas, las fajas amortiguadoras, las barreras vivas y los desvíos de agua.

La clase III tiene limitaciones moderadas en cuanto al uso agrícola; es un suelo medianamente bueno, susceptible a la erosión por lo que necesita métodos de labranza especiales para controlarla. Hay regular disponibilidad de agua; la pendiente se considera entre 4 y 12% el espesor de suelo es de 35 a 50 cm, puede tener piedras grandes en el estrato, poca retención de humedad y una salinidad y/o sodicidad ligera. Cuando la pendiente es "suave", el factor limitante puede ser el de inundación, por ser frecuente o por dañar en forma moderada las cosechas. La causa de la inundación puede ser el mal drenaje interno y/o superficial

Las prácticas de cultivos en esta clase de suelo son las fajas en contorno y las barreras vivas situadas a menor distancia que en la clase II. Hay otras prácticas más complejas como las terrazas, los bancales y la construcción de desagües.

La clase IV es la apropiada para cultivos ocasionales o limitados, es decir, tiene limitaciones severas para cultivos anuales; más bien es adecuada para la practicultura o cultivos permanentes.

El suelo es somero de 25 a 35 cm de espesor; la pendiente es de 12 a 30%; tiene alta susceptibilidad a la erosión del viento y del agua; hay frecuentes inundaciones que permiten el crecimiento de pasto; son difíciles de drenar o regar; presenta salinidad y/o sodicidad en grado moderado; la pedregosidad es tal que no impide las labores agrícolas mecanizadas; no tiene suficiente disponibilidad de agua.

Los suelos de las clases V a VII son apropiados para la práticamente.

Las clases V y VI se diferencian solo en la pendiente. La clase V tiene una pendiente igual o menor que 2% por lo que es propicia a fuertes inundaciones; por ejemplo las ciénegas difíciles de drenar, pero que producen buenos pastizales. La clase VI tiene una pendiente entre 20 y 35%, ofreciendo escasa resistencia a la erosión del agua.

Estas clases son adecuadas para los cultivos perennes y vegetación natural, es decir, para la práticamente y la selvicultura con pequeñas o moderadas limitaciones. El espesor del suelo fluctúa entre 15 y 25 cm; la pedregosidad es tal, que permite el crecimiento del pasto, pero impide las labores agrícolas; la salinidad y/o sodicidad es fuerte; son suelos donde la precipitación anual es de 300 a 400 mm.

La clase VII es propicia para la selvicultura con limitaciones severas. El suelo es somero, con un espesor entre 8 y 15 cm y fuerte pendiente, mayor que 35%; las piedras son muy abundantes y la salinidad y/o sodicidad interviene en muy grandes concentraciones.

Son terrenos por lo general escarpados, quebrados, erosionados o muy

susceptibles a la erosión del viento, aunque también los hay planos, como las planicies de las zonas áridas.

La clase VIII comprende a los suelos inútiles agrológicamente y a las zonas sin suelo, donde aflora la roca madre, como son : las zonas muy escarpadas, rocosas; los pantanos, los playones de arena, las zonas atravesadas por numerosas cárcavas profundas o casi completamente erosionadas, las tierras áridas que a lo sumo producen plantas esparcidas, durante pocas semanas del año; los flancos escarpados de los barrancos rocosos con pocos y dispersos arbustos o árboles. Estos terrenos propician la vida silvestre.

La profundidad del suelo es menor de 8 cm, la pendiente mayor del 100%, la precipitación anual menor de 100 mm, la erosión casi total, la pedregosidad y la salinidad y/o sodicidad impiden el crecimiento de plantas útiles y la inundación dura casi todo el año.

A los factores antes citados se les denominan "limitantes", porque el más desfavorable de un suelo es el que lo clasifica; por ejemplo, si se tiene un suelo que es I por suelo, II por topografía, III por clima, III por erosión, I por inundación y II por salinidad, su clasificación será III por clima y erosión.

La limitante suelo considera la pedregosidad, la retención de humedad y básicamente la profundidad efectiva del suelo debida a capas duras, como mantos rocosos, horizontales petrocálicicos, duripanes y en general horizontes concrecionados, endurecidos o cementados. La profundidad también está limitada por el manto freático.

En resumen la capacidad agrológica se señala con diferentes y variados colores

en el plano, es decir, se separan zonas indicando la actividad a la cual se deben de dedicar esos terrenos para obtener el máximo beneficio, considerando el aspecto de la relación del recurso suelo con la vegetación.

3.2.6.2. Control de la erosión en el suelo

El control de la erosión se propone atendiendo a la calidad de los suelos, a su empleo y a la posibilidad de uso.

Se señala considerando tres grupos de suelos; los aptos agrícolamente, aunque pueden tener otros usos combinados, los suelos restringidos a praderas o a pastizales y por último los suelos restringidos a bosques o a frutales.

Se señalan dos tipos de control de erosión, el inmediato y el futuro.

A todos los suelos erosionados comprendidos desde la clase (II) a la (IV) por erosión, se les propone control inmediato; a los de la clase (V) a la (VII) por erosión, control a futuro.

Al (VII) por clima, de regiones áridas, no se le propone control de erosión.

Los suelos clasificados por el factor topografía, desde la clase (III) a la (VII) podrán llevar uno u otro control, aunque no aparezca la limitante erosión en la clasificación. La manera de efectuar el control de erosión no se propone, debido a que esta a juicio de quien se encargue de hacerlo.

3.2.6.3. Propuestas de obras de infraestructura

3.2.6.3.1. Almacenamientos

Los almacenamientos, los hay para diferentes usos, sirven para la irrigación, el abastecimiento de agua, el control de avenidas, la piscicultura o la recreación.

Los usos que se les dan a los almacenamientos pueden ser únicos o combinados.

Se emplean todas las cartas, es decir, la topográfica, la de climas, la geológica, la de uso del suelo y la edafológica, lo mismo que los mapas disponibles de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos de la zona en cuestión, para formular las proposiciones de los almacenamientos, los cuales, una vez construidos, deben de cumplir las siguientes condiciones: tener una capacidad mínima anual de medio millón de m³; que la corriente tenga un estrechamiento natural y que las condiciones geológicas del lugar sean apropiadas; que se garantice una carga hidráulica de por lo menos 20 m, para generar energía; que las tierras de riego estén cuando mucho a 5 km de la presa y que las afectaciones en general la inversión sean congruentes con el beneficio esperado.

3.2.6.3.2. Caminos

Se hace la proposición de camino a todas las poblaciones de más de 500 habitantes que carecen de él aprovechamiento de las brechas existentes, que la alternativa propuesta sea de mínima longitud y que la afectación de los terrenos mejores sea mínima.

Se propone libramientos en las poblaciones que tiene problemas de tránsito en sus calles. Los acortamientos se proponen cuando se observan posibilidades de abatir costos y tiempos de transportación.

Las aeropistas se proponen a las poblaciones con más de medio millar de habitantes y que no se les puede proporcionar camino. La distancia máxima al aeropuerto más próximo será de 100 km.

El lugar debe ser plano, despejado, bien drenado, sin obstáculos y a no más de 5 km de distancia del poblado a comunicar.

3.2.6.3.3. Servicios

Todas las poblaciones requieren de obras de variados tipos para satisfacer las necesidades físicas, intelectuales, sociales y políticas de sus moradores.

Las proporciones se hacen tomando en cuenta básicamente datos estadísticos de las poblaciones, que carecen de los servicios necesarios.

Los servicios que se proponen son:

Abastecimiento de agua a poblaciones que tienen más de 300 habitantes; la fuente de abastecimiento puede ser superficial, como las presas, los bordos, etc. o puede ser subterránea. Para la decisión entre una y otra alternativa se ayuda con el plano geológico y los informes complementarios del mismo.

La escuela se propone a poblaciones con más de 500 habitantes.

La telecomunicación se propone a poblaciones de más de 500 habitantes y puede efectuarse por medio de radio, telégrafo o teléfono.

El drenaje, ya sea por fosa séptica o por emisor, a todas las poblaciones con más de 500 habitantes.

El centro asistencial se propone a las poblaciones de más de un millar de habitantes.

La energía eléctrica a las poblaciones de también mil habitantes o más.

Esta carta nos proporciona la localización de caminos, ferrocarriles, aeropuertos y almacenamientos existentes, así como límites y obras culturales.

Hay disponible información adicional en cada punto de verificación de cada zona clasificada con datos más específicos y desglosados de cada factor.

3.2.7. Mapa Urbano

Se elabora para poblaciones mayores que 40,000 habitantes, por procedimientos fotogramétricos, a colores y a escala de 1: 5,000.

Se marcan las carreteras rurales y urbanas, las vías de ferrocarril, las calles, las brechas y veredas, las líneas de energía eléctrica, los canales de aguas negras, los acueductos, etc.; también se ilustra la conformación de las manzanas, las zonas construidas y baldías, las bardas, cercas o divisiones.

Señala los servicios municipales, médicos y públicos en general, centros de enseñanza, culturales, recreativos y turísticos; muestra a colores, las zonas arboladas, los matorrales y los cultivos; la hidrografía consta de ríos, corrientes intermitentes y lagunas perennes e intermitentes.

El mapa urbano es útil, pues proporciona información para el diseño del drenaje urbano y de obras de arte de las carreteras urbanas.

3.2.8. Fotografías aéreas

Las fotografías aéreas están ubicadas dentro del grupo de sensores utilizados para la obtención de información del terreno.

De acuerdo con la longitud de onda utilizada por el instrumento que recibe la del terreno, se tiene:

- 1) Detectores de partículas de gran energía y alta frecuencia
- 2) Cámara fotográfica convencional con emulsiones sensibles en la banda comprendida entre el ultravioleta y el infrarrojo.
- 3) Instrumentos especialmente sensibles al infrarrojo.
- 4) Instrumentos pasivos de microonda
- 5) Radar
- 6) Radio
- 7) Instrumentos acústicos
- 8) Magnetómetros
- 9) Gravímetros

Las cámaras aéreas son los instrumentos para obtener las fotografías y se

clasifican según a) El tipo de formato, b) el uso, c) la inclinación del eje y d) el material empleado para las fotografías. De acuerdo con la primera clasificación se consideran cámaras con formato y sin formato; las que tienen formato a su vez se subdividen en normal, cuyo campo angular es menor de 75° , la gran angular, entre 75° y 100° y la superangular con campo angular mayor que 100° . Las sin formato, llamadas también panorámicas, las hay con lente giratorio o con espejo giratorio.

Las clasificadas según su uso se conocen como de reconocimiento, que sirven para identificación, la métricas, para realizar mediciones, y las especiales, como las que sirven para tomar fotografías nocturnas o infrarrojas.

Las de tercer grupo se subdividen en verticales, que como máximo tienen 3° de inclinación, las inclinadas, entre 3° y 90° y las que sirven para fotogrametría terrestre, a las cuales se les adapta un teodolito.

Las del último grupo se dividen en de placas y de película.

La distancia focal o principal es por lo general de 152 mm aproximadamente.

Se captan desde aviones o avionetas que vuelan en líneas paralelas con una separación y altitud que dependen de la escala propuesta.

La sobreposición lateral debe ser de 20 a 30% y la longitudinal de 60 a 80%, para que un mismo punto aparezca por lo menos en 2 fotografías y así lograr el efecto de visión estereoscópico.

Las restricciones al tomar las fotografías son que las nubes no cubran más del

5% del área fotografiada y que el ángulo de altura del sol esté entre 45° y 75° con respecto al horizonte, dependiendo de la topografía del terreno; como ejemplo está el siguiente: al fotografiarse un terreno demasiado plano donde haya que resaltar los pequeños rasgos, ya sean los topográficos, como promontorios y oquedades, así como los de la vegetación o los artificiales se procurará que el ángulo mencionado sea del orden de 15°, ya que así dichos rasgos proyectarán mayor sombra y se distinguirán mejor.

La deriva o ángulo horizontal formado por la línea del vuelo y el eje longitudinal de la cámara, no debe exceder de 4°; el giro alrededor del eje de vuelo o balanceo y el giro alrededor del eje normal al de vuelo o cabeceo, no deben excederse de 3°.

La escala media de las fotografías o escala de vuelo se determina por la relación de la distancia focal de la cámara (f) entre la altura de vuelo (H).

$$E_m = f/H$$

Además tenemos que (l) es el formato o longitud de cada lado del negativo de toma y (L) es la longitud del terreno cubierta por la fotografía, por lo que también la escala la podemos representar por :

$$E_m = l/L$$

Por lo tanto, como para una cámara la distancia focal y el formato son constantes, la escala y el área cubierta por cada fotografía dependen únicamente de la altura de vuelo.

La manera de conocer la escala sin conocer la focal, ni la altura de vuelo es proceder a comparar una distancia conocida en el terreno con la distancia que refleja en la fotografía.

Cuando se tienen reveladas las fotografías de las diferentes líneas, se forma el fotoíndice de vuelo o mosaico uniendo las fotografías adyacentes y procurando utilizar de preferencia la parte central de la fotografía, que es la menos distorsionada.

Las escalas apropiadas para estudios hidrológicos son entre 1:70,000 y 1:30,000 para exploración y reconocimiento, de 1:35,000 a 1:15,000 para el semidetalle y de 1:20,000 a 1 : 5,000 para el detalle.

Las fotografías son herramientas que el fotointérprete, mediante el arte técnico de fotointerpretación, que es la determinación de la naturaleza y descripción de los objetos cuyas imágenes aparecen en una fotografía, utiliza para obtener la información requerida.

La primera insinuación para lograr fotografías aéreas aparece en una litografía francesa de 1840. En 1858 el fotógrafo Gaspard Félix Tournachón ascendió en globo cautivo para tomar fotografías aéreas de los alrededores de París con objeto de obtener planos topográficos de algunas villas.

En los Estados Unidos Samuel A. King y J. W. Black tomaron las primeras fotografías desde globos cautivos a 400 m de altura sobre la ciudad de Boston en 1860. Posteriormente, durante la guerra civil, el general Mc Clellan ordenó a los especialistas en globos La montaine y Allon tomar fotografías de las posiciones confederadas.

En 1879 Triboulet tomó fotografías aéreas de París a 500 m de altura y usó por primera vez placas fotográficas a partir de gelatina seca. En 1880 Desmarest usó placas de gelatina con bromuro de plata obteniendo excelentes negativos. En Viena en 1885 Silberer efectuó más experimentos de fotografías aéreas.

Para que se desarrollara la fotointerpretación fue necesario que los aviones desplazaran a los globos, así las primeras fotografías tomadas desde un avión las realizó Wilbur Wright el 24 de abril de 1909 tomando vista de Centocelli, Italia, mediante película en movimiento. Poco tiempo después los estudiantes de la aviación alemana empezaron a usar cámaras en los vuelos de entrenamiento.

Durante la primera guerra mundial un grupo de aviadores ingleses logró tomar fotografías aéreas a baja altura que resultaron de gran valor para el servicio de inteligencia; esto dio gran impulso a la toma de fotografías por ingleses y franceses, al proceso de revelado, a la fotointerpretación y a la investigación sobre las cámaras aéreas, siendo el coronel Moore Brabazon en colaboración con Thorton Pickard quienes fabricaron la primera cámara aérea práctica.

En la segunda guerra mundial, los países involucrados contribuyeron grandemente al desarrollo de aviones, cámaras, película, filtros, etc. y a la fotointerpretación misma.

Puede considerarse que de 1950 data el desarrollo intenso de la fotointerpretación en actividades civiles.

En México alrededor del año de 1958 arrancan fuertes programas de

fotointerpretación, en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, aunque con anterioridad en pequeña escala ya se trabajaba, sobre todo en el sector privado o en planes de investigación.

El paso de más trascendencia en este campo data de 1968 cuando fue fundada la dirección de Estudios de Territorio Nacional (hoy INEGI), en la que la fotointerpretación se emplea como técnica fundamental para elaborar la cartografía temática de la República Mexicana.

El fotointérprete trabaja fundamentalmente con su mente, analizando fotografías estereoscópicas verticales, aunque algunos estudios también pueden hacerse con fotografías oblicuas, cuya escala está en función de la naturaleza del estudio.

La formación del modelo estereoscópico puede hacerse a simple vista pero normalmente se usan estereoscopios de bolsillo, de espejos y aún dobles, que proporcionan más comodidad, permiten hacer el trabajo más sistematizado y observar las imágenes magnificadas. Este equipo, lápiz y goma suelen ser suficientes para el fotointérprete.

Los elementos de la fotointerpretación son cinco.

Topografía : Observando las formas de relieve como montes, lomas, valles, gargantas, etc. el emplazamiento de los accidentes del terreno, las pendientes y rupturas de las mismas, los alineamientos, las anomalías y discordancias, se obtiene información sobre la naturaleza de los materiales, suelos y rocas que lo forman.

Drenaje : Según su forma, densidad e integración se obtienen una idea del tipo de suelo o de la roca, de los espesores, su formación, permeabilidad, etc.

Erosión : Según el comportamiento de rocas y suelos ante la erosión se obtiene información sobre su naturaleza, resistencia, textura, etc.

Tono o color: Permite el color del suelo o de la vegetación distinguir la forma de los objetos y sus variaciones, humedad, etc.

Uso de la tierra: Muestra el destino que da el hombre o la naturaleza al terreno. Es muy importante dar especial atención al clima.

Estudiando detenidamente las imágenes y dando especial atención a estos elementos, el fotointérprete puede ir avanzando en el conocimiento del área estudiada, hasta niveles de gran profundidad.

La fotointerpretación es un estupendo método de reconocimiento cuando se va a explorar una zona en la que se ha planeado alguna obra.

Las aplicaciones principales que de ella pueden hacerse abarcan casi todos los campos de la actividad humana; a continuación mencionamos algunos de ellos.

Geografía : A través de la fotointerpretación puede obtenerse información de : poblaciones, vías de comunicación, obras de infraestructura, uso del suelo, vegetación, rocas, hidrografía, etc.

Demografía : Se obtiene información sobre: localización y distribución de

centros de población, áreas urbanas, comunicaciones, electrificación, educación, agricultura, zonas industriales, muestreos estadísticos de vivienda y habitantes.

Geología : Se obtienen los siguientes aspectos: morfología, fisiografía cuencas de captación, escurrimientos superficiales, datos geohidrológicos, manantiales, rocas y su clasificación, estructuras, estratigrafía, suelos, vulcanismo, etc.

Suelos : Se obtiene información geológica, agrológica y de mecánica de suelos sobre los siguientes aspectos: clasificación de suelos, aprovechamiento, uso y mejoramiento, protección a la erosión, problemas de cimentación, materiales de construcción y localización de zonas de prueba.

Agricultura : Se puede obtener información sobre: aspectos generales del clima, de riego o de temporal, práticamente, floricultura, presas y canales, obras de drenaje, tenencia y delimitación de propiedad, etc.

Vegetación : Se obtiene información sobre: bosques, selvas, pastos, asociaciones especiales de vegetación, densidad y volumen, reforestación, viveros, etc.

Explotación del Subsuelo: Se obtienen datos para el estudio de agua subterráneas, minería, petróleo, zonas de posibilidad y profundidad de acuíferos, potencialidad estimada, métodos de extracción, control de explotación, recarga de acuíferos, áreas mineralizadas, accesos, sistemas de fallas y fracturamiento, etc.

Son también muy importantes las aportaciones que la fotointerpretación puede

hacer a los usos militares, a la estadística, a la planeación económica y a otras disciplinas.

3.2.9. Información pluviográfica, pluviométrica y de aforos

Los datos históricos obtenidos de las estaciones pluviográficas y pluviométricas se utilizan para procesar la información de lluvias y la obtenida de las estaciones de aforos para procesar los gastos históricos de la corriente.

La dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes realizó en 1973 un estudio titulado "Modelos de Análisis de las Características de la Precipitación y de las Condiciones de la Cuenca para Obtener Criterios de Diseño de Estructuras de Cruce y Drenaje de Carreteras", uno de cuyos capítulos consistió en recopilar la información y uso general en Hidrología disponible hasta Diciembre de 1972.

En dicho estudio se han separado las estaciones que sólo tienen escala de las que tienen escala y limnógrafo. En ella se indica el número de estaciones instaladas en cada Estado, la superficie promedio cubierta por cada estación y el período promedio de registro de cada una de éstas.

De igual forma se muestra la República Mexicana con la misma división rectangular efectuada por el INEGI en la que el tamaño de los rectángulos es de 20' en el sentido de la longitud y 15' en el de la latitud. Cada uno de los rectángulos está dividido en dos partes: en la superior se indica el número de estaciones instaladas dentro del mismo que solo tienen escala y en la inferior el de estaciones con escala y limnógrafo

En el informe general ya mencionado se presenta una información más detallada relativa a las estaciones hidrométricas, que comprende el nombre, las coordenadas geográficas y la fecha de iniciación y de terminación del o de los períodos de registro de cada estación, agrupadas éstas por Estado.

Existe en el contenido de la publicación la clasificación de las estaciones que tienen pluviógrafo de las que no lo tienen, es decir de las que sólo disponen de pluviómetro y se proporciona la misma información que en el caso de las estaciones hidrométricas.

También en forma similar en la representación de las estaciones hidrométricas, cambiando únicamente los números que aparecen en cada rectángulo de la cuadrícula se realiza la misma división del país; ahora el número superior representa las estaciones con pluviómetro y el inferior las que cuentan con pluviógrafo.

3.3. Características fisiográficas de las cuencas

3.3.1. Area de cuenca

Es una porción de área o superficie terrestre, tal que si fuera permeable, todas las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas hacia un sistema de corrientes con un mismo punto de salida.

La definición anterior es para una cuenca superficial pero por lo regular está asociada a una cuenca subterránea. La cuenca subterránea puede tener en planta una configuración semejante a la superficial pero aunque no igual. De aquí que se haya considerado la condicionante de tener una cuenca permeable.

Se puede decir que la unidad básica en la hidrología es la cuenca hidrológica.

Las cuencas se pueden clasificar desde el punto de vista de su salida y fundamentalmente existen dos tipos que son: endorréicas en donde su punto de salida se encuentra dentro de los límites de la cuenca, un ejemplo representativo de estas cuencas son los lagos. Exorréicas, en estas cuencas su punto de salida se localiza en los límites de la cuenca y pueden descargar en otras corrientes o bien en el mar.

Si se hace una transpolación del ciclo Hidrológico al punto de vista de cuenca se le puede considerar como un estímulo que se representa por la precipitación de lluvia. La cuenca a su vez reacciona con escurrimiento en su salida.

En el lapso de excitación y reacción de la cuenca; dentro de esta se suceden varios sucesos que alteran dicha respuesta. Los modificadores de respuesta por lo general son regularizados o determinados por las características geológicas y morfológicas de la cuenca.

3.3.2. Parteaguas

Es una línea imaginaria que une los puntos de mayor nivel topográfico y tal línea divide a una cuenca de otra. De este concepto se puede inferir que el área de una cuenca es la superficie en proyección horizontal, que es delimitada por el parteaguas.

3.3.3. Longitud del cauce principal

Es la distancia medida desde el nacimiento de una corriente en una cuenca

hasta el sitio donde se construirá la obra de drenaje para una vía terrestre, es decir, hasta su salida.

3.3.4. Pendiente del cauce principal

Es el resultado de un estudio topográfico; el resultado se basa en que por medios matemáticos y tomando en cuenta depresiones, cambios bruscos de elevaciones de terreno, se puede conocer en gabinete el comportamiento del cauce en estudio. Otra característica importante de la pendiente del cauce principal es la de ser indicadora del grado de respuesta de una cuenca a la precipitación que se presente sobre de ella.

Como la pendiente no se mantiene uniforme en todo el cauce es necesario definir una pendiente media, para la determinación de tal pendiente existen varios métodos de los cuales se mencionan los siguientes.

3.3.4.1. Método aritmético

Este método consiste en determinar desniveles parciales a lo largo del cauce principal y sumar dichos desniveles para posteriormente dividirlo entre el número de tramos en que se dividió el cauce.

3.3.4.2. Método de compensación de áreas

En este método es necesario contar con el perfil del cauce; la pendiente media queda determinada por una línea recta que, apoyándose en el extremo de aguas abajo y aguas arriba del perfil de la corriente, hace que se tengan áreas

iguales entre el perfil del cauce arriba y abajo de dicha línea.

3.3.4.3. Método de Taylor-Schars

Este método consiste en dividir el cauce en partes iguales, por lo regular diez partes y en cada uno de los tramos se determina la pendiente, para posteriormente determinar un promedio pesado.

3.4. Período de retorno

El período de retorno de una avenida en un río, necesario para poder proyectar las dimensiones del puente que resuelva el cruce de la corriente, debe considerar la vida útil de la estructura en proyecto, el costo de la misma, el costo de sus reparaciones y el riesgo que se puede aceptar que la obra falle, así como las consecuencias de su colapso. Generalmente el gran número de obras, los programas de construcción y la carencia de información durante la etapa de los estudios, no permiten efectuar análisis detallados para definir el período de retorno, sin embargo, de las diversas investigaciones realizadas en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se consideró conveniente que los puentes para carreteras deben proyectarse para drenar el caudal que se genera para períodos de retorno de 50 años y que las estructuras menores a éstas deberían construirse para 25 años.

Debido a los recientes eventos meteorológicos que se suscitaron en la costa del estado de Chiapas en el año de 1998, mismos que provocaron el colapso de más de 50 puentes de la red carretera y ferroviaria, la Secretaría decidió revisar nuevamente los criterios del período de retorno de avenidas máximas para el diseño de puentes, llegando a la conclusión de que sería necesario incrementar el valor del mismo, definiendo para estas estructuras un período de retorno de 100 años en cualquier tipo de carretera, y en caso de que se encuentre el cruce de la vía terrestre con grandes ríos (Grijalva, Panúco, Usumacinta, etc.) o pueda afectar a grandes poblaciones (Villahermosa, Tab., Panúco, Ver., etc.), el período de retorno debe ser de 500 a 1000

años o hasta más, como fue el caso que se tuvo en la ciudad de La Paz, B.C., donde el puente que se proyectó para el arroyo El Cajoncito se diseñó considerando un período de retorno de 2000 años. Otra de las conclusiones a que se llegaron durante el análisis de estos eventos fue la de considerar un período de retorno basándose en la posición topográfica que guarda la corriente en la zona donde se construiría el puente, quedando que para los cruces con corrientes de montaña el período de retorno que se elegiría para diseñar el puente en cuanto a cimentación y altura vertical es de 100 años, en zonas de transición (de montaña a planicie) la altura se define para 100 años y la cimentación para 25 años, mientras que en las llanuras de inundación es similar al de transición, solamente que en esta última zona los terraplenes de accesos al puente tienen que mantenerse a pelo de tierra por debajo del nivel que se alcance para el período de retorno de 25 años. Actualmente con la aparición de las diversas frecuencias, para no crear una confusión mayor, se ha decidido que se diseñen todos los puentes para 100 años, salvo casos excepcionales, como ya se comentó anteriormente.

Se puede decir que los cambios mostrados en la naturaleza por la tala de los bosques y erosión de los suelos han llevado a los ingenieros a tomar en cuenta estas alteraciones climáticas y meteorológicas a fin de realizar las modificaciones pertinentes para mejorar el diseño de los puentes.

3.5. Obtención del gasto hidrológico

3.5.1. Método Racional

El gasto hidrológico de una corriente con este método se determina mediante la siguiente expresión.

$$Q_p = 0,278CIA$$

Donde:

Q_p	Gasto máximo, en m^3/s .
C	Coeficiente de escurrimiento, adimensional.
I	Intensidad de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración, en mm/h.
A	Área de la cuenca drenada, en km^2 .
0.278	Factor de homogeneidad de unidades.

El coeficiente C representa la relación entre el volumen escurrido y el llovido, y depende del tipo de terreno o superficie de la cuenca en estudio. En la tabla siguiente se muestran los valores que se deben adoptar para dicho coeficiente.

TIPO DEL AREA POR DRENAR	Pendiente, En porcentaje	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO, C
Con césped		
Suelo arenoso	2	0.05 – 0.10
Suelo arenoso	2 a 7	0.10 – 0.15
Suelo arenoso	7	0.15 – 0.20
Suelo grueso	2	0.13 – 0.17
Suelo grueso	2 a 7	0.18 – 0.22
Suelo grueso	7	0.25 – 0.35
Zonas comerciales		
Áreas céntricas		0.70 – 0.95
Áreas vecinas		0.50 – 0.70
Zonas residenciales		
Áreas familiares		0.30 – 0.50
Áreas multifamiliares separadas		0.40 – 0.60
Áreas multifamiliares juntas		0.60 – 0.75
Áreas suburbanas		0.25 – 0.40

TIPO DEL AREA POR DRENAR		COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO, C
Areas de apartamentos habitacionales		0.50 - 0.70
Zonas industriales		
Claros		0.50 - 0.80
Zonas densamente construidas		0.60 - 0.90
Parques y cementerios		0.10 - 0.25
Areas de recreo		0.20 - 0.35
Patios de FF CC		0.20 - 0.40
Areas provisionales		0.10 - 0.30

En caso de que la cuenca por drenar esté compuesta por diferentes tipos de suelo, el coeficiente de escurrimiento global C se debe obtener mediante la siguiente ecuación.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{A}$$

Donde:

C	Coeficiente de escurrimiento global.
C _i	Coeficiente de cada área parcial.
A _i	Área parcial, en km ² .
n	Número de áreas parciales.
A	Área total de la cuenca, en km ² .

Para evaluar el tiempo de concentración puede emplearse la siguiente ecuación determinada por Kirpich.

$$T_c = 0,0662 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Donde:

T _c	Tiempo de concentración, en h.
L	Longitud del cauce principal, más la distancia desde el inicio del escurrimiento, al parteaguas, medida perpendicularmente a las curvas de nivel, en km.
S	Pendiente del cauce, adimensional y en decimales.

Una vez determinado el tiempo de concentración se debe determinar la intensidad de lluvia a partir de las Isoyetas de Intensidad de Lluvia – Duración – Frecuencia para la República Mexicana, elaboradas y publicadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes que actualmente se han actualizado para periodos de retorno de más de 100 años, facilitando los cálculos para la obtención del gasto hidrológico; se debe considerar la duración de la tormenta igual al tiempo de concentración calculado y; el periodo de retorno se fija de acuerdo al criterio mencionado anteriormente.

El método se aplica con resultados confiables para áreas de cuenca hasta de 25 km², sin embargo, en la práctica se aplica hasta áreas de cuenca de 100 km², considerando que el grado de confiabilidad disminuye al incrementarse el área.

Las hipótesis en que se basan los métodos empíricos en general suponen que la duración de la tormenta coincide con el tiempo de pico del escurrimiento, que todas las porciones de la cuenca contribuyen a la magnitud de éste, que la capacidad de infiltración es constante en el tiempo, que la intensidad de precipitación es uniforme sobre toda la cuenca y que sus antecedentes de humedad y almacenaje son despreciables.

3.5.2. Método de Ven Te Chow

El método fue deducido basándose en el concepto de hidrogramas unitarios e hidrogramas unitarios sintéticos. En la descripción del método se usará la siguiente notación.

A	Área de la cuenca, en km^2 .
d	Duración total de la tormenta, en h.
L	Longitud del cauce principal, en m.
N	Número de escurrimiento, adimensional.
P	Altura de precipitación en la zona en estudio para una duración d, en cm.
P_b	Altura de precipitación en la estación base para la duración d en cm.
P_a	Altura de precipitación media anual en la zona en estudio, en mm.
P_{ab}	Altura de precipitación media anual en la estación base, en mm.
P_e	Altura de precipitación en exceso en la zona en estudio, para una duración d, en cm.
Q_b	Gasto base, en m^3/s .
Q_d	Gasto hidrológico, en m^3/s .
Q_m	Gasto de pico del hidrograma del escurrimiento directo, en m^3/s .
q_m	Gasto de pico del hidrograma unitario, en m^3/s por cm de lluvia en exceso para una duración de d horas.
S	Pendiente media del cauce, en porcentaje.
t_p	Tiempo de retraso, en h.
X	Factor de escurrimiento, en cm/h.
Y	Factor climático, adimensional.
Z	Factor de reducción del pico, adimensional.

ESTOY EN LA BIBLIOTECA

Se emplean las siguientes ecuaciones:

$$Q_m = 2.78AXZ \quad (1)$$

$$X = \frac{P_e}{d} \quad (2)$$

$$Q_d = Q_b + Q_m \quad (3)$$

$$P_e = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5,08 \right]^2}{P + \frac{2,032}{N} - 20,32} \quad (4)$$

$$t_p = 0,00505 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0,64} \quad (5)$$

Para aplicar el método se requiere contar con los siguientes datos:

- a) Área de la cuenca; se obtiene de cartas topográficas o fotografías aéreas.
- b) Longitud del cauce principal; se obtiene de cartas topográficas o fotografías aéreas.
- c) Pendiente media del cauce principal; se obtiene de cartas topográficas o fotografías aéreas.
- d) Tipos de suelo en la cuenca; se obtiene de cartas y de información de

campo.

- e) Usos del suelo en la cuenca; se obtiene de cartas, fotografías aéreas y de información de campo.
- f) Isoyetas de Intensidad de Lluvia – Duración – Frecuencia.

El procedimiento de cálculo para obtener el gasto máximo asociado a un determinado período de retorno empleando el método de Chow es el siguiente:

- a) Con los datos del tipo y uso de suelo se determina el valor de N, de la tabla siguiente.

Uso de la tierra o cobertura	Condición de la superficie	Tipo de suelo			
		A	B	C	D
Bosques (sembrados y cultivados)	Ralo, baja transpiración	45	66	77	83
	Normal, transpiración media	36	60	73	79
	Espeso o alta transpiración	25	55	70	77
Caminos	De tierra	72	82	87	89
	Superficie dura	74	84	90	92
Bosques naturales	Muy ralo o baja transpiración	56	75	86	91
	Ralo, baja transpiración	46	68	78	84
	Normal, transpiración media	36	60	70	76
	Espeso, alta transpiración	26	52	62	69
	Muy espeso, alta transpiración	15	44	54	61
Descanso (sin cultivo)	Surcos rectos	77	86	91	94
Cultivos de surco	Surcos rectos	70	80	87	90
	Surcos en curvas de nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	73	79	82
Cereales	Surcos rectos	64	76	84	88
	Surcos en curvas de nivel	62	74	82	85
	Terrazas	60	71	79	82
Leguminosas (sembradas con maquinaria o al voleo) o potrero de rotación	Surcos rectos	62	75	83	87
	Surcos en curvas de nivel	60	72	81	84
	Terrazas	57	70	78	82
Pastizal	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
	Curvas de nivel, pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel, normal	25	59	75	83
	Curvas de nivel, bueno	6	35	70	79
Potrero (permanente)	Normal	30	58	71	78
Superficie impermeable		100	100	100	100

Los suelos se clasifican en 4 tipos según afecten al escurrimiento las características del material.

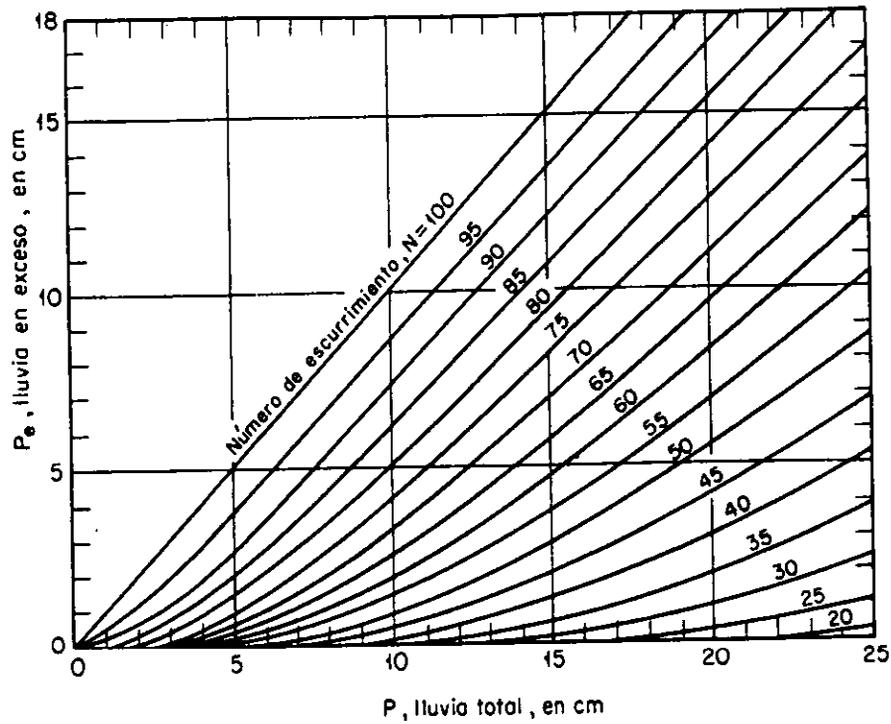
- Tipo A Suelos con potencial de escurrimiento mínimo. Incluye gravas y arenas de tamaño medio limpias y mezcla de ambas.

- Tipo B Suelo con infiltración media inferior a la del tipo A. Incluye arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezcla de arena y limo.

- Tipo C Suelos con infiltración media inferior a la del tipo B. Comprende arenas muy finas, arcillas de baja plasticidad, mezcla de arena, limo y arcilla.

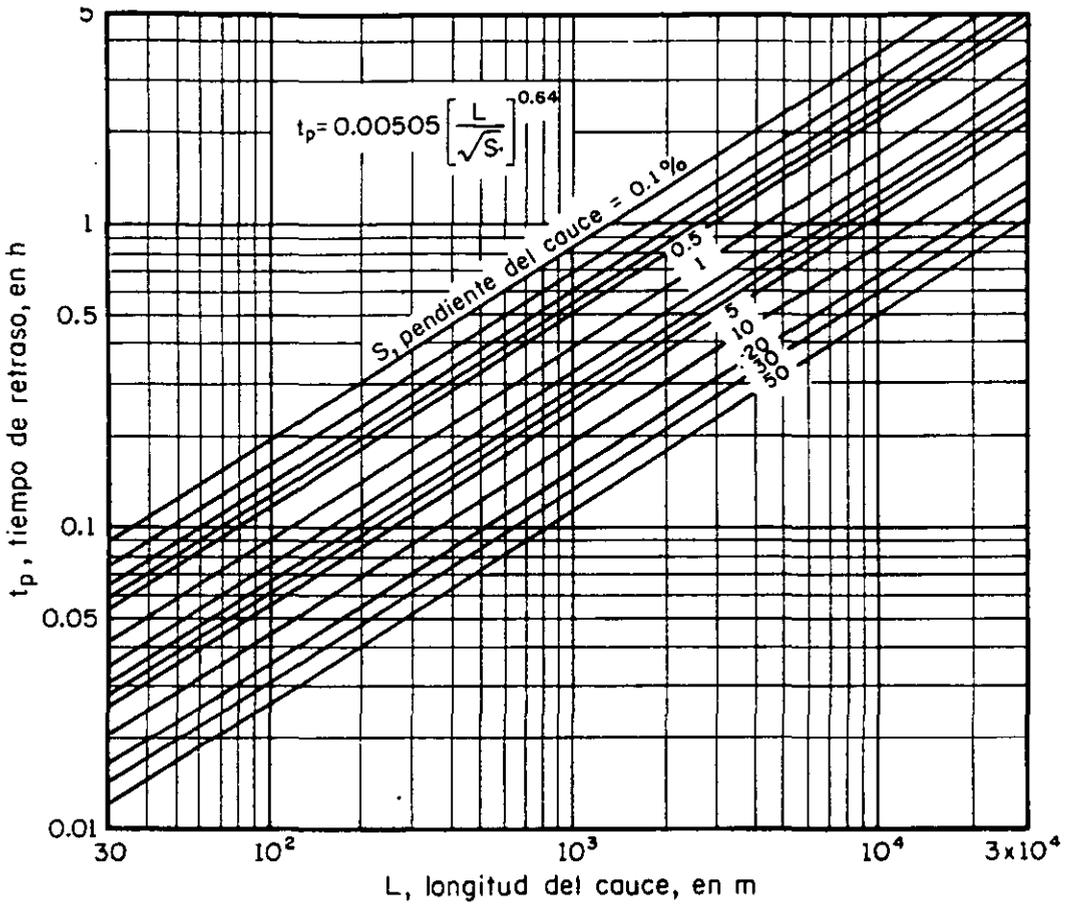
- Tipo D Suelos con potencial de escurrimiento máximo. Incluye principalmente arcillas de alta plasticidad, suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie

- b) Se calcula la duración de lluvia con la ecuación de Kirpich dada en el método Racional.
- c) De las Isoyetas de Intensidad de Lluvia – Duración – Frecuencia, con el valor de d y el período de retorno elegido de acuerdo a la importancia de la obra, se obtiene la intensidad de lluvia para la tormenta. La precipitación P asociada a esta intensidad se obtiene multiplicando dicha intensidad por la duración elegida.
- d) Con el valor de N y el valor de P , se determina la lluvia en exceso P_e empleando la ecuación (4) o con la figura siguiente.



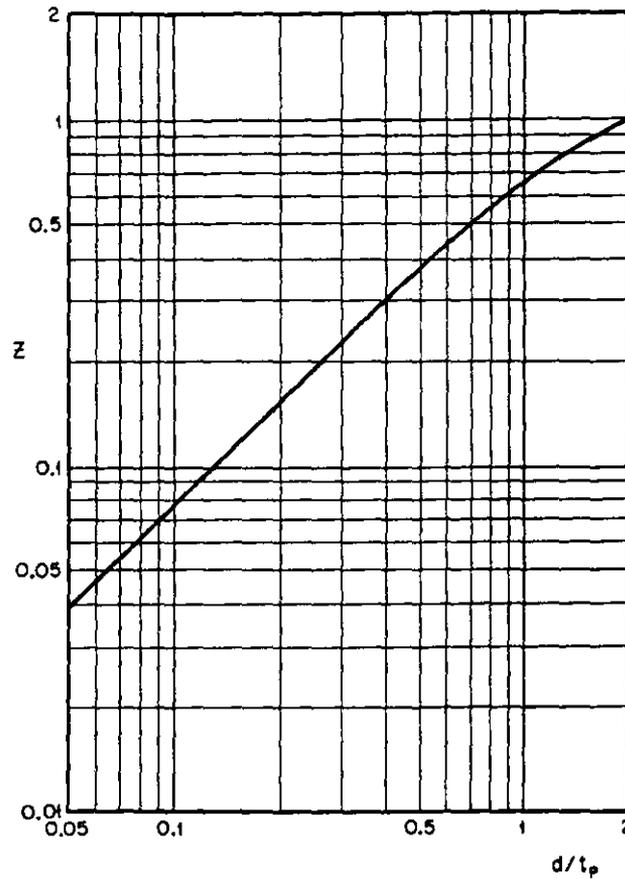
Relación entre la lluvia total y la lluvia en exceso para diferentes números de escurrimiento

- e) Con el valor de P_e y el valor de d , se calcula X aplicando la ecuación (2).
- f) Con la longitud y pendiente del cauce, aplicando la ecuación (5) o con la figura siguiente, se calcula el valor de t_p .



Determinación del tiempo de retraso

- g) Se calcula la relación d/t_p y empleando la figura siguiente, se obtiene el valor de Z .



Relación entre Z y d/t_p

- h) Aplicando la ecuación 1 se calcula el gasto.
- i) Se repiten los pasos c a h para otras duraciones de tormenta, según se indica en el punto b).
- j) El mayor gasto, corresponde al Q_m buscado.
- k) Si la corriente es perenne, se le agrega al gasto máximo determinado en el inciso j el flujo base Q_b , ecuación (3), para obtener el gasto hidrológico definitivo, Q_d .

El método de Chow es probablemente el más confiable de los métodos empíricos. Es recomendable aplicarlo siempre que sea posible. Sus resultados son muy confiables hasta para áreas de cuenca de $25 \cdot \text{km}^2$. En la práctica se aplica hasta para áreas de cuenca de 250 km^2 , considerando que a mayores dimensiones los resultados serán menos confiables. En cualquier caso los resultados que se obtienen son muy sensibles a la variación del número de escurrimiento N , por lo que su determinación debe hacerse cuidadosamente.

3.5.3. Método estadísticos

Para la aplicación de estos métodos es necesario disponer de los gastos máximos anuales aforados en la corriente; estos datos se hacen intervenir en algún método estadístico para determinar, dentro de un cierto margen de aproximación denominado intervalo de confianza, el gasto hidrológico asociado a un cierto período de retorno.

Cuando en la corriente en estudio se disponga de una estación de aforos con suficientes años de registro, se aplica alguno de los métodos estadísticos (Método de Gumbel, Gumbel I, Log Gumbel, Log Gumbel I, Normal, Doble Normal, Log Normal 3 parámetros, Log Normal, Pearson y Gamma). Con ellos es posible determinar el gasto de diseño en función del período de retorno elegido. En las cuencas chicas, menores de 25 km^2 , generalmente no se dispone de aforos, por lo que los métodos más confiables son los empíricos, que relacionan la lluvia con el escurrimiento y las características fisiográficas de las cuencas.

Para que una distribución de probabilidades se considere aplicable basta con que muestre cierta concordancia con los datos que serán procesados. Así el método que dará resultados más confiables será aquel cuya distribución de probabilidades se ajuste más a los gastos aforados de la corriente en estudio, lo cual viene a ser un procedimiento empírico para obtener una expresión de la distribución de probabilidades de las avenidas.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de la Dirección General de Servicios Técnicos ha elaborado un programa, que ajusta las distribuciones de probabilidad que aquí se tratan a la serie de datos que se desee analizar y proporciona los gastos de avenidas asociados a los períodos de retorno que se elijan. Este programa proporciona además, para cada una de las distribuciones, el grado en que ésta se ajusta a los datos, valorando según tres criterios diferentes, Mínimos Cuadrados, Momentos y Kolmogorov – Smirnov. (Actualmente se emplea la primera opción que ha resultado ser la que mejor se ajusta a la muestra de datos).

Todas las distribuciones de probabilidad que se mencionan en este Fracción siguen el mismo procedimiento de cálculo y su elección dependerá, como ya se dijo, de cómo se ajusten a los datos con los criterios señalados. Conviene mencionar que el programa solamente requiere de ingresar los datos de gastos máximos de la estación de aforos para que proporcione para cada una de las distribuciones, los gastos de diseño correspondientes a los períodos de retorno ordenados y las pruebas de ajuste, de acuerdo a los tres criterios antes señalados. Lo anterior permite elegir el gasto hidrológico correspondiente al método que mejor se ajuste a los gastos aforados. A manera de ejemplo de la aplicación de los métodos se muestra el procedimiento de cálculo por el método de Gumbel.

3.5.3.1. Método de Gumbel

La fórmula de Gumbel se expresa de la siguiente manera:

$$F(q) = P(Q < q) = e^{-e^{-\frac{q+a}{c}}} \quad (1)$$

Donde:

- F(q) Función de probabilidad de q.
- P Probabilidad.
- Q Variable aleatoria que representa el gasto.
- q Valores del gasto.
- e Base de los logaritmos naturales.
- a Parámetro.
- c Parámetro.
- T Período de retorno, en años.

Si P (Q<q) es la probabilidad de que Q sea menor que q, la probabilidad de que Q sea igual o menor que q es el complemento de la anterior, o sea.

$$P (Q \geq q) = 1 - P (Q < q) \quad (2)$$

Por otra parte:

$$P (Q \geq q) = 1/T \quad (3)$$

Sustituyendo el valor de P (Q≥q) en la ecuación (2) y despejando P(Q<q) se obtiene.

$$P(Q < q) = 1 - 1/T \quad (4)$$

Por lo que la fórmula de Gumbel se puede expresar como.

$$1 - \frac{1}{T} = e^{-e^{-\frac{q+a}{c}}} \quad (5)$$

o también.

$$\frac{T-1}{T} = e^{-e^{-\frac{q+a}{c}}} \quad (6)$$

Tomando el recíproco en ambos miembros de la ecuación (6) se tiene:

$$\frac{T}{T-1} = e^{e^{-\frac{q+a}{c}}} \quad (7)$$

Si ahora se toman logaritmos naturales en ambos miembros, se tiene.

$$\log_e \left[\frac{T}{T-1} \right] = e^{-\frac{q+a}{c}} \quad (8)$$

Para valores de T mayores de 10, se cumple muy aproximadamente la siguiente relación.

$$\log_e = \left[\frac{T}{T-1} \right] \cong \frac{1}{T-0,5} \cong \frac{1}{T} \quad (9)$$

El error inducido con esta aproximación es del orden de 5% para $T=10$ y decrece conforme aumenta el valor de T ; por ejemplo para $T=100$ años el error vale apenas 0,5%. Si se desprecia este error se puede sustituir la expresión (8) en la (7), quedando de la siguiente manera.

$$\frac{1}{T} = e^{-\frac{q+a}{c}} \quad (10)$$

Tomando nuevamente logaritmos naturales en ambos miembros de esta ecuación se obtiene.

$$\log_e \frac{1}{T} = -\frac{q+a}{c} \quad (11)$$

de donde:

$$q = -a - c \log_e \frac{1}{T} \quad (12)$$

En esta ecuación a y c son los parámetros por determinar, que una vez conocidos permiten calcular el gasto máximo asociado a un período de retorno dado.

Los valores de a y c se obtienen con las expresiones siguientes, que fueron deducidas aplicando el método de momentos para una muestra infinita.

$$a = 0,5772c - \bar{Q} \quad (13)$$

$$c = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma_Q \quad (14)$$

Donde \bar{Q} y σ_Q son la media y la desviación estándar de los valores registrados, respectivamente; como la muestra es siempre finita, estos parámetros se modifican, de acuerdo con Gumbel, de la siguiente manera.

$$a = Y_N c - \bar{Q} \quad (15)$$

$$c = \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} \quad (16)$$

Donde Y_N y σ_N son funciones exclusivamente del tamaño de la muestra, es decir, del número N de años de registro.

Los valores de Y_N y σ_N aparecen en la siguiente tabla:

N	Y_N	σ_N	N	Y_N	σ_N
8	0,4843	0,9043	49	0,5481	1,1590
9	0,4902	0,9288	50	0,54854	1,16066
10	0,4952	0,9497	51	0,5489	1,1623
11	0,4996	0,9676	52	0,5493	1,1638
12	0,5035	0,9833	53	0,5497	1,1653
13	0,5070	0,9972	54	0,5501	1,1667
14	0,5100	1,0095	55	0,5504	1,1681
15	0,5128	1,02057	56	0,5508	1,1696
16	0,5157	1,0316	57	0,5511	1,1708
17	0,5181	1,0411	58	0,5515	1,1721
18	0,5202	1,0493	59	0,5518	1,1734
19	0,5220	1,0566	60	0,55208	1,17467
20	0,52355	1,06283	62	0,5527	1,1770
21	0,5252	1,0696	64	0,5533	1,1793
22	0,5268	1,0754	66	0,5538	1,1814
23	0,5283	1,0811	68	0,5543	1,2834
24	0,5296	1,0864	70	0,55477	1,18536
25	0,53086	1,09145	72	0,5552	1,1873
26	0,5320	1,0961	74	0,5557	1,1890

N	Y_N	σ_N	N	Y_N	σ_N
27	0,5332	1,004	76	0,5561	1,1906
28	0,5343	1,1047	78	0,5565	1,1923
29	0,5353	1,1086	80	0,55688	1,19382
30	0,53622	1,11238	82	0,5572	1,1953
31	0,5371	1,1159	84	0,5576	1,1967
32	0,5380	1,1193	86	0,5580	1,1980
33	0,5388	1,1226	88	0,5583	1,1994
34	0,5396	1,1255	90	0,55860	1,20073
35	0,54034	1,12847	92	0,5589	1,2020
36	0,5410	1,1313	94	0,5592	1,2032
37	0,5418	1,1339	96	0,5595	1,2044
38	0,5424	1,1363	98	0,5598	1,2055
39	0,5430	1,1388	100	0,56002	1,20649
40	0,54362	1,14132	150	0,56461	1,22534
41	0,5442	1,1436	200	0,56715	1,23598
42	0,5448	1,1458	250	0,56878	1,24292
43	0,5453	1,1480	300	0,56993	1,24786
44	0,5458	1,1499	400	0,57144	1,25450
45	0,5463	1,15185	500	0,57240	1,25880
46	0,5468	1,1538	750	0,57577	1,26506
47	0,5473	1,1557	1000	0,57450	1,26851
48	0,5477	1,1574	∞	0,57722	1,28255

Si ahora se sustituyen las ecuaciones (15) y (16) en la ecuación (12) y si llamamos $Q_{\text{máx}}$ a q se obtiene.

$$Q_{\text{máx}} = - \left(Y_N \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} - \bar{Q} \right) - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} \log_e \left(\frac{1}{T} \right) \quad (17)$$

o bien:

$$Q_{\text{máx}} = \bar{Q} - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} \left[Y_N + \log_e \left(\frac{1}{T} \right) \right] \quad (18)$$

en la que:

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i \quad (19)$$

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N\bar{Q}^2}{N-1}} \quad (20)$$

Donde:

- N Número de años de registro.
Q_i Gastos máximos anuales registrados, en m³/s.
 \bar{Q} Gasto medio, en m³/s.
 σ_Q Desviación estándar de los gastos, en m³/s.
Y_N Parámetro, función de N.
 σ_N Parámetro, función de N.
T Período de retorno, en años.
Q_{máx.} Gasto máximo para un período de retorno determinado, en m³/s.

Para calcular el intervalo de confianza, o sea, aquel dentro del cual puede variar el Q_{máx} dependiendo del registro disponible, se procede como sigue:

Si $\phi = 1-1/T$ varía entre 0,20 y 0,80, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta_Q = \pm \sqrt{N\alpha\sigma_m} \frac{\sigma_Q}{\sigma_N \sqrt{N}} \quad (21)$$

Donde:

- N Número de años de registro.
 $\sqrt{N\alpha\sigma_m}$ Parámetro función de ϕ , adimensional
 σ_N Parámetro función de N, adimensional
 σ_Q Desviación estándar de los gastos, en m³/s.

Si ϕ es mayor de 0,90 el intervalo se calcula como:

$$\Delta_Q = \pm \frac{1,14\sigma_Q}{\sigma_N} \quad (22)$$

La zona de ϕ comprendida entre 0.8 y 0.9 se considera de transición, donde Δ_Q varia proporcionalmente a los valores calculados con las ecuaciones (20) y (21), dependiendo del valor de ϕ . Para valores menores de 0.2 se desprecia el valor de Δ_Q .

Finalmente el gasto hidrológico Q_h , se expresa como:

$$Q_h = Q_{\text{máx.}} + \Delta_Q$$

Los métodos estadísticos son los más confiables; si no se dispone de aforos convendrá usar un método empírico.

Para que el análisis probabilístico proporcione resultados confiables con cualquiera de los métodos estadísticos, se debe partir de los gastos máximos anuales registrados en la estación de aforos de la corriente que se estudia. La amplitud del registro depende del valor del período de retorno que se haya elegido y convendrá que al menos sea 2 veces menor que dicho período. Mientras mayor sea el tamaño de la cuenca convendrá disponer de registros más amplios.

Si se analiza un registro corto que contenga datos de una avenida extraordinaria, con un período de retorno muchas veces mayor que el período de registro, los procedimientos de ajuste pueden conducir a resultados absurdos, en estos casos convendrá descartar la avenida mencionada y los resultados serán más coincidentes con la realidad. Es conveniente elaborar una gráfica de la altura de lluvia contra su frecuencia utilizando papel de probabilidades, ordenando los datos del registro de menor a mayor frecuencia, a fin de observar mejor el dato que sale del rango de los demás y de esta manera poder eliminarlo.

HIDRAULICA



4.1. Conceptos básicos

El flujo de un fluido en un canal se caracteriza por la exposición de una superficie libre a la presión atmosférica. Por esta razón, el fluido respectivo es siempre un líquido, para nuestros análisis casi siempre agua.

Los problemas conectados con el flujo en canales representan una alta proporción del trabajo del ingeniero hidráulico y la aparente simplicidad resultante de la superficie libre es irreal, debido al incremento en la complejidad de dicho flujo en comparación con el de un conducto a presión. El agua que fluye en un canal se ve afectada por todas las fuerzas que intervienen en el flujo dentro de un tubo, con la adición de las fuerzas de gravedad y de tensión superficial que son la consecuencia directa de la superficie libre. En realidad la superficie libre se debe considerar como una intercara entre dos fluidos, el superior un gas usualmente estacionario (o en movimiento) y el inferior un líquido en movimiento. Las fuerzas de gravedad y tensión superficial resistirán cualquier fuerza tendiente a distorsionar esta intercara, la cual siempre constituirá una frontera sobre la cual el ingeniero tiene un control parcial.

De acuerdo con su origen, un canal puede ser natural o artificial. Dentro de los primeros se incluyen todos los cursos de agua que existen en forma natural sobre la tierra, tales como arroyos, ríos, etc. En los canales artificiales se incluyen todos los construidos por el hombre, tales como canales de navegación, canales de fuerza, canales de riego, obras de excedencias, etc.

Si el canal se construye con una sección transversal y pendiente de plantilla constante, se denomina canal prismático. De no satisfacer estas condiciones, el canal es no prismático, como es el caso de los canales naturales.

Si el canal es natural (y en algunos casos artificial), se presenta una nueva dificultad cuando el escurrimiento se relaciona con el transporte de sedimentos,; es decir, cuando el río en su recorrido de las montañas al valle, lleva consigo cuerpos sólidos más o menos grandes (arena, grava y hasta grandes piedras o boleos de gran diámetro) que modifican constantemente la forma de las fronteras sólidas e impiden una definición todavía más exacta de la rugosidad de la pared.

La clasificación de un flujo en un canal se puede hacer en flujo permanente y no permanente y obedece a la utilización del tiempo como criterio. El flujo es permanente si el tirante permanece constante en cualquier instante o en un lapso especificado. Lo contrario acontece si el flujo es no permanente. El caso más común de flujo permanente es aquel de un canal en que el gasto es constante en cualquier sección transversal del mismo; otros casos de flujo permanente ocurren cuando existen aportes o salidas de agua (que no varían con el tiempo) a lo largo de todo el canal o en tramos del mismo; por ejemplo, los vertedores de un canal lateral, las cunetas y bordillos en carreteras y los sistemas de drenaje en zonas de riego. El caso más común de flujo no permanente se presenta en los canales donde transita una onda de traslación o una avenida.

De igual forma se puede clasificar en flujo uniforme y variado, obedeciendo la misma a la utilización del espacio como un criterio. El flujo uniforme se presenta cuando la velocidad media permanece constante en cualquier sección del canal. Con una superficie libre, esto implica que la sección transversal y el tirante permanecen también constantes. Como consecuencia de la definición, en flujo uniforme la pendiente (S_f) de la línea de energía de fricción, la pendiente

(S_a) de la superficie libre del agua y la pendiente geométrica (S_o) del canal son iguales. El hecho de que la velocidad media permanezca constante, se refiere estrictamente al hecho de que el flujo posea una velocidad constante en cada punto de la sección transversal a lo largo del canal; es decir, que la distribución de velocidades de cada sección no se altera. El tirante correspondiente al flujo uniforme se conoce como tirante normal.

Las características de un flujo uniforme se pueden satisfacer únicamente si el canal es prismático, esto es, el flujo uniforme solo puede ocurrir en canales artificiales, pero no en los naturales. Si la velocidad se incrementa a valores muy grandes (más de 6 m/s), se produce arrastre de aire adquiriendo el flujo un carácter no permanente y pulsatorio, por lo cual un flujo muy rápido no puede ser uniforme. Incidentalmente, a velocidades excepcionales (aproximadamente 30 m/s) el incremento de área hidráulica por el aire arrastrado llega a ser hasta de un 50 %.

Teóricamente es posible que un flujo uniforme pueda ser permanente o no permanente. En el flujo uniforme permanente el tirante no cambia con el tiempo y es el tipo fundamental del flujo tratado en la hidráulica de canales. El flujo uniforme no permanente requeriría que la superficie libre fluctuara de un instante a otro siempre permaneciendo paralela a la plantilla del canal, lo cual es obviamente difícil que ocurra en la práctica. Por lo mismo, el flujo uniforme es casi siempre permanente .

El flujo es variado si la velocidad media cambia a lo largo del canal y, por lo mismo, posee características opuestas a las del flujo uniforme.

Los cambios de velocidad se pueden producir por una variación en la sección

del canal, por un cambio en la pendiente o por una estructura hidráulica tal como un vertedor o compuerta interpuesta al flujo. Debido a estos efectos, el flujo uniforme es un estado ideal que difícilmente se logra. Sin embargo, en la mayoría de los casos (y sobre todo en canales rectos y largos de sección transversal y pendiente de plantilla constante), se alcanza un flujo casi uniforme, de tal manera que la suposición es razonable especialmente porque simplifica el análisis.

El flujo variados puede ser permanente y no permanente y toda vez que no existe flujo no permanente uniforme, el no permanente tiene que ser necesariamente variado.

El flujo variado se puede clasificar en gradual, rápida y espacialmente variado. El flujo gradualmente variado es aquel en que el tirante cambia en forma gradual a lo largo del canal. En el flujo rápidamente variado acontece lo contrario, como es el caso del salto hidráulico. En el flujo espacialmente variado cambian además las características hidráulicas a lo largo del canal o de un tramo del mismo

En la determinación del caudal que transita por la sección transversal del cauce de un río, para el proyecto de puentes de vías terrestres, el Ingeniero se apoya en diversos conceptos de la hidráulica de canales para flujo a superficie libre.

El flujo dentro de los análisis que se hacen para el proyecto de puentes se considera que es uniforme permanente, es decir, aquel en que todas las secciones hidráulicas transversales del cauce de la corriente en estudio tienen las mismas características hidráulicas, por lo que para esta condición, la traza

del perfil medio que define el fondo del cauce y la correspondiente a la superficie libre del agua son paralelas.

Para la determinación del gasto hidráulico considerando el flujo uniforme se emplea una de la ecuación de continuidad, la que establece que la velocidad media en una sección hidráulica en un escurrimiento al multiplicarse por el área hidráulica correspondiente da por resultado el gasto que pasa en ese instante por la sección, lo cual queda resumido por la siguiente expresión:

$$Q = (A_h)(V)$$

Una forma indirecta de calcular la velocidad de la corriente es a través de la relación de las características físicas del cauce de la misma. Se ha determinado que la velocidad del flujo esta relacionada principalmente con la pendiente, el radio hidráulico y ciertas características físicas del lecho del cauce (coeficiente de rugosidad).

La fórmula de Chezy para determinar la velocidad del escurrimiento, que es la ecuación más antigua que se conoce, fue sugerida por Chezy en 1775 y se expresa de la siguiente manera:

$$V = C \sqrt{rs}$$

Donde (C) es un coeficiente adimensional, (r) es el radio hidráulico de la sección y (s) es la pendiente hidráulica.

Posteriormente los investigadores Kutter, Horton, Bazan y Manning propusieron variaciones para la obtención del coeficiente de Chezy, sin embargo, la

modificación más confiable fue la que realizó Robert Manning en 1889, año en el que presenta la fórmula siguiente:

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

Dicha fórmula es la base para la aplicación del método de sección y pendiente, que se utiliza para calcular la velocidad de la corriente y posteriormente con la ejecución de la de continuidad se determina, como ya se comento, el gasto hidráulico o de campo correspondiente. Las literales de la fórmula se describirán más adelante.

4.2. Análisis hidráulico

Para determinar el comportamiento hidráulico de la corriente que se estudia, principalmente el gasto y velocidad del flujo en avenidas máximas extraordinarias, el ingeniero a cuyo cargo esté la ejecución del estudio, debe atender los aspectos que enseguida se señalan:

4.2.1. Determinación de las pendientes medias

La pendientes geométrica, de la superficie del agua al realizar el estudio, así como la hidráulica media, se determinan como se indica a continuación:

4.2.1.1. Pendiente geométrica media y pendiente media de la superficie del agua

La pendiente geométrica media o la pendiente media de la superficie del agua

al realizar el estudio, para cada sección hidráulica, se obtienen determinando el promedio pesado de las pendientes calculadas entre los puntos nivelados, utilizando la siguiente expresión:

$$\bar{S} = \frac{\sum S_i d_i}{\sum d_i}$$

Donde:

\bar{S}	=	Pendiente geométrica media o pendiente media de la superficie del agua, adimensional con aproximación al diezmilésimo
S_i	=	Pendiente entre dos puntos contiguos nivelados, obtenida como $S_i = h_i / L_i$, adimensional con aproximación al diezmilésimo
d_i	=	Distancia entre dos puntos contiguos nivelados, obtenida como $d_i = (L_i^2 + h_i^2)^{1/2}$, (m)
L_i	=	Longitud horizontal entre dos puntos contiguos nivelados, que determinan la pendiente S_i , (m)
h_i	=	Desnivel entre dos puntos contiguos nivelados, que determinan la pendiente S_i , (m)
N	=	Número de puntos contiguos nivelados para calcular la pendiente media

El cálculo de la pendiente geométrica media o de la pendiente media de la superficie del agua puede efectuarse usando como hoja de cálculo la Tabla 1, en la que se ejemplifica el cálculo para el perfil que define la pendiente geométrica, que se muestra en la Figura 1.

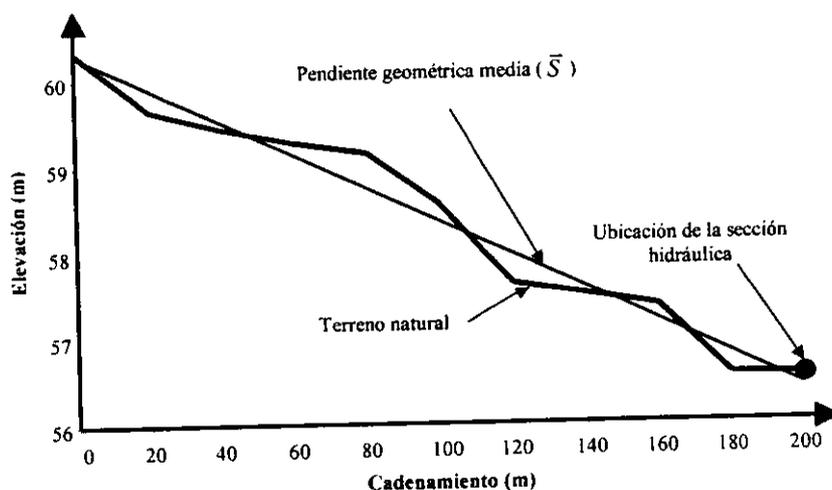


FIGURA 1.- Ejemplo de un perfil que define la pendiente geométrica de un cauce

Para el cálculo de la pendiente geométrica media, no se deben utilizar puntos nivelados que correspondan a pozas o caídas debidas a la extracción de material, o a depósitos de materiales.

TABLA 1.- Ejemplo del cálculo de la pendiente geométrica media

Punto	Cadena- miento m	Longitud L_i m	Elevación m	Desnivel h_i m	Distancia d_i m	S_i	$S_i d_i$
N	C_N	$L_i = C_N - C_{N-1}$	E_N	$h_i = E_{N-1} - E_N$	$d_i = (L_i^2 + h_i^2)^{1/2}$	$S_i = h_i / L_i$	$S_i d_i$
1	0	—	60,32	—	—	—	—
2	20	20	59,66	0,66	20,01	0,0330	0,66
3	40	20	59,43	0,23	20,00	0,0115	0,23
4	60	20	59,27	0,16	20,00	0,0080	0,16
5	80	20	59,14	0,13	20,00	0,0065	0,13
6	100	20	58,55	0,59	20,01	0,0295	0,59
7	120	20	57,62	0,93	20,02	0,0465	0,93
8	140	20	57,48	0,14	20,00	0,0070	0,14
9	160	20	57,35	0,13	20,00	0,0065	0,13
10	180	20	56,54	0,81	20,02	0,0405	0,81
11	200	20	56,52	0,02	20,00	0,0010	0,02
Sumas				$\Sigma d_i =$	200,06	$\Sigma S_i d_i =$	3,80
Pendiente media (\bar{S})						$\Sigma d_i / \Sigma S_i d_i =$	0,0190

4.2.1.2. Pendiente hidráulica media

Si la pendiente geométrica media o la pendiente media de la superficie del agua, calculada como se indica en el Inciso anterior, resulta menor o igual a 2%, la pendiente hidráulica media, que se utiliza para determinar la velocidad de la corriente mediante el procedimiento indicado, se considera paralela a la calculada, de acuerdo con los NAME obtenidos. Si la pendiente calculada es mayor de 2%, la pendiente hidráulica ya no es paralela, pues se trata de un flujo variado, por lo que la velocidad de la corriente se debe obtener por otros métodos diferentes a los desarrollados para flujo uniforme. En este último caso es de fundamental importancia la información que se obtenga relativa al

comportamiento de puentes cercanos ubicados en la corriente que se estudia y la comparación con el resultado del estudio hidrológico.

4.2.2. Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning

De cada tramo de las diferentes secciones hidráulicas se debe determinar su coeficiente de rugosidad de Manning (n), que define el grado de influencia sobre la velocidad del escurrimiento que tienen las condiciones del cauce y llanuras de inundación, tales como las características de los materiales que los constituyen, de la vegetación y del tirante del agua, con base en la inspección realizada en campo y utilizando los valores proporcionados por el propio Manning, que se indican en las Tablas 2, 3 y 4. Es necesario que el Ingeniero a cuyo cargo éste el estudio hidráulico, al obtener los coeficientes de rugosidad del cauce de la corriente en estudio, los elija tomando en cuenta el uso de suelo de la zona, ya que éste refleja las condiciones reales que tendrá en su vida útil la estructura por proyectar.

TABLA 2.- Coeficientes de rugosidad de Manning para canales recubiertos o en relleno

Tipo de recubrimiento o relleno y condiciones del cauce	Coeficiente de rugosidad (n)		
	Mínimo	Normal	Máximo
A) Cemento.			
1. Superficie lisa.	0,010	0,011	0,013
2. En mortero.	0,011	0,013	0,015
B) Concreto.			
1. Acabado con llana metálica.	0,011	0,013	0,015
2. Acabado con llana de madera.	0,013	0,015	0,016
3. Acabado con grava en el fondo	0,015	0,017	0,020
4. Sin acabar.	0,014	0,017	0,020
5. Lanzado, buena sección.	0,016	0,019	0,023
6. Lanzado, sección ondulada.	0,018	0,022	0,025
7. Sobre roca bien excavada.	0,017	0,020	—

Tipo de recubrimiento o relleno y condiciones del cauce	Coeficiente de rugosidad (n)		
	Mínimo	Normal	Máximo
8. Sobre roca, excavado irregular.	0,022	0,027	—
C) Fondo de concreto, acabado con llana y taludes de:			
1. Mampostería cuidada sobre mortero.	0,015	0,017	0,020
2. Mampostería burda sobre mortero.	0,017	0,020	0,024
3. Mampostería junteada y aplanada con mortero.	0,016	0,020	0,024
4. Mampostería junteada con mortero.	0,020	0,025	0,030
5. Mampostería seca o volteo.	0,020	0,030	0,035
D) Fondo de grava con lados de:			
1. Concreto cimbrado.	0,017	0,020	0,025
2. Mampostería sobre mortero.	0,020	0,023	0,026
3. Mampostería seca a volteo.	0,023	0,033	0,036
E) Mampostería.			
1. Junteada con mortero.	0,017	0,025	0,030
2. Seca.	0,023	0,032	0,035
F) Piedra labrada.	0,013	0,015	0,017
G) Asfalto.			
1. Liso.	0,013	0,013	—
2. Rugoso.	0,016	0,016	—
H) Cubierta vegetal.	0,030	—	0,500

TABLA 3.- Coeficientes de rugosidad de Manning para canales excavados o dragados

Tipo de suelo y condiciones del cauce	Coeficiente de rugosidad (n)		
	Mínimo	Normal	Máximo
A) Tierra, recto y uniforme.			
1. Limpio, recientemente terminado.	0,016	0,018	0,020
2. Limpio, intemperizado.	0,018	0,022	0,025
3. Grava, sección uniforme y limpia.	0,022	0,025	0,030
4. Con poco pasto y poca hierba.	0,022	0,027	0,033
B) Tierra con curvas y en régimen lento.			
1. Sin vegetación.	0,023	0,025	0,030
2. Pasto y algo de hierba.	0,025	0,030	0,033
3. Hierba densa o plantas acuáticas y canales profundos.	0,030	0,035	0,040
4. Fondo de tierra y mampostería en los lados.	0,028	0,030	0,035
5. Fondo rocoso y hierba en los bordos.	0,025	0,035	0,040
6. Fondo empedrado y bordos limpios.	0,030	0,040	0,050
C) Excavado o dragado en línea recta.			

Tipo de suelo y condiciones del cauce	Coeficiente de rugosidad (<i>n</i>)		
	Mínimo	Normal	Máximo
1. Sin vegetación.	0,025	0,028	0,033
2. Pocos arbustos en los bordos.	0,035	0,050	0,060
D) Cortes en rocas.			
1. Lisos y uniformes.	0,025	0,035	0,040
2. Astillado e irregular.	0,035	0,040	0,050
E) Canales abandonados, hierbas y arbustos sin limpiar.			
1. Hierba densa, tan altas como el tirante.	0,050	0,080	0,120
2. Fondo limpio, arbustos en las paredes.	0,040	0,050	0,080
3. Igual al anterior con máximo escurrimiento.	0,045	0,070	0,110
4. Denso de arbustos, altos niveles de escurrimiento.	0,080	0,100	0,140

TABLA 4.- Coeficientes de rugosidad de Manning para cauces naturales

Condiciones del cauce	Coeficiente de rugosidad (<i>n</i>)		
	Mínimo	Normal	Máximo
A) Arroyos (ancho de la superficie libre del agua en avenidas hasta de 30 m).			
1. Corrientes en planicies.			
a) Limpios, rectos, sin deslaves ni remansos profundos.	0,025	0,030	0,033
b) Igual al anterior, pero más rocosos y con hierba.	0,030	0,035	0,040
c) Limpio, curvo, algunas irregularidades del fondo.	0,033	0,040	0,045
d) Igual al anterior, algo de hierba y roca.	0,035	0,045	0,050
e) Igual al anterior, pero menor profundidad y secciones poco eficientes.	0,040	0,048	0,055
f) Igual que en d), pero más rocosas.	0,045	0,050	0,060
g) Tramos irregulares con hierbas y estanques profundos.	0,050	0,070	0,080
h) Tramos con mucha hierba, estanques profundos, o cauces de avenidas con raíces y plantas subacuáticas.	0,075	0,100	0,150
2. Corrientes de montañas, sin vegetación en el cauce; taludes muy inclinados, árboles y arbustos a lo largo de las márgenes que quedan sumergidos en las avenidas.			
a) Fondo de grava, boleó y algunos cantos rodados.	0,030	0,040	0,050
b) Fondo de boleó y grandes rocas.	0,040	0,050	0,070

Condiciones del cauce	Coeficiente de rugosidad (n)		
	Mínimo	Normal	Máximo
B) Planicies de avenidas.			
1. Pastura sin arbustos.			
a) Pasto bajo.	0,025	0,030	0,035
b) Pasto alto.	0,030	0,035	0,050
2. Areas cultivadas.			
a) Sin cosecha.	0,020	0,030	0,040
b) Cosecha en tierra labrada y pradera.	0,025	0,035	0,045
c) Cosecha de campo.	0,030	0,040	0,050
3. Arbustos.			
a) Arbustos diseminados y mucha hierba.	0,035	0,050	0,070
b) Pocos arbustos y árboles, en invierno.	0,035	0,050	0,060
c) Pocos arbustos y árboles, en verano.	0,040	0,060	0,080
d) Mediana a densa población de arbustos, en invierno.	0,045	0,070	0,110
e) Mediana a densa población de arbustos, en verano.	0,070	0,100	0,160
4. Árboles.			
a) Población densa de sauces, en verano, rectos.	0,110	0,150	0,200
b) Terrenos talados con troncos muertos.	0,030	0,040	0,050
c) Igual al anterior, pero con troncos retoñables.	0,050	0,060	0,080
d) Árboles de sombra y avenidas debajo de las ramas.	0,080	0,100	0,120
e) Igual al anterior, pero las avenidas alcanzan las ramas.	0,100	0,120	0,160
C) Ríos (ancho de la superficie libre del agua en avenidas mayor de 30 m). La n es menor que en los arroyos de igual descripción porque los bordes ofrecen mayor resistencia.			
1. Secciones regulares sin cantos rodados ni arbustos.	0,025	—	0,060
2. Secciones rugosas e irregulares.	0,035	—	0,100

4.2.3. Determinación de la velocidad y del gasto hidráulico

Previamente a la determinación de la velocidad y gasto hidráulico, se debe verificar que las secciones hidráulicas elegidas sean normales respecto a la dirección del escurrimiento en crecientes extraordinarias, que estén ubicadas en

tramos del cauce preferentemente rectos, sin cambios de pendiente y que no se alojen en sitios donde existan pozas.

Para determinar la velocidad y el gasto hidráulico de la corriente en estudio, se procede como se indica a continuación:

4.2.3.1. Determinación de las características geométricas de la sección hidráulica

De cada tramo de las secciones del cauce de la corriente, se deben determinar las características geométricas que se definen a continuación:

4.2.3.1.1. Área hidráulica (A_h)

Es el área por la que escurre el flujo en la crecida máxima extraordinaria que se haya considerado, definida por el NAME, la longitud del tramo de la sección y el perfil del terreno natural dentro del mismo. Se expresa en m^2 .

4.2.3.1.2. Perímetro mojado (P_m)

Es la longitud de la superficie del cauce que tiene contacto con el agua en cada tramo de la sección y se expresa en m.

4.2.3.1.3. Radio hidráulico (R_h)

Es la relación del área hidráulica entre el perímetro mojado de cada tramo de la sección ($R_h = A_h / P_m$).

Esta determinación se puede realizar usando como hoja de cálculo la Tabla 5, en la que se ejemplifica el cálculo para la sección hidráulica que se muestra en la Figura_2.

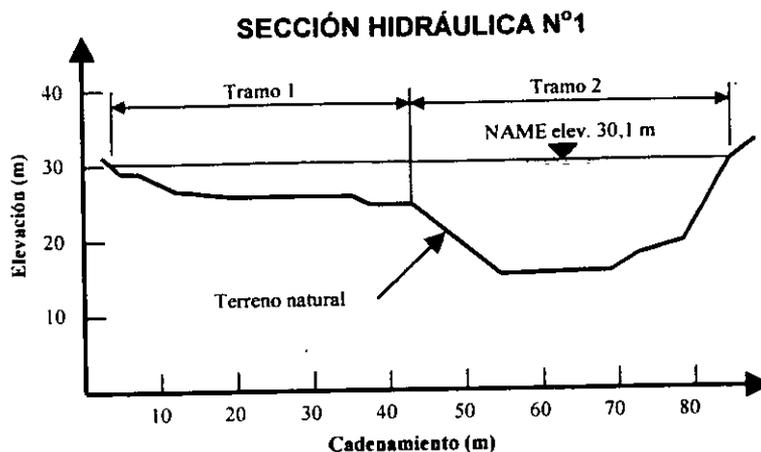


FIGURA 2.- Ejemplo de una sección hidráulica

4.2.3.2. Determinación de las velocidades en la sección hidráulica

Una vez calculadas las características geométricas de cada sección hidráulica, como se indica en el inciso anterior, se deben determinar las velocidades de la corriente en cada tramo de las secciones, mediante el Método de Manning, si la pendiente geométrica media o la pendiente media de la superficie del agua es menor o igual a 2%, de lo contrario las velocidades han de ser estimadas utilizando mediciones con molinetes o cuerpos flotantes, que puedan haberse realizado durante la creciente máxima en el sitio en estudio o en alguna estación de aforo cercana, o de acuerdo con las características de los arrastres.

TABLA 5.- Ejemplo del cálculo de las características geométricas de una sección hidráulica

Sección hidráulica N° 1											NAME = 30,1 m
Tramo <i>M</i>	Cadena- miento <i>C_N</i> m	Longitud <i>L_i</i> m	Elevación del terreno <i>E_N</i> m	Desnivel <i>h_i</i> m	Tirante <i>t_N</i> m	Área hidráulica <i>A_{hi}</i> m ²	Área hidráulica del tramo <i>A_{hj}</i> m ²	Perímetro mojado <i>P_{mi}</i> m	Perímetro mojado del tramo <i>P_{mj}</i> m	Radio hidráulico del tramo <i>R_{hj}</i> m	
1	3,52	-----	30,10	-----	0,00	-----	-----	-----	-----	-----	
	4,94	1,42	28,92	1,18	1,18	0,84	-----	1,85	-----	-----	
	7,58	2,64	28,93	0,01	1,17	3,10	-----	2,64	-----	-----	
	12,46	4,88	26,49	2,44	3,61	11,66	-----	5,46	-----	-----	
	19,57	7,11	25,57	0,92	4,53	28,94	-----	7,17	-----	-----	
	35,31	15,74	25,51	0,06	4,59	71,77	-----	15,74	-----	-----	
	37,52	2,21	24,56	0,95	5,54	11,19	-----	2,41	-----	-----	
2	43,15	5,63	24,52	0,04	5,58	31,30	158,81	5,63	40,89	3,88	
	43,15	0,00	24,52	0,00	5,58	0,00	-----	0,00	-----	-----	
	54,86	11,71	15,13	9,39	14,97	120,32	-----	15,01	-----	-----	
	68,94	14,08	15,24	0,11	14,86	210,00	-----	14,08	-----	-----	
	72,57	3,63	17,63	2,39	12,47	49,60	-----	4,35	-----	-----	
	78,61	6,04	19,22	1,59	10,88	70,52	-----	6,25	-----	-----	
	84,82	6,21	30,10	10,88	0,00	33,78	484,23	12,53	52,21	9,27	
$L_i = C_N - C_{N-1}$ $h_i = E_N - E_{N-1} $ $t_N = NAME - E_N$ $A_{hi} = L_i \cdot (t_i - t_{i-1}) / 2$ $A_{hj} = \sum A_i$ del tramo <i>j</i> $P_{mi} = (L_i^2 + h_i^2)^{1/2}$ $P_{mj} = \sum P_i$ del tramo <i>j</i> $R_{hj} = A_{hj} / P_{mj}$											

El Método de Manning establece que la velocidad del flujo para cada tramo de una sección hidráulica es:

$$V_j = \frac{1}{n} R_{hj}^2 \bar{S}^{1/2}$$

Donde:

V_j = Velocidad media de la corriente en el tramo j , (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning, adimensional

R_{hj} = Radio hidráulico del tramo j , (m)

\bar{S} = Pendiente hidráulica media, adimensional con aproximación al diezmilésimo

Para determinar las velocidades de la corriente en cada tramo de una sección hidráulica, mediante el Método de Manning, se puede utilizar como hoja de cálculo la Tabla 6, en la que se ejemplifican las determinaciones correspondientes a la sección hidráulica mostrada en la Figura 2, con base en los resultados obtenidos en la Tabla 5 y utilizando coeficientes de rugosidad de Manning obtenidos de las Tablas 2, 3 ó 4. En el cálculo se debe tomar en cuenta que, si las pendientes a lo largo del cauce estudiado son diferentes, se utiliza la pendiente hidráulica media (\bar{S}), aguas arriba del sitio donde se ubique la sección, que para dicho ejemplo se consideró la pendiente media obtenida de la Tabla 1.

4.2.3.3. Determinación de los gastos en la sección hidráulica

Una vez calculadas las velocidades de la corriente en todos los tramos de una sección hidráulica, se determinan los gastos correspondientes aplicando la Ecuación de Continuidad:

$$Q_j = A_{hj} V_j$$

Donde:

- Q_j = Gasto parcial en cada tramo j considerado, (m^3/s)
- A_{hj} = Área hidráulica en cada tramo j considerado, (m^2)
- V_j = Velocidad de la corriente en cada tramo j considerado, (m/seg)

Los gastos parciales se suman para obtener el gasto total de la sección hidráulica analizada, es decir que:

$$Q_{tot} = \sum_{j=1}^M Q_j$$

Donde:

- Q_{tot} = Gasto total en la sección hidráulica, (m^3/s)
- Q_j = Gasto parcial en cada tramo j considerado, (m^3/s)
- M = Número de tramos de la sección hidráulica

En la Tabla 6 se muestra el cálculo de los gastos para la sección hidráulica

mostrada en la Figura 2.

Las tablas utilizadas para el cálculo de las velocidades y gastos, deben ser incluidas en cada sección hidráulica que contenga el Plano de Pendiente y Secciones Hidráulicas.

Nunca debe forzarse para que los gastos de las secciones hidráulicas consideradas coincidan. Debe elegirse el gasto obtenido con la sección que sea más confiable. Al gasto seleccionado como el más confiable, mediante métodos hidrológicos se le determina su período de retorno y si éste coincide con el que se decidió adoptar de diseño para el puente, se debe tomar como el adecuado para el proyecto de la obra, en caso contrario, se empleará el obtenido con el estudio hidrológico y realizar los cálculos que enseguida se describen.

TABLA 6.- Ejemplo de cálculo de la velocidad y el gasto del flujo en una sección hidráulica

Sección Hidráulica N°1							S = 0,0190	
Tramo	A_h m ²	R_h m	n	$R_h^{2/3}$	$S^{1/2}$	V m/s	Q m ³ /s	
M	A_{hj}	R_{hj}	n	$R_{hj}^{2/3}$	$S^{1/2}$	$V_j =$ $n^{-1} R_{hj}^{2/3} S^{1/2}$	$Q_j =$ $A_{hj} V_j$	
1	158,81	3,88	0,060	2,47	0,1378	5,67	900,60	
2	484,23	9,27	0,100	4,41	0,1378	6,08	2 944,56	
Gasto total en toda la sección (Q_{tot}), m³/s							$\Sigma Q_j =$	3 845,16

Nota: El valor del gasto que se reporte en el informe topohidráulico-hidrológico, se debe redondear a las decenas para gastos mayores de 10 m³/s y al entero para gastos menores.

4.2.3.4. Determinación del gasto hidráulico

Una vez que se ha seleccionado el gasto de la sección más confiable del estudio hidráulico como se establece en el Inciso anterior, el Ingeniero debe llevar a cabo un estudio comparativo para elegir el gasto de diseño, entre el gasto estimado por medio de dicho estudio y el determinado en el estudio hidrológico.

Si el gasto elegido como gasto de diseño no corresponde al de la sección hidráulica del cruce, se deben determinar los gastos y velocidades del escurrimiento en cada tramo de dicha sección para el gasto de diseño. Esta determinación se puede hacer por tanteos, proponiendo una elevación para el NAME, se calculan las características geométricas para la sección hidráulica del cruce y con base en dichas características, se determina la nueva velocidad y el gasto correspondiente para cada tramo de la sección hidráulica. Si el valor del nuevo gasto total no es lo suficientemente cercano al gasto de diseño, se repite el proceso proponiendo otros niveles del NAME, hasta que, a juicio del Ingeniero, el gasto total calculado sea lo suficientemente aproximado al gasto de diseño, en cuyo caso, se considera como NAME en la sección hidráulica del cruce el nivel utilizado en el último tanteo. Los valores obtenidos deben ser incluidos en el Plano de Pendiente y Secciones Hidráulicas del estudio topohidráulico.

APLICACION PRACTICA

← A LAS RUCIAS, COAH.

ZONA DE CRUCE ACTUAL VADEANDO
POR EL LECHO DEL CAUCE

→ A EL NACIMIENTO, COAH.



5.1. Generalidades

ESTUDIO TOPOHIDRAULICO E HIDROLÓGICO

CRUCE : RIO "SABINAS"
CAMINO : LAS RUCIAS – EL NACIMIENTO
TRAMO : LAS RUCIAS – EJIDO MORELOS
KM : 11+500
ORIGEN : ENT. CARR. MÚZQUIZ – B. DEL CARMEN

La corriente nace a 140 km del sitio de cruce y desemboca a 160 km, en La Presa Venustiano Carranza. Si _____ No X provoca influencia hidráulica en el cruce. El área de la cuenca drenada hasta el cruce es de 3370 km² y pertenece a la Región Hidrológica N° 24, según clasificación de la SARH. (Ver croquis de localización). En la zona de cruce la vegetación se puede clasificar como semidesértica y la topografía es lomerío suave.

Elevación y descripción del banco de nivel B.N. Aux. sobre clavo en tronco de "Mezquite" a 12.70 m derecha de estación 11+393.20 elevación arbitraria = 501.000 m.

El cauce en la zona de cruce es:

sinuoso X estable X encajonado
sensiblemente recto _____ divagante _____ con llanuras de inundación X

COMENTARIOS: El camino en estudio está clasificado como rural y de acuerdo con los criterios definidos por la Comisión Nacional del Agua, se emplearán para el diseño de la obra de drenaje los gastos correspondientes a períodos de retorno de 100 y 25 años.

El escurrimiento es de carácter torrencial _____ perenne _____ **X** intermitente _____

Tipo y longitud máxima de los cuerpos flotantes ramazón y troncos de hasta 20 m.

El período de lluvias en la región comprende los meses de mayo a septiembre

La precipitación media anual es de 630 mm.

Información adicional (erosión marginal, caídas, ubicación del cruce en una curva del cauce, curvas cercanas, etc.) _____

Geología superficial en el fondo grava, arena y boleos

En la margen izquierda limo arcilloso

En la margen derecha limo arcilloso con grava

El eje del trazo cruza en dirección normal _____ esviada **X** a la corriente.

Angulo de esviajamiento 25° 00' izq.

El paso actual de vehículos en la zona de cruce se efectúa vadeando por el lecho del río Sabinas. (ver fotografías anexas).

Si existen puentes cercanos al cruce sobre la misma corriente, proporcionar los datos siguientes:

- a) Ubicación No existen
- b) Número y longitud de los claros
- c) Altura media hasta la parte inferior de la superestructura
- d) ¿Ha funcionado el puente a su máxima capacidad?
- e) Área hidráulica del puente hasta el NAME
- f) Área total bajo el puente
- g) Antigüedad de la obra
- h) Otros datos útiles a juicio del observador

5.2. Estudio hidrológico

Método aplicado Gumbel y Comparación de Cuencas

Información utilizada Datos de gastos máximos anuales de la estación hidrométrica "Sabinas" que se ubica sobre la misma corriente a 90 km aguas abajo del cruce. Cuenta con un periodo de registros de 44 años, de 1938 a 1953, de 1955 a 1967 y de 1970 a 1987; el gasto máximo fue de 5640 m³/s y se presentó en el año de 1971. Conviene mencionar que el área de cuenca aforada hasta la estación es de 12825 km².

Se obtuvo un caudal máximo de 1045 m³/s asociado a un periodo de retorno de 100 años y de 762 m³/s para 25 años.

Observaciones (fuente de información, confiabilidad, etc.) Los gastos obtenidos son confiables, debido a que la estación hidrométrica cuenta con un periodo de registros amplio y la corriente que se estudia es la misma.

5.3. Estudio hidráulico

Nivel de aguas mínimas (NAMin) 497.409 m

Nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO) 498.942 m

Nivel de aguas extraordinarias (NAME) 501.18 m (campo)

Nivel de aguas máximas extraordinarias de diseño (NAME) Tr 100 años 500.89 m*

Nivel de aguas máximas extraordinarias de diseño (NAME) Tr 25 años 500.47 m*

*Ver nota 1.

Método aplicado Sección y Pendiente

Secciones levantadas dos, a 265.70 m aguas arriba y a 632.70 m aguas abajo del cruce.

Fecha de la creciente máxima que se consideró 1988 (Huracán Gilberto).

Gasto obtenido 1245 m³/s; velocidad máxima en el cruce 2.6 m/s

Frecuencia del evento 350 años de acuerdo a un análisis hidrológico

Duración de la creciente 24 horas

Observaciones (fuente de información, confiabilidad, etc.) Los niveles de agua utilizados en los cálculos fueron proporcionados por habitantes del lugar, que tienen más de 50 años viviendo en las cercanías del cruce.

5.4. Conclusiones

Se recomienda adoptar como gasto de diseño 762 m³/s.

Para drenar el gasto de diseño se propone construir un puente de 100 m de longitud, con claros horizontales no menores de 20 m, ubicado del km 11+460 al km 11+560

Se recomienda un espacio libre vertical entre el NAD ($T_r = 100$ años) y el lecho inferior de la superestructura de 1.5 m mínimo. La velocidad máxima bajo la obra se estima será de 2.8 m/s y la sobreelevación de la superficie del agua de 0.20 m.

Obras auxiliares, de protección, de encauzamiento, etc. Se recomienda que la rasante del camino del lado de la margen derecha, donde se ubica la llanura de inundación, se siga manteniendo a pelo de tierra, a fin de evitar que sea un obstáculo al agua y ponga en peligro la estabilidad del puente.

Observaciones Ver nota 2

Los materiales necesarios para la construcción del puente pueden ser adquiridos en Múzquiz, Coah. que se ubica a 40 km del sitio del cruce.

5.5. Notas

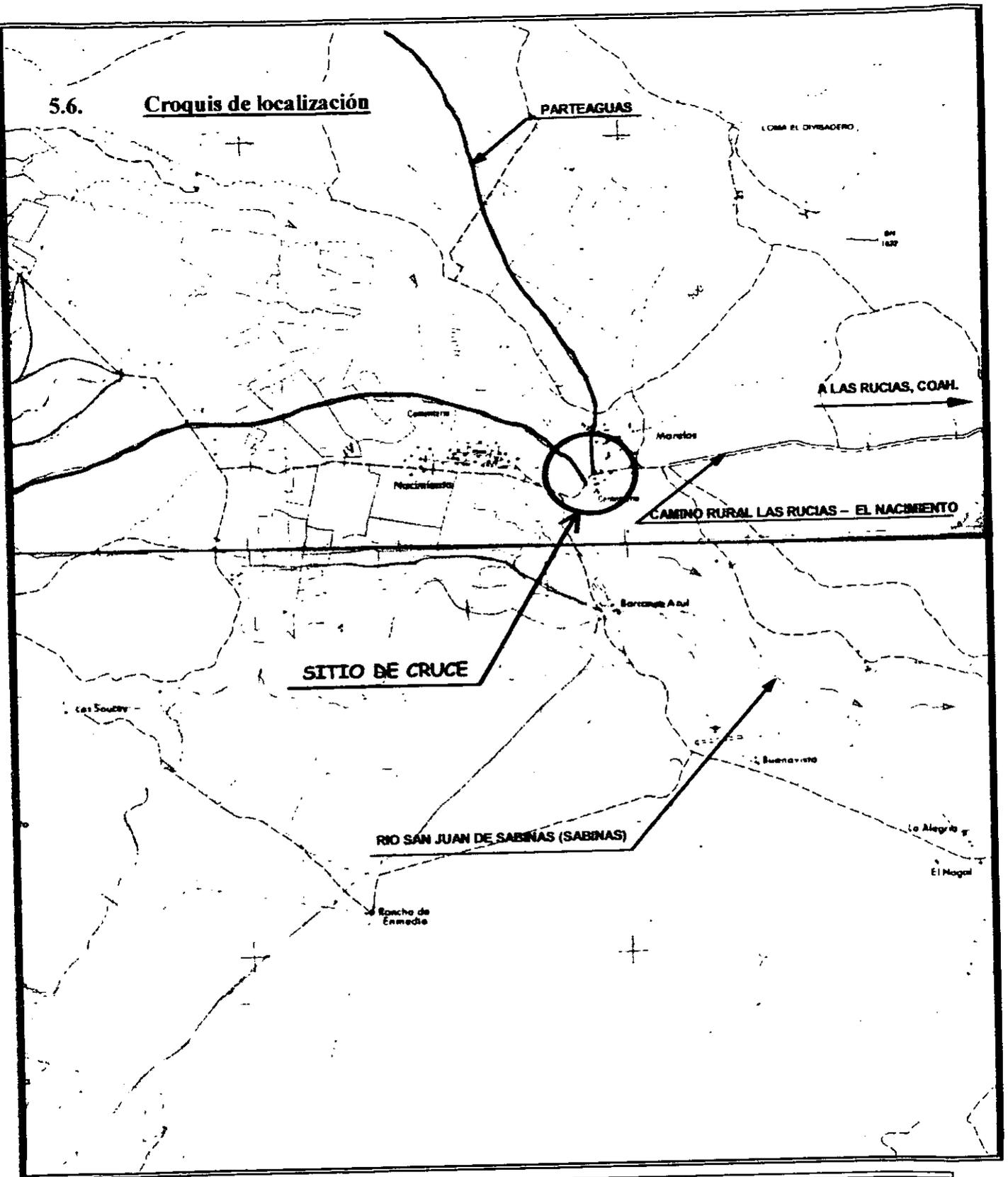
5.4.1. Nota 1

Los gastos de 1045 y 762 m³/s obtenidos con el estudio hidrológico, se transitaron por la sección hidráulica ubicada a 265.70 m aguas arriba del cruce, aplicando el método de Sección y Pendiente; se obtuvo para el cruce una elevación del NAME para un período de retorno de 100 años de 500.89 m y velocidad de la corriente de 2.6 m/s y de 500.49 m y 2.3 m/s para 25 años.

5.4.2. Nota 2

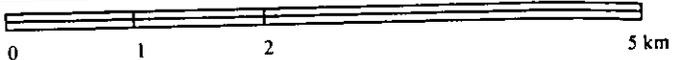
Del lado de aguas abajo del cruce hay un sitio en el que existen mejores condiciones hidráulicas y de trazo del camino a las que están actualmente en la zona donde se solicitó realizar el estudio topohidráulico, por lo que, en caso de que se considere mover el camino a esta nueva ubicación, se recomienda rectificar el trazo del mismo a partir del km 11+240 tal como se muestra en la planta topográfica detallada; esto permitirá que el puente de 100 m de longitud que se propone, tenga un funcionamiento hidráulico más eficiente, ya que en este sitio podrá dársele una mejor orientación respecto del sentido del escurrimiento. Las recomendaciones de gasto, velocidad, espacio libre vertical y sobreelevación para este nuevo lugar seguirán siendo las mismas que se describen en el inciso de conclusiones y recomendaciones y en la nota 1, debido a que las características geométricas, de rugosidad y pendiente del río son muy semejantes en ambos lugares, por la cercanía de los mismos.

5.6. Croquis de localización



CRUCE: RIO "SABINAS"
CAMINO: LAS RUCIAS - EL NACIMIENTO
TRAMO: LAS RUCIAS - EJIDO MORELOS
KM: 11+500
ORIGEN: SALTILLO, COAH.
COORDENADAS DEL CRUCE: LONG. 101° 43' LAT. 28° 00'

ESCALA GRAFICA

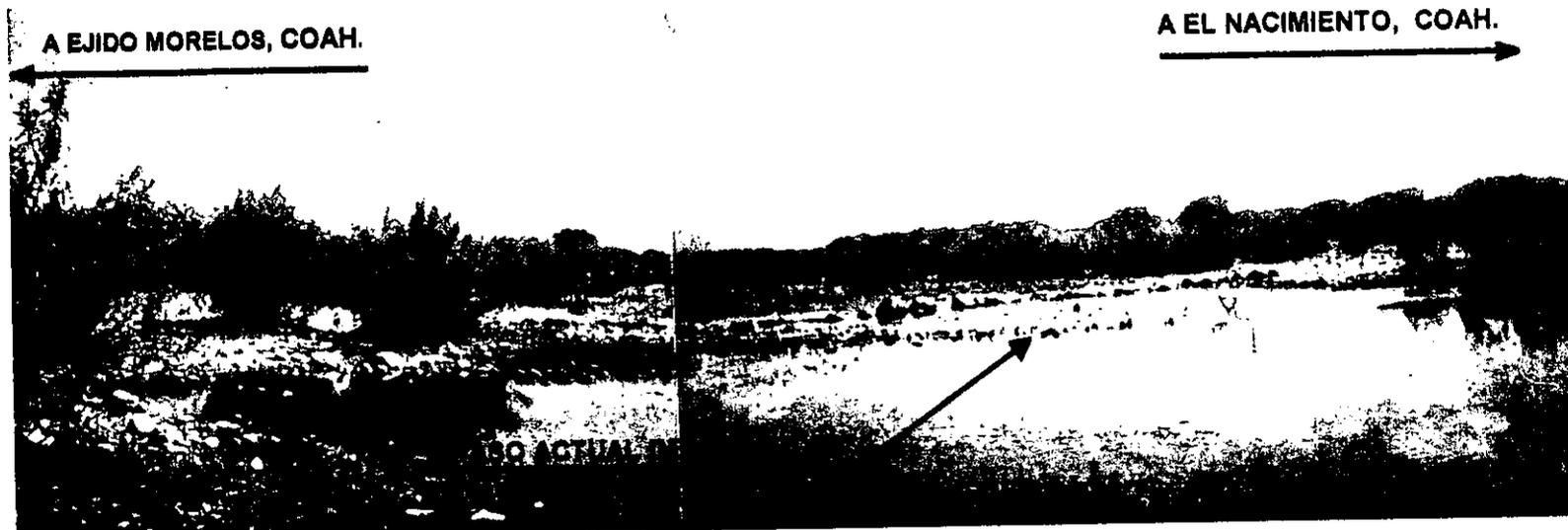


CARTAS TOPOGRÁFICAS DEL INEGI ESCALA 1:50,000 (MORELOS H14C81 Y GUADALUPE G14A11)
ÁREA DE LA CUENCA: 3370 KM²
LONGITUD DEL CAUCE: 133 KM

5.7. Informe fotográfico

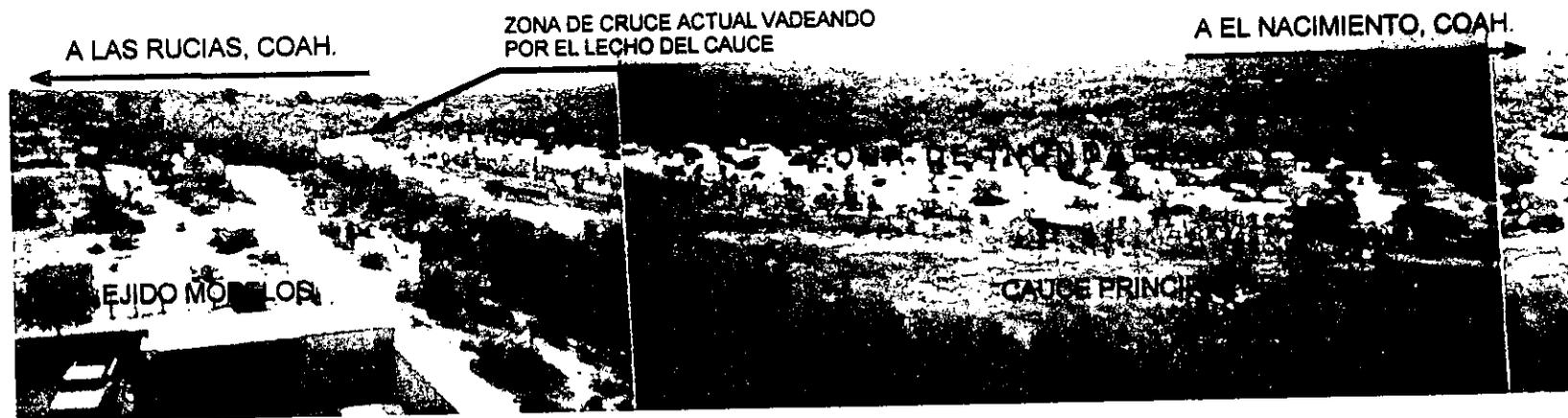
5.7.1. foto 1

LUGAR POR DONDE SE EFECTÚA EL PASO ACTUAL DE VEHÍCULOS; VADEANDO EL RIO.
FOTO TOMADA HACIA AGUAS ABAJO DEL SITIO DE CRUCE.



5.7.2. Foto 2

VISTA GENERAL DEL RIO, EN DONDE SE OBSERVAN LAS LLANURAS DE INUNDACIÓN EN LA MARGEN DERECHA DEL CAUCE. FOTO TOMADA DESDE LA MARGEN IZQUIERDA.



5.8. Estudio hidrológico (Método de Gumbel)

**ANALISIS ESTADISTICO DE LA ESTACION
HIDROMETRICA RIO "SABINAS"
AREA TOTAL = 12825 KM²
METODO DE GUMBEL**

Nº	AÑO	GASTO (m ³ /s)
1	1938	186.2
2	1939	435
3	1940	684
4	1941	323
5	1942	117
6	1943	625
7	1944	1412
8	1945	338
9	1946	565
10	1947	399
11	1948	347
12	1949	102
13	1950	266
14	1951	450
15	1952	70.7
16	1953	257
17	1956	0.04
18	1957	645
19	1958	2552
20	1959	78.2
21	1960	251
22	1961	1278
23	1962	32.3
24	1963	149
25	1964	819
26	1965	201
27	1966	38
28	1967	194

29	1970	600.45
30	1971	5640
31	1972	337
32	1973	1060
33	1974	1362.97
34	1975	2010
35	1976	920
36	1977	72.36
37	1978	407.5
38	1979	87.69
39	1980	721
40	1981	377.34
41	1982	55.84
42	1983	228.8
43	1984	67.32
44	1985	574
45	1986	716.92
46	1987	243.47

Suma 28297.1

Media de las precipitaciones 764.7865

Desviacion estandar 921.530

YN 0.5468 ver tabla

SIGMA N 1.1538 ver tabla

Tr= Gasto máximo Tr=25 2898.95 m³/s

Tr= Gasto máximo Tr=50 3452.56 m³/s

Tr= Gasto máximo Tr=100 4006.17 m³/s

Tr= Gasto máximo Tr=150 4330.01 m³/s

Tr= Gasto máximo Tr=200 4559.78 m³/s

Tr=	<u>Gasto máximo Tr=500</u>	5291.62 m ³ /s
Tr=	<u>Gasto máximo Tr=1000</u>	5845.23 m ³ /s
Tr=	<u>Gasto máximo Tr=1500</u>	6169.07 m ³ /s
Tr=	<u>Gasto máximo Tr=200</u>	4559.78 m ³ /s

RESULTADOS DE COMPARACIÓN DE CUENCAS.

GASTO UNITARIO = 0.31 m³/s/km² PARA 100 AÑOS

Q= 1045 m³/s

GASTO UNITARIO = 0.22 m³/s/km² PARA 25 AÑOS

Q= 762 m³/s

5.9. Estudio hidráulico (Áreas y perímetros de la sección ubicada aguas arriba)

C A L C U L O S H I D R A U L I C O S
(Á R E A S Y P E R I M E T R O S M O J A D O S)

OBRA VIAL		ESTACION	11+500
CRUCE	RIO "SABINAS"	de Km.	a Km
TRAMO	LAS RUCIAS - EL NACIMIENTO	ORIGEN	ENT. CARR. MUZQUIZ - B. DEL C.
SUBTRAMO	LAS RUCIAS - EJIDO MORELOS	N.A.M.E.	ELEV. = 502.00 m.(CAMPO)
SECCION HIDRAULICA	NO. 1 A 265.70 m AGUAS ARRIBA		

TRAMO	CADENAMIENTO	DISTANCIA (m)	TIRANTE (m)	SUMA DE TIRANTES (m)	TIRANTE MEDIO (m)	A R E A S		PERIMETRO MOJADO (m)
						PARCIAL (m ²)	TOTAL (m ²)	
1	22.17		0.00					
	23.31	1.14	0.24	0.24	0.12	0.14		1.16
	31.23	7.92	2.09	2.33	1.16	9.22		8.13
	35.51	4.28	4.88	6.97	3.48	14.91		5.11
	39.02	3.51	5.41	10.29	5.15	18.06		3.55
	45.21	6.19	5.19	10.61	5.30	32.83		6.19
	50.21	5.00	4.54	9.73	4.87	24.33		5.04
	57.12	6.91	4.86	9.40	4.70	32.46		6.92
	70.13	13.01	4.47	9.33	4.67	60.70		13.02
	84.68	14.55	4.11	8.58	4.29	62.41		14.55
	99.14	14.46	2.93	7.03	3.52	50.83		14.51
	119.98	20.84	1.81	4.74	2.37	49.38		20.87
	144.06	24.08	1.48	3.29	1.65	39.62		24.08
							394.90	123.14

CALCULOS HIDRAULICOS (AREAS Y PERIMETROS MOJADOS)

OBRA VIAL	ESTACION	11+500
CRUCE	RIO "SABINAS"	de Km. a Km
TRAMO	LAS RUCIAS - EL NACIMIENTO	ORIGEN
SUBTRAMO	LAS RUCIAS - EJIDO MORELOS	N.A.M.E.
SECCION HIDRAULICA	NO. 1 A 265.70 m AGUAS ARRIBA	ELEV. = 502.00 m.(CAMPO)
		ENT. CARR. MUZQUIZ - B. DEL C.

TRAMO	CADENAMIENTO	DISTANCIA (m)	TIRANTE (m)	SUMA DE TIRANTES (m)	TIRANTE MEDIO (m)	A R E A S		PERIMETRO MOJADO (m)
						PARCIAL (m ²)	TOTAL (m ²)	
2	144.06		1.48					
	163.00	18.94	1.86	3.34	1.67	31.63		18.94
	171.78	8.78	3.05	4.91	2.46	21.56		8.86
	180.48	8.70	2.84	5.89	2.94	25.62		8.70
	191.46	10.98	1.03	3.87	1.93	21.24		11.13
	212.23	20.77	0.51	1.54	0.77	15.98		20.78
	234.32	22.09	0.63	1.14	0.57	12.59		22.09
	260.07	25.75	0.71	1.34	0.67	17.28		25.75
	260.38	0.31	0.73	1.44	0.72	0.22		0.31
	270.54	10.16	1.96	2.69	1.35	13.67		10.23
	290.41	19.87	1.74	3.70	1.85	36.75		19.87
	317.69	27.28	1.33	3.07	1.54	41.87		27.28
	327.24	9.55	0.24	1.57	0.79	7.52		9.61
	339.05	11.81	0.28	0.52	0.26	3.07		11.81
	349.53	10.48	1.73	2.01	1.00	10.51		10.58
	358.42	8.89	1.86	3.58	1.79	15.93		8.89
	366.69	8.27	0.06	1.92	0.96	7.94		8.46
372.27	5.58	0.00	0.06	0.03	0.18		5.58	
							283.56	228.89

5.10. Estudio hidráulico (Áreas y perímetros de la sección ubicada aguas abajo)

C A L C U L O S H I D R A U L I C O S
(Á R E A S Y P E R Í M E T R O S M O J A D O S)

OBRA VIAL		ESTACION	11+500
CRUCE	RIO "SABINAS"	de Km.	a Km
TRAMO	LAS RUCIAS - EL NACIMIENTO	ORIGEN	ENT. CARR. MUZQUIZ - B. DEL C.
SUBTRAMO	LAS RUCIAS - EJIDO MORELOS	N.A.M.E.	ELEV. = 499.22 m.(CAMPO)
SECCION HIDRAULICA	NO. 2 A 632.70 m AGUAS ABAJO		

TRAMO	CADENAMIENTO	DISTANCIA (m)	TIRANTE (m)	SUMA DE TIRANTES (m)	TIRANTE MEDIO (m)	A R E A S		PERIMETRO MOJADO (m)
						PARCIAL (m ²)	TOTAL (m ²)	
1	9.63		0.00					
	17.20	7.57	0.22	0.22	0.11	0.83		7.57
	52.83	35.63	0.72	0.94	0.47	16.75		35.63
	80.00	27.17	0.79	1.51	0.75	20.49		27.17
	107.84	27.84	1.20	1.99	0.99	27.66		27.84
							65.72	98.22
2	107.84		1.20					
	137.48	29.64	1.35	2.55	1.28	37.81		29.64
	162.50	25.02	1.17	2.52	1.26	31.56		25.02
	187.79	25.29	1.52	2.69	1.35	34.04		25.29
	187.93	0.14	1.53	3.05	1.52	0.21		0.14
	212.87	24.94	2.00	3.52	1.76	43.92		24.94
	231.25	18.38	2.25	4.24	2.12	39.00		18.38
	243.56	12.31	3.10	5.35	2.67	32.91		12.34
	245.10	1.54	4.20	7.30	3.65	5.62		1.89
	262.44	17.34	4.28	8.48	4.24	73.50		17.34
	263.11	0.67	4.74	9.02	4.51	3.02		0.82
	269.08	5.97	4.67	9.41	4.70	28.08		5.97
	270.01	0.93	4.22	8.89	4.44	4.13		1.03
	277.59	7.58	4.34	8.55	4.28	32.42		7.58
	278.76	1.17	5.00	9.34	4.67	5.46		1.35
284.31	5.55	5.05	10.05	5.03	27.89		5.55	
290.20	5.89	1.62	6.67	3.34	19.65		6.81	
							419.23	184.10

5.11. Estudio hidráulico (Método de Manning aplicado a las dos secciones)

CALCULOS HIDRAULICOS (SECCION Y PENDIENTE)

OBRA VIAL	CRUCE	RIO "SABINAS"	ESTACION
TRAMO	LAS RUCIAS-EL NACIMIENTO	DE Km	A Km
SUB TRAMO	LAS RUCIAS-EJIDO MORELOS	ORIGEN	ENT. CARR. MUZQUIZ-B. DEL CARMEN

TRAMO	AREA HIDRAULICA A (m ²)	PERIMETRO MOJADO P (m)	RADIO HIDRAULICO r (m)	$r^{2/3}$	COEFICIENTE RUGOSIDAD n	VELOCIDAD V m/s	GASTO PARCIAL Q (m ³ /s)	
1	394.90	123.14	3.21	2.17	0.045	2.69	1063	SECCION HIDRAULICA NO. 1 A 265.70 M AGUAS ARRIBA N.A.M.E. = <u>502.00 m (CAMPO)</u> PENDIENTE: S = <u>0.0031</u> $S^{1/2}$ = <u>0.0557</u> VEL. MEDIA : Q/A <u>1.83</u> m/s
2	283.56	228.89	1.24	1.15	0.100	0.64	182	
SUMA	678.46	352.03					1245	
1	65.72	98.22	0.67	0.77	0.100	0.43	28	SECCION HIDRAULICA NO. 2 A 632.70 M AGUAS ABAJO N.A.M.E. ELEV= <u>499.22 m (CAMPO)</u> PENDIENTE: S = <u>0.0031</u> $S^{1/2}$ = <u>0.0557</u> VEL. MEDIA : Q/A <u>1.91</u> m/s
2	419.23	184.1	2.28	1.73	0.045	2.14	898	
SUMA	484.95	282.32					926	
								SECCION HIDRAULICA N.A.M.E. ELEV= PENDIENTE: S = <u>0.0031</u> $S^{1/2}$ = <u>0.0557</u> VEL. MEDIA : Q/A m/s

5.12. Estudio hidráulico (Áreas y perímetros para 100 años)

CALCULOS HIDRAULICOS (ÁREAS Y PERIMETROS MOJADOS)

OBRA VIAL		ESTACION	11+500
CRUCE	RIO "SABINAS"	de Km.	a Km
TRAMO	LAS RUCIAS - EL NACIMIENTO	ORIGEN	ENT. CARR. MUZQUIZ - B. DEL C.
SUBTRAMO	LAS RUCIAS - EJIDO MORELOS	N.A.E.	ELEV. = 501.71 m.(DISEÑO)
SECCION HIDRAULICA	NO. 1 A 265.70 m AGUAS ARRIBA		

TRAMO	CADENAMIENTO	DISTANCIA (m)	TIRANTE (m)	SUMA DE TIRANTES (m)	TIRANTE MEDIO (m)	ÁREAS		PERIMETRO MOJADO (m)
						PARCIAL (m ²)	TOTAL (m ²)	
1	23.51		0.00					
	31.23	7.72	1.80	1.80	0.90	6.96		7.93
	35.51	4.28	4.59	6.40	3.20	13.69		5.11
	39.02	3.51	5.13	9.72	4.86	17.06		3.55
	45.21	6.19	4.91	10.04	5.02	31.06		6.19
	50.21	5.00	4.25	9.16	4.58	22.90		5.04
	57.12	6.91	4.57	8.82	4.41	30.48		6.92
	70.13	13.01	4.19	8.76	4.38	56.98		13.02
	84.68	14.55	3.82	8.01	4.00	58.25		14.55
	99.14	14.46	2.64	6.46	3.23	46.70		14.51
	119.98	20.84	1.53	4.17	2.08	43.42		20.87
	144.06	24.08	1.19	2.72	1.36	32.74		24.08
								360.23

CALCULOS HIDRAULICOS (AREAS Y PERIMETROS MOJADOS)

OBRA VIAL	ESTACION 11+500
CRUCE RIO "SABINAS"	de Km. _____ a Km _____
TRAMO LAS RUCIAS - EL NACIMIENTO	ORIGEN ENT. CARR. MUZQUIZ - B. DEL C.
SUBTRAMO LAS RUCIAS - EJIDO MORELOS	N.A.M.E. ELEV. = 501.71 m.(DISEÑO)
SECCION HIDRAULICA NO. 1 A 265.70 m AGUAS ARRIBA	

TRAMO	CADENAMIENTO	DISTANCIA (m)	TIRANTE (m)	SUMA DE TIRANTES (m)	TIRANTE MEDIO (m)	A R E A S		PERIMETRO MOJADO (m)
						PARCIAL (m ²)	TOTAL (m ²)	
2	144.06		1.19					
	163.00	18.94	1.58	2.77	1.38	26.21		18.94
	171.78	8.78	2.76	4.34	2.17	19.05		8.86
	180.48	8.70	2.55	5.32	2.66	23.13		8.70
	191.46	10.98	0.74	3.30	1.65	18.11		11.13
	212.23	20.77	0.22	0.97	0.48	10.05		20.78
	234.32	22.09	0.34	0.57	0.28	6.28		22.09
	260.07	25.75	0.43	0.77	0.38	9.91		25.75
	260.38	0.31	0.44	0.87	0.43	0.13		0.31
	270.54	10.16	1.68	2.12	1.06	10.76		10.23
	290.41	19.87	1.45	3.13	1.56	31.07		19.87
	317.69	27.28	1.19	2.64	1.32	36.06		27.28
	326.85	9.16	0.00	1.19	0.60	5.46		9.24
								196.25
3	326.85		0.00					
	327.24	0.39	0.04	0.04	0.02	0.01		0.39
	339.05	11.81	0.01	0.05	0.03	0.31		11.81
	349.53	10.48	1.44	1.45	0.72	7.60		10.58
	358.42	8.89	1.57	3.01	1.51	13.38		8.89
	366.10	7.68	0.00	1.57	0.78	6.02		7.84
							27.32	39.51

5.13. Estudio hidráulico (Método de Manning para gasto de 100 años)

C A L C U L O S H I D R A U L I C O S
(SECCION Y PENDIENTE)

OBRA VIAL	CRUCE	RIO "SABINAS"	ESTACION	11+500
TRAMO	LAS RUCIAS - EL NACIMIENTO	DE Km	A Km	
SUB TRAMO	LAS RUCIAS - EJIDO MORELOS	ORIGEN	ENT. CARR. MÚZQUIZ - B. DEL CARMEN.	

TRAMO	AREA HIDRAULICA A (m ²)	PERIMETRO MOJADO P (m)	RADIO HIDRAULICO r (m)	r ^{2/3}	COEFICIENTE RUGOSIDAD n	VELOCIDAD V m/s	GASTO PARCIAL Q (m ³ /s)	
1	360.23	121.77	2.96	2.06	0.045	2.55	918	SECCION HIDRAULICA NO. 1 A 265.70 M AGUAS ARRIBA N.A.M.E. = <u>501.71 m (DISEÑO)</u> PENDIENTE: S = <u>0.0031</u> S ^{1/2} = <u>0.0557</u> VEL. MEDIA : Q/A 1.79 m/s
2	196.25	183.19	1.07	1.05	0.100	0.58	114	
3	27.32	39.51	0.69	0.78	0.100	0.44	12	
SUMA	583.80	344.47					1045	
								SECCION HIDRAULICA NO. 2 N.A.M.E. ELEV= _____ PENDIENTE: S = _____ S ^{1/2} = _____ VEL. MEDIA : Q/A _____ m/s
								SECCION HIDRAULICA N.A.M.E. ELEV= _____ PENDIENTE: S = _____ S ^{1/2} = _____ VEL. MEDIA : Q/A _____ m/s

5.14. Estudio hidráulico (Áreas y perímetros para 25 años)

CALCULOS HIDRAULICOS (ÁREAS Y PERÍMETROS MOJADOS)

OBRA VIAL		ESTACION	11+500
CRUCE	RIO "SABINAS"	de Km.	a Km
TRAMO	LAS RUCIAS - EL NACIMIENTO	ORIGEN	ENT. CARR. MUZQUIZ - B. DEL CARMEN
SUBTRAMO	LAS RUCIAS - EJIDO MORELOS	N.A.M.E.	ELEV. = 501.29 m.(DISEÑO)
SECCION HIDRAULICA	NO. 1 A 265.70 m AGUAS ARRIBA		

TRAMO	CADENAMIENTO	DISTANCIA (m)	TIRANTE (m)	SUMA DE TIRANTES (m)	TIRANTE MEDIO (m)	ÁREAS		PERÍMETRO MOJADO (m)
						PARCIAL (m ²)	TOTAL (m ²)	
1	25.33		0.00					
	31.23	5.90	1.38	1.38	0.69	4.07		6.06
	35.51	4.28	4.17	5.55	2.77	11.87		5.11
	39.02	3.51	4.70	8.87	4.44	15.57		3.55
	45.21	6.19	4.48	9.19	4.59	28.43		6.19
	50.21	5.00	3.83	8.31	4.16	20.78		5.04
	57.12	6.91	4.15	7.98	3.99	27.55		6.92
	70.13	13.01	3.76	7.91	3.96	51.46		13.02
	84.68	14.55	3.40	7.16	3.58	52.08		14.55
	99.14	14.46	2.22	5.61	2.81	40.57		14.51
	119.98	20.84	1.10	3.32	1.66	34.58		20.87
	144.06	24.08	0.77	1.87	0.94	22.53		24.08
							309.50	119.90
2	144.06		0.77					
	163.00	18.94	1.15	1.92	0.96	18.18		18.94
	171.78	8.78	2.34	3.49	1.75	15.33		8.86
	180.48	8.70	2.13	4.47	2.23	19.44		8.70
	191.46	10.98	0.32	2.45	1.22	13.45		11.13
	204.22	12.76	0.00	0.32	0.16	2.04		12.76
							68.44	60.40

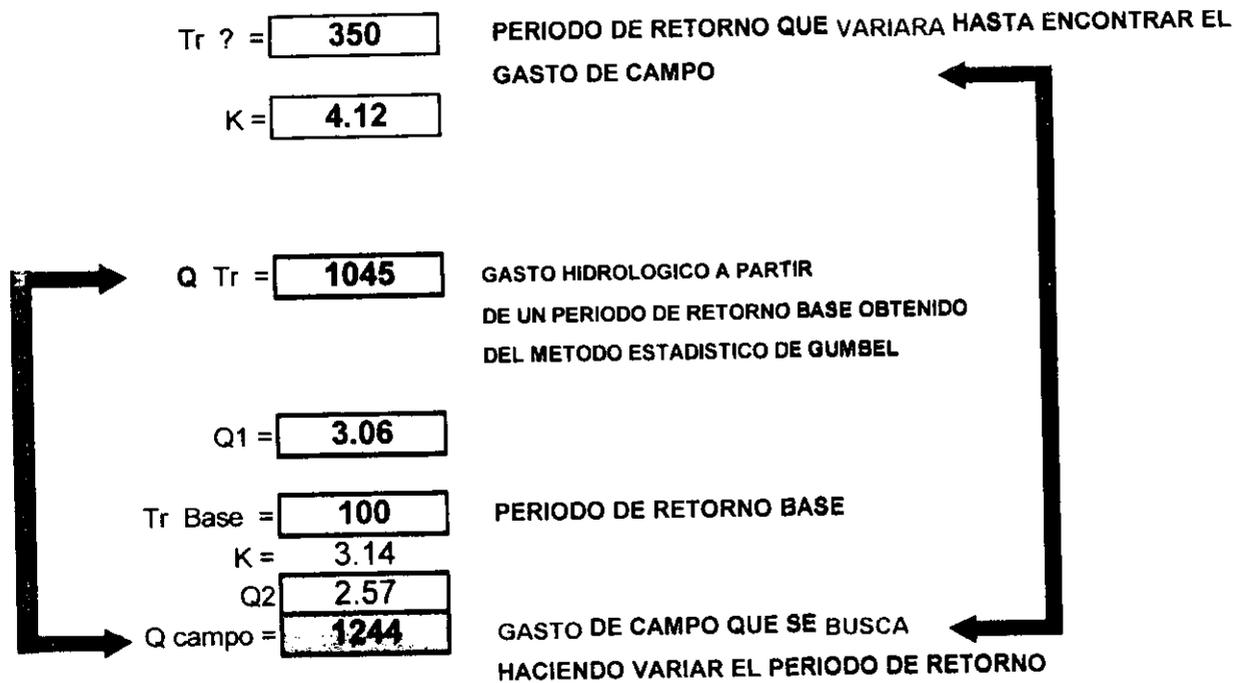
5.15. Estudio hidráulico (Método de Manning para gasto de 25 años)

C A L C U L O S H I D R A U L I C O S
(SECCION Y PENDIENTE)

OBRA VIAL	CRUCE	RIO "SABINAS"	ESTACION	11+500
TRAMO	DE Km		A Km	
SUB TRAMO	ORIGEN	ENT. CARR. MUZQUIZ - B. DEL CARMEN		

TRAMO	AREA HIDRAULICA A (m ²)	PERIMETRO MOJADO P (m)	RADIO HIDRAULICO r (m)	$r^{2/3}$	COEFICIENTE RUGOSIDAD n	VELOCIDAD V m/s	GASTO PARCIAL Q (m ³ /s)	
1	309.50	119.90	2.58	1.88	0.045	2.33	721	SECCION HIDRAULICA NO. 1 A 625.70 M AGUAS ARRIBA N.A.M.E. = <u>501.29 m (DISEÑO)</u> PENDIENTE: S = <u>0.0031</u> $S^{1/2}$ = <u>0.0557</u> VEL. MEDIA : Q/A <u>2.02</u> m/s
2	68.44	60.40	1.13	1.09	0.100	0.61	41	
SUMA	377.94	180.30					762	
								SECCION HIDRAULICA N.A.M.E. ELEV= _____ PENDIENTE: S = _____ $S^{1/2}$ = _____ VEL. MEDIA : Q/A _____ m/s
								SECCION HIDRAULICA N.A.M.E. ELEV= _____ PENDIENTE: S = _____ $S^{1/2}$ = _____ VEL. MEDIA : Q/A _____ m/s

5.16. Estudio hidrológico (Método de Gumbel para calcular el período de retorno del gasto de campo)



BIBLIOGRAFIA

1. Bancel López Alain. Hidrología. Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. 1975.
2. Campos A. D. F. Recopilación de Fórmulas Empíricas para el cálculo del tiempo de concentración y de pico. Subdirección Regional Noreste, SARH. México, 1977.
3. Comisión Federal de Electricidad. Manual de Diseño de Obras Civiles. México, D. F. 1971.
4. Comisión Nacional del Agua. Morfología de Ríos. Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. México, D. F. 1993.
5. Comisión Nacional del Agua. Hidráulica de Canales. Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. México, D. F. 1993.
6. Domínguez M. R. Tormentas y Avenidas de Diseño. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 1976.
7. F. M. Henderson. Open Channel Flow. Mc Millan Series In Civil Engineering. N. Y. 1969.
8. Gilberto Sotelo Avila. Apuntes de Hidráulica de Canales II. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, México, D. F. 1993.

9. González Villarreal F. J. Contribución al Análisis de Frecuencias de Valores Extremos de los Gastos Máximos de un Río. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 1970.
10. Humberto Gardea Villegas. Apuntes de Hidráulica de Canales I al V. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, México, D. F. 1987.
11. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI. Fotografías Aéreas, Cartas Topográficas, Geológicas, Edafológicas y de Uso de Suelo. México, D. F.
12. Linsley, Kolher and Paulhus. Hidrología para Ingenieros. Mc Graw Hill. Bogota, Colombia. 1977.
13. Montes de Oca. Apuntes de Topografía. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón. San Juan de Aragón, Estado de México. 1975.
14. Moreno, G. A. Apuntes del Curso de Ingeniería de Ríos y Costas. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. 1978.
15. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Manual para la Estimación de Avenidas Máximas en Cuencas y Presas Pequeñas. México, D. F. 1982.
16. Secretaría de Obras Públicas. Aspectos Generales de Drenaje en Construcción de Puentes. México, D. F. 1970.
17. Secretaría de Obras Públicas. Seminario de Drenaje. México, D. F. 1975.

18. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. **Manual de Proyecto Geométrico en Carreteras**. México, D. F. 1995.
19. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. **Modelos de Análisis de las Características de la Precipitación y de las Condiciones de la Cuenca para obtener Criterios de Diseño de Estructuras de Cruce y Drenaje en Carreteras**. México, D. F. 1973.
20. Springal G. R. **Drenaje en Cuencas Pequeñas**. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 1969.
21. Springal G. R. **Escurrimiento en Cuencas Grandes**. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 1973.
22. Springal G. R. **Hidrología**. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 1972.
23. Ven Te Chow. **Hidrología**. Mc Graw Hill. 1962.
24. Ven Te Chow. **Hidráulica de Canales Abiertos**. Mc Graw Hill. 1959.