

CAPITULO III

P R O Y E C T O

III.1 Estudios Topográficos.

Después de realizar los estudios socioeconómicos que justifican -- la construcción o mejoras de un camino, es necesario realizar una serie de trabajos preliminares que básicamente comprenden el estudio comparativo de todas las rutas más convenientes, para seleccionar la que ofrezca mas ventajas tanto económicas como sociales. -- Se entiende por ruta, la franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligados; y por punto obligado aquellos sitios por los que necesariamente debe pasar el camino.

El proyecto de carreteras se puede dividir en tres partes: Selección de ruta, Anteproyecto y Proyecto.

Para recopilar los datos e información necesaria se requiere de un levantamiento topográfico, ya sea utilizando los métodos convencionales terrestres, o empleando el método fotogramétrico. El levantamiento topográfico será esencialmente un plano con sus curvas de nivel de la faja en estudio, un plano con el perfil longitudinal del terreno en el eje de la poligonal que sirvió de base y un plano de seccionamiento transversal.

Para seleccionar cual método es el mas apropiado para realizar el levantamiento topográfico se deberá tener en cuenta lo siguiente:

A) Vegetación.- La altura, densidad y tipo de vegetación son factores importantes para la precisión en un estudio fotogramétrico.

Una altura mayor de 0.10 metros en una vegetación densa causa -- corrección al efectuar la restitución en el método fotogramétrico. A una altura mayor de 1.0 metros dependerá de la densidad de la vegetación, a manera de guía se pondrá una tabla para

###...

determinar si es posible su empleo. Cuando la vegetación sobrepase los valores dados en la tabla de la fig. 3.1.1 no debe recurrirse al método fotogramétrico. Con el terrestre convencional cuando la vegetación densa, no represente mas del 50%, usándose el fotogramétrico donde la vegetación lo permite. Pag. 26.

- B) Configuración Topográfica.- El terreno se clasifica en plano, - lomerío y montañoso. Se darán algunas recomendaciones para cada tipo de terreno.
- a) En terreno plano o lomerío suave, por ser más económico y rápido (en estos casos ya que el tiempo requerido para el control terrestre es mas o menos el mismo para el trazo definitivo), se recomienda usar el método convencional terrestre.
 - b) En terreno de lomerío, en caminos hasta 30 kms. de longitud - conviene utilizar el método convencional terrestre, y en caminos mayores de esta cantidad el fotogramétrico, ya que saldría más económico.
 - c) En terreno montañoso, por ser mas económico el fotogramétrico siempre que el camino tenga una longitud mayor de 10 kms.
- C) Plazo de Ejecución.- Cuando el plazo de ejecución es corto y no puede hacerse la toma de fotografías de inmediato, como por ejemplo, por condiciones atmosféricas desfavorables, se recomienda - el método convencional terrestre.
- D) Accesibilidad a la zona.- La dificultad de acceso a la zona del camino en estudio, ya sea por los costos, tiempo o transporte, - determinará el método a seguir.

El proyectista se deberá basar en cartas geográficas y geológicas. Las principales cartas geográficas en el país son las elaboradas por la Secretaría de la Defensa Nacional, a escalas 1:250 000, - - 1:100 000, 1:50 000 y 1:25 000. Estas cartas pueden dar una idea de las características de la región en lo que respecta a topografía, - hidrología y ubicación de las poblaciones. Se deberán trazar sobre la carta las posibles rutas dividiéndolas en tramos y éstos a su --

###...

vez en subtramos, designándolas normalmente por los nombres de -- las poblaciones extremas. Cabe añadir que en las diferentes rutas saldrán nuevos puntos de paso obligados tales como: cruce de ríos, puertos, cruces en otras vías que constituyen puntos obligados -- secundarios.

Deberán considerarse también los desniveles entre los puntos obligados, así como las distancias entre ellos, para conocer la pendiente que gobernará en su trazo.

Una vez trazadas las posibles rutas en las cartas geológicas, se deberán hacer los reconocimientos. Los cuales pueden ser aéreos, terrestres o una combinación de ambos.

III.1.1 Reconocimiento Terrestre.

Este tipo de reconocimiento se lleva a cabo cuando no es posible realizar el aéreo, es menos efectivo que éste ya que el técnico - localizador no puede abarcar grandes extensiones de área y tiene que estudiar por partes su línea; de la misma manera el geólogo - no puede abarcar grandes zonas para poder definir formaciones, -- los contactos, las fallas y las fracturas.

Este reconocimiento se efectúa después de haber realizado un estudio sobre las posibles rutas en las cartas geológicas y haber -- elaborado un presupuesto llegando a una ruta única ya que por este reconocimiento no es posible recorrer todas las rutas probables.

El ingeniero localizador se auxilia de aparatos como el aneroide, la brújula, clisímetro, binoculares y cámara fotográfica.

Se deberá dejar señales sobre la ruta para posteriormente ser seguida por el trazo preliminar, figura 3.1.2 .

III.1.1.A Trazo Preliminar.

Fijados los puntos obligados del camino, se lleva a cabo el trazo

###...

preliminar que no es mas que una poligonal abierta, la finalidad -- del trazo preliminar es tener una base para el trazo definitivo y -- elaborar un presupuesto que ayude en la selección de la ruta más -- conveniente.

El trazo preliminar se efectúa de la siguiente manera:

- 1).- Punto de partida. Debe ser completamente identificado, como -- por ejemplo, un cruce de carreteras, un puente, un cruce de -- vía de ferrocarril. etc., si no existe algo parecido establézcalo y tome la más detallada identificación de tal manera que pueda ser localizado años después.
- 2).- Obtenga el azimut de su punto de partida, de ser posible obtenga las latitudes, de no ser posible haga observaciones solares (cinco)
- 3).- Determine la cota del punto de partida. Si no se cuenta con un banco de nivel dentro de los 5 kms. para correr una nivelación hágalo con un barómetro aneróide.
- 4).- Establezca su kilometraje. Si no se tiene un kilometraje conocido, márquelo como el 0+000.
- 5).- Tome las siguientes precauciones:
 - a) Al trazar no haga esfuerzos por tener grandes tangentes, -- pero si por avanzar el trabajo con orden y precisión.
 - b) Coloque estacas cada 20 mts. ó en los puntos intermedios de quiebres del terreno.
 - c) No pierda el tiempo con una colocación precisa de las estacas, ya que si se colocan dentro de los 5 cms. no perjudica grandemente el cadeneo.
 - d) Evite el daño a sembradíos, árboles frutales, etc., haciendo el trazo paralelo a las hileras y no en diagonal.

###...

- e). Coloque mojoneeras de concreto para marcar cada PI.
 - f) Tome doble lectura en los puntos PI anotando el ángulo -- simple como el doble. Los puntos intermedios deberán ser tomados dos veces haciendo girar el anteojo 180°.
 - g) Haga observaciones solares cada 10 kms. corrigiendo los azimutes para que se correspondan.
- 6).- Efectúa la nivelación del perfil de la línea preliminar.

Deben obtenerse las cotas de todas las estaciones colocadas, tanto las de 20 mts. como las intermedias, con una precisión de centímetros. Además deben colocarse bancos de nivel a cada 500 mts. y en los puntos apropiados para la colocación de puentes, etc. Estos bancos de nivel se deben numerar por el kilómetro en que se encuentran y el número que comprende a ese kilómetro. Ejemplo BN-8-5 Elev. 128.301 mts. correspondería al quinto banco de nivel del kilómetro 8 (ocho).

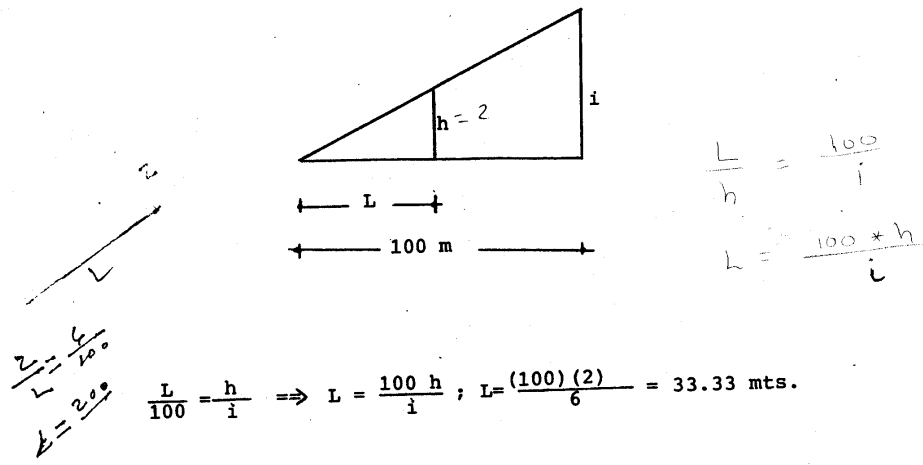
- 7).- Se procede a dibujar en gabinete la poligonal base de preferencia de color negro y las curvas de nivel a color sepia.

III.1.1 B Línea a pelo de tierra.

Conociendo las curvas de nivel del terreno y la pendiente gobernadora (se recomienda que cuando se tenga la pendiente máxima, se use 2 ó 3% menor para apegarse más a las condiciones que se esperan), se trazará la línea de la siguiente manera:

Si se tiene una pendiente y una equidistancia entre curvas de nivel dadas, se calculará la trayectoria que debe seguir el trazo para tener esa pendiente por medio de una regla de tres, ejemplo: Si la equidistancia entre curvas es de 2 mts. y se proyecta con 6%.

###...



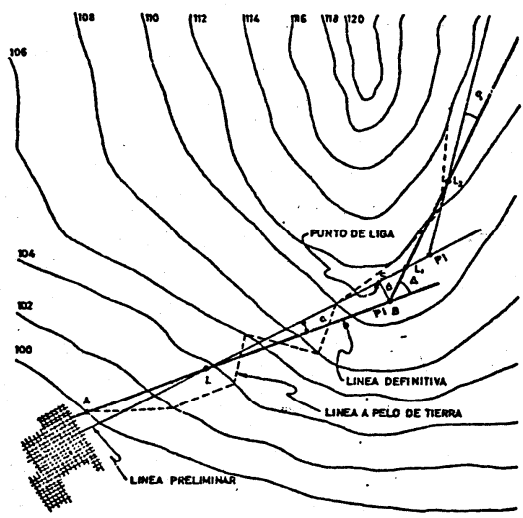
$\frac{L}{100} = \frac{h}{i} \Rightarrow L = \frac{100 h}{i} ; L = \frac{(100)(2)}{6} = 33.33 \text{ mts.}$

A la escala que se esté trabajando se toma la distancia "L" con la abertura de un compás y se va trazando de curva en curva donde la longitud se adapte.

La unión de estos puntos dará la línea a "Pelo de Tierra" que es la base para proyectar la línea definitiva, que con las mayores tangentes posibles deberá ajustarse lo más que se pueda a la línea "a Pelo de Tierra", para esto se procurará compensar a izquierda y derecha de la línea quebrada "a Pelo de Tierra". Las tangentes se unirán con curvas que también se apeguen lo más posible a esta línea imaginaria o compensen su trazo a izquierda y derecha lo más posible; ver figura 3.1.3.

PROMEDIO ALTURA VEGETACION m	PROMEDIO DIAMETRO TOLLAJE m	PROMEDIO SEPARACION ARBOLLES C-C m	NUMERO MAXIMO DE ARBOLLES POR HECTAREA APROXIMADA
5	5	12	60
10	6	15	50
15	7	18	40
20	8	23	20
30	8	29	12

Fig. 3.1.1.
TABLA QUE LIMITA EL USO DEL METODO
FOTOGRAFICO



TRAZO DE LA LINEA A PELO DE TIERRA.

Fig. 3.1.3

III.1.2 Reconocimiento aéreo.

Es el que ofrece mayores ventajas, ya que se puede observar grandes zonas desde la altura que convenga facilitando el estudio; se distinguen tres tipos de reconocimiento aéreo.

1).- El primer reconocimiento aéreo se efectúa en avioneta y tiene por objeto determinar las rutas que se consideren viables y -- fijar el área que se debe fotografiar a escala 1:50 000, interviene en el técnico especialista en planeación, localización y geotécnica.

2).- El segundo reconocimiento aéreo se lleva a cabo después de interpretar las fotografías a escala 1:50 000 hechas en el primer reconocimiento y tiene por objeto comprobarlo estudiando en las fotografías. Este reconocimiento se efectúa en helicóptero para poder descender en los lugares de interés y acentuar aún más la información obtenida. Al finalizar el recorrido se fotografía la zona a escala 1:25 000 para proyectárlas en el aparato llamado -- Bal Plex que puede ampliar las fotografías hasta cinco veces mayor dando así una mayor idea de las rutas posibles para elaborar un presupuesto con una aproximación razonable que puede ser factor determinante en la elección de las rutas.

3).- El tercer reconocimiento puede ser aéreo o terrestre, es -- propiamente un refinamiento del estudio hecho en el Bal Plex en -- el cual ya no interviene el técnico especialista en planeación, -- un técnico en estudios toponométricos de cruces sustituye al geólogo que en conjunto con el técnico localizador fijan el lugar -- donde deben cruzarse los ríos, ver figura 3.1.4.

III.1.3 Reconocimiento combinado.

Es una combinación de los dos anteriores y se lleva a cabo en las siguientes circunstancias:

1.- Cuando no se dispone de fotografía aérea de la región y exis-

###...

te la posibilidad de realizar un recorrido en avión helicóptero. Se efectúa de forma similar al primer reconocimiento aéreo con -- la diferencia de que al volar se van marcando las rutas posibles en las cartas geográficas disponibles para después recorrerlas -- por tierra siguiendo el procedimiento indicado en el reconocimien to terrestre.

2.- Cuando se cuenta con fotografías de la zona y no se pueda rea lizar un recorrido aéreo. En este caso se hará la interpretación de las fotografías, marcando las diferentes rutas y eliminando -- las de menores ventajas. Después se hará un reconocimiento terres tre.

III.1.4 Fotografías Aéreas.

La información obtenida a través de las fotografías aéreas facili tan el estudio del terreno desde el punto de vista topográfico, - geológico y de uso de la tierra, permitiendo así determinar la -- elección de la mejor ruta.

Para la toma de fotografías aéreas se utilizan cámaras métricas de eje vertical, con lente granangular con distorsión máxima de - 0.01 milímetros y distancia focal de aproximadamente 152 milíme tros, con formato de 23 por 23 centímetros.

Para lograr la continuidad estereoscópica, debe existir una sobre posición longitudinal de 60 a 80 % y una sobreposición lateral de 20 a 30%, dependiendo de la relación relieve del terreno-altura - de vuelo. Ver figura 3.1.5. Pág. 34.

La toma de las fotografías está restringida a ciertas épocas del año y horas del día, por la presencia de nubes y por la proyec - ción de sombras; se especifica que las nubes no cubran más del 5% del área fotografiada y que el ángulo de altura del sol con res-- pecto al horizonte esté comprendido entre 45 y 75 grados, depen-- diendo de la topografía del terreno.

###...

Cuando se trate de un terreno plano es conveniente que el ángulo sea poco menor, porque así las sombras ayudan a observar el relieve.

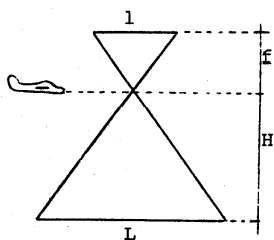
La escala de una fotografía vertical y el área cubierta por ella dependen de los siguientes elementos:

La distancia focal o constante de la cámara F , que es la distancia entre el centro óptico del objetivo y el plano de la imagen fotográfica o plano focal.

El formato l , que corresponde a las dimensiones de negativo de forma, o sean las longitudes de sus lados.

La altura de vuelo H , que es la distancia del centro óptico del objetivo al nivel medio del terreno en el área cubierta por la foto.

La escala media E_m de las fotografías, llamadas también escala de vuelo, se obtiene de la siguiente manera:



$$E_m = \frac{l}{L}$$

$$\frac{l}{L} = \frac{f}{H}$$

$$E_m = \frac{f}{H}$$

Para una escala de fotografías dada la altura de vuelo se calcula a partir de la fórmula anterior. Si se desean fotografías (ejemplo) a escala $E_m = 1:50,000$ con una cámara granangular, cuya distancia focal es $f = 152$ mm. (medio pie) entonces la altura de vuelo será:

$$H = \frac{f}{E_m} = \frac{0.5}{1/50,000} = 25,000 \text{ pies.}$$

###...

Si se requiere obtener la altitud del vuelo, o sea la altura del vuelo sobre el nivel del mar, habrá que agregar la altura ó elevación del terreno referido al nivel del mar.

III.1.5 Fotointerpretación

La fotointerpretación consiste en el exámen de las imágenes fotográficas, con el objeto de identificar rasgos y determinar su significado.

III.1.5.1 Identificación de las fotografías.

Los conceptos básicos para determinar el significado de las fotografías son:

- A).- Características físicas de las fotografías. El tono y textura tienen un papel importante, cada uno de los tonos entre el blanco y el negro y su frecuencia de cambio manifiesta la textura; por ejemplo, en las fotografías aéreas, las cimas de las montañas se ven en tonos más claros que las barrancas, porque aquéllas reciben más luz del sol.
- B).- Características de rasgos y objetos. Considerando la forma, el tamaño y la sombra de las imágenes, se pueden distinguir entre los objetos que se deben a la actividad humana y los naturales; por ejemplo: las imágenes con apariencia regular en general corresponden a objetos que se deben a la actividad humana mientras las imágenes irregulares corresponden a objeto de la naturaleza.
- C).- Características topográficas y geomorfológicas. El aspecto del relieve generalmente indica dureza de los materiales; Los materiales resistentes forman partes altas con taludes acen- tuados, en cambio los materiales blandos forman llanuras y lo- meríos suaves. La disposición o alineamiento puede indicar -- flujo, plegamientos, fracturas, fallas, etc., el drenaje está

###...

dado por la pendiente del terreno y por las características de -- resistenciã a la erosión de los materiales superficiales y subya-- centes de la zona.

D).-Características de la vegetación.- Por el tipo de vegetación se -- puede conocer o identificar el tipo de suelo y el de roca origi-- nal. Un determinado tipo de vegetación puede indicar la composi-- ción del suelo, contenido de humedad, permeabilidad, variaciones de su espesor y de su pendiente.

Debe distinguirse la vegetación natural de los cultivos que pueden -- desorientar.

El estudio de las aerofotos en gabinete requiere el siguiente equipo: estereoscopio, barra de paralaje, escalímetro, lupa, escuadras, lápices de cera.

El estereoscopio sirve para observar el relieve del terreno en la -- faja de sobreposición de las fotograffas; la barra de paralaje sirve principalmente para estimar desniveles del terreno.

III.1.5.2 Procedimiento de trabajo.

Se forma un mosaico con las rutas estudiadas previamente, con pares -- de las fotos seleccionadas; los diferentes especialistas estudian con el auxilio del estereoscopio, la localización de rutas, los aspectos geotécnicos, los de drenaje y los socioeconómicos a fin de conocer -- las ventajas y desventajas.

A).- El ingeniero especialista en localización determina la posición de una ó mas alternativas de trazo.

Por cada línea de ruta resultante, el localizador debe estimar la longitud total; longitudes de las diferentes pendientes; las cantidades de materiales en cuanto a terracerías y drenaje; el -- número y tipo de intersecciones; las afectaciones; y en general, todos los conceptos de costos que sirvan para evaluar cada alter-- nativa.

###...

En la elección de la ruta un factor importante es la pendiente del terreno. Para obtener el desnivel aproximado entre dos puntos dados contenidos en un estereoscopio, se utiliza la barra de paralaje de la siguiente manera:

Se procura obtener la escala de las fotografías con la mayor aproximación. Se puede formar referencia a puntos de control terrestres, o alguna estructura cuya longitud se conozca, en caso de no haberlas, se toma como buena la escala de la fotografía.

Se marcan las fotografías para determinar dos puntos principales N_1 y N_2 , los cuales están definidos por la intersección de las líneas que unen las marcas (figura 3.1.6). Estos puntos se transfieren a la otra foto, es decir el punto N_1 a la foto No. 2 en N_1' ; y el punto N_2 a la foto No.1 en N_2' . Se miden las distancias b_1 y b_2 y su promedio será la base área b .

Se comprueba la altura de vuelo H a la cual fué tomada la fotografía, ya sea por medio del altímetro marcado en cada foto o por la elevación promedio media del terreno.

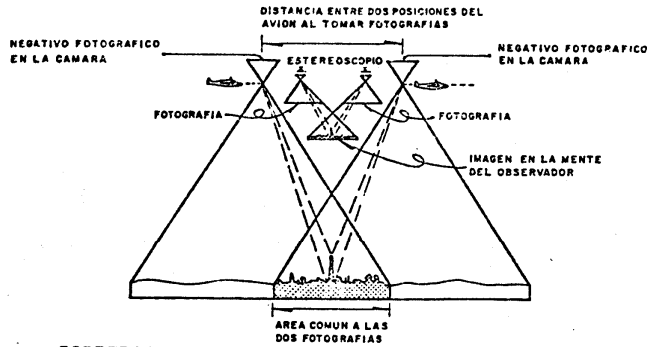
Supongamos que se quiere conocer el desnivel entre los puntos A y B (figura 3.1.6) de la foto No. 1 y $A'2$ y $B'2$ de la foto No. 2.

Se coloca la barra de paralaje haciendo coincidir sus índices con los puntos A y $A'2$ girando el micrómetro de la barra para hacer que el punto flotante toque terreno; en esta posición se toma lectura. Se llevan después a puntos B y $B'2$ girando el micrómetro hasta que el punto flotante toque el terreno y se toma esta nueva lectura. La diferencia de lecturas es precisamente la diferencia de paralajes; el desnivel que existe entre los puntos se calcula con la siguiente expresión:

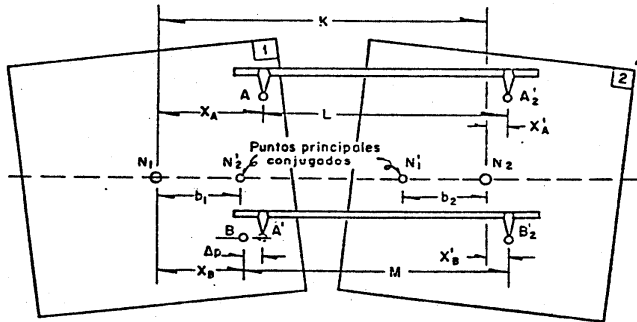
$$\Delta h = \frac{H}{b} \Delta p$$

B).- El estudio de las aerofotos desde un punto de vista geológico

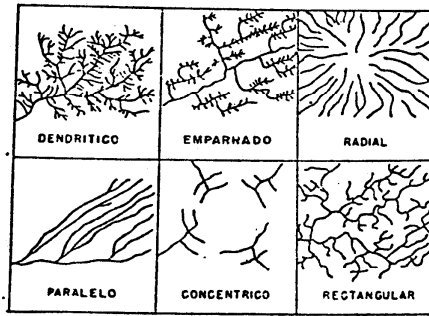
###...



SOBREPOSICION DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS.
Fig. 3.1.5



DETERMINACION DE DESNIVELES MEDIANTE LA BARRA DE PARALELAJE.
Fig. 3.1.6



TIPOS DE DRENAJE
Fig. 3.1.7

proporciona información sobre la morfología del terreno, la -- existencia de fallas y de zonas susceptibles de deslizamientos la clasificación de rocas y suelos, las cuencas de drenaje y - los materiales de construcción que se tengan en el área en estudio.

El drenaje es una de las mejores guías acerca de la geología - y los tipos de suelos en el área; también indica las líneas de menor resistencia.

El drenaje rectangular suele estar controlado por fallas, diaclasas y plegamientos; el drenaje radial indica como montañoso o una depresión o cuenca; el drenaje concéntrico indica una -- estructura en forma de domo (cúpula); drenaje dentrítico re- - presenta rocas homogéneas mientras que el drenaje paralelo se forma por extractos de diferentes resistencias a la erosión; - drenaje enarrado es característico de las rocas sedimentarias fuertemente plegadas.

En la figura 3.1.7 se muestran los diferentes tipos de drenaje.

Las características geológicas e hidrográficas de la zona, se indican en el mapa fotogeológico (mosaico) son símbolos convencionales, por ejemplo: los contactos geológicos con diferentes colores, los distintos tipos de roca con letras clave, también existe clave especial para las fracturas, rumbos y echados. Es costumbre representar los escurrideros de color azul.

- C).- El estudio socioeconómico de las fotografías se encamina fundamentalmente a estimar las poblaciones y su localización, uso actual y potencial de la tierra, a los recursos forestales y - minerales y en general a todo lo que represente desarrollo social y económico de la zona.

III.2 Estudios Geotécnicos.

Se entiende por Estudios Geotécnicos todo el conjunto de estudios de campo y laboratorio , recorridos e inspecciones, análisis y - - cálculo que conducen al conjunto de recomendaciones y conclusiones necesarias para establecer las normas geotécnicas a que han de ceñirse los proyectos y procedimientos de construcción.

El estudio deberá poner a disposición del grupo encargado del proyecto toda la información relevante sobre el terreno y cimentación, tipos de materiales a emplear y el partido conveniente que puede - obtenerse, señalando su probable comportamiento futuro, los tratamientos y procedimientos de construcción que se deberán utilizar.

Un estudio geotécnico se puede dividir en dos partes:

- a) Reconocimiento, exploración, levantamientos de datos y pruebas de laboratorio.
- b) Recopilación de la información disponible, se analiza, se producen recomendaciones detalladas y concretas.

Para la primera parte conviene dividir la zona por sub-zonas con -- características similares. Se deberá describir cada sub-zona verticalmente, clasificando cada una de las capas o extractos que la - - compongan, por lo que es necesario efectuar varios sondeos y efectuar algunas pruebas de campo y laboratorio.

En esta parte del estudio se deberán anotar las siguientes observaciones: Tipo de terreno (escarpado, montañoso, lomerío suave o fuerte, plano); tipo de rocas (ígneas, sedimentarias ó metamórficas); - tipo de suelos (residuales ó transportados) haciendo lo más detallado posible. Se anexa formeta en Figura 3.2.1.

Uno de los datos de mayor interés es el de los coeficientes de variación volumétrica de los materiales que se utilizarán en la cons-

###...

**CUESTIONARIO PARA RECONOCIMIENTO INICIAL
DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOTECNICO**

CARRETERA: _____

TRAMO: _____

SUB TRAMO: _____

DE KM ____ + ____ a KM ____ + ____

ORIGEN: _____

FECHA _____

El objeto de este reconocimiento inicial será el de zonificar el tramo por estudiar.

1. ZONIFICACION FISIOGRAFICA

1. CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS SUPERFICIALES O MORFOLOGICAS

(Poner una cruz en la casilla correspondiente al tipo de terreno entre los kilometrajes a la izquierda).

UBICACION		TIPO DE TERRENO				
DE KM	A KM	ESCARPADO	MONTAÑOSO	LOMERIO		PLANO
				FUERTE	SUAVE	
+	+					
+	+					
+	+					
+	+					
+	+					

Fig. 3.2.1.

2. DESCRIPCION LITOLOGICA GENERAL

UBICACION		TIPO DE ROCAS						
DE KM	A KM	IGNEAS			SEDIMENTARIAS		METAMORFICAS	
		INTRUSIVAS	EXTRUSIVAS		ESTRATIFICADA	NO ESTRATIFICADA	FOLIADAS	NO FOLIADAS
			LAVICAS	PIROCLASTICAS				

3. DESCRIPCION GENERAL DE SUELOS

UBICACION		TIPOS DE SUELOS				
DE KM	A KM	RESIDUALES		TRANSPORTADOS		
		FRICCIONANTES	COHESIVOS	AGUA	VIENTO	GRAVEDAD

Fig. 3.2.1. (continuación)

trucción de las terracerías.

El coeficiente de variación volumétrica es un número que expresa -- la relación entre el peso volumétrico seco en estado natural y el -- mismo concepto cuando el material está compactado a un cierto grado de compactación.

Se expresa de la sig. manera:

$$C_{vv} = \frac{\gamma_{dn} / \gamma_{d \text{ máx.}}}{G_c} \quad \begin{array}{l} \text{Valores típicos} \\ \text{Fig. 3.2.2} \end{array}$$

Donde:

γ_{dn} = Peso volumétrico seco del suelo en estado natural, en el lugar donde ha de ser extraído.

$\gamma_{d \text{ máx.}}$ = Peso volumétrico seco máximo que puede obtenerse para ese suelo con la prueba de control de compactación que se esté empleando.

G_c = Grado de compactación que se especifique para cada -- caso.

El coeficiente de variación volumétrica permite calcular los volú-- menes de material que han de ser excavados y obtenidos de bancos de préstamo para llegar a los verdaderos costos de un proyecto.

La fórmula anterior no es válida para materiales compuestos por -- fragmentos de roca, ya que estos materiales no se pueden someter a las pruebas de compactación ordinarias. Para estos casos se anexa -- Fig. 3.2.2 con algunos de los valores típicos de coeficientes de -- variación volumétrica.

Las instituciones que se dedican a proyectar y construir vías te-- rrestres en gran escala tienen la necesidad de clasificar el mate-- rial para fines de pago. Esta clasificación se basa de acuerdo en -- la dificultad para las operaciones, los equipos y métodos que se --

###...

Valores típicos de coeficientes de variación volumétrica

TIPO DE MATERIAL	COMPACTADO			BANDEADO	ABUNDA- MIENTO
	90 %	95 %	100 %		
ARENA					
SUELTA	0.87	0.82	0.78		1.00
MEDIANAMENTE COMPACTA	0.96	0.91	0.86		1.10
COMPACTA	1.03	0.98	0.93		1.20
MUY COMPACTA	1.11	1.05	1.00		1.28
LIMO NO PLASTICO					
MUY SUELTO	0.82	0.78	0.74		1.06
SUELTO	0.91	0.86	0.82		1.17
MEDIANAMENTE COMPACTO	0.99	0.94	0.89		1.27
COMPACTO	1.06	1.00	0.95		1.36
MUY COMPACTO	1.11	1.05	1.00		1.43
ARCILLA Y LIMO PLASTICO					
MUY BLANDA	0.78	0.74	0.70		1.08
BLANDA	0.87	0.82	0.78		1.20
MEDIA	0.95	0.90	0.85		1.30
FIRME	1.01	0.96	0.91		1.40
MUY FIRME	1.08	1.02	0.97		1.49
DURA	1.14	1.08	1.02		1.57
ROCAS					
MUY INTEMPERIZADAS. Rocas con alteración física y química muy avanzadas, poco cementadas, con grietas apreciables rellenas de suelo; se disgregan fácilmente. Podrán atacarse con tractor y se obtendrán fragmentos chicos, gravas, arenas y arcillas.				1.00	1.10
MEDIANAMENTE INTEMPERIZADAS. Rocas con alteración física y química medianamente avanzadas, medianamente cementadas, fracturadas. Para atacarlas se requerirá el empleo de arado y de explosivos de bajo poder y se obtendrán fragmentos chicos y medianos, gravas y arenas.				1.07	1.25
POCO INTEMPERIZADAS. Rocas con poca alteración física o química, bien cementadas, poco fracturadas. Para atacarlas se requerirá el empleo de explosivos de alto poder y se obtendrán fragmentos medianos, chicos y grandes y gravas.				1.15	1.50
SANAS. Rocas sin alteración física o química, poco o nada fisuradas, bien cementadas, densas. Para atacarlas se requerirá el empleo de explosivos de alto poder y se obtendrán fragmentos grandes y medianos.				1.25	1.75

Fig. 3.2.2.

utilizan en cada caso. La práctica mexicana distingue tres tipos. El material tipo "A" que es fácilmente excavable, por ejemplo con pico y pala; el "B" que presenta mayores dificultades, pero no se requiere del uso de explosivos para su remoción, y el "C" que ha de ser extraído con el uso de explosivos. En México por lo tanto se clasifica el material por medio de tres números que siempre sumen 100, que representan los porcentajes de material A; B y C.

Uno de los puntos fundamentales de un estudio geotécnico para una vía terrestre será el conjunto de recomendaciones que incluye para señalar la inclinación que haya de darse a cortes y terraplenes. En la fig. 3.2.3 se anexan recomendaciones.

Un complemento fundamental será el indicar la utilización que podrá darse dentro del cuerpo de las terracerías a los diferentes materiales encontrados en el campo.

Los materiales para formar terracerías se obtienen de tres fuentes distintas. Se utiliza el excavado en corte para formar un terraplén vecino, este procedimiento suele llamarse compensación longitudinal y resulta económico ya que los acarreos y desperdicios son mínimos.

Otra fuente es la obtención del material paralelo al eje de vía, -- por lo general dentro del derecho de vía, a este procedimiento se le denomina préstamo lateral.

El último método son los bancos de préstamo, que son depósitos naturales de materiales con características apropiadas, los cuales se acarrean y se tienden en la vía.

Los préstamos laterales y bancos serán objeto de un estudio geotécnico, deben ser localizados y analizados apropiadamente para tener información precisa.

Taludes recomendados en cortes

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Granito sano y masivo.					Descopetar a 1/2:1 la parte intemperada si la hay.
Granito sano fisurado en bloques.					Amacizar taludes según la disposición de los bloques.
Granito exfoliado, grandes bloques empacados en arena.					No se considera recomendable la construcción de bermas en el cambio de talud.
Granito exfoliado, grandes bloques empacados en arcilla arenosa.					Se recomienda construir banqueta con el objeto de recibir en ella los pequeños desprendimientos que normalmente se presentan.
Granito totalmente intemperado (tucuruquí).					Si el producto de la intemperación del granito es arena fina, limosa o arcillosa, se recomienda proyectar banqueta de 1 m para cortes hasta de 15 m y de 3 m para cortes mayores.
Dioritas.	Se recomienda tomar en cuenta las mismas observaciones que se hacen para los granitos, dependiendo del grado de intemperismo de la roca.				
Andesita fisurada, sin alteración.					Se recomienda amacizar siguiendo los planos de fisuramiento.
Andesita fracturada y poco alterada.					Se puede construir borma de 4 m al cambiar talud si la parte inferior del corte no contiene arcilla en las fracturas y éstas están cerradas.
Andesita fracturada y alterada.					Se recomienda descopetar con talud 1:1 la parte superficial más alterada. Si existe flujo de agua deberá proyectarse un subdrenaje adecuado.

Fig. 3.2.3

(Continuación)

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Riolitas sanas o fracturadas en grandes bloques, con sistemas de fracturamiento a 90° horizontal y verticalmente.					Se recomienda amacizar siguiendo los planos de fracturamiento, así como descopetar a 1:1 la parte interperizada.
Dialbas sana poco fracturada.					Se recomienda amacizar.
Basalto fracturado, sano.					Descopetar 1/2:1 la parte superior del corte si el fracturamiento es muy intenso. Si hay una capa interperizada descopetar 1:1.
Basalto fracturado en bloques de todos tamaños.					Si los fragmentos están sueltos y sin suelo, o empacados en arcilla o limo suave con flujos de agua.
Basalto fracturado en bloques de todos tamaños.					Si los fragmentos están empacados en arcilla firme sin que existan flujos de agua.
Basalto muy fracturado y en proceso muy avanzado de interperización.					En zonas muy lluviosas se recomienda construir al pie del talud una banqueta de 1 m para cortes hasta de 15 m y de 3.0 m para cortes mayores de 15 m.
Corrientes basálticas intercaladas con rocas piroclásticas y arenosas.	<p>Se recomienda definir el contacto entre el basalto y las rocas piroclásticas para darle a cada uno su talud correspondiente. Las rocas piroclásticas requieren talud de 1:1 si se encuentran sueltas o de 3/4:1, si se encuentran compactos o son materiales muy gruesos.</p>				
Tonzolite masiva.					Si el tonzolit es de grano fino y está suelto, se propone aplicar las mismas recomendaciones que para el resaca de las piroclásticas.
Tobas, tobas brechuales, andesíticas, riolíticas o basálticas, sanas o ligeramente fisuradas.					Si están interperizadas en la parte superior del corte, se recomienda descopetar el corte a 1/2:1.
Tobas, tobas brechuales, andesíticas, riolíticas o basálticas, sanas o ligeramente fisuradas.					Si existe un flujo de agua importante, se recomienda construir cerca de 4 m a la mitad de la altura, impermeabilizándola.

Fig.3.2.3 (continuación)

(Continuación)

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Tobas, tobas brechoiles, tófilicas, andesitas u basálticas poco intemperizadas.					Se recomienda descojetar a 3/4:l la parte superior si el fracturamiento o intemperamiento es intenso.
Tobas, tobas brechoiles, tófilicas, basálticas o andesitas muy intemperizadas.					Cambio de talud a la mitad de la altura en cortes mayores de 15 m.
Lutita dura y resistente, con echado casi horizontal, poco fracturada.					No construir contracunetas si no son bien impermeables. Descojetar a 3/4:l la parte superior más intemperizada.
Lutita suave de resistencia media muy fracturada.					No construir contracunetas si no son bien impermeables. Descojetar 1:l la parte superior más intemperizada.
Arenisca masas fuertemente cohesivas, estratificación mal definida horizontal o a favor del corte.					Descojetar 3/4:l la parte muy intemperizada.
Arenisca poco cementada, muy alterada con flujos de agua.					Descojetar 1:l la parte superficial muy intemperizada.
Conglomerado brechoile bien cementado con matriz sílica o calcárea.					Se recomienda amarrar eliminando todos los fragmentos sueltos.
Conglomerado pobremente cementado con matriz arcillosa.					Si la matriz arcillosa se encuentra saturada o sujeta a fuertes cambios de humedad, se recomienda para cortes mayores de 10 m construir banquetas de 1 m y bermas de 4 m a la mitad de la altura.
Caliza fracturada con echado casi a favor del corte con estratificación gruesa o mal definida.					Se recomienda descojetar 1:l la parte superior alterada o muy fracturada.
Calizas sanas con estratificación fina horizontal o a favor del corte.					Descojetar 1:l.

Fig. 3.2.3 (continuación)

(Continuación)



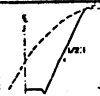



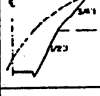



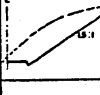




TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Arenas limosas y limos muy compactos (tepetate).					Descompactar la parte superior suelta.
Arcillas poco arenosas firmes (homogéneas).					Descompactar en la parte intemperizada. Si existe flujo de agua proyectar subdrenaje.
Arcillas muy suaves expansivas y compresibles.					* Para cortes mayores de 15 m proyectar bermas a la mitad de la altura bien drenada.
Caolín producto de la intemperización de granitos o dioritas.					Cubrir con pasto el talud para cortes mayores de 8 m proyectar bermas de 8 m bien drenada. (altura mínima 16 m)
Arenas limpias poco o nada compactas.	Su ángulo de fricción interna con banqueta de 1.00 m en la base.				Cubrir los taludes con pasto.
<p>* La construcción de la bermas requerirá de una contrapendiente con objeto de drenar el agua por medio de cunetas que deberán ser impermeables, pues si no lo son se podría tener una filtración que pondría en peligro la parte inferior del corte al establecerse una superficie de falla ocasionada por la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del material por efecto de la filtración.</p>					

Fig. 3.2.3 (continuación)

III.3 Estudios Estructurales.

III.3.1 Alcantarillas.

1.- Estructuras Flexibles. Como ya se había mencionado son aquellas construidas por tubos o arcos de lámina de acero corrugada.

Es importante considerar las cargas vivas y las cargas muertas para el proyecto. Las cargas vivas son aquellas debidas al peso del equipo de tránsito sobre ella, los impactos y las vibraciones producidas por las mismas. En general la carga viva disminuye al aumentar el colchón de tierra sobre la estructura. La carga muerta es la producida por el material colocado encima.

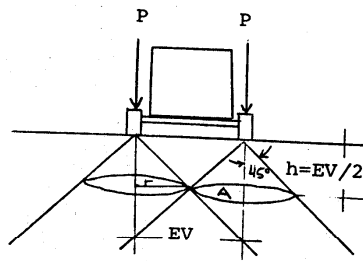
Un suelo homogéneo y compactado dará mejor apoyo a la estructura y resistirá mejor las cargas en toda su longitud.

Es recomendable si el terreno natural no es homogéneo hacer una sustitución de los materiales débiles o comprensibles. Una plantilla (de preferencia arena compactada) deberá colocarse bajo la estructura.

Se deberá tener en cuenta los asentamientos diferenciales que suelen ser mayores en el centro dándole una contra flecha.

Se procurará que la pendiente que tiene la alcantarilla sea la misma del cauce para evitar formar turbulencias, azolves, erosiones.

Para el cálculo de la carga viva sobre una alcantarilla se supondrá que la carga se trasmite al suelo en un ángulo de 45° formando un cono cuyo vértice está debajo de la llanta (Teoría de Boussinesq).



Partiendo de que $S = \frac{P}{A} = \text{Esfuerzo}$

$$\text{y } r = h, \quad A = \pi r^2 ==$$

$$S = \frac{P}{\pi r^2} = \frac{P}{\pi h^2} \quad \text{--- (1)}$$

###...

Con la fórmula (1) se conocerá el esfuerzo que actúa a una profundidad dada. Conociendo el esfuerzo (s) se calculará la carga viva traducida a altura de terraplén por medio de la siguiente fórmula:

$$h' = \frac{s}{\gamma} \quad (2)$$

donde

- γ = Peso volumétrico del material.
- h' = Carga viva traducida en metros.
- $d=h+h'$ = Altura del terraplén mas carga viva traducida a altura del terraplén.

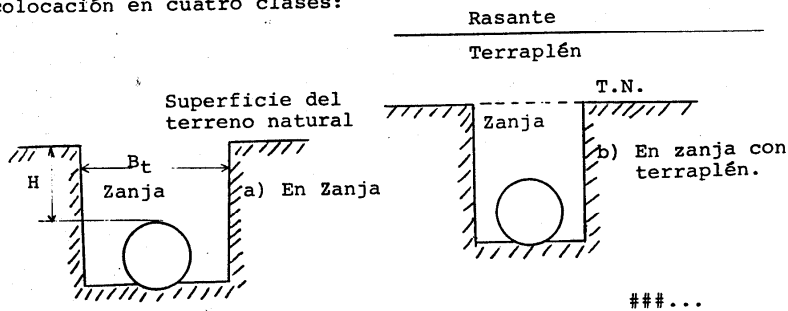
Se deberá tener en cuenta que a una profundidad de $EV/2$ en adelante los conos se encimarán por lo que los esfuerzos serán dobles.

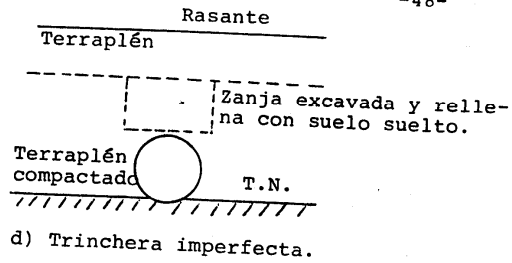
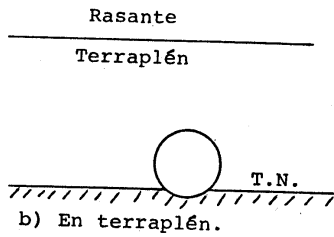
Para el cálculo de cargas muertas se puede adoptar el utilizado -- para alcantarillas rígidas.

2.- Estructuras Rígidas.- Para el cálculo o diseño de una alcantarilla se deberá poner cuidado en las cargas que ésta soporta, ya que de éstas depende su comportamiento.

Las cargas muertas son las causadas por la tierra que cubre la estructura, anteriormente se consideraban igual al peso del material que los cubría. pero se ha descubierto que las fuerzas cortantes -- que se desarrollan entre el prisma del suelo de igual ancho al diámetro del tubo situado sobre éste y prolongado hasta la superficie y las masas de suelo de ambos lados del prisma son las que hacen que sea mayor o menor.

Para calcular las cargas muertas se clasificaron de acuerdo a su -- colocación en cuatro clases:





Para el caso de colocación de zanja (a) se puede calcular con la siguiente ecuación de MARSTON:

$$W_m = C_d \gamma_m B_t^2 \text{ ----- (3)}$$

donde: W_m = Carga muerta.

C_d = Factor de carga adimensional, en la figura 3.3.1 se da una gráfica para su obtención.

γ_m = Peso específico del suelo.

B_t = Ancho de excavación.

Para el caso de estructuras flexibles basta multiplicar la ecuación (3) por D/B_t .

Cuando la zanja tiene las paredes inclinadas la denominación B_t tomará la del plano tangente al tubo en su clave (parte superior).

Cuando tengan las paredes muy inclinadas, se analizará como colocada en terraplén.

Para tubos colocados en terraplén MARSTON expone la siguiente ecuación:

$$W_m = C_c \gamma_m D^2$$

donde: D = Diámetro exterior del tubo rígido.

C_c = Coeficiente de carga, que se obtiene de la gráfica 3.3.2, donde:

$$r_a = \frac{(S_m + S_g) - (S_f + d_c)}{S_m} = \text{Relación del Asentamiento.}$$

donde:

S_g = desplazamiento que sufre la superficie natural del terreno con el peso del terraplén.

###...

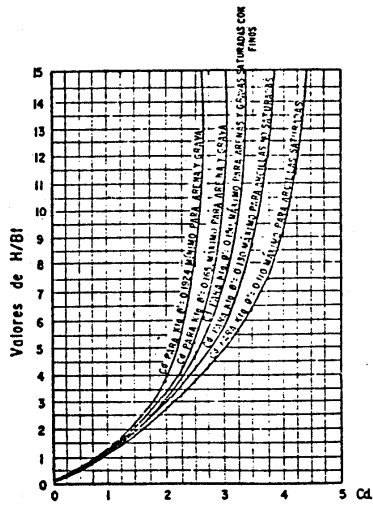


Fig. 3.3.1

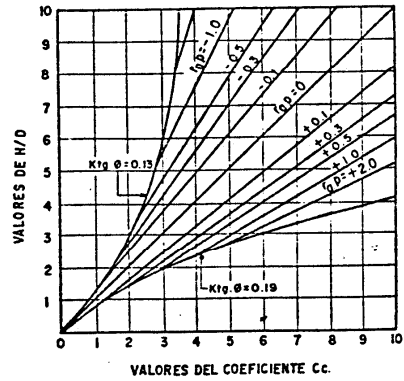
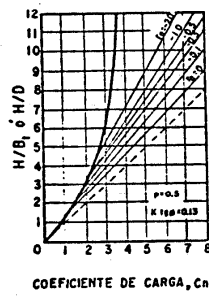
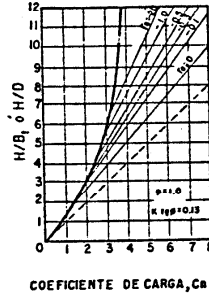


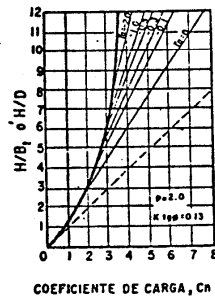
Fig. 3.3.2



(a)



(b)



(c)

Fig. 3.3-3

S_m = acortamiento del terraplén desde la superficie al plano que pasa por la clave del tubo.

S_g = deformación del tubo.

S_f = asentamientos del terreno natural bajo el tubo así como su incrustamiento.

d_c = deformación propia del tubo en la dirección vertical por efecto de la carga actuante.

Para el caso de alcantarillas en zanja pero con terraplén encima, -- se dará la siguiente ecuación:

$$W_m = C_n \gamma_m B_t^2$$

C_n = Coeficiente de carga obtenido de la gráfica 3.3.3.

Para alcantarillas en trinchera imperfecta, se usará la fórmula:

$$W_m = C_n \gamma_m D^2$$

C_n se calcula con la gráfica usando H/D en lugar de H/B_t . El valor -- de P es el de la trinchera efectuada entre D .

Como no es propósito de este trabajo profundizar, para mayor información consultar la referencia. La Ingeniería de Suelos en las Vías -- Terrestres Vol. 2 Pág. 263.

III.2 Puentes.

Por considerar el diseño de la estructura de un punto como un problema netamente de análisis estructural mencionaremos solamente las partes de que está formado. Ver figura 3.4.6 (Pág. 68).

III.4 Estudios de Drenaje.

El objeto fundamental del drenaje es la eliminación del agua o humedad que en cualquier forma pueda perjudicar al camino; esto se logra evitando que el agua llegue a él, o bien dando salida a la que inevitablemente le llega.

En la vida de un camino es fundamental el funcionamiento del drenaje, pues por la naturaleza del material con que se forman los terraplenes ó el propio de los taludes de las cortes, cualquier exceso de agua o humedad ocasiona deslaves y trastorna el funcionamiento del camino.

El cuidado de este estudio no solo es aplicable a cruces de grandes ríos, sino para cualquier obra de drenaje por pequeña que sea, pues el drenaje menor es el que regula la vida del camino y el que a la larga da el índice de economía de él.

Un camino ideal es aquel que tenga el menor número de cruces, que éstos sean definidos, de régimen hidráulico tranquilo, que el terreno sea seco, es decir que no haya humedad y donde el nivel de aguas subterráneas no alcance a perjudicar por capilaridad al revestimiento, ni la superficie de rodamiento. Por eso se localizan a veces las líneas por los parte-aguas, o se recargan sobre la ladera de una cañada, o se buscan las partes altas y firmes cuando la línea va por zonas bajas, húmedas y pantanosas.

Casos tipo de drenaje en caminos:

- a) Línea localizada en parte-aguas. Es la ideal desde el punto de vista de drenaje, ya que solamente necesitará obras de alivio.
- b) Líneas localizadas en ladera. Es de drenaje fácil, ya que drena áreas pequeñas. Hay que proyectar muchas veces obras complementarias como cajas de captación, lavaderos, etc. Cuando la - -

###...

pendiente transversal de la ladera es fuerte, o bien obras de protección para evitar deslaves.

c) Líneas en lomerío. Debe tenerse mucho cuidado al hacer la estimación del drenaje, pues no son fáciles de apreciar las cuencas drenadas, aún cuando si son fáciles de identificar los cruces y su importancia.

d) Línea en terreno plano. El estudio es difícil, pues tanto las áreas de las cuencas como los escurrideros no son fáciles de localizar y son indefinidos en cuanto a sus dimensiones. La subrasante queda definida un ciento por ciento por el drenaje, ya sea por las dimensiones de las alcantarillas o por la necesidad de levantar los terraplenes para evitar que el agua brinque sobre ellos ó en último caso, para evitar que la humedad llegue a perjudicar la base del camino, por capilaridad.

Tipos de drenaje.- El drenaje se divide en drenaje superficial y en drenaje subterráneo, de acuerdo con el funcionamiento del escurrimiento.

Drenaje superficial.- Tiende a eliminar el agua que escurre encima del terreno o del camino, sea que provenga directamente de la lluvia, de escurrideros naturales o de aguas almacenadas.

El drenaje superficial comprende dos aspectos: Uno es el que trata de evitar que el agua llegue al camino por medio de obras que lo protejan y el otro es el que trata de eliminar el agua que inevitablemente llega al camino por medio de estructuras especiales.

Obras para la protección del camino.

a) Bombeo de la superficie. Se llama bombeo, a la forma que se le da a la sección del camino para evitar que el agua de lluvia se estanque y por lo tanto ocasione trastornos al tránsito e infiltraciones en las terracerías que provocan saturaciones en las mismas, reblandecimientos del terreno y finalmente destrucción del camino; sirve también para evitar que el agua corra longitu

###...

dinalmente sobre la superficie y la erosione.

El bombeo depende no solamente de la precipitación pluvial, sino de la clase de la superficie del camino, ya que una superficie dura y tersa requiere menos bombeo que una rugosa y falta de compactación.

- b). Cunetas. Son estructuras destinadas a recoger el agua que escurre de la superficie del camino debido al bombeo, así como la que escurre por los taludes de los cortes.

La localización de las cunetas no ofrece ningún problema especial, pues es evidente. La forma de ellas depende de la cantidad de agua que escurre y del ancho del camino y sus dimensiones depende del escurrimiento.

En el proyecto de cunetas se deberá tomar en cuenta los siguientes puntos: Capacidad, forma, dimensiones, pendiente y conservación.

- c) Contracunetas. Son canales destinados a evitar que llegue el agua a las cunetas, cuando éstas tienen una capacidad menor que la necesaria para el gasto, así como para evitar deslaves en los cortes.

La localización de las contracunetas va intimamente ligada con su funcionamiento, por lo cual se colocan siempre en las laderas, del lado de aguas arriba y a cierta distancia de la orilla del corte. Como son normales a la línea de máxima pendiente del terreno, prácticamente quedan paralelas al eje del camino.

Por la razón anterior cuando el eje del camino siga la línea de máxima pendiente, no deben construirse, pues en ese caso su funcionamiento no solamente es nulo, sino perjudicial.

Es desfogue de las mismas debe ser siempre libre y lo suficien-

###...

temente alejado del terraplén para no ocasionar perjuicios en él. La longitud de las contracunetas deberá ser siempre la mínima.

- d) Canales. Son obras de protección localizadas a las orillas del camino con el objeto de impedir que el agua llegue al camino y lo dañe. Deben colocarse lo suficientemente lejos del camino -- para que no haya saturación de agua. Se utilizan tanto en el -- caso de líneas a pelo de tierra, como en el caso de terraplenes.

Las dimensiones, pendiente y longitud de los canales deben -- calcularse de acuerdo con el área por drenar.

- e) Bordes. En algunos casos, como por ejemplo en los caminos en terreno desértico o bien en zonas bajas, es necesario encauzar el agua para no construir un gran número de alcantarillas de -- escaso gasto o bien porque la lámina de agua es muy extensa sin cauces definidos.

- f) Otras obras auxiliares. Además de las obras que se han detallado, cuya misión es defender el camino del agua, hay muchas -- otras auxiliares, como muros de defensa, zampeados, etc., especiales para cada caso particular y de las cuales no se puede -- hablar en general.

Cruces.- Cuando no puede eliminarse el agua, inevitablemente tiene que cruzar el camino, debe encauzarse en forma tal que el paso de vehículos pueda ser permanente por el camino o quede interrumpido solamente en algunas ocasiones durante todo el año.

Los principales cruces de agua lo constituyen las alcantarillas, y los puentes. No hay distinción precisa entre alcantarillas y puente, se da el primer nombre para las estructuras de claro menor de 6.00 metros y que para aquellas que aunque mayores de claro, tienen un colchón como en el caso de las alcantarillas de bóveda, y el nombre de puentes para las estructuras de claro mayor de 6.00 mts. sin colchón. En lo que se refiere al estudio de campo, tie-

###...

nen grandes puntos comunes unas y otros, pero no así en cuanto a su proyecto detallado.

En la localización del cruce se presentan dos casos:

El primero, cuando el cauce está perfectamente definido en cuyo caso, ya casi la localización está obligada y el segundo, cuando el cauce de la corriente no está definido o divaga.

Las condiciones de un buen cruce son las siguientes:

- a) Que el río en esa zona no sea divagante.
- b) Que el cruce se hace en una zona recta del río.
- c) Que no haya trastornos locales como islas, pozas, etc.
- d) Que los taludes de las márgenes sean lo más uniformes posibles asemejándose lo más a un canal artificial.
- e) Que la anchura sea la menor posible.
- f) Que el tirante del agua sea grande, en relación con el ancho del cauce.
- g) Que el cauce sea normal.
- h) Que las condiciones de cimentación sean buenas.

Socavación.- Debe considerarse la divagación tanto en el sentido horizontal como el vertical, pues la socavación es provocada porque el río no ha alcanzado su régimen de madurez. La socavación es función de la velocidad y de la naturaleza del terreno del cauce.

Se ha determinado experimentalmente una fórmula que permita calcular la velocidad crítica, es decir, la velocidad para la cual no hay ni depósitos ni socavaciones.

$$V = m \cdot d^{0.64}$$

V = Velocidad del agua en metros por segundo.

m = Coeficiente que depende de la naturaleza del suelo.

d = Tirante en metros.

###...

Valores de "m" tomados del manual WADDELL.

Destritus, arenas, limos - - - - -	0.82
Gravas - - - - -	0.90
Arena gruesa - - - - -	0.99
Cantos rodados - - - - -	1.07

Como los problemas de los cruces deben resolverse desde un punto de vista integral, es decir considerando el puente y además la línea, a veces es necesario hacer un estudio económico entre varias líneas en las que haya un buen cruce.

Oblicuidad.- En la actualidad hay tendencia a eliminar el uso de la convención de esviajamiento y sustituirla por la convención de la oblicuidad.

Se llama esviajamiento al ángulo formado por el eje de la alcantarilla con la normal al eje del camino.

Estudio de campo para el proyecto. La primera fase de un estudio de puente o alcantarilla consiste en un levantamiento topográfico de la zona del cruce, dibujando a la escala de 1 a 1000 ó a 2000 para rectificar en él, el eje trazado en el campo. Dicho levantamiento tiene los siguientes objetivos:

- 1.- Justificar la elección del cruce.
- 2.- Fijar la posición del eje de la obra y afirmar la localización.
- 3.- Dar datos para proyectar el recorte de los aleros en el caso de alcantarillas con aleros, hacer cubicaciones de excavaciones, etc.

Determinación del gasto de la corriente. Tiene por objeto el cálculo de la longitud, en el caso de los puentes y la determinación del área hidráulica necesaria, en el caso de las alcantarillas.

Los métodos para el cálculo del gasto son de tres clases:

###...

- a) Aforo. Es la medición directa del gasto de una corriente en una sección determinada. Sólo se pueden aforar corrientes con aguas permanentes y en condiciones de regimen tranquilo, como en el caso de canales.
- b) Procedimientos empíricos. Consiste en la determinación del gasto por comparación o bien usando fórmulas deducidas de la experiencia.

Las principales fórmulas empíricas para la determinación del área hidráulica necesaria, son las de Talbot, Meyer y Peck. Se ha encontrado que la fórmula de Talbot es la que dá resultados aproximadamente más parecidos a los valores promedios de las otras fórmulas.

Fórmula de Talbot: $a = 0.183 C \sqrt[4]{A^3}$

a = Area que debe tener la alcantarilla en M2.	Naturaleza del terreno	Coefficiente. (C)
c = Coeficiente de escurrimiento en función de la naturaleza del área drenada.	Plano	0.20
A = Area drenada en hectáreas.	Ligeramente ondulado.	0.30
	Ondulado.	0.50
	Lomerío.	0.60
	Lomerío Fuerte.	0.80
	Montañoso	0.90 - 1.00

La figura 3.4.1 es una gráfica para la obtención del Area necesaria.

- c) Cálculo racional. Los métodos para la determinación del gasto en los arroyos son principalmente dos:
 - 1.- Método de la precipitación. Muchas son las fórmulas que se han establecido, habiéndose destacado dentro de ellas la de Burkli-Ziegler, Talbot, Sherman y la de Metcalf and Eddy. De éstas la que más uso tiene es la de Burkli-Ziegler que es:

$$Q = 0.022 c A h \sqrt[4]{\frac{S}{A}}$$

###...

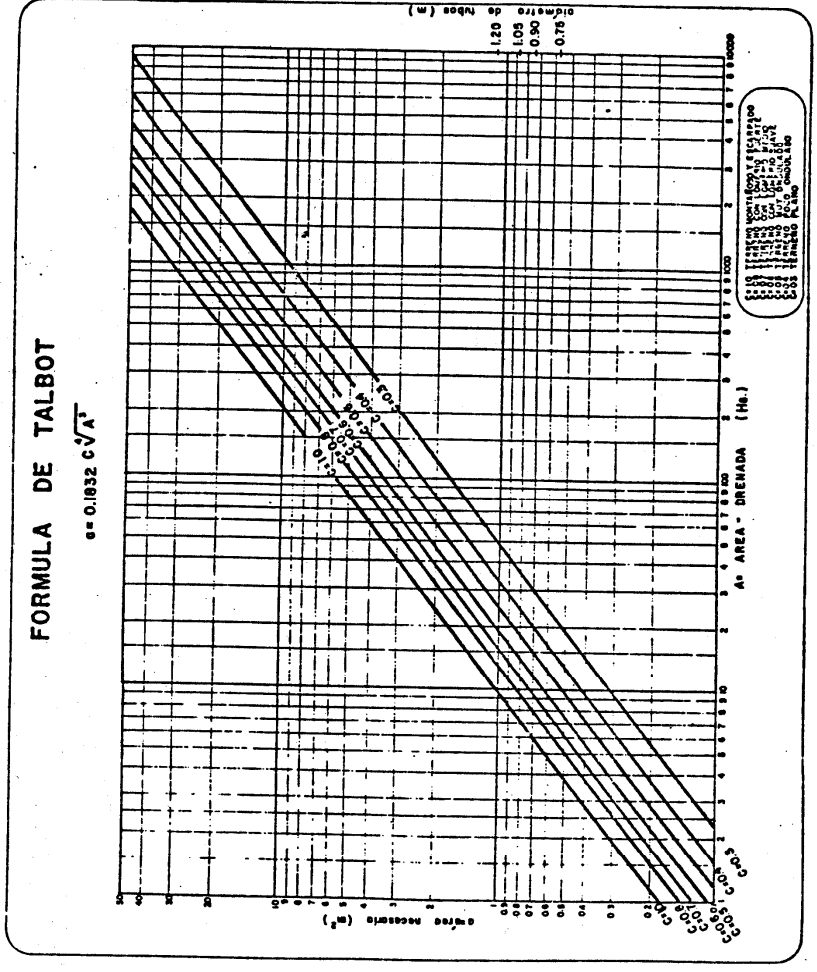


Fig. 3.4.1

	Naturaleza del terreno	Coefficiente
Q = Gasto de la alcantarilla en metros cúbicos por segundo.	Calles pavimentadas y zonas comerciales.	0.75
h = Precipitación en CM. por hora, correspondiente al aguacero más intenso durante 10 minutos.	Calles en zonas residenciales.	0.625
c = Coeficiente de escurrimiento que depende de la naturaleza del terreno.	Calles con macadam y jardines.	0.30
A = Hectáreas tributarias.	Terreno de cultivo.	0.25
S = Pendiente del terreno en metros por kilómetro.	Terreno montañoso	0.18

2.- Métodos de sección y pendiente. Consiste en la determinación del gasto por medio de secciones hidráulicas definidas y de la pendiente del río ó arroyo.

Medición de las secciones. Apoyándose en la poligonal con la cual se hizo el levantamiento topográfico de la zona del cruce, se trazarán las secciones hidráulicas con la dirección determinada en el plano de configuración y se levantarán con nivel fijado con todo detalle, partiendo del monumento del nivel elegido para el estudio del cruce.

Medición de la pendiente.- La pendiente hidráulica que interviene en la determinación del gasto, sea en la fórmula de Chezy o bien en la de Manning, se debe tomar directamente, procurando hacerlo en un tramo suficientemente uniforme y en el que la superficie del agua parezca un plano.

En el caso de que el cauce esté seco, la nivelación se hará por el centro del cauce tomando siempre los puntos más bajos de cada sección, es decir se determinará la pendiente del canal principal del arroyo.

Contando con la sección y la pendiente, puede calcularse la velocidad mediante la fórmula de Manning:

$$v = \frac{1}{n} r^{2/3} s^{1/2}$$

###...

- V = Velocidad en metros por segundo.
h = Coeficiente que depende del material y estado del cauce del río o arroyo.
r = Radio hidráulico.
s = Pendiente.

En la tabla núm. 41, pag. 259 del manual de caminos vecinales de René Etcharren G., se dan valores de n para usarse en la ecuación de Manning.

Con la velocidad se obtiene el gasto mediante la fórmula

$$Q = aV$$

donde: a = área de la sección.

Determinación del área necesaria para alcantarillas.

- a) Cuando se usa la fórmula de Talbot, como ya se explicó antes, el área necesaria se determina en función del área drenada.
- b) Cuando se usan fórmulas del tipo de la Burkli-Ziegler, que permiten calcular el gasto, se requiere proporcionar la alcantarilla para ese gasto. Intervienen los siguientes factores:

- Forma geométrica de la alcantarilla.
- Espacio libre necesario.
- Espesor del terraplén.
- Funcionamiento hidráulico.
- Pendiente y velocidad.

Elección del tipo de obra.

- ✓ a) Vado.- Es la estructura que permite el paso de un río o arroyo cuando está seco o bien cuando lleva un caudal hasta determinado nivel. Longitudinalmente puede ser a nivel o en curva vertical, preferentemente parabólica.

Los vados generalmente se proyectan de mampostería, de losas de concreto, o bien de dentellones de mampostería o concreto rellenos y con cubierta de concreto. Pueden ser también pavimento.

###...

Las condiciones de un buen vado son las siguientes:

- 1.- Se debe evitar la erosión y la socavación aguas arriba y - -
aguas abajo.
- 2.- La superficie de rodamiento no se erosionará al paso del agua.
- 3.- El agua no debe provocar regímenes turbulentos, remolinos, --
etc., para lo cual debe facilitarse el escurrimiento.
- 4.- Tendrá señales que indiquen cuando no deba pasarse porque la
lámina del agua sea demasiado alta.

- ✓ b) Tubos. Las alcantarillas construídas con tubos prefabricados en secciones, se llaman tubulares. Los tubos pueden ser metálicos o de concreto. ✓

Las alcantarillas tubulares tienen la ventaja sobre cualquier - otro tipo, de la rapidez de su construcción, pues inmediatamente después de tendido se puede construir el terraplén.

Las condiciones de una buena alcantarilla de tubo son:

- 1.- Buena preparación de la plantilla donde va a colocarse el -
tubo.
- 2.- Colocación siguiendo las especificaciones de los fabrican--
tes.
- 3.- Articulaciones convenientes.
- 4.- Colocación del colchón por capas compactadas.
- 5.- Suficiente pendiente para evitar azolve.
- 6.- Suficiente protección a la salida y a la entrada.
- 7.- Disponer de un colchón mínimo de 30 cm. abajo de la subra--
sante.

En la figura 3.4.2 se observa un proyecto tipo alcantarillas de --
tubo.

- ✓ c) Losas. Se llaman comúnmente losas a las alcantarillas de losas de concreto reforzado sobre muros de mampostería.

Se recomiendan cuando se tienen a mano los materiales necesi- -
rios como arena, grava y piedra y la mano de obra para la mam--

###...

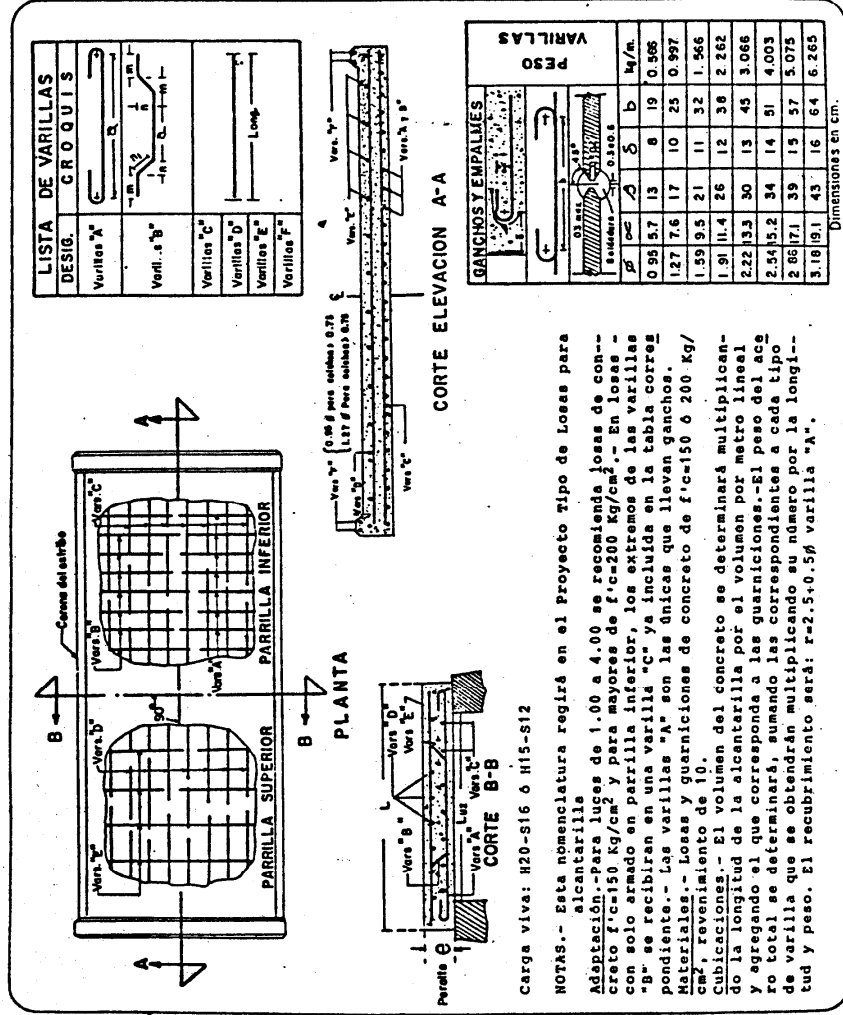


Fig. 3.4.3

postería.

Es indispensable construirlas con suficiente anticipación para que no se interrumpa el camino y no sea necesario mantener una desviación durante mucho tiempo.

En la figura 3.4.3 se observa un proyecto de alcantarilla de -- losa.

- ✓ d) Bóvedas. Son estructuras en que la parte que recibe la carga -- del camino, es un arco de mampostería, concreto armado o concre to simple. También las hay metálicas. Las bóvedas, se aconsejan cuando no se pueden colocar tubos y cuando la piedra es abundan te; también cuando la pendiente transversal es muy fuerte y -- cuando el colchón es muy grande.

Tienen el inconveniente de ser de ejecución lenta, pero tiene -- la gran ventaja de su estabilidad sobre todo si los estribos -- están bien cimentados. El mejor tipo, para las de claros gran-- des, es el que tiene articulaciones en la bóveda. Pueden ser -- simples, gemelas ó múltiples.

En la figura 3.4.4 se observa un proyecto tipo de una bóveda.

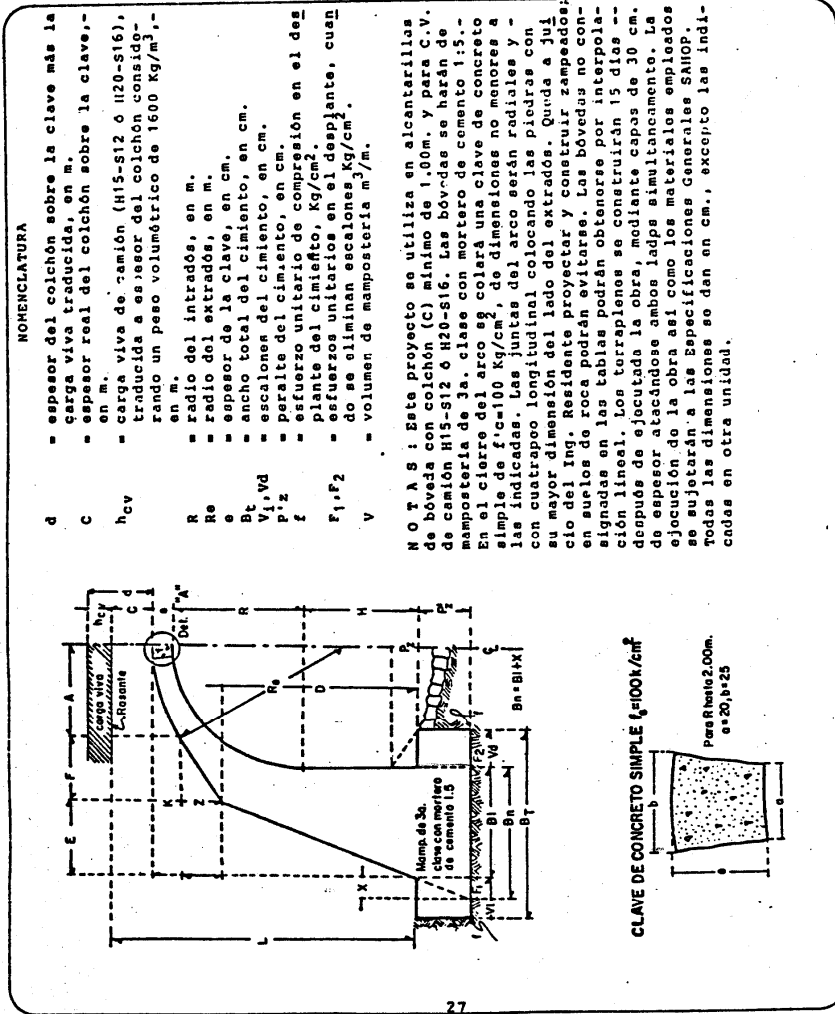
- e) Alcantarillas celulares. Se llaman alcantarillas celulares o de cajón, a las estructuras de concreto armado que tienen varias -- celdas.

Este tipo se usa en caso de que el terreno tenga poca resisten-- cia, como en el caso de pantanos y cuando la altura del colchón es moderada y la extensión del cauce muy grande. Son costosas -- y lentas de construir.

- f) Sifones. Son estructuras que tienen que cruzar un camino bajo -- condiciones hidráulicas especiales, como en el caso de canales de riego.

En este caso tanto el nivel de entrada como el de salida son --

###...



NOTAS: Este proyecto se utiliza en alcantarillas de bóveda con colchón (C) mínimo de 1.00m. y para C.V. de camión H15-S12 ó H20-S16. Las bóvedas se harán de mampostería de 1a. clase con mortero de cemento 1:5. En el cierre del arco se colará una clave de concreto simple de $f=1000 \text{ kg/cm}^2$ de dimensiones no menores a las indicadas. Las juntas del arco serán radiales y con cuatrapoo longitudinal colocando las piedras con su mayor dimensión del lado del extradós. Queda a juicio del Ing. Residente proyectar y construir zampeados en suelos de roca podrán evitarse. Las bóvedas no construidas en las tablas podrán obtenerse por interposición lineal. Los terraplenes se construirán 15 días después de ejecutarse la obra, mediante capas de 30 cm. de espesor atacándose ambos lados simultáneamente. La ejecución de la obra así como los materiales empleados se sujetarán a las Especificaciones Generales SAHOP. Todas las dimensiones se dan en cm., excepto las indicadas en otra unidad.

Fig. 3.4.4

obligados y la parte que cruza bajo el camino trabaja como -- tubo forzado, que tendrá que ser completamente a prueba de -- fugas.

Estas estructuras generalmente son de acero o bien de concreto reforzado y a la entrada y salida se proyectan las obras - necesarias.

- g) Puente bajo. Llámase puente bajo o puente vado a la estructura en forma de puente que sirve para dar paso al gasto de -- aguas máximas ordinarias y que durante el período de máximas - extraordinarias permite que el agua brinque encima de ella.

Un buen puente-vado reunirá los siguientes requisitos:

- 1.- Altura y longitud tal que permita el paso del gasto de -- las avenidas ordinarias.
- 2.- Superestructura de espesor mínimo con objeto de que haya la menor obstrucción al agua.
- 3.- Procurar que la superestructura quede tan bajo de la superficie del agua, en las crecientes máximas extraordinarias, como sea necesario para que los árboles pasen encima del puente sin dañarlo.

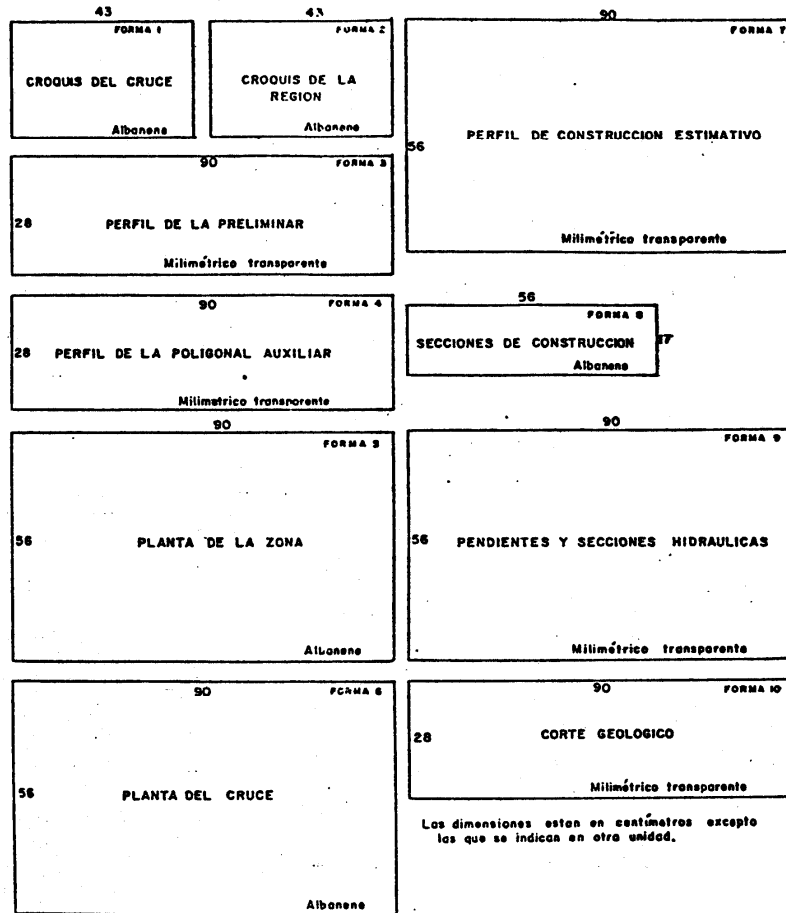
- h) Puente. Se llama puente propiamente dicho, a toda estructura definitiva o provisional, proyectada para dar paso a vehículos animales, personas, agua, etc., salvando un obstáculo natural o artificial tal como barranca, río, ferrocarril, canal, camino, etc.

Los puentes pueden ser de mampostería, de concreto simple, de concreto armado, metálicos o mixtos. En la figura 3.4.5 se - presentan los estudios de campo para puentes y en la figura - 3.4.6 se presentan distintas soluciones a un proyecto de puente.

###...

ESTUDIOS DE CAMPO DE Puentes

TAMAÑO DEL PAPEL DE LAS FORMAS PARA LOS PLANOS



PARA EL ESTUDIO DE UN PUENTE SE NECESITAN
 Papel Albanene K+E 195 M de 1.07m. de ancho 1.40m.
 Papel milimétrico transparente K+E 48 5125 de 56 cm. de ancho total 3.60m.

Fig. 3.4.5

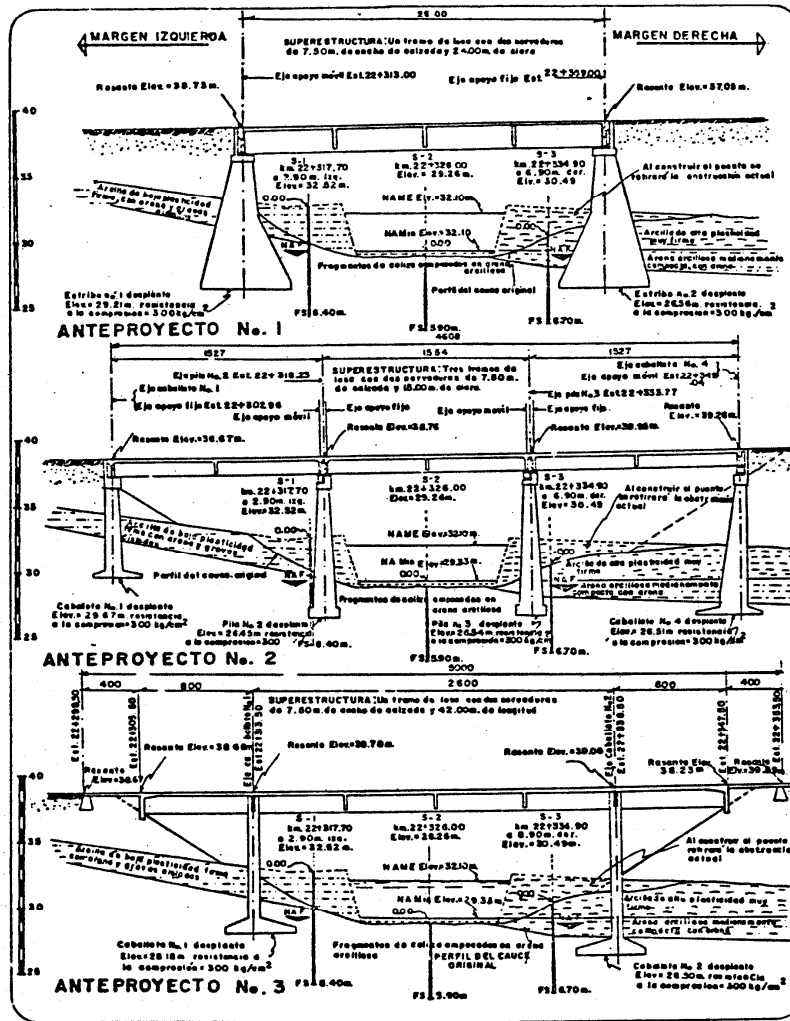


Fig. 3.4.6

Drenaje Subterráneo.

El drenaje subterráneo está constituido por los dispositivos necesarios para eliminar el agua subterránea, ó bien abatir su nivel - hasta donde no sea perjudicial al camino. El agua que se encuentra bajo la superficie de la tierra se presenta en corrientes o estancada.

De acuerdo con la naturaleza de los suelos es muy importante el -- proyecto de un drenaje subterráneo, pues el exceso de agua o humedad en ellos es altamente perjudicial, ya que ocasiona reblandecimiento de los terraplenes o bases y por lo tanto ocasiona baches, grietas y deslaves, así como resbalamiento del material de los taludes de los terraplenes, etc.

Las características y propiedades físicas de los suelos que mas -- influyen en el proyecto del subdrenaje son:

- a) Textura, porque la cantidad de agua corriente y estancada dependen de del tamaño de las partículas.
- b) Permeabilidad.
- c) Capilaridad, que es una de las que mayor influencia tienen en - el estudio del drenaje subterráneo.
- d) Escurrimiento, es el movimiento del agua por gravedad dentro -- del terreno.
- e) Expansión y contracción, es el cambio de volúmenes de acuerdo con la cantidad de humedad que ocasiona asentamiento o levantamiento de la base.
- f) Plasticidad. Depende de la mayor o menor cantidad de agua o humedad contenida en el subsuelo.

Subdrenaje sin obras auxiliares. Los métodos consisten en el aprovechamiento de las condiciones naturales del suelo para eliminar el agua subterránea o para abatir su nivel.

- 1.- Para estabilizar la sub-base, pueden emplearse los siguientes sistemas:

###...

- a) Colocar una capa permeable sobre el terreno, con el objeto de que el agua que por capilaridad ponga en peligro la estabilidad de la base, no suba al terraplén sino que escurra lateralmente.
- b) Impermeabilizar la sub-base por medio de mezclas de materiales, recurriéndose por lo general al asfalto.
- c) Un sistema que en cualquier caso ayuda notablemente es el de -- compactar adecuadamente el terraplén o la cama del camino en -- los cortes.

2.- Para estabilizar la base. Se aconseja observar las siguientes reglas:

- a) Que la altura de la rasante sea la suficiente para que el -- agua capilar no llégue a perjudicarla.
- b) Que haya drenes de grava o piedra, generalmente en forma trian- gular.

Subdrenaje con obras auxiliares. Hay necesidad de establecer con- ductos para que el agua escurra y salga ó para que se abata el ni- vel subterráneo.

1.- Tipos. El primer tipo de dren subterráneo lo constituyen los - tubos con juntas abiertas y paredes perforadas o permeables. - Estos tubos se alojan dentro de un relleno permeable que sirve como conducto para que el agua llegue al tubo y pueda salir.

El segundo tipo de drenaje subterráneo consiste en abrir una - zanja y poner el material permeable, suprimiendo el tubo.

El tercer tipo de dren lo constituye la zanja rellena de ma- terial permeable, con un tubo alojado dentro de él.

En este caso el dren lo constituye propiamente el relleno de la zanja y el tubo sólo es el conducto necesario para dar sa- lida al agua drenada. La manera de hacer llegar el agua a - - ellos es haciéndoles perforaciones.

###...

2.- Fallas. Estos drenes pueden fallar por las siguientes causas:

- a) Por no ser el método adecuado.
- b) Por atascamiento del material de relleno de la zanja.
- c) Por atascamiento del tubo, sea en el sistema de entrada o dentro de él.
- d) Por rotura de los tubos cuando sirven como ductos.