

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y GEODESICA



28
78

"OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE Y
SUBDRENAJE EN LAS VIAS TERRESTRES."

TRABAJO ESCRITO, EN OPCION A TESIS
ELABORADA PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A

JOSE LUIS GARCIA RUBIO



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCION.

Las necesidades de transporte que tiene el país y que son cada vez mayores, han motivado un incremento en los trabajos de conservación y modernización del sistema carretero actual, así como la construcción de vías terrestres más directas que permitan un transporte más rápido y eficiente, con el mínimo de interrupciones en el tráfico de vehículos.

Por estos motivos, no puede impedirse el que los caminos atraviesen por suelos con exceso de humedad, filtraciones, manantiales, etc., por lo que se necesitará de obras especialmente diseñadas para darle a estos suelos y a las obras construidas sobre ellos, la estabilidad necesaria.

Para ello, la vía de comunicación requiere no sólo de una adecuada selección de ruta y materiales de construcción por emplear, sino también un buen sistema de drenaje que permita el desalojo, en todo momento, de cualquier tipo de escurrimiento, superficial o subterráneo, que pueda llegar a afectar a algún tramo de la carretera. Gran cantidad de fallas en los caminos -derrumbes, deformaciones, baches, etc.- se deben a la enorme influencia del agua, ya que un mal drenaje sujeta al camino a la acción de ésta, condenándolo a una rápida destrucción, no importando el cuidado que se haya puesto en las demás etapas de su diseño y construcción.

Precedentes de las lluvias, las aguas amenazan a las vías terrestres de varias maneras, siendo las principales:

a) Satura los suelos, incrementando los esfuerzos neutrales en ellos, con lo cual disminuye la resistencia al esfuerzo cortante de las capas del pavimento, las terracerías y laderas.

$$s = c + (\sigma - u) \tan \phi$$

b) La velocidad con que se impacta y escurre sobre los taludes de los cortes y terraplenes, produce erosiones que afectan al pavimento.

c) La fuerza con que fluye dentro de la masa de terreno, puede ser de tal magnitud que al aflorar en los cortes hechos para alejar al camino, propicie erosiones internas (tubificación).

d) Aumenta el peso de las terracerías, taludes de los cortes y laderas, incrementando las fuerzas actuantes en ellas, perjudicando su estabilidad general.

Debido a lo anterior, el drenaje de los caminos y ferrocarriles deben tener como objetivos, el reducir en lo posible la cantidad de agua que llega a las diferentes partes de un camino y segundo, darle rápida salida al agua que inevitablemente haya llegado a él. Sabiendo -- que el agua llega al camino:

- a) *Per precipitación directa.*
- b) *Per escurrimiento del agua proveniente del terreno adyacente.*
- c) *Per crecientes de ríos e arroyos.*
- d) *Per filtración a través del subsuelo.*

Como se ve, el drenaje adecuado es una de las fases más importantes en un camino, por lo que debe procurarse siempre el mejor drenaje que sea posible.

Además de las obras bien conocidas de drenaje, como puentes y alcantarillas, deben colocarse en una carretera o en una vía férrea, otras obras menos conocidas denominadas Obras Complementarias de Drenaje, constituidas por:

I- El Drenaje Superficial.

- I.1- El Bombeo.*
- I.2- Las Guarniciones.*
- I.3- Los Bordillos.*
- I.4- Los Lavaderos.*
- I.5- La Vegetación.*
- I.6- Los Bordes.*
- I.7- Las Cunetas.*
- I.8- Las Contracunetas.*
- I.9- Los Canales Interceptores.*

II- El Drenaje Subterráneo.

II.1r El Subdrenaje Longitudinal en Zanja.

II.2r Las Capas Permeables.

II.3r Los Drenos Transversales de Penetración.

II.4r Las Trincheras Estabilizadoras.

En general, las Obras Complementarias de Drenaje están constituidas por obras sencillas, pero muy importantes para que el camino -- tenga un buen funcionamiento y un razonable período de vida, por lo -- que no deben menospreciarse en aras de una falsa economía. Sin embargo, tampoco deben emplearse rutinariamente puesto que si se ha de invertir más dinero, que sea incrementando el factor de seguridad en las obras de drenaje que sean realmente necesarias y no en aquellas construidas sin haber razón para ello.

En este modesto trabajo, se tratará de indicar los momentos más adecuados para el uso de estas obras, el tipo de protección que ofrecen, sus ventajas, sus inconvenientes en caso de uso indiscriminado, -- dimensiones y materiales de uso frecuente, etc. No se tratarán los aspectos relacionados con el diseño hidráulico, aunque en general son aplicables los principios hidráulicos del flujo a superficie libre (continuidad, energía y cantidad de movimiento) y los gastos de diseño se obtienen mediante fórmulas empíricas (Talbot, Burkli Ziegler, Manning, "Racional", etc.).

II. RL DRENAGE SUPERFICIAL.

EL BOMBEO.

Se le llama bombeo, a la pendiente transversal que se le dá, en las tangentes del trazo horizontal, a la corona del camino y desde el centro de éste hacia sus costados (hombros), su función es la de dar salida rápida al agua que cae sobre la corona y así evitar en lo posible que penetre en las terracerías. En los caminos normales de dos bandas de circulación y en secciones en tangente es común que el bombeo se construya con un 2% de pendiente, desde el eje del camino hasta el hombro correspondiente.

En las curvas horizontales se proporciona al camino una sobre-elevación del hombro exterior con respecto al interior, con el fin de centrar y reducir la fuerza centrífuga. En estas secciones, el bombeo se superpone con la sobre-elevación, de manera que según se entra a la curva, ésta domina rápidamente y con lo cual, el agua que cae en estas partes del camino, escurra desde el hombro más elevado al más bajo sin que existan discontinuidades.

El bombeo y la sobre-elevación deberán proporcionarse a las terracerías al momento de afinarlas y posteriormente se colocará la carpeta con un espesor uniforme. Dentro de la transición de la sección en tangente a la sección de plena curva, existe un trecho en el que se complica la construcción de una pendiente transversal adecuada, siendo éste un problema que deberá resolverse según cada caso.

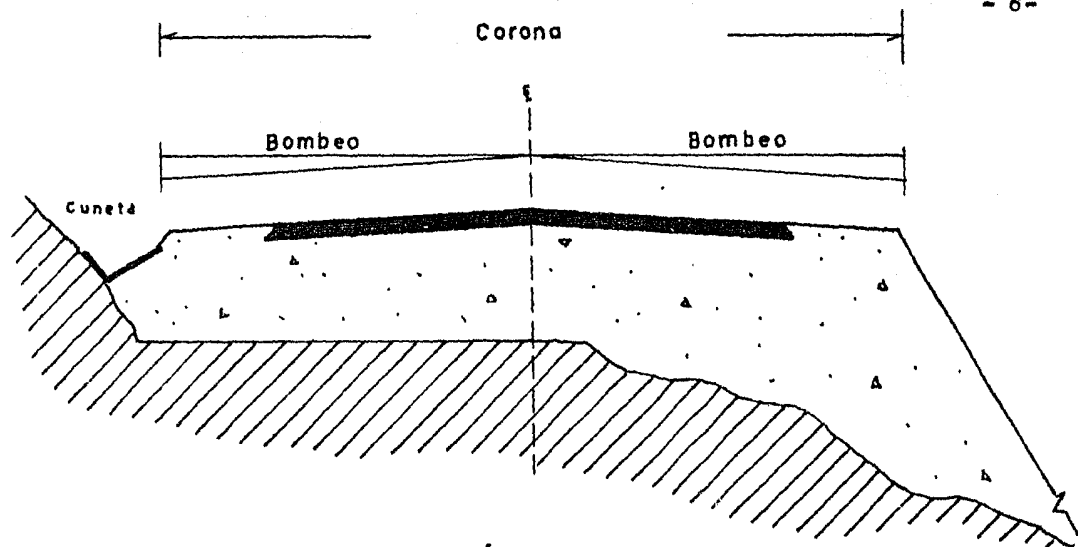


Fig.1 Bombeo en sección en tangente.

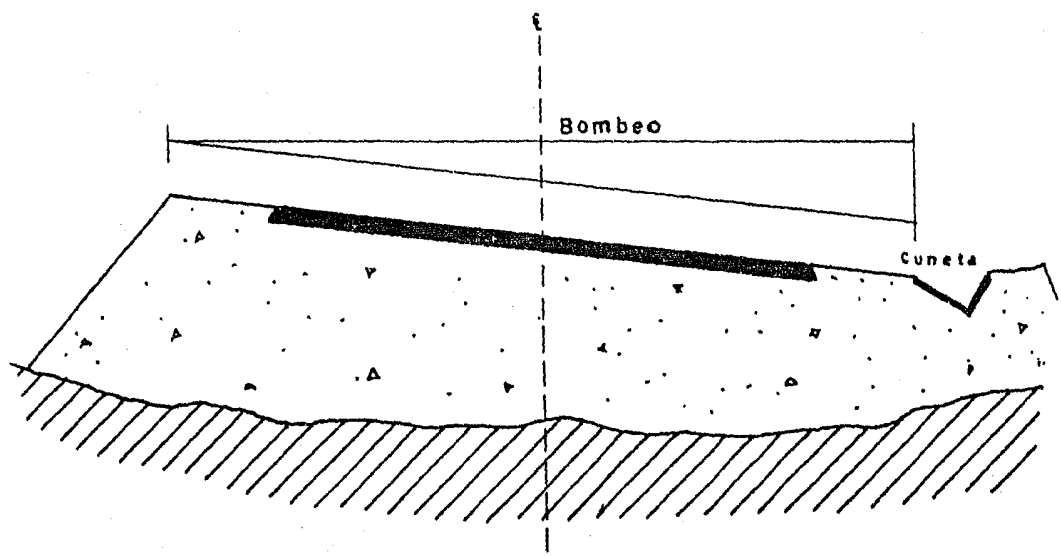


Fig.2 Bombeo en sección en curva.

El bombeo depende, no solo de la precipitación pluviál de la zona, sino también, de la clase de superficie de rodamiento del camino, - por ejemplo, una superficie dura y tersa requerirá menos bombeo que una rugosa y con escasa compactación. También debe tomarse en cuenta, - al proyectar el bombeo de un camino, la comodidad para los usuarios de éste, puesto que un camino con bombeo exagerado, provocará que los conductores prefieran transitar por el centro del camino, en lugar de conservar su carril de circulación. Es por esto, que un buen proyecto de bombeo debe equilibrar las necesidades de drenaje con la comodidad del tránsito (tabla A).

TABLA A

Bombes recomendados para cada tipo de camino.

Clase de Superficie.	Pendiente transversal recomendable. (bombeo)		Tipo de camino.	Bombeo.
	Mínimo	Máximo		
Tierra	2%	8%	Especial	2%
Grava o Macadam	1%	6%	Primero y segundo orden	2-3%
Pavimentos asfálticos. Concrete.	1/2%	3%	Tercer orden	3%

En los caminos rurales, cuya corona está revestida, el bombeo debe ser de 4% como máximo, pero con el fin de evitar erosión en los terraplenes en balcón y en la superficie de rodamiento cuando la pendiente longitudinal sea fuerte, se podrá proporcionar a la corona una pendiente transversal continua, hacia el lado del corte, hasta del 5% -- con objeto de desalojar rápidamente el agua hacia la cuneta, esto es -- porque no existe carpeta o de haberla, ésta es de baja calidad y por lo tanto la posibilidad de que el agua se infiltre a las terracerías -- es mayor.

En las carreteras de más de dos bandas de circulación, o se tiene un camellón central más o menos estrecho o se tiene uno muy amplio -- generalmente con vegetación. En el primer caso, es común que el bombeo sea del camellón hacia los hombros, pero en el segundo lo común, es -- que se construya un bombeo mixto, en dos vertientes, o sea con pendientes desde el eje de cada banda hacia el hombro respectivo y hacia la -- sección central de la vía, en la cual existe un elemento de canalización. Es común también, que en las curvas se produzca una zona en la -- que el agua se estanca, este sucede en el hombro más alto del cantino y cuando la carpeta tiene un nivel más alto que el del acetamiento. Para evitar que se origine esta zona de almacenamiento de agua y consecuentemente evitar las infiltraciones, es recomendable terminar la orilla -- de la carpeta en bisel.

En las autopistas de cuatro o más carriles y con camellón cen -- tral, resulta ser un problema la acumulación en el camellón de toda el

agua que se capta en la banda más elevada de las curvas con sobre-elevación y que en ocasiones llega a desbordar el camellón central; todo lo anterior se evita construyendo un colector subterráneo bajo el camellón, al que pueda llegar el agua por bocas de tormenta colocadas en el propio camellón. La solución más empleada, por ser más económica, es la de construir el camellón central con interrupciones a cada cierta longitud, de tal forma que el agua escurra a la banda opuesta.

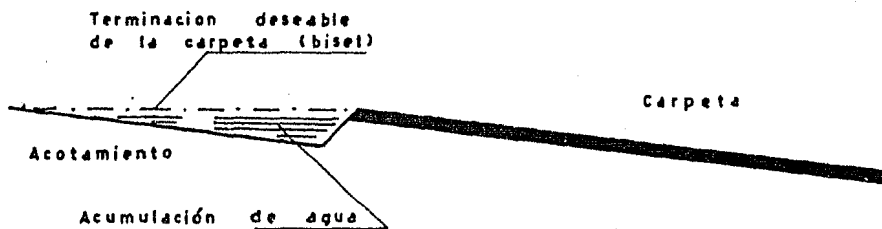


Fig.3 Carpeta en bisel.

Cuando se construyen terraplenes sobre suelos blandos, el bombeo tiende a perderse con el tiempo, debido a que el asentamiento es mayor en el centro de la sección que en sus hombros; el cálculo de asentamientos permite conocer esa diferencia. Debido a lo anterior, en el proyecto se deberá exagerar el bombeo inicial, ya que de no hacerse, las nivelaciones en el futuro serán más costosas.

LAS GUARNICIONES.

Las guarniciones en carreteras, además de tener las mismas funciones por las que se les emplea en zonas urbanas (contener y proteger las banquetas), también tienen relación con el drenaje aunque éste no sea su objetivo principal, ya que canalizan el agua que escurre en la superficie de rodamiento, conduciéndola hacia salidas colocadas especialmente. En carreteras, las guarniciones se construyen en las orillas de las banquetas de los puentes, de pasos a desnivel, casetas de cobre de peaje, isletas de pasos a nivel, en algunos tipos de camellones que separan las bandas de circulación, etcétera.

No es recomendable el uso de cualquier tipo de guarnición en una carretera de doble carril; por ejemplo, en pavimentos de concreto, se ha empleado generalmente un tipo de guarnición de talón o reborde, como una forma para prevenir la erosión en las orillas de la carretera. Lo anterior indica, que en algunos países es práctica común el construir guarniciones enterradas entre los acotamientos y la orilla de la carpeta; colocada de esta forma, la principal función de la guarnición es la contención lateral del pavimento, protegiéndolo contra la rotura producida por el tráfico y si esta guarnición es pintada, constituirá un buen elemento de señalamiento.

La guarnición puede ir colocada en la rasante de la carpeta o bien enterrada, de cualquier forma debe permitir que el tráfico salga del camino en momento de apuro, utilizando como zona auxiliar el acotamiento.

La guarnición cuando es elevada, deberá tener una altura comprendida entre los 15 y los 20 cm sobre la carpeta, además de una parte en terrada de unos 15 cm. Tiene como desventajas el disminuir el ancho efectivo del camino, ya que los vehículos tienden a separarse de ella; también en caso de apuro, la manobra para utilizar el acetamiento resulta peligrosa.

Las guarniciones, cuando son de poca altura, en pavimentos de caminos rurales, tienen la desventaja de producir un desgaste adicional en la cara exterior de las llantas que dan a las guarniciones, cuando los carriles no son lo suficientemente anchos para prevenir la necesidad de que algunas llantas rocen la guarnición cuando encuentran o pasan a otro vehículo.

Las guarniciones se construyen generalmente de concreto, pero si existen material y mano de obra suficientes, resultará más conveniente hacerlas de piedra. En la construcción de guarniciones de concreto se emplea cimbra deslizante, de madera o de lámina de acero, siendo esta última preferible dado que es más fácil de manejar y es más durable, -obteniéndose además, un mejor acabado.

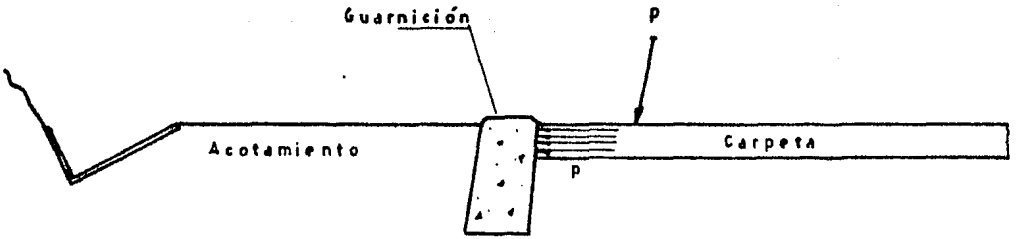
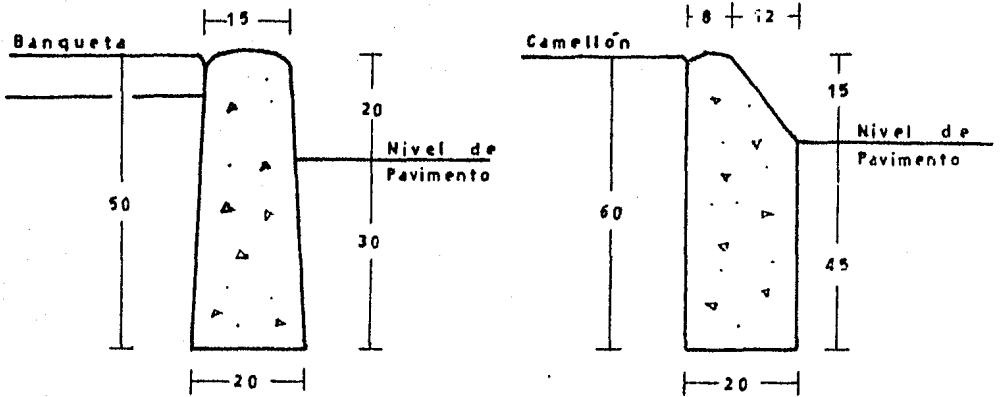


Fig.4 Guarnición enterrada.



Guarnición en camellones laterales y banquetas. (Dimensiones en cm)

Guarnición en camellón central. (Dimensiones en cm)

Fig.5 Tipos de guarniciones.

LOS BORDILLOS.

Los bordillos son pequeñas estructuras que se construyen en el extremo del acotamiento de las coronas de los terraplenes; en secciones en tangente irán a ambos lados del camino, en secciones en balcón se construirán en el borde opuesto al corte y en el borde interior de las secciones de terraplén en curva. Son especialmente útiles en terraplenes constituidos por material arenoso o areno-limoso, siendo su función la de captar el agua que cae sobre la corona del camino encauzándola hacia otro tipo de obras como son los lavaderos y bajadas, impidiendo de ésta manera, que el agua se desborde sobre los hombros del camino erosionando y saturando los terraplenes.

Estos pequeños bordes se construyen de concreto asfáltico, sule-cemento y en ocasiones de concreto hidráulico, empleándose preferentemente la sección trapecial. Si abunda piedra en la zona sería preferible que se construyan los bordillos con este material, con el objeto de ocupar la mano de obra de la región, siendo ésta una política usual en México.

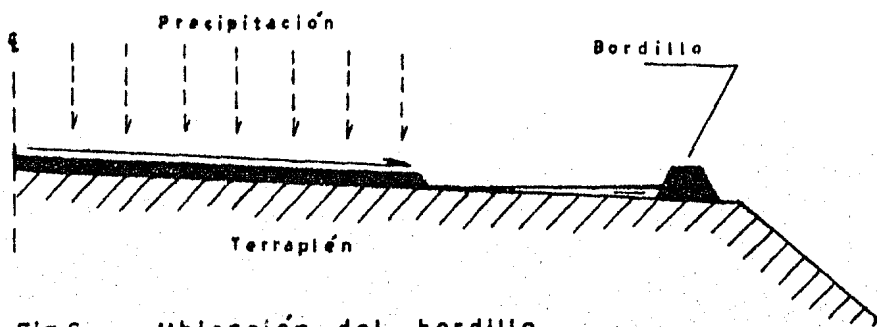


Fig.6 Ubicación del bordillo.

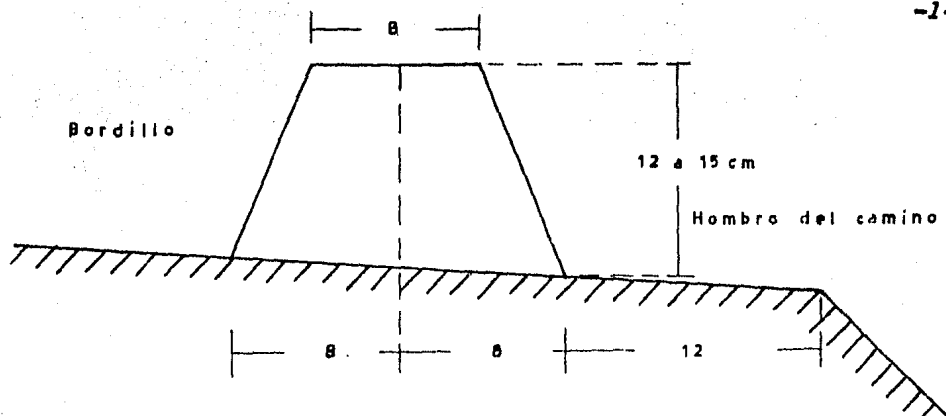


Fig.7 Dimensiones usuales de un bordillo.

Para proteger el bordillo contra la erosión producida por el pa se de personas y animales, así como la provocada por el empuje y flujo del agua, esta obra deberá tener su estructura adecuadamente asentada en el cuerpo del terraplén mediante anclajes intermitentes construidos, aproximadamente, a cada 5 ó 6 metros y en pequeños tramos de 8 a 10 -- centímetros.

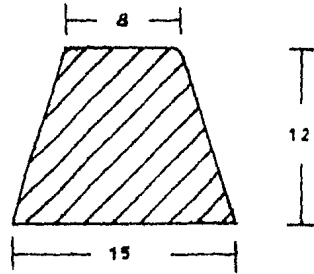
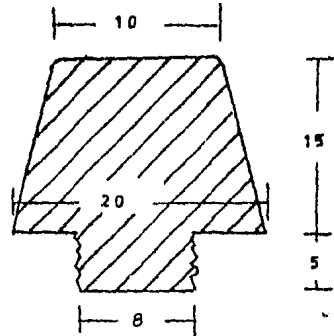
Por otra parte, la altura de los bordillos está determinada por varias limitantes, entre ellas, el tirante del agua captada debe ser -- tal que no invada la carpeta del camino y a la vez, no rebase al bordi -- lle. La pendiente longitudinal también es un factor importante en el -- diseño del bordillo, ya que entre mayor sea ésta, más rápidamente se -- desaleja el agua captada requiriéndose menor área hidráulica, habrá me -- nor tirante y por lo tanto la altura del bordillo será menor.

Bordillos de
concreto
asfáltico

Con anclaje

Común

Dimensiones en cm.



Bordillos de
concreto
hidráulico

Con anclaje

común

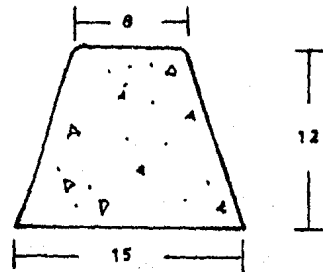
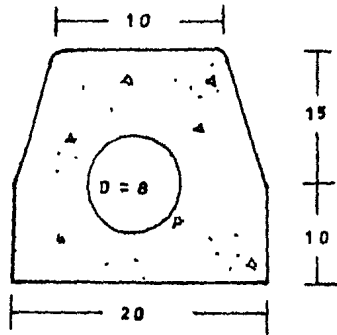


Fig. 8 Tipos y dimensiones de bordillos.

Por lo contrario, esta estructura debe suprimirse en aquellos tramos a nivel y con pendiente longitudinal menor a medio por ciento, ya que el agua escurrirá solamente por tirante hidráulico, muy lentamente, tendiendo a acumularse lo cual resultaría contraproducente para el camino. También debe eliminarse, cuando los terraplenes estén protegidos por vegetación y por lo tanto ya no exista riesgo de erosión e cuando el terraplón sea de altura lo suficientemente baja, como para que resulte más económica reponer el material erosionado en los taludes, que construir y conservar el bordillo.

Los bordillos constituidos de concreto asfáltico e hidráulico, en especial estos últimos, presentan deformaciones y pérdida de alineamiento originadas por los cambios de temperatura, debido a ello, en algunos casos se han construido bordillos con juntas de expansión, ubicadas a cada 10 metros aproximadamente.

No obstante lo adecuado que sería el proporcionarle al bordillo el anclaje necesario, la práctica mexicana emplea cotidianamente el bordillo de sección trapecial simple (sin anclaje), debido principalmente a su sencillez y por tanto a la rapidez y economía de su construcción. Para esta etapa, la de construcción, se emplea comúnmente la cimbra de madera, cimbra metálica y en algunas ocasiones se emplea maquinaria especial.

En cuanto a los bordillos construidos con concreto asfáltico, - la práctica mexicana recomienda los siguientes límites dentro de los - cuales se debe mantener la curva granulométrica del material pétreo u- tilizado.

TABLA B.

Malla	% que pasa, en peso.
3/4"	100
1/2"	100-85
3/8"	100-75
Nº 4	80-60
Nº 8	60-45
Nº 50	30-18
Nº 200	15-5

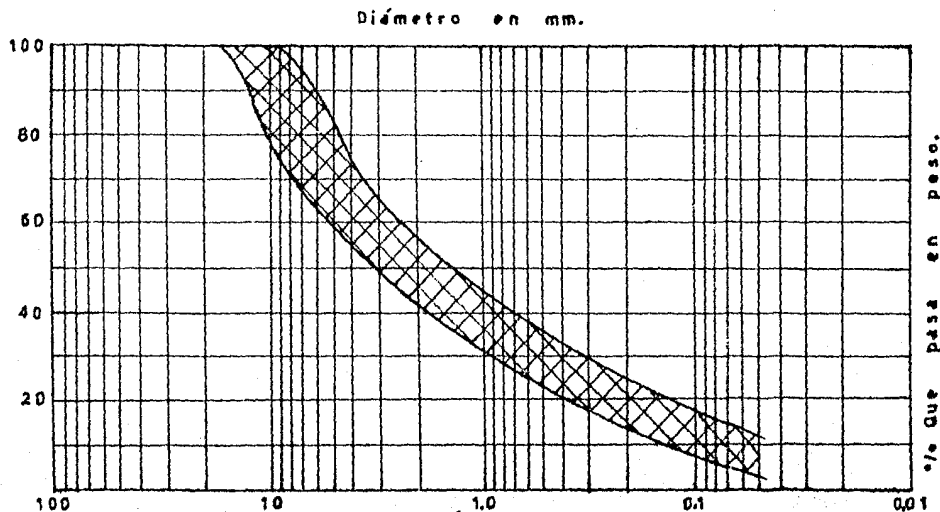


Fig. 9 Zona granulométrica.

Los lavaderos y bajadas son las estructuras por medio de las cuales, el agua captada y encauzada por los bordillos, es alejada del camino, siendo práctica común que la unión entre estas obras y el bordillo sea por medio de dos curvas, donde la correspondiente a aguas arriba del lavadero es más amplia para facilitar el paso del agua; también con este objetivo, el acetamiento entre las curvas del bordillo inmediatas al lavadero, se construye con una ligera depresión.

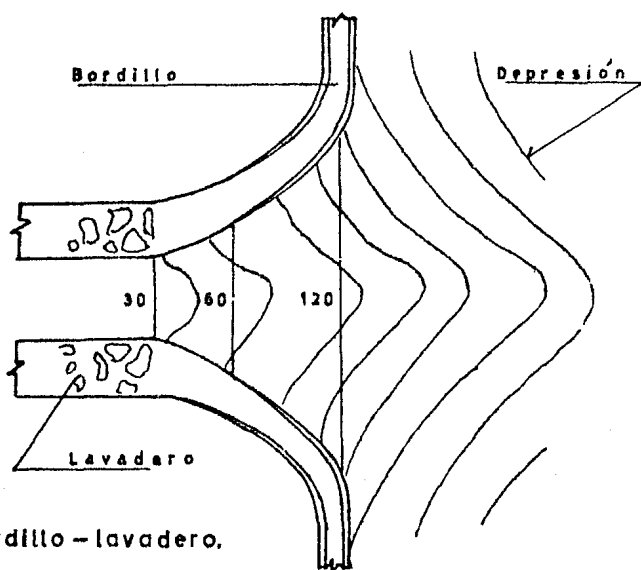


Fig.10 Unión bordillo-lavadero.

Los bordillos, como las demás obras complementarias de drenaje, no deben emplearse rutinariamente; para su utilización se deberá analizar, que tan erosionable es el talud para la precipitación pluvial de la región, pues habrá zonas en donde no sean necesarios ya sea porque la precipitación no es importante o porque el talud se protege con vegeración.

LOS LAVADEROS.

Los lavaderos son obras de drenaje transversal que complementan el trabajo hecho por los bordillos, descargando el caudal recogido por éstos hasta lugares alejados del camino, donde no pueda ocasionar daño alguno.

Este tipo de obras se construyen "incrustadas" en los taludes - de las secciones en terraplén; a la entrada y a la salida de secciones en balcón, sobre el lado en terraplén y, en la parte interior de la curva de secciones en terraplén. Cuando el trazo del camino es recto - se disponen este tipo de obras en tramos que varían de 50 a 150 metros, dependiendo de la intensidad de la precipitación pluvial de la región - y de la pendiente longitudinal del camino.

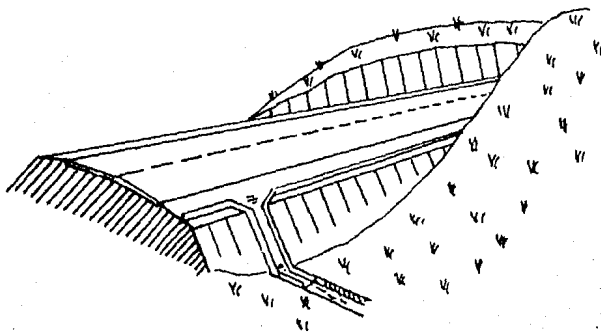


Fig. 11 Lavadero.

En este último caso, se presenta una situación en la cual la colocación de los lavaderos es obligatoria; esto sucede, cuando el camino atraviesa por lecerios que originan curvas verticales en cima y en "columpio", en éstas últimas, el agua de lluvia que cae sobre la carpeta tiende a escurrir y acumularse en la parte más baja de la curva en columpio; por ello es necesario colocar lavaderos en ese punto. Es eviidente que en esa zona, el volumen de agua por desalojar puede rebasar la capacidad del lavadero, por esta razón la práctica recomienda colocar a lo largo de la curva, lavaderos separados aproximadamente a cada 50 m.

En otras ocasiones, las características topográficas de la región -el caso de los talwegs- propician la concentración de volúmenes de agua superiores a la capacidad hidráulica de obras de drenaje superficial como cunetas y contracunetas; siendo necesario el desalojarlas por medio de lavaderos de sección cerrada (tubos), los cuales van completamente enterrados o superficialmente apoyados.

El tubo metálico -lámina galvanizada corrugada- es el más utilizado en la construcción de este tipo de lavaderos. Normalmente se emplean con diámetros comprendidos entre 45 y 60 cm., aunque lógicamente, los diámetros pueden ser aún mayores puesto que el gasto por desalojar determinará el diámetro de la tubería por usar. El uso de tubos de concreto, queda limitado a aquellos casos en que el agua alcanza velocidades moderadas.

En ocasiones los lavaderos se conectan a cunetas cuando éstas terminan al inicio de un tramo de camino en terraplén, siendo esta unión un detalle constructivo de cuidado, puesto que existe el riesgo de que parte de el agua que conduce la cuneta se salga por esta zona removiéndose y arrastrando el material que constituye el talud y que sirve de apoyo al lavadero, el cual se destruye al faltarle sustentación; para evitarlo, se construye la unión cuneta-lavadero de forma amplia y sin quiebres, además de colocar un dentellón de aproximadamente 50 centímetros bajo la entrada del lavadero.

También existen casos en que se emplean lavaderos para descargar el esudal de alcantarillas, que por algún motivo, han quedado colgadas en el cuerpo del terraplén por encima de su cauce (situación que no debe de existir).

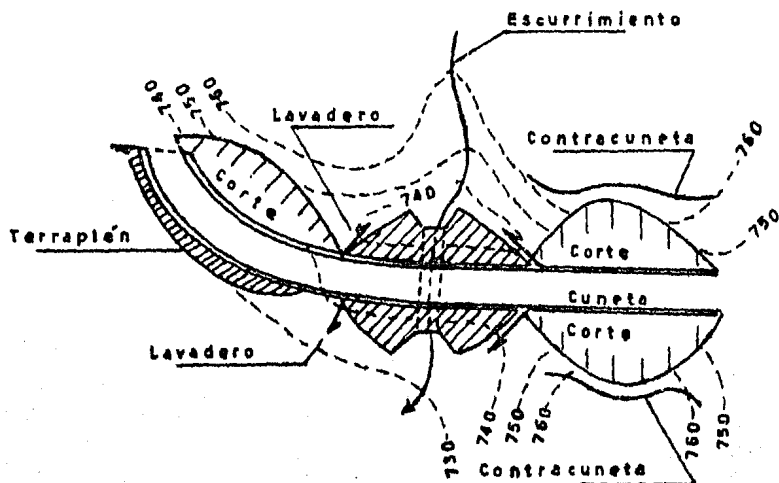


Fig.12 Planta de drenaje.

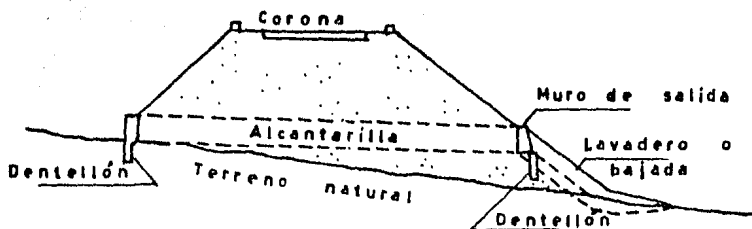


Fig.13 Alcantarilla y lavadero en terraplén.

Los elementos que constituyen normalmente un lavadero son: el umbral de entrada, la rápida revestida y los bordos o muretes de borde; en ocasiones, cuando la rápida tiene mucha pendiente, se agrega al lavadero un dissipador de energía por medio del cual se evita que el agua alcance velocidades erosivas en el sitio de descarga, ya que de lo contrario se produce el fenómeno de socavación remontante que puede alcanzar a dañar al propio lavadero.

El umbral de entrada, con un dentellón construido monolíticamente con la rampa, se diseña para que el lavadero capte de un 80% a un 100% del gasto que conduce el bordillo; no obstante, es práctica común que la longitud de entrada sea igual en todo caso, variando únicamente la distancia de separación entre lavaderos, es decir, mientras más grande sea el gasto captado por los bordillos menor será la distancia-

entre lavaderos. Las siguientes gráficas son de gran utilidad en el diseño del umbral de entrada, ya sea que se quiera captar todo o parte del gasto proporcionado por los bordillos o cunetas.

Donde: Q_a = gasto captado.

Q = gasto total que llega.

a = desnivel entre el asentamiento y el umbral.

y = tirante del escurrimiento antes del umbral.

L_a = longitud del umbral para captar todo el gasto.

L = longitud del umbral elegida.

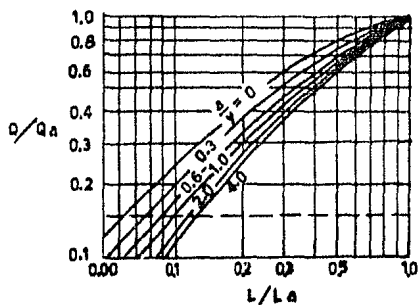
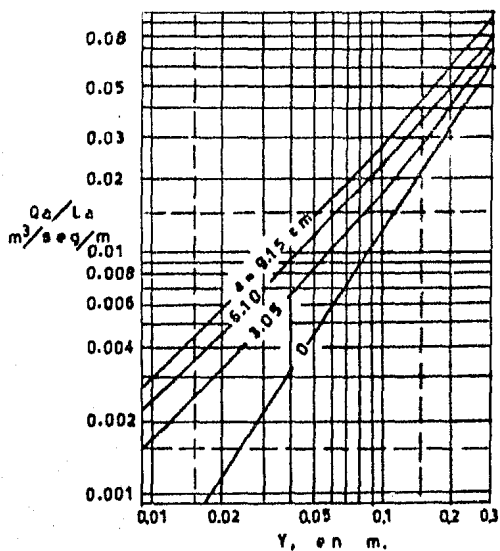


Fig.14 Curvas para determinar la capacidad de entradas con aberturas en los bordillos.

En cuanto a la rápida o rampa del lavadero, se diseña de tal forma que sus bordes no sean rebasados por el agua que conducen y para ello bastará revisar que el caudal, no rebase los muretes de borde en la sección del umbral puesto que es la sección más crítica, mientras que en la rápida se incrementa la velocidad del agua disminuyendo el área hidráulica y por lo tanto disminuye también el tirante. Es por ello que debido a las altas velocidades del agua, se deben construir monolíticamente la rampa y los bordos, además de colocar un dentellón o un dissipador de energía al pie del lavadero. Independientemente de lo anterior, es conveniente construir esta obra de tal forma que su superficie quede lo más rugosa posible, a fin de que contribuya a la disminución de la velocidad y por lo tanto de la energía cinética del agua.

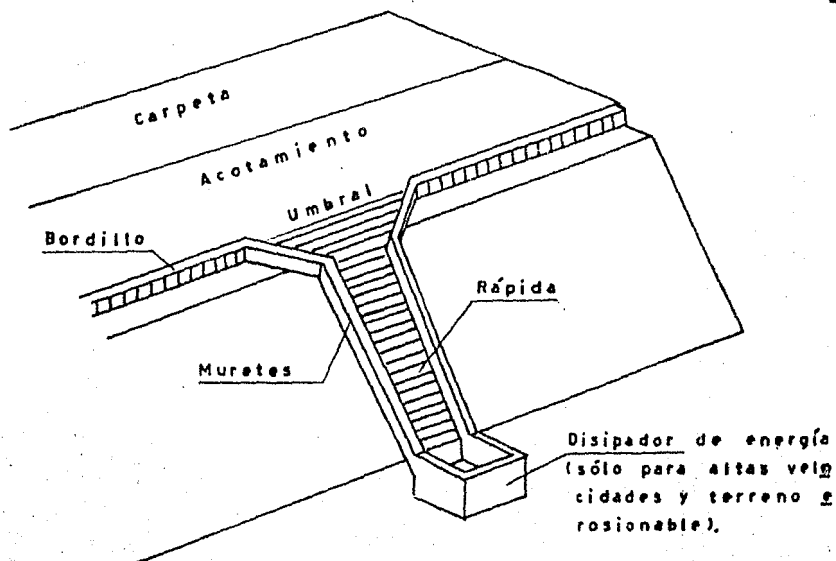


Fig.15 Elementos de un lavadero.

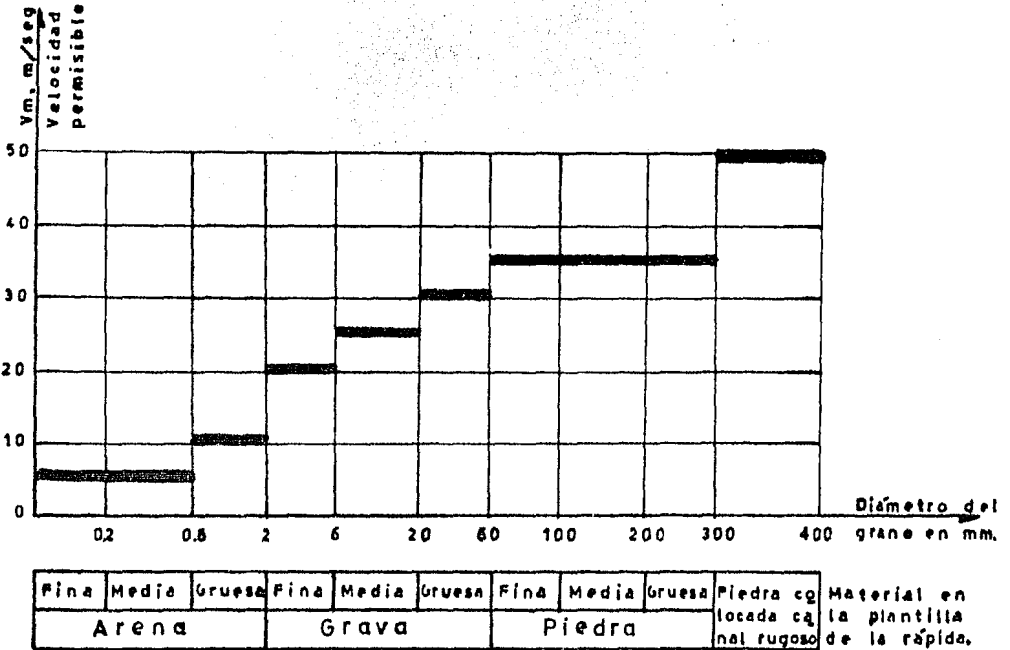
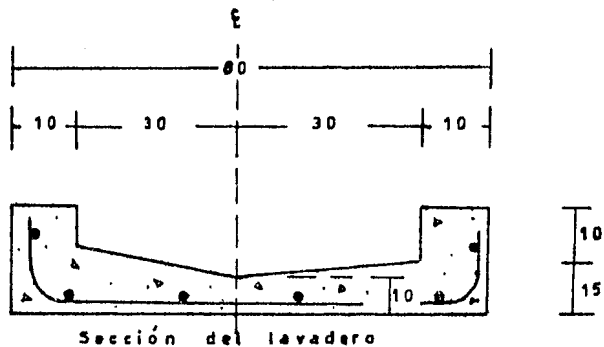


Fig.16 Velocidades permisibles para canales rugosos al pie de una rápida.

Por otra parte, los materiales con que se construyen los lavaderos son: de concreto reforzado, mampostería, concreto simple, precolado de concreto reforzado o de canalera metálica (media sección de lámina galvanizada corrugada), en este último caso, se debe construir la entrada y el final del lavadero con un refuerzo de mampostería y si esta obra es de gran longitud, convendrá colocar silletas de mampostería en los tramos intermedios.



Pie del lavadero

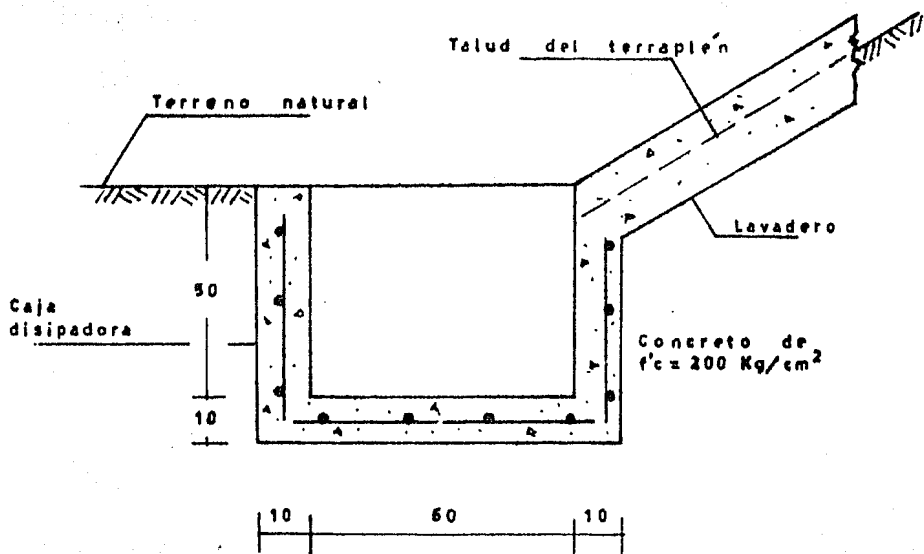


Fig.17 Lavadero de concreto reforzado.

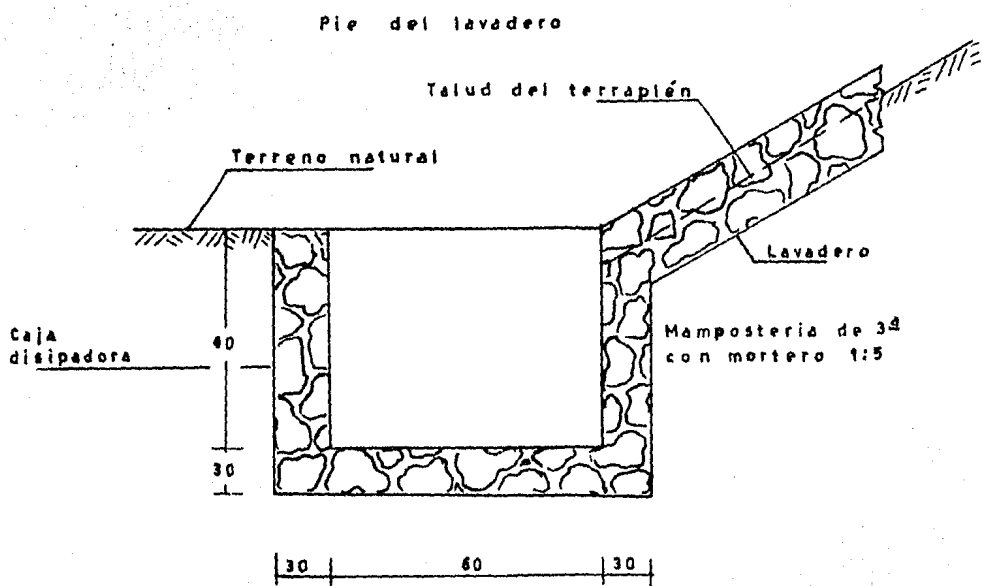
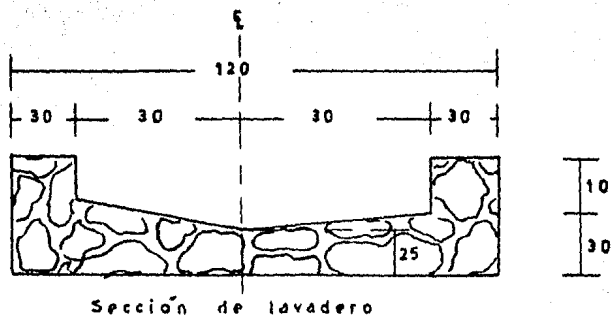
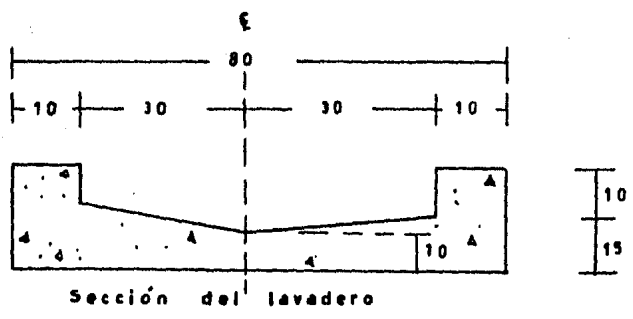


Fig.18 Lavadero de mampostería.



Pie del lavadero

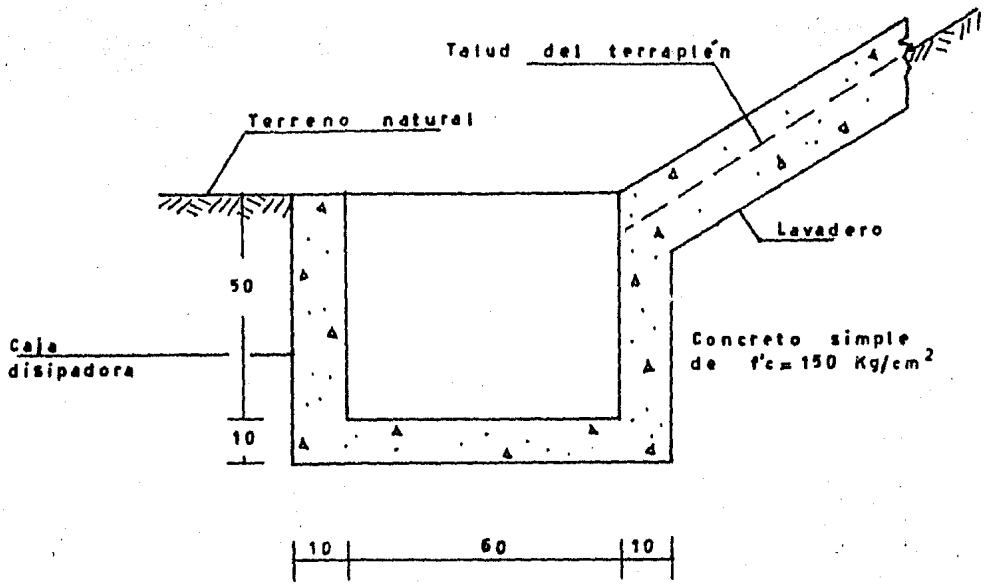


Fig.19 Lavadero de concreto simple.

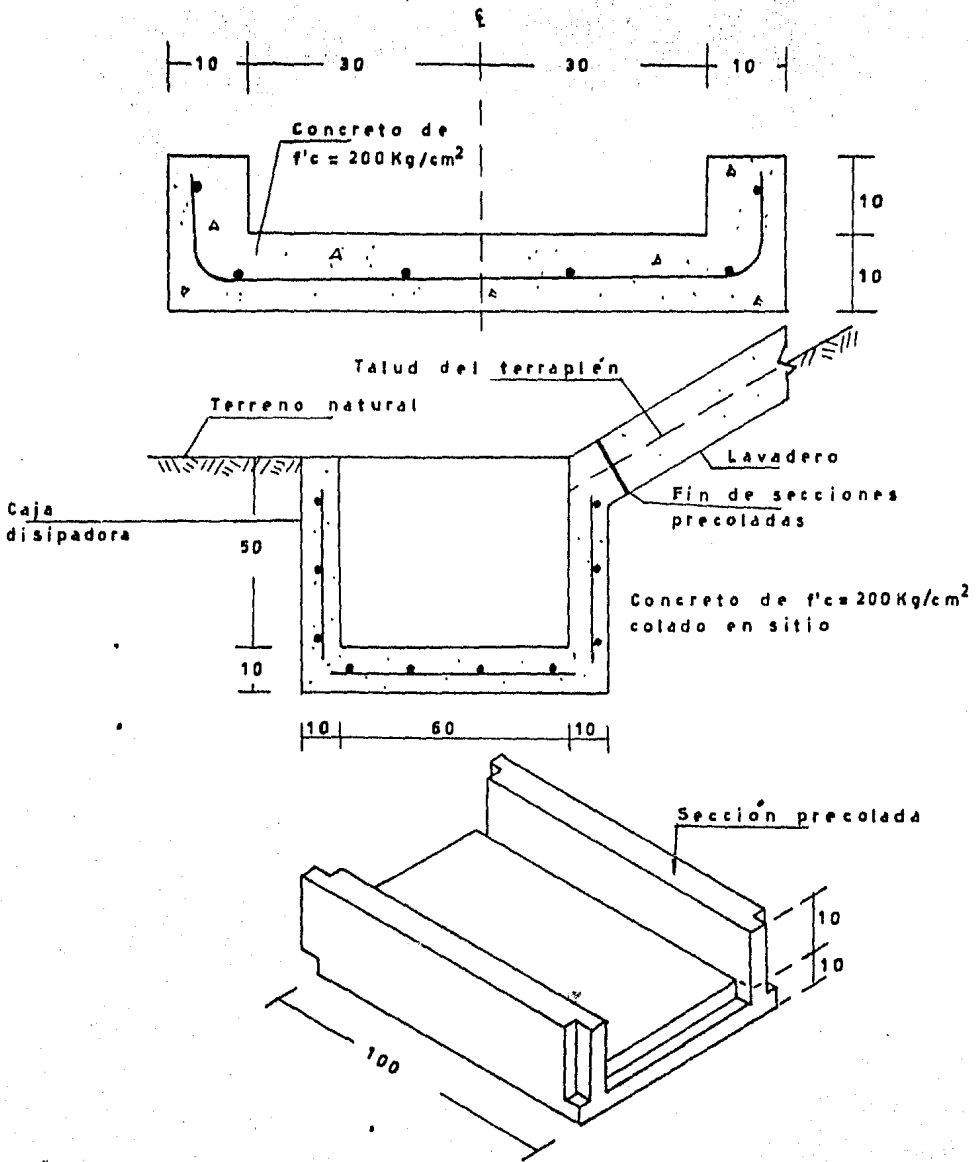


Fig.20 Lavadero precolado de concreto.

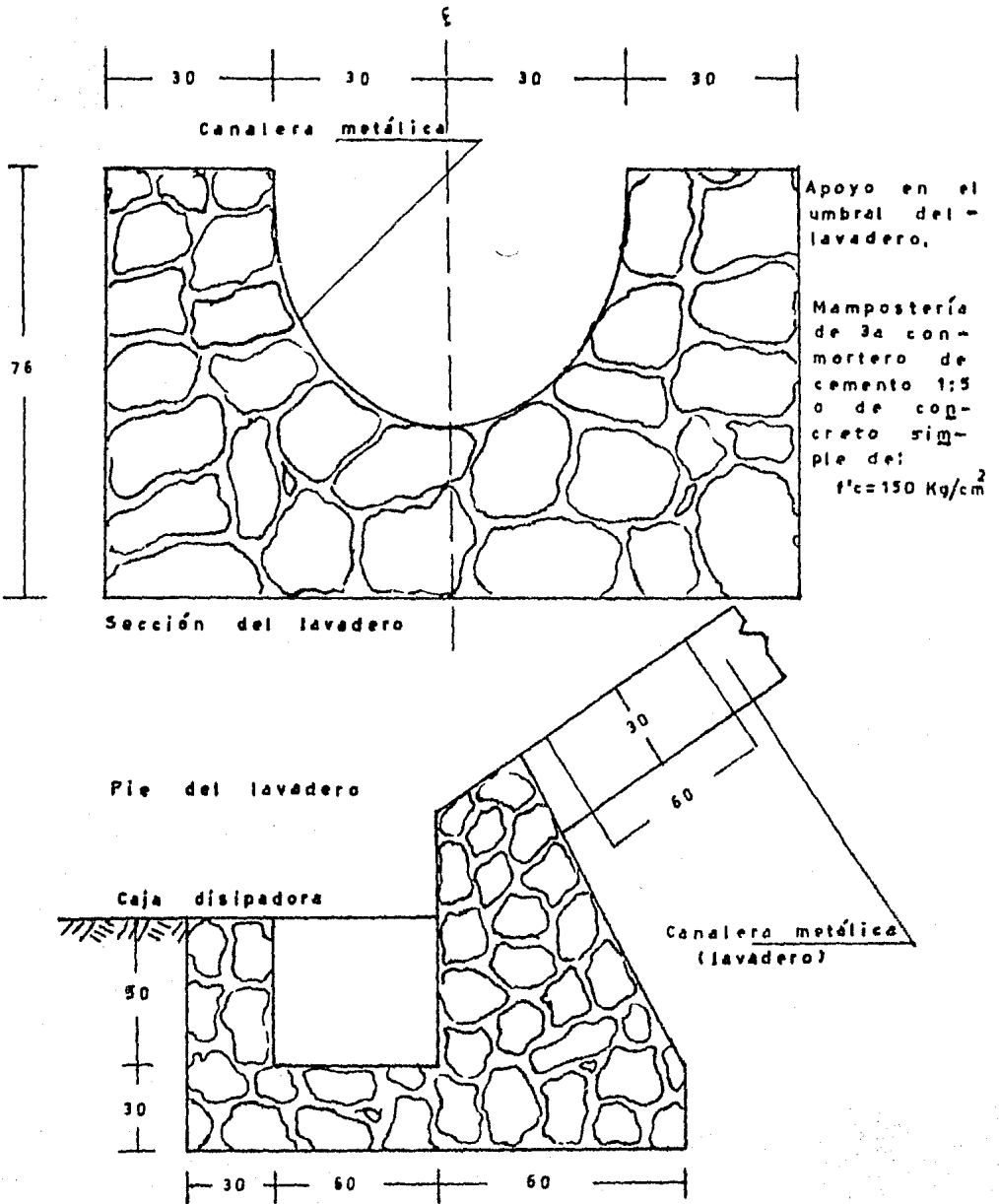


Fig.21 Lavadero de canalera metálica.

LOS BORDOS.

Las obras complementarias de drenaje, contra lo que podría pensarse, no están localizadas exclusivamente dentro de la zona de derecho de vía de un camino, sino que éstas también existen en áreas alejadas a la vía de comunicación y que resultan tan necesarias como las obras hasta ahora descritas.

De las obras complementarias ubicadas, generalmente, fuera del derecho de vía, son los bordos y los canales interceptores las más conocidas, y se emplean para mejorar las características de drenaje de una cuenca, protegiendo a su vez, el funcionamiento de las obras de drenaje más cercanas al camino que podrían resultar inefficientes para encauzar los escurrimientos generados.

El criterio actual para la construcción de bordos, es la de emplearlos para controlar las aguas colectadas por talwegs, o cuando las zonas, aguas arriba del camino, sean extensas, con poca pendiente y -- sin cauces definidos; también se emplean bordos en terrenos desérticos, ya que aunque en esas regiones, llueve durante muy poco tiempo, cuando suceden éstas las precipitaciones suelen ser fuertes. Por lo tanto, -- con este tipo de obras los escurrimientos son retenidos y encauzados -- hacia lugares en donde puedan ser desalojados con gargantas, ríos, alcantarillas, etcétera; sin ocasionar daños al camino y propiciando la necesidad de construir un menor número de alcantarillas.

Estos bordes, en general, no rebasan los 2.00 metros de altura - salvo en casos excepcionales; se construyen con material impermeable - (fino), apisonado, producto de excavaciones cercanas hechas usualmente paralelas al propio borde. Cuando se haga lo anterior, convendría ha-- cer la excavación aguas arriba del borde, formando un canal de poca -- profundidad y cuya ventaja principal, es la de proporcionar la pondien te adecuada para que el agua captada sea conducida eficientemente ha-- cia un cauce natural por ejemplo. Por otra parte, es común que la excavación se haga cerca del borde, aunque la práctica recomienda que en-- tre los "ceros" del borde y la orilla de la excavación, quede siempre una distancia no menor de 4.00 metros más, una y media veces la profun-- didad de dicha excavación.

Este tipo de bordes de tierra, es común que se construyan con - taludes 2:1 ó 3:1, con un ancho de corona aproximado de 50 centímetros; estos bordes deben estar protegidos con enrocamiento, mampostería o -- xampeado, en aquellos tramos en donde se espera que el agua llegue con la velocidad suficiente para erosionarlos. Si son construidos sobre -- suelo relativamente permeable, se deberá colocar bajo el borde, antes-- de levantarlo, un dentellón de arcilla, con el objeto de reducir el pe-- ligro que las filtraciones podrían ocasionar.

También resultaría conveniente, proteger el talud del borde con-- tra la erosión causada por la lluvia; esto se puede lograr fomentando-- la vegetación, lo cual se puede hacer colocando en el talud el mate -- rial de despulme, previamente guardado y producto de la zona exclusiva

bajo el borde.

No obstante sus ventajas, la construcción de bordos deberá hacerse, tomando en cuenta los efectos que aguas abajo ocasionen estas obras, debido a que incrementan los volúmenes de agua en corrientes establecidas, y que puede originar inundaciones de campos de cultivo o poblaciones.

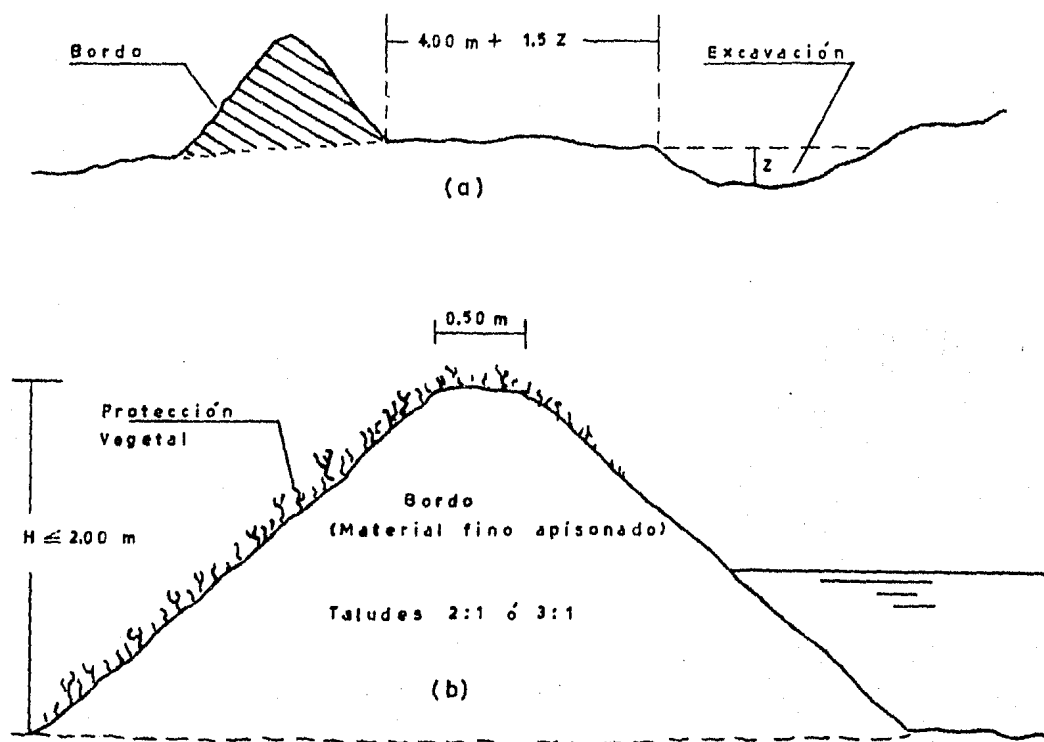


Fig.22a y b Sección usual de bordos de tierra.

LA VEGETACION.

Hasta este momento, se han descrito algunas obras de drenaje necesarias para la captación y buen encauzamiento del agua potencialmente dañina para la estabilidad del camino; sin embargo, en el presente capítulo se resaltará la importancia de un procedimiento sencillo y -- por lo tanto económico para controlar la energía erosiva de los escurrimientos; este procedimiento consiste en la conservación o en caso de no existir, la plantación de especies vegetales.

El uso de la vegetación resulta ser el medio de protección más eficiente contra la erosión de taludes, ya sean de cortes, terraplenes o del terreno natural, puesto que regula la velocidad de los escurrimientos así como el volumen de los mismos que se dirigen al camino.

Se sabe que la erosión o sea la desintegración y arrastre de -- los suelos, se genera principalmente, por el impacto de las gotas de lluvia al caer, así como por el agua que fluye superficialmente debido también a la lluvia. Esto se debe a la energía cinética ($1/2 mv^2$) de -- las gotas de lluvia la cual se incrementa conforme aumenta la intensidad de la lluvia; sin embargo, este incremento de energía tiende, de -- forma asintótica, hacia un valor límite debido a que las gotas de mayor tamaño (más de 6 mm), son inestables y se dividen antes de llegar a la superficie del terreno.

Una vez que el agua de la lluvia llega a la superficie inclinada del terreno y forma escurrimientos, los que suponemos son de espesor uniforme, le produce al talud un esfuerzo tangencial (τ_a) y que según la siguiente figura, vale:

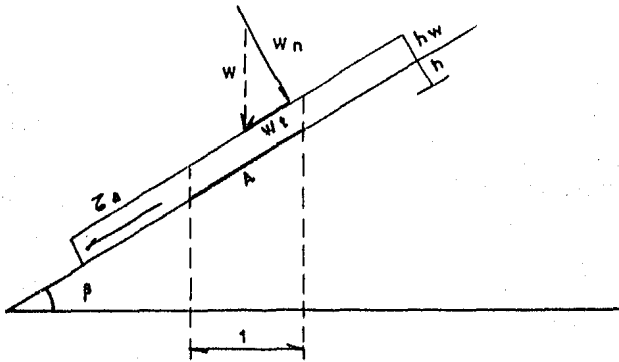


Fig. 23 Escorrimento laminar.

suponiendo una área unitaria:

$$W = h_w \times \gamma_w \times l$$

$$W_t = h_w \times \gamma_w \times l \times \text{sen } \beta$$

$$A = \frac{l}{\text{cos } \beta}$$

siendo el esfuerzo tangencial:

$$\tau_a = \frac{W_t}{A} = \frac{h_w \gamma_w \text{ sen } \beta}{\frac{l}{\text{cos } \beta}}$$

$$\tau_a = h_w \gamma_w \text{ sen } \beta \text{ cos } \beta$$

como: $Q = u A = v \times h_w \times l$

$$h_w = \frac{Q}{v}$$

pero también: $Q = c i a$ donde $a = l$

$$h_w = \frac{c i}{v}$$

quedando finalmente, que el esfuerzo tangencial o rasante vale:

$$\tau_a = \frac{c i}{v} \gamma_w \operatorname{sen} \beta \cos \beta$$

La ecuación anterior, indica que debe existir una velocidad crítica, diferente para cada tipo de terreno, con la cual se genera un esfuerzo rasante (τ_a) que al llegar a un cierto límite, provoca la desagregación de las partículas del terreno; a dicho valor límite se le conoce como esfuerzo erosivo.

Si debido a las irregularidades del terreno, el agua se concentra formando pequeños riachuelos, ya no será válido tomar un ancho unitario como se hizo anteriormente debiéndose tomar el ancho real del torrente, además de que también variará el tirante del escurrimiento. -- Cuando el flujo de agua se concentra, aumenta la posibilidad de que el pequeño torrente alcance el valor del esfuerzo erosivo, esto es, porque aumenta la velocidad del escurrimiento incrementándose también la acción, por peso propio, del agua sobre las partículas superficiales del terreno.

La resistencia que oponen las partículas del suelo a ser removidas y arrastradas por los escurrimientos, se considera es la tradicional:

$$s = c + \bar{\sigma} \tan \beta$$

donde los esfuerzos efectivos son:

$$\bar{\sigma} = \gamma'_m h \cos^2 \beta$$

siendo el sumergido, el peso específico a considerar si el talud está internamente saturado; y "h" es el tamaño de la primera "hilera" de partículas, (referido a la fig. 23).

Los dos mecanismos anteriores son los principales causantes de erosión en taludes, pero no son los únicos, existen otros los cuales se indican en la tabla G.

El empleo de vegetación en los taludes y laderas, hace que parte del agua que llega al suelo en forma de lluvia, sea devuelta a la atmósfera en forma de vapor de agua (transpiración) y que unida a la evaporación directa constituye la evapotranspiración. Además, si se admite que:

$$\text{Precipitación} = \text{Escorrimento} + \text{Infiltración} + \text{Evapotranspiración}$$

resulta lógico que al fomentarse la cubierta vegetal aumenta la evapotranspiración, debiendo disminuir al menos uno de los otros dos términos, del segundo miembro de la ecuación anterior. Como la vegetación retarda el escurrimiento disminuyendo su velocidad, facilita que el agua

se infiltre en mayor cantidad en el terreno, agua que en parte es tomada por las raíces de las plantas incrementando la capacidad del terreno para aceptar más infiltración. Por lo tanto se concluye, que es el escurrimiento el término que debe disminuir, para que se cumpla la igualdad de la ecuación.

TABLA C

Efectos de la lluvia en la erosión del terreno.

Acciones directa o indirectamente erosivas.	Mecanismo de acción.	Efectos erosivos directos o indirectos.
Impacto de las gotas.	Disgregación.	Erosión por escurrimiento laminar y por escurrimiento concentrado.
Escurrecimiento superficial.	Disgregación. Transporte.	Erosión diferencial, por diferentes resistencias al fenómeno, de las distintas capas del suelo.
Infiltraciones.	NAF suspendido. Elevación del NAF.	Deslizamiento de tierras. Erosión interna. Tubificación.
Humedecimiento y secado.	Expansión y contracción.	Fisuramiento. Pérdida de cohesión. Flujos estacionales

Obviamente las especies vegetales que se utilicen deben ser las que mejor se adapten al medio, por lo que resulta conveniente consultar a las personas expertas en estos asuntos, como los botánicos, antes de decidir sobre la cubierta vegetal a emplear; puesto que para que ésta tenga un buen desarrollo, se necesita reunir, satisfactoriamente, algunos factores como son la humedad del suelo, la fertilidad del mismo, la humedad relativa, la temperatura y la inclinación del terreno (de hecho la pendiente máxima aconsejable para el establecimiento de vegetales es de 1:1).

La afectación que sufren las plantas, en caso de que los factores anteriores varíen excesivamente, será diferente según la especie que se emplee, de tal forma, que de acuerdo a su tipo y características, las plantaciones se pueden agrupar en los siguientes conjuntos principales:

- a) Los árboles.
- b) Los arbustos.
- c) Los pastos.
- d) Las rastreras.
- e) Las cactáceas.

Para obtener el máximo aprovechamiento de la cubierta vegetal, es importante poder establecer la especie vegetal más adecuada a las características climatológicas y topográficas de la zona, así como el método de plantación o siembra más conveniente. Por ejemplo, en los ta

ludes de los terraplenes son de mayor utilidad las especies rastreras o los pastos tupidos, mientras que para las Barreras protectoras en el terreno natural, dan mejor resultado los arbustos o árboles plantados en puntos variables, con el objeto de que ayuden a anclar la cubierta vegetal puesto que sus raíces se desarrollan más profundamente. Cuando se empleen árboles dentro del derecho de vía del camino, deberá tomarse en cuenta, que sus características en la etapa adulta, deben ser tales que no ocasionen problemas a los usuarios de la vía de comunicación; por ejemplo, no se deben plantar especies de hoja caduca, porque éstas al caer y dispersarse, pueden ocultar señalamientos o irregularidades existentes en la carpeta del camino, constituyendo un peligro para los automovilistas. También es recomendable, que la altura de los árboles en su etapa adulta, no exceda la distancia que los separa del hombro del camino.

Los métodos comunes para establecer la vegetación son: por medio de semillas, estacas, plantando toda el área con céspedes (tepes) o cubriendo pequeñas porciones (mateado), de éstos habrá de utilizarse el más adecuado según cada caso; por ejemplo, la plantación de pastos y rastreras en taludes con mucha pendiente, se hace por medio de tepes o mateado, puesto que si se emplearan semillas, el riego o la lluvia las arrastra hacia la parte baja del talud. Incluso con la plantación de tepes, se corre el riesgo de que se deslicen por peso propio, debido al humedecimiento por riego, teniendo que ser fijados por medio de estacas.

Otro aspecto que debe cuidarse, es la cantidad de agua necesaria para lograr el establecimiento de la vegetación, siendo éste un factor importante, sobre todo durante la fase inicial de plantación o sembrado. También durante la primera temporada de secas, la vegetación necesita de riegos periódicos para lograr su fijación y aclimatación definitivas, logrando que posteriormente la cubierta vegetal pueda soportar por sí misma el régimen pluvial de la zona.

Sin embargo, el factor más importante y más rígido que interviene en la selección de la cubierta vegetal por emplear, es la composición del suelo o sea su estructura, su textura y la presencia de detritus y microorganismos, que en general constituyen la capa de tierra vegetal; lo anterior es importante, porque la mayoría de las especies vegetales, a excepción de las xerófitas, necesitan de ésta capa para poderse desarrollar.

Como desde el punto de vista ingenieril, la capa de tierra vegetal se considera material de desperdicio y como tal se desecha, resultaría una buena práctica el "almacenar" la capa de tierra vegetal, producto de los trabajos de despalle, para posteriormente emplearla en el establecimiento de especies vegetales, principalmente en los taludes de los terraplenes, obteniéndose mejores resultados a menor costo.

En resumen, la cubierta vegetal es el método más sencillo y económico para proteger al camino de la erosión; es por esto que debe evi-

tar el deshierbe o desenraice excesivos, tanto en la zona de derecho - de vía como en la zona de influencia de la vía terrestre. Cuando el terreno se encuentre desforestado o simplemente no exista vegetación, deberá fomentarse la plantación de especies vegetales sobre todo de aquellas que sean nativas de la región o al menos con características similares. De hacerse así, no habrá mayor problema de aclimatación o adaptación a las características del suelo, requiriendo de un mínimo de -- cuidados; resultando un procedimiento más exitoso y más económico.

LAS CUNETAS.

Las cunetas son ranjas que se construyen paralelamente al camino, con el objeto de captar el agua que cae en éste producto de la precipitación pluvial, así como el agua que escurre hacia el camino desde los taludes de los cortes, escurrimiento que se genera en el área comprendida entre la vía de comunicación y el coronamiento del corte o -- hasta la contracuneta; también captan el agua que escurre de pequeñas áreas próximas del terreno natural. Todos los escurrimientos anteriores son encauzados por las cunetas hacia cauces naturales u obras de alivio, evitando que el agua se acumule y se infiltre en el pavimento, reblandeciendo las capas que lo constituyen lo cual produciría, en general, la destrucción del camino.

Las cunetas se construyen a ambos lados del camino en secciones de corte en cajón y a un solo lado, junto al corte, en las secciones en balcón. En algunas ocasiones, cuando el régimen de precipitación pluvial de la región es fuerte, se llega a construir cunetas en los terraplenes sobre todo en las secciones en curva, haciendo la función -- que normalmente llevan a cabo los bordillos.

Sin embargo, antes de decidir en sustituir los bordillos por cunetas, se debe tomar en cuenta que ésta última solución requiere de un ancho extra de corona, lo que representa un incremento en el costo de construcción.

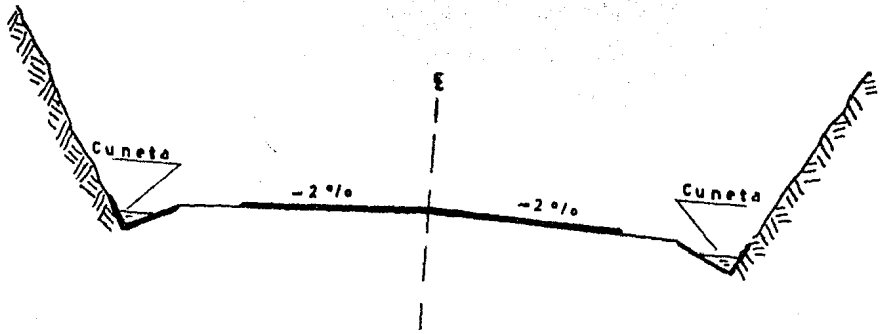


Fig. 24 Sección de corte en cajón

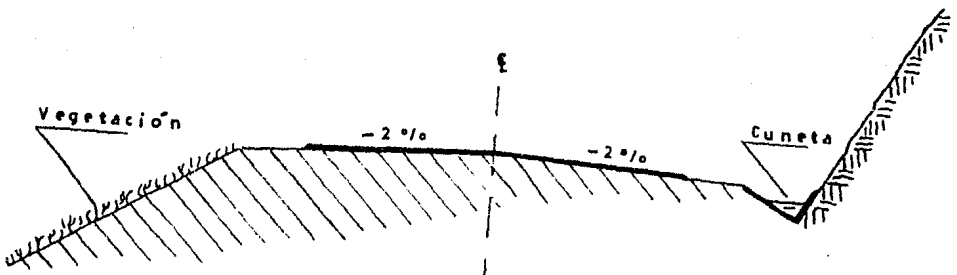


Fig. 25 Sección en balcón

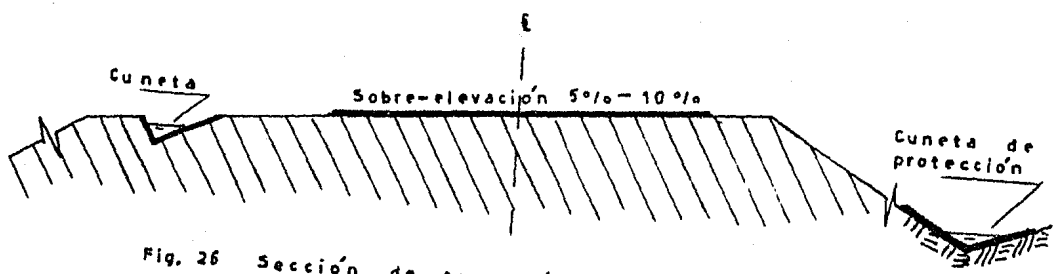


Fig. 26 Sección de terraplén en curva

Es por lo anterior, que la utilización de cunetas en lugar de bordillos se debe hacer sólo cuando la capacidad hidráulica de éstos últimos, no sea suficiente para contener los escurrimientos. De emplearse ésta solución, el número de lavaderos disminuirá e incluso podrán ser eliminados por completo, si la cuneta se prolonga lo suficiente para poder verter el agua en el terreno natural. Es importante resaltar que todas aquellas cunetas que se localicen en la corona del terraplén o en su talud, deberán ser recubiertas de concreto puesto que son zonas que se destruyen fácilmente bajo la acción del agua.

También en ocasiones se llegan a construir cunetas de protección al pie del talud, obviamente aguas arriba del mismo; sin embargo ésta solución, al igual que la anterior, resulta costosa por lo que no es frecuente su uso, siendo sustituida por otro tipo de obras como los bordos o los canales interceptores, los cuales cumplen la misma función.

Por otra parte, las dimensiones de las cunetas se proponen, generalmente, para que den capacidad a fuertes aguaceros de poco más de 10 minutos de duración, siendo práctica común, el considerar suficientemente seguro, el hecho de que las cunetas tomen del 70 al 80% de la precipitación pluvial, de la mitad del ancho total del derecho de vía aunque en algunos casos se llega al 100%. Es necesario, para calcular el área hidráulica de las cunetas, el conocer los factores principales que intervienen tales como el área de influencia, el coeficiente de es

corrimiento y la intensidad de la lluvia, siendo éste último el factor más problemático dada la escasa información pluviométrica, teniendo -- que recurrirse a información proporcionada por los pobladores de la re- gión.

Siendo tan inciertos los factores que intervienen en la determi na ción del área hidráulica de la cuneta, frecuentemente su forma y di me nsiones las determina el ingeniero de acuerdo a las condteiones cli ma toológicas del lugar y a su experiencia.

No obstante lo anterior, la práctica mexicana considera sufi ci ente para la mayoría de los casos, la utilización de una cuneta de se cción transversal triangular con 1 metro de ancho, talud mínimo del la do de la corona de 3:1 y por lo tanto con una profundidad de aproxi ma damente 33 centímetros; del lado del corte el talud será el que co rresponda según el tipo de material. La forma de esta cuneta tiene la gr an ventaja de que son fáciles de construir, puede hacerse con moto co nformadora una vez colocada la capa sub-rasante, así como fáciles de co nservar.

En el pasado se empleaban cunetas de sección transversal re ctan gular o trapecial, secciones de mayor capacidad hidráulica que la cun eta triangular, sin embargo se han ido desechando poco a poco debido a su inestabilidad y al peligro que representaban para los automovili st as cuando por algún motivo tenían que acercarse a ellas. En la actua l

lidad sólo en los ferrocarriles es todavía frecuente el uso de cunetas de sección trapezoidal.

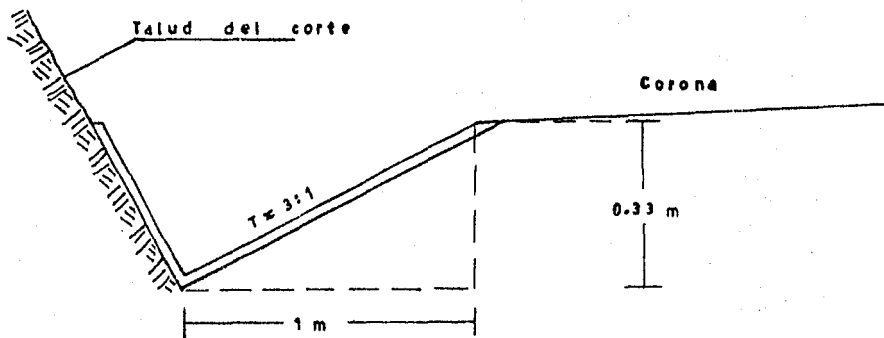


Fig. 27 Dimensiones comunes de una cuneta.

Una cuneta con las dimensiones anteriores puede dar buenos resultados en longitudes de 250 a 300 metros como máximo, distancia medida desde una cresta hasta un desfogue. Cuando se empleen cunetas en tramos de mayor magnitud, se deberá construir una obra de alivio que permita disminuir esa longitud al captar y conducir fuera del camino el caudal de la cuneta.

Por otra parte, se recomienda impermeabilizar las cunetas cuando estén excavadas en material erosionable o permeable, evitando así las filtraciones hacia el cimiento del pavimento. Los materiales más recomendables para los trabajos de impermeabilización son a base de manpostería o de concreto hidráulico, dependiendo de la accesibilidad.

de material en la región; en el primer caso se utiliza piedra bien acomodada, con mortero de 65 a 90 Kg de cemento por cada metro cúbico de mampostería y en el segundo, se emplean losas celadas en el sitio o secciones preceladas de 1.0 m.

También son usuales los revestimientos a base de mezclas como: suelo-cemento y arena-asfalto, en especial ésta última, constituye una solución muy aceptable en los caminos modestos de algunas regiones costeras del país. En cuanto al material estabilizante, las proporciones más frecuentes son de 6% a 7%, en peso, de cemento hidráulico y de 4% a 6% de cemento asfáltico, también en peso.

Las cunetas se deben impermeabilizar en casi todos los casos, aunque en algunas ocasiones en los caminos modestos, se tiene el criterio de construir las cunetas no revestidas al considerarlas como obras de drenaje provisional, este criterio no es muy conveniente, pero, si por algún motivo (económico) se ha de llevar a cabo, deberá ser en zonas donde no sea probable, ni el humedecimiento por infiltración de las capas superiores del pavimento, ni la erosión de las cunetas.

Para tener una idea de la magnitud de las velocidades que alcanza el agua y que producen erosión en los diferentes materiales, se presenta la siguiente tabla D. Y además, como el gasto que puede eliminar la cuneta está también en función de su pendiente longitudinal, la tabla E proporciona dichos gastos para distintas pendientes del camino y

velocidades del agua.

TABLA D

Velocidades a las que se socavan los materiales.

Material	Velocidad (m/seg)
Limos y arenas finas	0.45
Arcilla arenosa	0.50
Arcilla	0.85
Arcilla firme	1.25
Tepetate	2.00
Grava fina	2.00
Pizarras suaves	2.00
Grava gruesa	3.50
Zampeados	3.4 - 4.5
Roca sana y concreto	4.5 - 7.5

Con el fin de evitar que el agua se salga de las cunetas, cuando el camino es sinuoso o que se produzca azolve en los cambios de pendiente longitudinal, debe cuidarse que no haya cambios bruscos de velocidad; lo anterior se logra mediante cambios de sección y transición a decuados.

Cuando el material de las cunetas es erosionable, una de las po

sibles soluciones es, además de revestirlas, reducir la velocidad que alcanza el agua, mediante la disminución de la pendiente de la cuneta o mediante el incremento de la sección del canal.

TABLA I

Gastos y velocidades en cunetas triangulares tipo.

Pendiente longitudinal. (%)	Velocidad (m/seg)	Gasto (m^3/seg)
1	0.6	0.110
2	0.9	0.170
3	1.1	0.200
4	1.3	0.240
5	1.5	0.270
6	1.6	0.300
7	1.7	0.320
8	1.8	0.340
9	2.0	0.370
10	2.1	0.400

Como además de sus características de resistencia estructural, la base y/o la sub-base son diseñadas para drenar el agua que se infiltra desde la parte superior del pavimento y para impedir el flujo ascendente por capilaridad; resultaría obligado que la lámina de agua de

una cuneta no revestida quedase por debajo del lecho inferior de la capa drenante, preferentemente por debajo de la sub-base evitando así -- que pierda resistencia por el humedecimiento. Si la cuneta se diseña -- revestida e impermeabilizada, entonces la lámina de agua podría quedar bajo el nivel inferior de la base.

En el caso de las vías férreas, las cunetas se construyen de -- tal forma que su lámina de agua quede bajo el lecho inferior del balasto y como no existe la sensación de canalización del automovilista, -- los taludes de las cunetas de ferrocarril están limitados sólo por as- pectos de capacidad hidráulica.

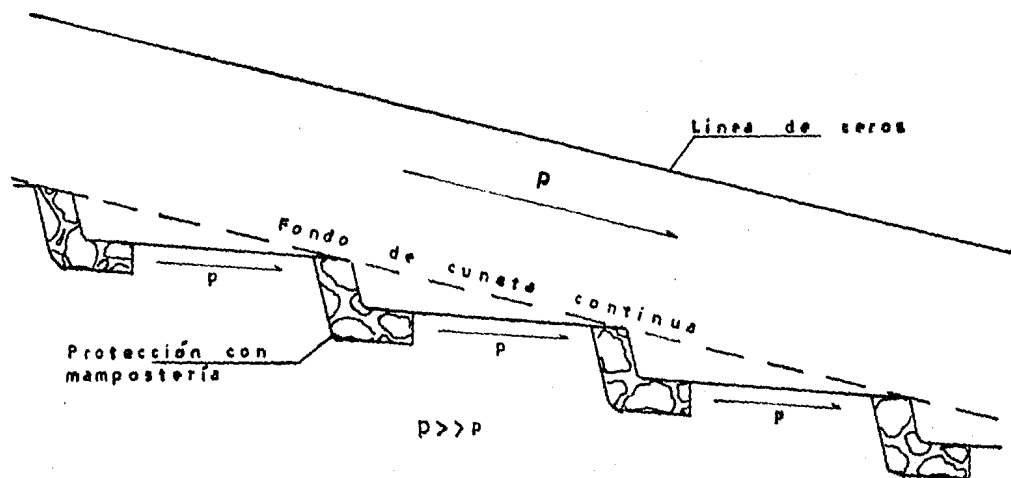
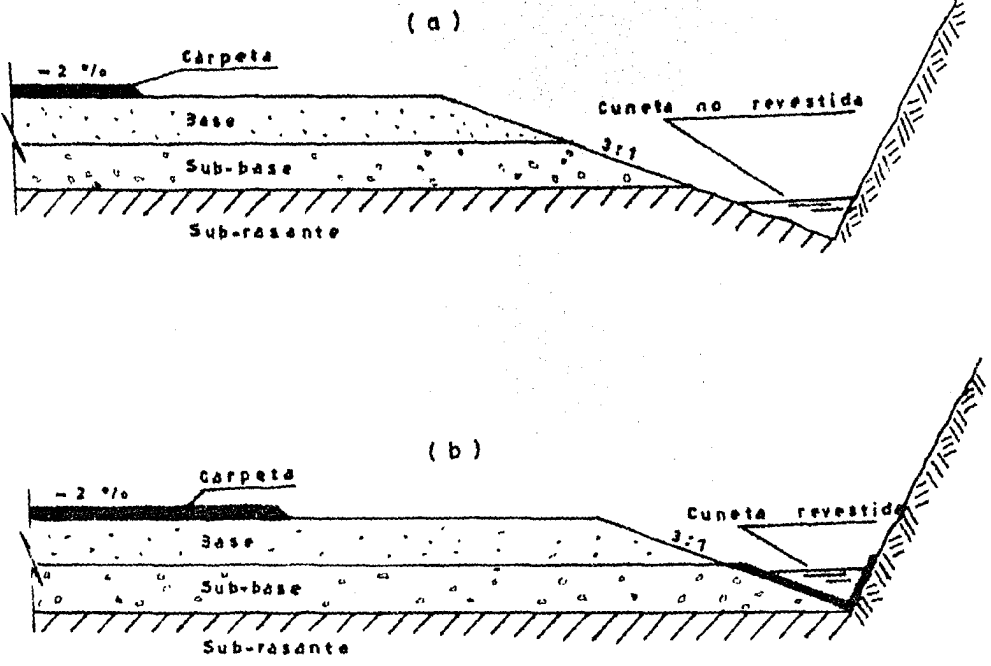


Fig.28 Reducción de la pendiente de una cuneta.



Figs. 29 a y b. Ubicación de la cuneta respecto a las capas del pavimento.

En la transición de las cunetas con las obras de alivio, con frecuencia se hace necesario construir obras auxiliares, las cuales pueden ser muros interceptores dentro de la sección de las cunetas o pueden ser cajones de entrada con desarenadores. En éstos últimos, el agua que corre por las cunetas antes de entrar a la alcantarilla cae en la caja, que más abajo de la alcantarilla, tiene un desarenador cu-

yo objetivo es el de retener, por sedimentación, los arrastres que lleva la corriente de agua.

Estas obras tienen una gran importancia, sobre todo en el funcionamiento de los caminos rurales por lo que, se debe tener mucho cuidado en que se construyan con la sección completa y que durante la operación no se vuelven con arrastres o derrumbes de los taludes adyacentes; o sea requieren de una conservación constante.

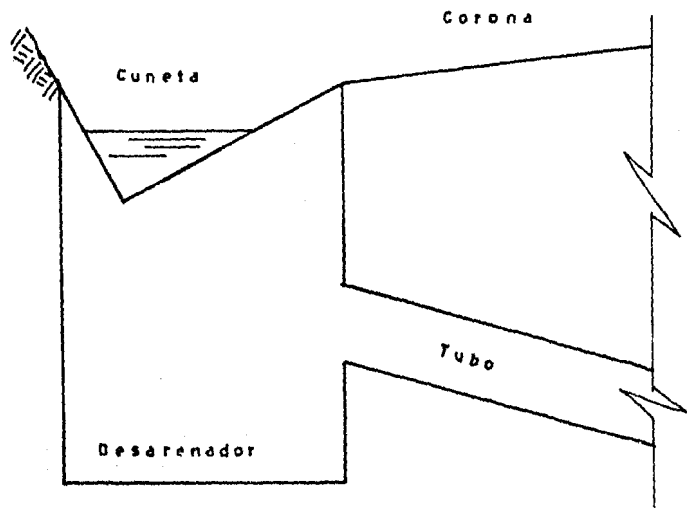


Fig.30 Cajón de entrada con desarenador.

LAS CONTRACUNETAS.

Las contracunetas son ranjas construidas paralelamente al borde superior del corte en un camino, su función es la de interceptar el agua que escurre superficialmente y que proviene de la parte superior del terreno, evitando así que llegue al talud, erosionándolo e incrementando el caudal de las cunetas.

La construcción de contracunetas deberá ser, sólo en aquellas zonas en las que el escurrimiento es transversal al camino y proveniente de una cuenca lo suficientemente grande, de tal forma que genere escurrimientos que pudieran sobrepasar la capacidad hidráulica de la cuneta. En cuanto a su localización, las contracunetas se construyen a una distancia variable del coronamiento del corte ya que dependen de la altura de éste y así, entre la cuneta y el corte no habrá un área de magnitud tal que genere escurrimientos importantes. La contracuneta no debe quedar colocada demasiado cerca del corte, esto con el fin de que su ubicación no sea afectada por derrumbes que pudieran presentarse; en aquellos cortes de altura normal, es común que la contracuneta se ubique a una distancia comprendida entre la altura del corte y la mitad del mismo; en cortes altos, la contracuneta podrá construirse a unos 8 ó 10 metros del coronamiento del corte, (fig. 31).

El desarrollo de la contracuneta debe ser aproximadamente paralelo al corte, ya que de esta forma el canal se va desarrollando con pendiente longitudinal, pero en caso, de que por características topográficas

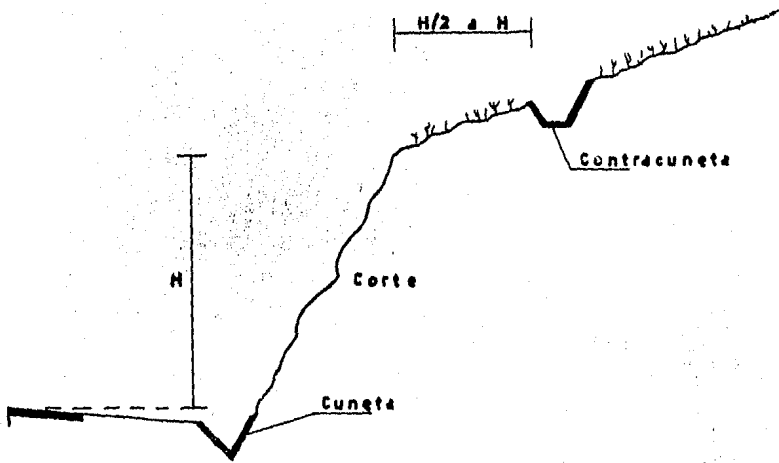


Fig.31 Ubicación general de las contracunetas.

ficas existan pendientes excesivas, entonces la contracuneta se ubicará siguiendo las curvas de nivel hasta donde sea posible, alejando de la vía terrestre, los extremos de la contracuneta a los cuales sí se les permitirá tener pendiente excesiva, siempre y cuando se proteja al terreno natural con zanjeado o revistiéndolo con concreto.

En el proyecto de la sección de una contracuneta intervienen varios factores, entre otros, la intensidad y la frecuencia de las precipitaciones pluviales, el área por drenar y las características de escurrimiento del agua superficial de la zona. La sección de las contracunetas, generalmente es de forma trapezoidal y con el objeto de que tenga un buen funcionamiento se recomienda emplear las siguientes dimensiones: de 0.60 a 0.80 metros en la plantilla y de 0.40 a 0.60 metros de profundidad; en cuanto a los taludes, éstos deberán ser lo suficien

tes, para que no se derrumben ni se erosionen con el escurrimiento, -- (fig. 32).

La construcción de contracunetas se realiza generalmente, de dos formas, esto es mediante la excavación de un canal o mediante la formación de un borde. En el primer caso, se construye el canal mediante pico y pala, ranjadoras, tractores llvianos y en general, con equipo ligero; el material producto de la excavación se debe colocar aguas abajo, dejando una berma de 0.50 metros. En el segundo caso, la construcción del borde se lleva a cabo mediante material de préstamo, compactado o con material obtenido de alguna excavación hecha en el lugar, aguas arriba del borde. Existe una tercera forma de construir las contracunetas y que sería la combinación de canal y borde, con lo cual se minimiza la excavación, disminuyendo también los efectos que ésta ocasionará sobre la masa del talud.

En ocasiones por defecto constructivo, erosión o asolvamiento, -- la pendiente longitudinal de las contracunetas no trabaja adecuadamente para dar una rápida salida al agua; esto provoca encharcamientos y por lo tanto filtraciones en el cuerpo del talud, disminuyendo su estabilidad. También se ha observado que si la contracuneta es profunda, -- la superficie potencial de falla del talud se origina en su fondo; dado que en estas zonas superiores del talud, son frecuentes los esfuerzos de tensión lo que facilita la creación y propagación de grietas -- hasta que éstas producen la falla del talud; esto es común, sobre todo en taludes escarpados y constituidos por material arcilloso.

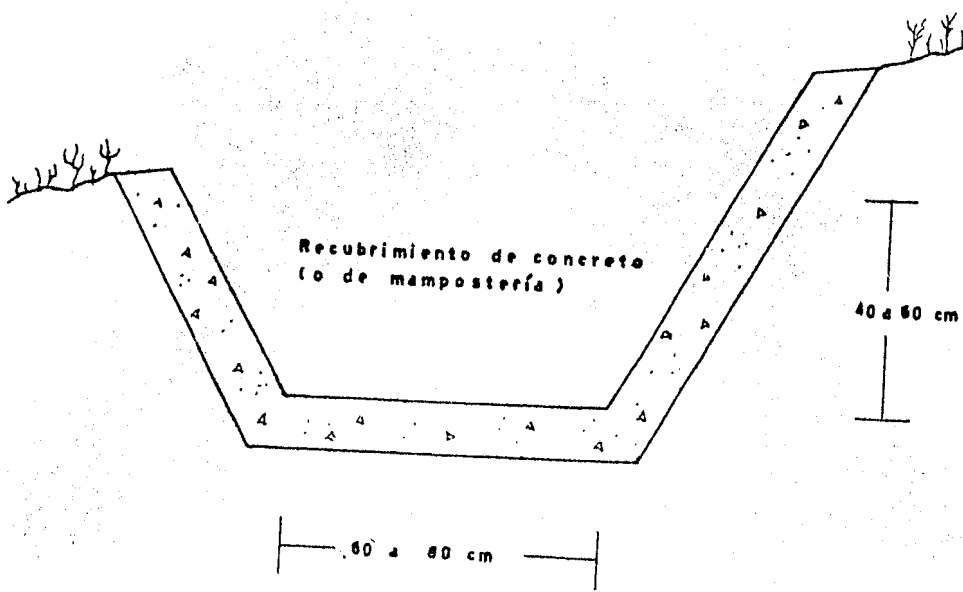


Fig.32 Dimensiones recomendables para contracunetas.

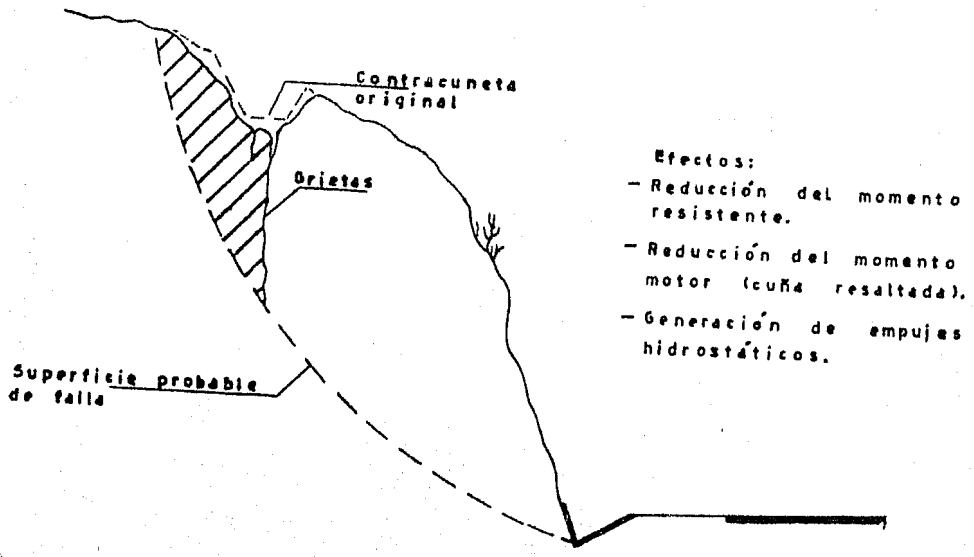


Fig.33 Efectos de una contracuneta no impermeabilizada.

Por lo anterior, se recomienda que las contracunetas se construyan impermeabilizadas y con la suficiente pendiente que garantice una rápida salida del agua que amplan, teniendo una precaución adicional para lograr un correcto funcionamiento de las contracunetas y que es, el sellado completo (calafateado) de cualquier grieta que pueda formarse en el coronamiento del corte. Los materiales más usados en el recubrimiento de contracunetas, son el concreto hidráulico, la mampostería, el suelo-cemento y el suelo-asfalto; de los cuales se utilizará el que más convenga económicamente, según cada caso.

Sin embargo, el criterio actual indica que en todos aquellos casos, en que la contracuneta pueda ser útil o se pone revestida o no se construye, ya que si esta obra está mal ubicada o deficientemente construida, puede ser la causa de problemas posteriores que superen los posibles beneficios de protección al talud y a las cunetas.

Por otra parte y para poder definir si la construcción de una contracuneta es o no necesaria, se deberá tomar en cuenta, principalmente, las condiciones topográficas y la calidad de los materiales que forman los cortes; así por ejemplo, en lomas limitadas lateralmente por cañadas con alta pendiente, de esta forma la mayoría de su escurrimiento superficial seguirá esas pendientes y de manera paralela a la vfa terrestre, por lo que no serán necesarias las contracunetas y menos si el terreno está vegetado o si es superficialmente poco permeable. Además, la calidad y la naturaleza de los materiales por proteger es también importante, ya que no deberán construirse contracunetas en

zonas constituidas por suelos resistentes a la erosión.

Otro aspecto muy importante dentro de este tema, es la conservación de las contracunetas, aunque esta operación se complica dada su ubicación, lo cual ha originado que estas obras sean poco inspeccionadas y por lo tanto, sus defectos se ocultan y se agravan. También en las contracunetas revestidas, la falta de conservación, produce infiltraciones a través de las grietas que se originan en los revestimientos, sobre todo en los constituidos por suelo-cemento o suelo-asfalto, aunque las grietas también aparecen en los revestimientos de mampostería y de concreto. Hay que tener presente, que las grietas que aparecen en las contracunetas son inevitables, dado que estas obras se localizan, generalmente, en las partes superiores de los cortes y que son zonas en tensión.

La conservación de las contracunetas, cuando se lleva a cabo, se hace a mano generalmente, dada la dificultad de subir equipo hasta ellas, siendo éste, otro motivo por lo que en ocasiones se descuida su conservación.

Resumiendo, antes de proyectar y construir las contracunetas, deberá tenerse en cuenta y de manera clara, todos los inconvenientes que podrá presentar su utilización rutinaria, sobre todo, si no se está seguro de que se llevará a cabo un buen trabajo de impermeabilización y de conservación.

LOS CANALES INTERCEPTORES.

Los canales interceptores al igual que los bordos, son obras cuyo objetivo principal es el de establecer de antemano la dirección del escurrimiento, encauzándolo hacia las alcantarillas o los sitios de --
descarga, de esta forma se impide que el agua llegue al camino y lo da --
ña. Su función es semejante al de una contracuneta, solo que éstas se --
localizan cerca del camino, en los cortes, mientras que los canales in --
terceptores se construyen a distancias relativamente grandes de la vía --
de comunicación, además de que no están asociados, forzosamente, a una --
determinada sección de corte o terraplén.

Son importantes estas obras, sobre todo en los casos de escurri --
mientos por laderas naturales con pendiente hacia la vía de comunica --
ción. También cuando los caminos atraviesan terrenos planos, es común --
que las corrientes de tipo torrencial no tengan un cauce definido, re --
resultando necesario el que las canalizaciones intercepten y conduzcan --
estas corrientes hacia los puntos establecidos para cruzar el camino.

Por otra parte, la construcción de estos canales se hace manual --
mente o por medio de maquinaria del tipo de las sanjadoras, conformado --
ras o tractores ligeros. Frecuentemente, el material producto de la ex --
cavación se emplea en la construcción de los propios terraplenes, ex --
ceptuando los casos en que el material esté constituido por los llama --
dos suelos orgánicos, turbas o arcillas expansivas, en cuyo caso el --

producto de la excavación deberá colocarse siempre aguas abajo del canal evitando un pronto azolvamiento.

Uno de los aspectos que debe cuidarse, es que la velocidad del agua no pase de ciertos límites permisibles, arriba de los cuales se produce la erosión (ver tabla D, cap. cunetas), sin embargo hay que tomar en cuenta que las magnitudes de las velocidades que producen socavación, indicadas en dicha tabla, disminuirán si el canal conduce agua con partículas sólidas en suspensión puesto que éstas actuarán como un abrasivo. Otro aspecto de interés son los taludes que se dan a los canales y donde éstos dependerán del tipo de material en que se excaven, como se indica en la siguiente tabla.

TABLA F

Taludes recomendables, para los siguientes tipos de material.

Material	Talud
Arenas	3:1
Gravas	1.5:1
Arcilla firme	1:1
Roca alterada	0.5:1
Roca sana	0.25:1 o mayor

En cuanto a las dimensiones, pendiente y longitud del canal, éstas se establecen de acuerdo al estudio hidráulico de la zona, llegando en ocasiones a ser de importancia, obviamente cuando los gastos por desalojar sean considerables.

Generalmente los canales interceptores no se revisten debido a que la distancia que los separa del camino, es relativamente grande como para dañarlo. Sin embargo, no debe tomarse lo anterior como una "receta", siendo siempre recomendable analizar el riesgo de permitir las infiltraciones a través de la plantilla no revestida y que en un dado caso podría revestirse, por ejemplo, si el canal en una ladera, atravesada por suelos permeables la infiltración podría aflorar en algún corte del camino, debilitando su resistencia; cuando esto sucede, se reviste la plantilla con mampostería o concreto.

III- EL DRENAJE SUBTERRANEO.

EL SUBDRENAJE.

En los capítulos anteriores se han descrito las obras complementarias de drenaje necesarias para lograr una efectiva defensa del camino, contra los escurrimientos superficiales, sin embargo, las fallas - en las vías terrestres no son provocadas exclusivamente por el agua superficial, puesto que dentro de la masa de suelo también existen flujos de agua que pueden influir en la estabilidad de los cortes, terraplenes y en general, de los pavimentos. Debido a éste, resulta evidente la necesidad de emplear métodos de captación, conducción y eliminación del agua subterránea; estos métodos constituyen los llamados sistemas de subdrenaje.

El agua subterránea tiene básicamente tres orígenes, que son:

- 1ª Agua "meteórica", producto de las condiciones atmosféricas y que se ha precipitado en forma de lluvia o nieve.
- 2ª Agua de "formación", producto de océanos o lagos antiguos, - que ha quedado atrapada en algunas capas geológicas.
- 3ª Agua "magnética" o "juvenil", producto de la actividad volcánica y proveniente de las capas profundas de la Tierra.

Otra clasificación que se hace al agua subterránea, se basa en su comportamiento físico dentro del suelo, pudiendo ser agua libre o gravitacional, agua capilar y la llamada agua adsorbida, la cual está firmemente adherida a las partículas sólidas. Las formas más comunes - en que el agua se presenta en el subsuelo se muestra en la siguiente -

figura.

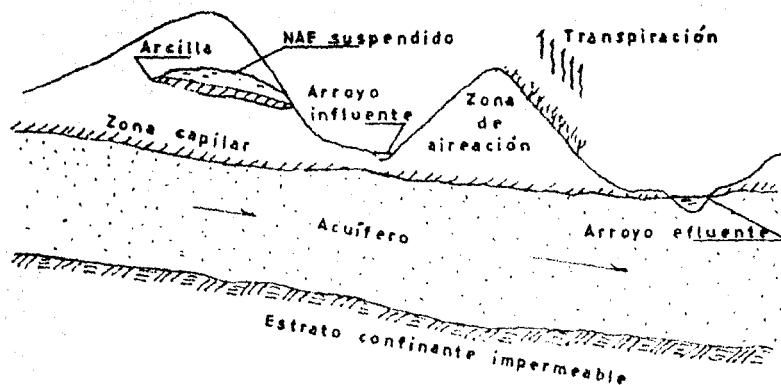
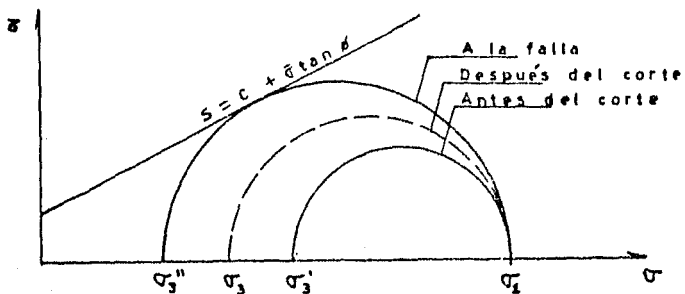


Fig.34 Formas de agua subterránea.

Sea cual sea su origen o tipo, se deben tomar las medidas apropiadas para evitar que su almacenamiento, sus movimientos e sus posibles afloramientos, dañen el funcionamiento del camino.

Mediante la construcción de los sistemas de subdrenaje es posible reducir e eliminar los efectos dañinos de dichos flujos, los cuales frecuentemente se suman a otras situaciones desfavorables para la estabilidad de alguna zona del camino. Por ejemplo en las secciones en corte, el material que constituye sus taludes recibe efectos que traen como consecuencia, una disminución de su resistencia al esfuerzo cortante y/o un incremento de los esfuerzos cortantes actuantes. De estos efectos se pueden mencionar a los siguientes:

1r Al realizarse el corte, el material ubicado detrás del talud experimenta una pérdida de confinamiento, equivalente a una descarga de terreno y que se traduce en un incremento de los esfuerzos cortantes así como expansiones volumétricas.



2r Al realizarse el corte, se crea una nueva frontera a la presión atmosférica, lo cual implica que parte del agua que se infiltra aguas arriba de la sección, aflorará por el talud del corte o la cara del mismo, generando cambios en la dirección de las fuerzas de filtración, colaborando con las expansiones volumétricas y disminuyendo su resistencia al corte.

En el caso de los terraplenes que tienen que construirse sobre terrenos húmedos, pantanosos o con el nivel freático próximo al cimiento, el agua gravitacional o la saturación por capilaridad, perjudican el comportamiento mecánico de las capas que lo constituyen.

En ambos casos, se pueden identificar las principales causas que pueden producir cambios en el contenido de agua en el cimiento de una carretera o en el talud de un corte; estas causas son:

- 1r La filtración de agua desde terrenos más altos adyacentes a la carretera.
- 2r Una elevación o descenso en el nivel de aguas freáticas.
- 3r La filtración de agua a través de la superficie del camino.
- 4r El movimiento del agua hacia o desde las márgenes de la carretera, como consecuencia de las diferencias de humedad.
- 5r El movimiento del agua desde o hacia las capas del suelo más bajas.
- 6r El movimiento del vapor a través del suelo.

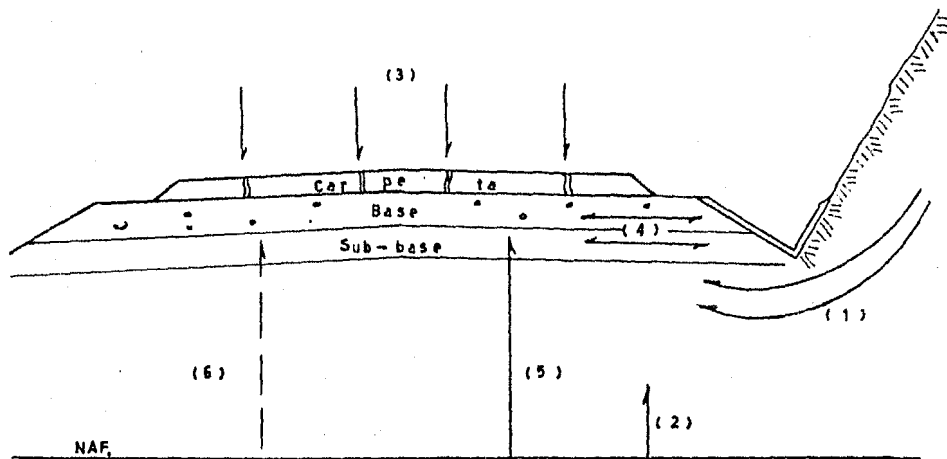


Fig.35 Principales fuentes de humedad en un camino.

Por estas causas, al instalar los sistemas de subdrenaje se es-
pera cumplir con al menos una de dos funciones básicas, colectar y de-
sulojar el agua de un corte o una terracería, estabilizándolos y/o man-
tener el nivel freático lo suficientemente alejado para impedir que hu-

medezca las capas superiores del terreno.

En el diseño de un sistema de subdrenaje, sería muy conveniente hacer un reconocimiento del suelo y de la humedad del terreno de apoyo, con el objeto de construir un sistema eficaz y oportuno. Con el reconocimiento se tendría:

1r Perfil del terreno.

2r Posición del nivel freático, cuando éste se localice cerca del nivel de desplante (1.5 a 2.00 m.)

3r Situación de las zonas de filtración existentes.

Sin embargo la longitud de las carreteras y por tanto el tiempo y la economía, no permiten hacer una exploración de gran detalle en lo referente a número, tipo y profundidad de los sondeos, por lo que, en general, se ha de trabajar con poca información de esta clase. Obviamente, los indicios del agua subterránea en forma de afloramientos, manantiales o manchas de humedad, serán factores determinantes en la planeación de dichos sistemas; siendo otros factores de apoyo, la geología superficial extrapolada a las cuencas subterráneas, la capacidad de absorción del terreno, etc.

Los sistemas de subdrenaje que más se emplean actualmente son los subdrenes longitudinales en zanja y las capas permeables, empleándose con menor frecuencia, los drenes transversales de penetración y las trincheras estabilizadoras.

EL SUBDRENAJE LONGITUDINAL EN ZANJA.

Los sistemas de subdrenaje longitudinal se construyen con el objeto de interceptar los flujos de agua subterránea provenientes de las laderas y terrenos montañosos, que se dirigen hacia las excavaciones hechas para alzar el camino; también se colocan drenes longitudinales en terrenos planos que tienen el nivel de aguas freáticas cercano a la superficie, con el objeto de que abatan dicho nivel, impidiendo que el agua reduzca la capacidad de sustentación del camino. En ambos casos - las aguas captadas son desahujadas por gravedad hacia bajos, cañadas o puntos en donde no puedan perjudicar a la carretera.

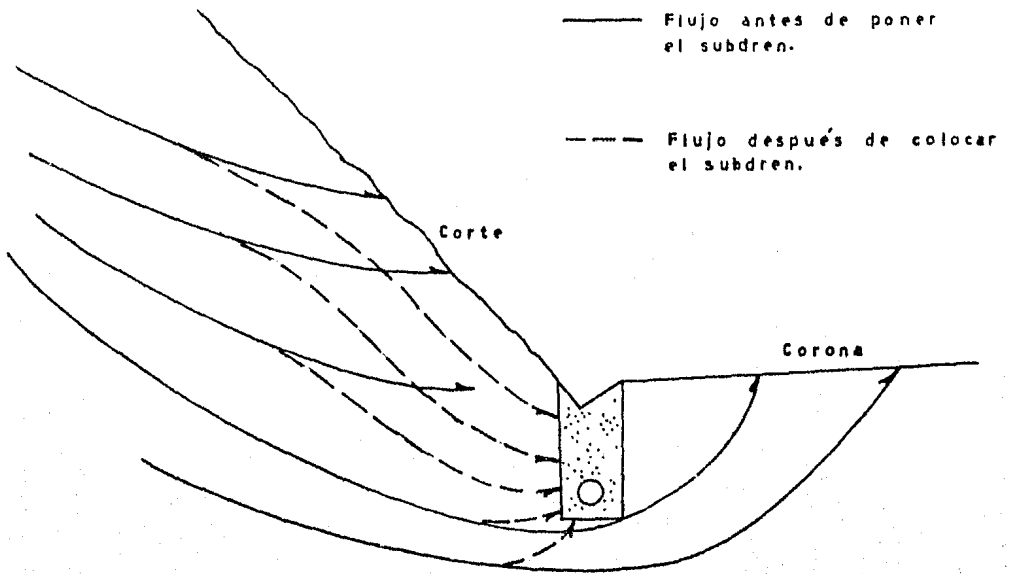


Fig.36 Flujo hacia el talud y la cama del corte.

De los métodos de subdrenaje longitudinal, los más comunes son:

- a) Dren ciego.
- b) Dren de tubo de concreto o barro, perforados.
- c) Dren de tubo de metal perforado.

Los drenes ciegos están constituidos por zanjas rellenas de grava o piedra quebrada y, que en ocasiones sustituyen a los drenes de tubo. Se pueden colocar de forma paralela al camino o transversalmente a él; cuando se emplean longitudinalmente es práctica común el colocarlos a ambos lados del camino, a una profundidad variable de 1.0 a 1.5 metros como mínimo y con el ancho suficiente -aproximadamente 50 a 60 centímetros- para permitir que un hombre trabaje dentro eficazmente.

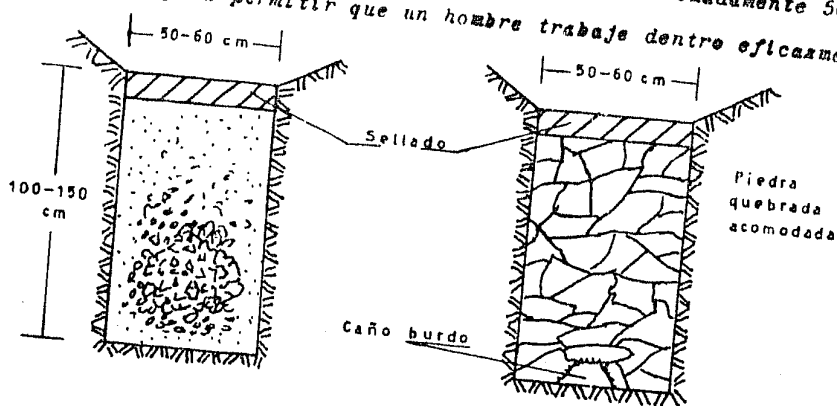


Fig. 37 Drenes ciegos.

En este tipo de drenes hay que tener cuidado de proporcionarles una pendiente uniforme y una salida adecuada, ya que de no ser así, -- pueden ocasionar problemas mayores a los que con ellos se pretende solucionar, debido a que recogen y retienen el agua precisamente en los

lugares en que se desea eliminarla.

El relleno de piedra o grava debe graduarse de tal forma, que los materiales menes gruesos queden colocados próximos a la superficie, en la plantilla y junto a las paredes de la zanja, con ésto se tratará de impedir el flujo de partículas sólidas.

Por ello, es preferible emplear los drenes con tubo perforado, puesto que el trabajo desempeñado por ellos es superior al realizado por los drenes ciegos. Los drenes con tubo, generalmente se ubican bajo las cunetas, a una profundidad mínima de 1.00 m. a partir de la rasante del camino, en una o en ambas márgenes del mismo. En ocasiones, el diseño de las cunetas o la presencia de subpresión, obligan a colocar las tuberías de drenaje más próximas entre sí, por ejemplo, bajo la orilla de la carpeta.

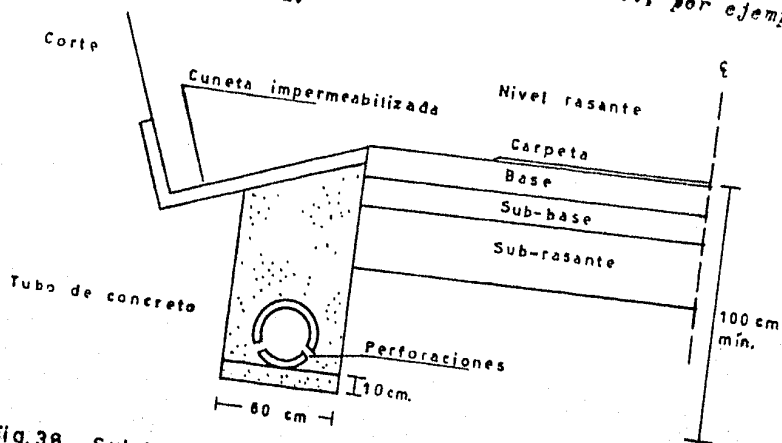


Fig.38 Subdren longitudinal con tubo perforado.

La tubería se ha diseñado con perforaciones destinadas a permitir la entrada del agua en toda la longitud del tubo; dichas perforaciones ocupan aproximadamente la tercera parte de la circunferencia -- del mismo, cada una con diámetros entre 5 y 10 mm, separadas entre sí por una distancia horizontal de 10 cm. Contra lo que pudiera pensarse la tubería se coloca de tal forma que las perforaciones queden lateralmente, puesto que no conviene colocarlas hacia arriba ya que esta situación facilitaría la introducción de partículas finas en el tubo, -- provenientes del material del filtro.

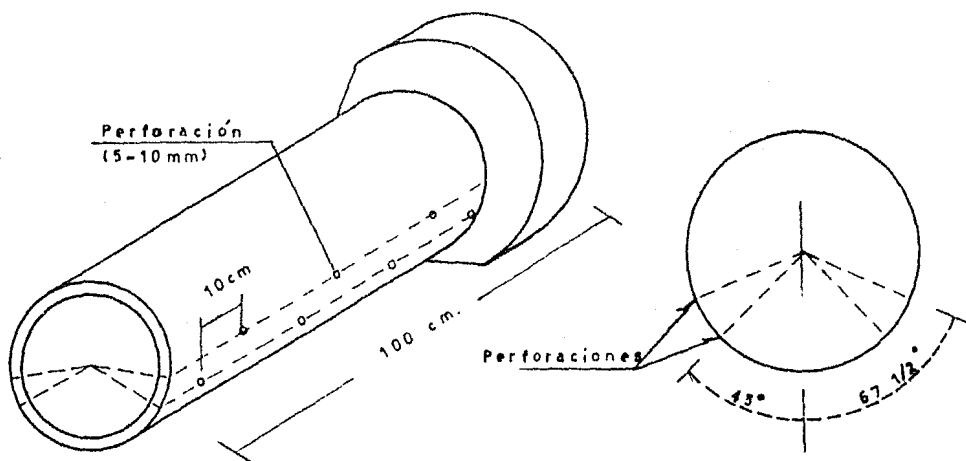


Fig.39 Tubo perforado.

Adicionalmente, los tubos para subdrenaje deben cumplir con un conjunto de requisitos para que funcionen efectivamente durante un largo período. Estos requisitos se refieren a: aplastamiento, flexión, -- presión hidráulica, capacidad de infiltración y durabilidad.

1r Aplastamiento. Los subdrenes se colocan dentro de los lím--

tes del tránsito, por eso es importante usar tubos que no se rompan. Un sólo tubo roto o agrietado puede echar a perder todo un sistema de drenaje.

2r Flexión. La misma naturaleza de la mayoría de los subdrenes hace que el tubo se coloque en una cimentación mojada y en ocasiones inestable. Para poder desarrollar sus funciones, es conveniente proporcionarle al tubo juntas apropiadas para q-moldarse a las desigualdades de la plantilla.

3r Prestión hidráulica. Algunas ocasiones las líneas de subdrenaje pueden trabajar a presión, produciendo velocidades des -- tructivas; siendo ventaja también, el colocar juntas fuertemente conectadas para reducir las posibilidades de seca -- ción, por el agua que pueda salir.

4r Capacidad de filtración. Como se indicó anteriormente, el tubo perforado está diseñado para permitir la máxima infiltra -- ción y las perforaciones se localizan de manera de evitar la entrada del lodo y material de relleno.

5r Durabilidad. Obviamente la resistencia estructural es el re -- quisito fundamental para la durabilidad, además de ser capaz de resistir la desintegración, corrosión y erosión.

El diámetro de los tubos depende de varios factores como son: -- el tipo de terreno por drenar, la altura de precipitación, la magnitud del escurrimiento, la pendiente de la tubería, la existencia de manan -- tiales, etc.

También es posible mediante una prueba en el terreno, tener una idea aproximada del efecto que producirá la instalación de los drenes en el nivel de la capa freática. Para ello se excavan en los sitios en que se ha proyectado el subdrenaje de la carretera, dos zanjas paralelas de unos 10 m. de longitud y una profundidad de unos 60 cm. por debajo del nivel al que se desea rebajar la capa freática. Transversalmente, a la mitad de la longitud de las zanjas, se hacen una serie de sondeos a intervalos de 1.5 a 3.0 m., que se prolongan unos 6.0 m. a ambos lados. Posteriormente se hacen observaciones de los niveles de la capa freática en los sondeos, antes y después de bombear el agua fuera de las zanjas, dejando pasar un período suficiente de tiempo para que se establezcan las condiciones de equilibrio. Representando estos resultados en una gráfica, es posible calcular aproximadamente la disminución de nivel producida por las zanjas de drenaje y por tanto, establecer la profundidad y la separación adecuada de los drenes.

De la velocidad de bombeo necesaria para mantener las zanjas -- sin agua, se puede calcular la capacidad que han de tener los tubos de drenaje; sin embargo, para las condiciones ordinarias del camino, bastará con emplear tubos con diámetro comprendido entre los 10 y 20 cm. (4", 6" y 8"), diámetros menores generalmente no se emplean puesto que el sedimento los obstruye con mayor facilidad.

Generalmente el azolve y el atascamiento son las causas principales que hacen fallar a los subdrenes, por lo que el procedimiento -- más seguro consistirá en evitar la entrada de sólidos colocando las --

perforaciones del tubo lateralmente, pero, sería conveniente añadir al diseño del tubo, el que el diámetro o la pendiente de éste, generen en él velocidades efectivas de autolimpieza, desalojando los sólidos que eventualmente hayan penetrado en el tubo.

TABLA G

Velocidades del agua, necesarias para mover diferentes materiales.

Material	Diámetro aprox. (mm)	Velocidad del fondo. (m/seg)	Velocidad media. (m/seg)
Arcilla	-----	0.09	0.12
Arena	0.8	0.12	0.15
Gravilla	7.0	0.16	0.24
Grava fina	10.0	0.37	0.49
Grava común	25.0	0.76	1.00

Con la velocidad requerida para mover los sólidos que han penetrado en el tubo, se puede obtener el tirante y el gasto requerido para cualquier diámetro y cualquier pendiente. La tabla H muestra los tirantes y los gastos necesarios para el caso de un tubo de 15 cm. (6").

Cuando los drenes cruzan por terrenos muy blandos, el tubo deberá quedar colocado sobre una plantilla de material de filtro compacta-

de; esta plantilla tiene la función de mantener la pendiente longitudinal del dren, ya que ésta en ningún caso podrá ser menor a 0.5%.

TABLA H

Tirantes y gastos requeridos para mover varios sólidos en un tubo de 6" ($n = 0.75$)

Materiales	Arcilla		Arena (0.8mm)		Grava (7mm)		Grava (10mm)	
Vel. requerida	0.09 m/seg		0.12 m/seg		0.18 m/seg		0.36 m/seg	
Pendiente	Y	Q	Y	Q	Y	Q	Y	Q
%	cm.	lt/seg	cm.	lt/seg	cm.	lt/seg	cm.	lt/seg
1	0.3	2.5	0.4	3.3	0.8	9.0	2.4	58.2
0.5	0.6	4.1	0.7	5.9	1.4	15.9	4.1	94.5

El material que más se emplea para drenar caminos es el tubo de concreto, éste se construye de cemento portland y arena o gravilla; se utiliza frecuentemente excepto en los casos en que el agua es ácida o alcalina, en estos casos se puede emplear tubería de barro. Tanto los tubos de concreto como los de barro, tienen un extremo acampanado para conectarse entre sí, además de que sus juntas se sellan con mortero de cemento.

De los tipos de tubo empleados en el subdrenaje, el de barro es quizá, el menos apto para este trabajo, siendo preferible no emplear--

los sobre todo, si van a quedar sujetos a cargas pesadas. No obstante, en los casos en que se usen deberán ser tubos rectos longitudinalmente, bien cocidos y sin grietas. Cuando haya la necesidad de acoplar dos tuberías, la unión deberá hacerse de preferencia, mediante una pieza en "T" o en "Y", puesto que si se trata de cortar secciones ordinarias para que den un cierto ángulo, lo más probable es que uno de los tubos se proyecte dentro del otro, obstruyéndolo.

También es conveniente proteger la salida de los tubos con un muro de cabeza, construido con mampostería o concreto. Este muro impedirá que el subdren sea socavado y destruido, además, sostiene la tierra que rodea la salida del tubo. Si se tiene presupuesto suficiente, deberá colocarse una rejilla en el extremo del tubo con el fin de impedir la entrada de roedores y otros animales que construyen sus madrigueras dentro de la tubería.

En cuanto a los drenes de tubo de lámina corrugada, se acostumbra emplearlos con diámetro mínimo de 15 cm. (6") y en longitudes no mayores a 100 m; su pendiente es gobernada por la topografía local - pero no menor a 0.5%. La salida del tubo debe estar suficientemente elevada sobre su alrededor, ya que frecuentemente son cubiertas completamente con tierra deslavada. Una forma muy recomendable, es hacer que los tubos sobresalgan bastante y estén suspendidos sobre la superficie del terreno.

Una vez colocado el tubo en la ranja, ésta se rellena con mate-

rial filtrante graduado y dándole un grado de compactación del orden de un 85% a un 90%, del peso volumétrico seco máximo del material, determinado en el laboratorio.

Es frecuente que los subdrenos funcionen mal, ya sea porque el material filtrante fue inadecuado y se encuentra obstruido o porque las perforaciones del tubo están tapadas, presentándose situaciones que pueden ser aún más perjudiciales que las que se producen en el primer caso en que no existe el subdrén, ya que el agua, al no tener fácil salida, adquiere cierta presión que hace que busque vías más accesibles saturando el material adyacente. Para evitar el efecto anterior, se deben tomar en cuenta las siguientes relaciones de tamaño:

A) Para evitar que se obstruya el material del filtro:

$$\frac{\text{Tamaño del 15\% del material del filtro}}{\text{Tamaño del 85\% del material del suelo}} \leq 5$$

$$\text{y } \frac{\text{Tamaño del 50\% del material del filtro}}{\text{Tamaño del 50\% del material del suelo}} \leq 25$$

B) Para asegurar la adecuada permeabilidad del filtro:

$$\frac{\text{Tamaño del 15\% del material del filtro}}{\text{Tamaño del 15\% del material del suelo}} \geq 5$$

C) Para que no se tapen las perforaciones del tubo:

$$\frac{\text{Tamaño del 85\% del material del filtro}}{\text{Diámetro de las perforaciones del tubo}} \geq 2$$

D) Para evitar el riesgo de segregación, durante la colocación del filtro.

$$\frac{D_{60} \text{ del filtro}}{D_{10} \text{ del filtro}} \leq 20$$

Adicionalmente, la curva granulométrica del material filtrante deberá ser suave, sin discontinuidades que indiquen escases de algún tamaño.

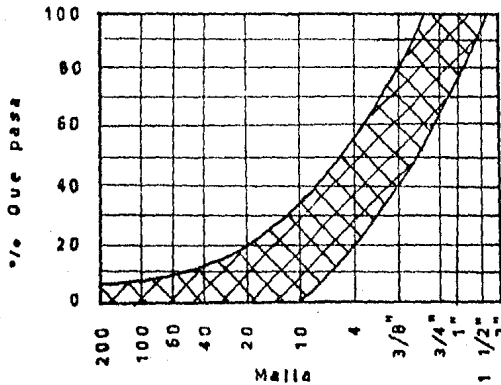
Al aplicar las normas anteriores se llega a un filtro graduado-constituido por diferentes materiales arreglados en capas, lo cual frecuentemente es impráctico, por ésta razón en México se ha buscado que con un solo material, se cumplan satisfactoriamente los requerimientos de un buen filtro, este es, que sea lo suficientemente permeable para permitir el paso del agua con facilidad, pero al mismo tiempo lo suficientemente impermeable, para no permitir el paso de las partículas sólidas. Es común que un material que satisfaga los requisitos para ser usado como base de pavimento e como arena, para la fabricación de concretos, cumpla convenientemente con las condiciones para ser un buen filtro. (tabla I).

Las siguientes, son algunas de las situaciones más frecuentes - en que se necesita de los subdrenos en ranja, pero tomando en cuenta - que cada lugar que requiere drenaje, será un problema distinto e individual y que un estudio completo de las condiciones locales y una aplicación adecuada de un sistema de drenaje proyectado racionalmente, da-

TABLE I

Granulometría para material filtrante único.

Malla	Abertura en mm.	Porcentaje que pasa en peso
1 1/2"	38.10	100
1"	25.40	80 a 100
3/4"	19.10	65 a 100
3/8"	9.52	40 a 80
Nº 4	4.76	20 a 55
Nº 10	2.00	0 a 35
Nº 20	0.84	0 a 20
Nº 40	0.42	0 a 12
Nº 100	0.149	0 a 7
Nº 200	0.074	0 a 5



Zona granulométrica

rá siempre una estabilización eficiente.

4° Filtraciones de ladera.

En estos casos varía la profundidad de la zona de filtración, - pero puede afirmarse que el conjunto de flujos provenientes de las partes altas y/o el agua capilar, afectarán a las capas inferiores del pavimento volviéndolas inestables. La solución está en colocar un dren - interceptor en el lado superior del camino y cuya profundidad estará - gobernada por la capilaridad del terreno, principalmente; esto ha lle- vado a colocar drenes a profundidades considerables -hasta 4.0 m.- pa- ra este tipo de obras. En ocasiones se ha empleado un método que combi- na drenes menos profundos con las capas permeables, obteniendo mejores resultados.

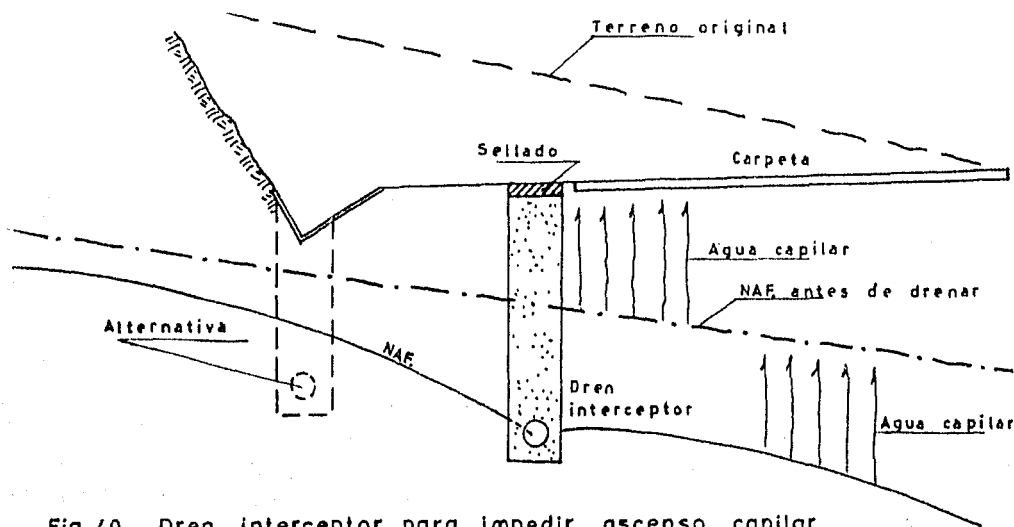


Fig.40 Dren interceptor para impedir ascenso capilar.

"B" Derrumbes de terraplenes.

Este problema se presenta generalmente en los tramos en balcón, donde el agua que se infiltra, aflora a través de la cama del corte -- disminuyendo la resistencia del pavimento, siendo las partes más afectadas aquellas que constituyen la parte en terraplón, puesto que están menos compactas y confinadas, como el terreno natural cercano al corte. El resultado final es la pérdida de estabilidad y el derrumbamiento -- del terraplón. Para evitar el problema, el agua subterránea se intercepta antes de que pueda llegar al camino.

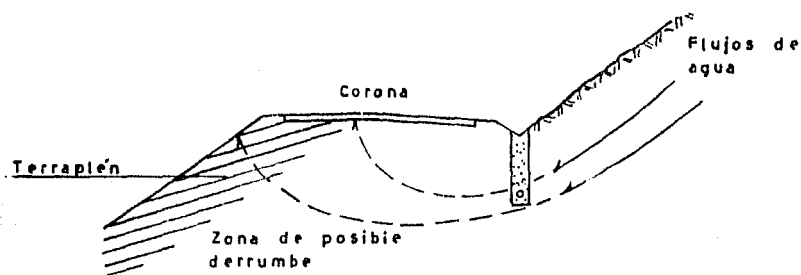


Fig.41 Dren interceptor para evitar derrumbe de terraplén.

"C" Escurrimientos longitudinales.

Las escurrimientos longitudinales son frecuentemente los causantes de que el pavimento se agriete en una cuesta; puesto que el agua -- subterránea está fluyendo hacia la parte baja de la cuesta y paralela-

mente al camino, está a presión, la que en ocasiones es lo suficientemente grande para forzar el agua a que salga por pequeñas fisuras en el pavimento. Esto, junto con la pérdida de resistencia resultado de la saturación de la base, son los responsables del agrietamiento.

Si hay indicios de la existencia de un manto de infiltración longitudinal, deberá instalarse un dren interceptor normal al camino, a cierta distancia arriba del lugar afectado.

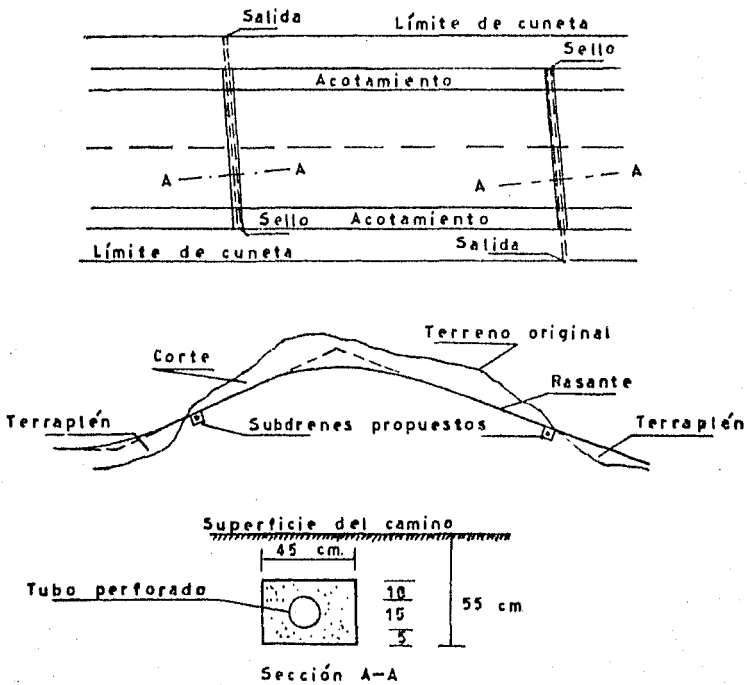


Fig.42 Solución de un problema de filtración longitudinal.

"D" Manto de agua a nivel.

En los terrenos llanos -especialmente en terrenos pantanosos--- la capa freática está tan cerca de la superficie que el agua capilar -entra a las terracerías y al pavimento en grandes cantidades. Por lo -tanto, la profundidad requerida para los drenes dependerá de las pro--piedades capilares de los suelos y que deberán determinarse antes de -tomar una decisión acerca del método de drenar por seguir. Es común --que la dificultad principal en el drenaje de un terreno de esta natura--lexa, es la falta de salidas disponibles para vaciar los drenes.

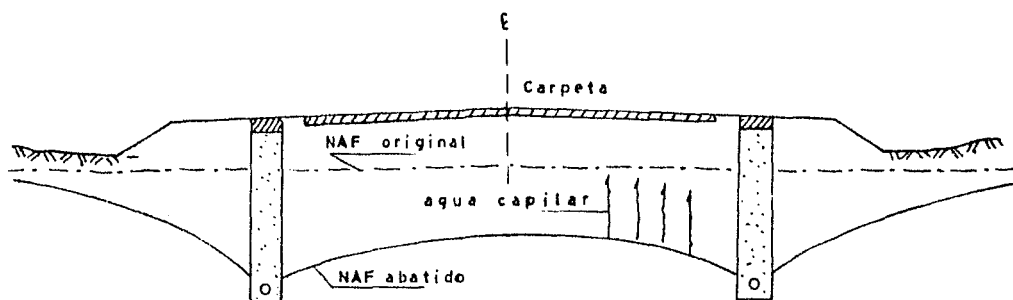


Fig.43 Abatimiento del NAF. en terreno plano.

También en ocasiones se colocan subdrenes interceptores, en combinación con los longitudinales, cuando éstos están muy separados o ha ya de abatirse el nivel freático en grandes áreas.

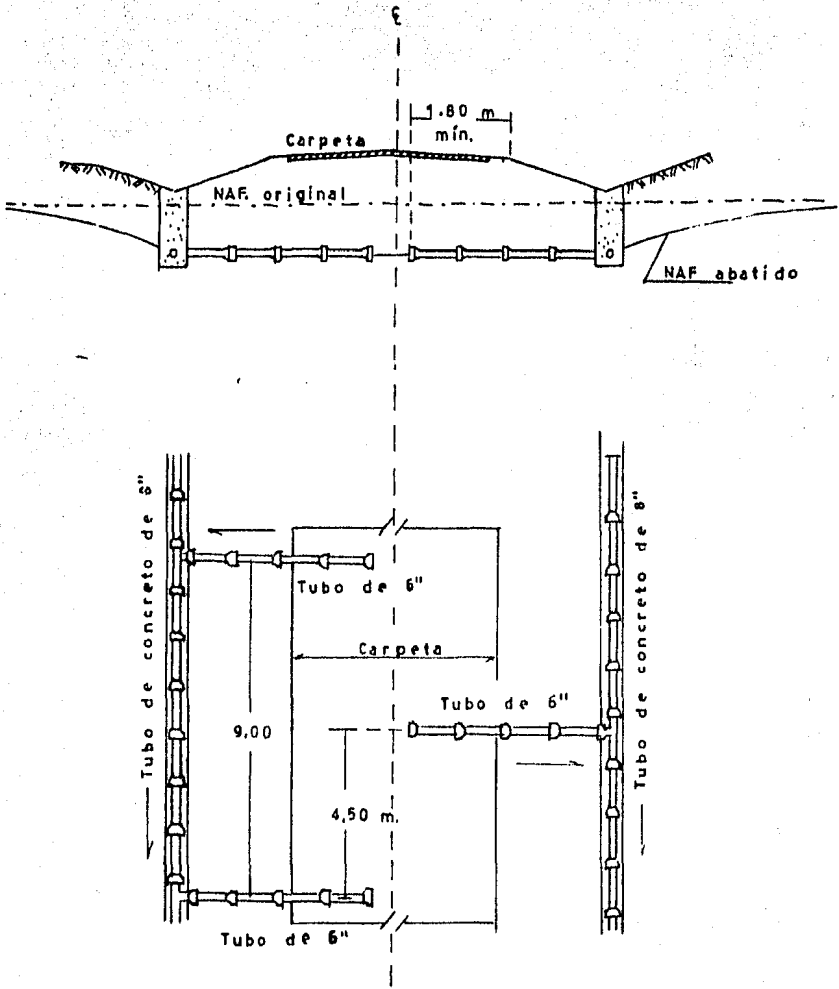


Fig.44 Instalación de tubería doble con laterales.

Cuando no sea posible hacer un drenaje para impedir en forma efectiva el ascenso capilar, deberán usarse otros métodos para estabilizar el pavimento; de éstos, el más frecuente consiste en levantar la rasante con materiales permeables o excavar el terreno y reemplazarlo con materiales que también sean permeables. En cualquier caso, se recomiendan drenes en los lugares en que se pueda recolectar el agua de esa capa permeable.

LAS CAPAS PERMEABLES.

Cuando el flujo de agua es importante y la carretera ancha, la eficiencia de los subdrenes longitudinales ya no es la necesaria, puesto que no pueden interceptar el flujo que aflera por la corona del camino, a menos que se profundicen demasiado. En estos casos se necesita combinar a los subdrenes longitudinales en ranja con las capas permeables integradas al pavimento del camino, como sub-base o sub-rasante del mismo.

En general, se acepta que las capas permeables resulten más adecuadas a medida que el flujo que haya que captar sea prácticamente vertical, ya sea debido a la ascensión capilar o a la subpresión.

Las capas permeables no necesitan de tubos perforados, ya que la misma capa tiene pendiente transversal que le permite conducir el agua captada hacia el subdren longitudinal, donde el tubo de éste último se encarga de desalojarla del camino. Debido a la naturaleza filtrante de las capas permeables, también les serán válidas las limitantes y las consideraciones granulométricas mencionadas anteriormente.

Cuando la infiltración provenga de la parte superior del pavimento y se estime que no habrá flujo ascendente, se acepta que la capa estructural del pavimento que deba funcionar además como capa drenante sea la sub-base, formando la cana del corte con una capa sub-rasante -

sin calidad especial.

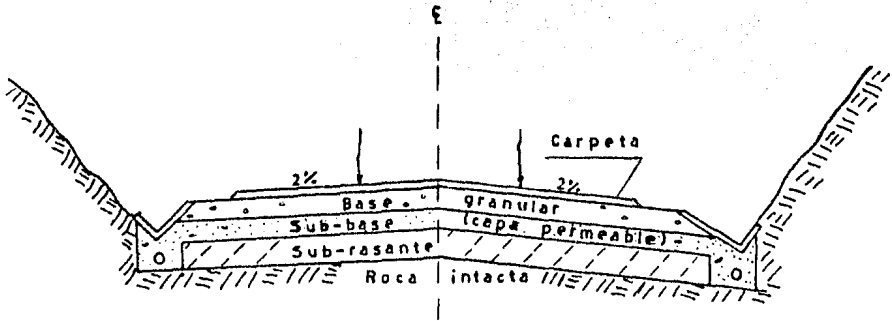


Fig. 45 Sub-base utilizada como capa permeable.

Por el contrario, si se supone un flujo ascendente, la función de capa drenante deberá ser asumida por la capa sub-rasante que forma la cana del corte. De no construirse así, la capa sub-rasante se saturará perdiendo resistencia y ganando capacidad de deformación.

En ocasiones se colocan capas permeables no drenantes, en la parte inferior de un pavimento con el fin exclusivo de interrumpir un proceso de ascensión de agua capilar, a fin de evitar que afecte a las diferentes capas que constituyen el pavimento. Para lograrlo, se emplea un material grueso y poco graduado, que tenga grandes huecos, con los cuales se propicie la formación de meniscos en el agua, interrumpiendo su ascenso. Así se evita que el agua se acumule y sature las capas superiores del pavimento, ya que no puede evaporarse debido a la

presencia de la cinta asfáltica.

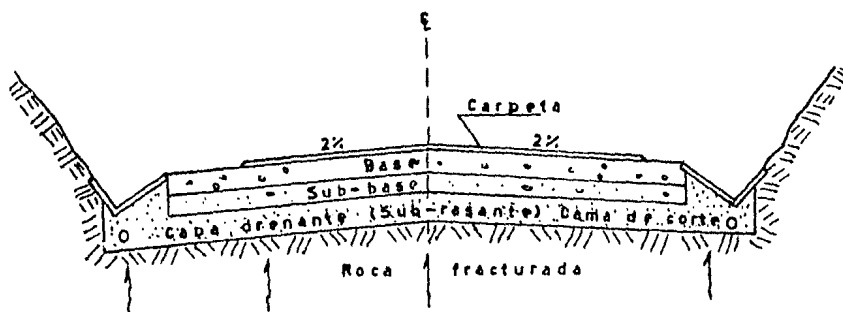


Fig.46 Sub-rasante utilizada como capa permeable.

Entre una capa permeable y una rompedora de capilaridad existen algunas diferencias; por ejemplo, las capas permeables sí son drenantes y por ello se proyectan tomando en cuenta los flujos de agua que pasarán a través de ella. Existen dos formas básicas para diseñar y determinar la capacidad de eliminación de agua de una capa permeable, esto puede ser, por medio de la Ley de Darcy o mediante el análisis de las redes de flujo.

La aplicación de la Ley de Darcy ($k = Q/IA$), se complica un poco dado que es necesario conocer la permeabilidad del suelo por drenar, los gradientes hidráulicos medios del suelo y del filtro y las áreas normales al flujo, donde el suelo y el filtro estén en contacto.

La permeabilidad del suelo se puede obtener de pruebas de laboratorio, pruebas de campo o estimarse mediante la información granulométrica. El gradiente hidráulico en el filtro, se puede determinar estimando la carga hidráulica en él, un poco menor al espesor de la capa -normalmente se emplean espesores de 25 cm., siendo 15 cm. el espesor mínimo-.

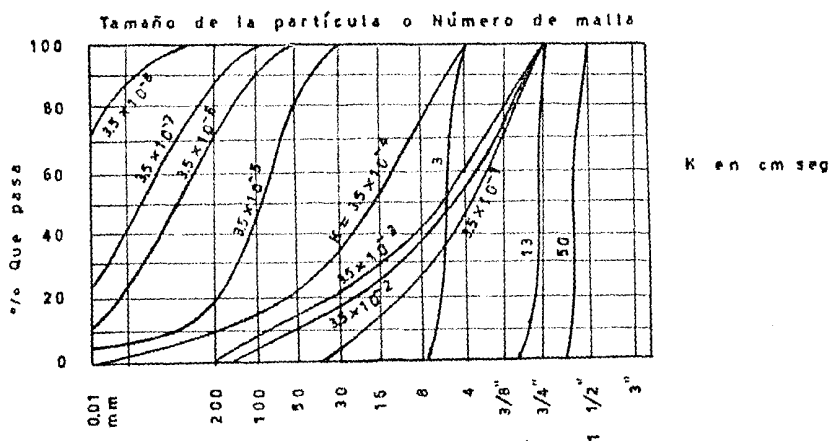


Fig.47 Curvas granulométricas típicas y sus permeabilidades aproximadas.

Con los valores obtenidos o estimados de la permeabilidad del suelo (k_s), el gradiente hidráulico medio y las áreas normales al flujo, se obtiene, aplicando Darcy, el gasto por drenar; con éste último y empleando ahora el gradiente hidráulico en el filtro, se obtiene la permeabilidad necesaria en la capa permeable, asociada a un determinado espesor.

Las gráficas siguientes, obtenidas de redes de flujo, se pueden emplear para el diseño de capas permeables en que la geometría del problema sea similar al de la figura.

Para su uso se debe:

- a) Suponer un espesor de la capa permeable -entre 20 y 40 cm-.
- b) Calcular e suponer la permeabilidad del suelo subyacente a la capa.
- c) Determinar un valor de la altura de saturación (h), -entre 4 y 5 cm. menor al espesor de la capa.
- d) Calcular la relación D/h para obtener la permeabilidad del filtro.

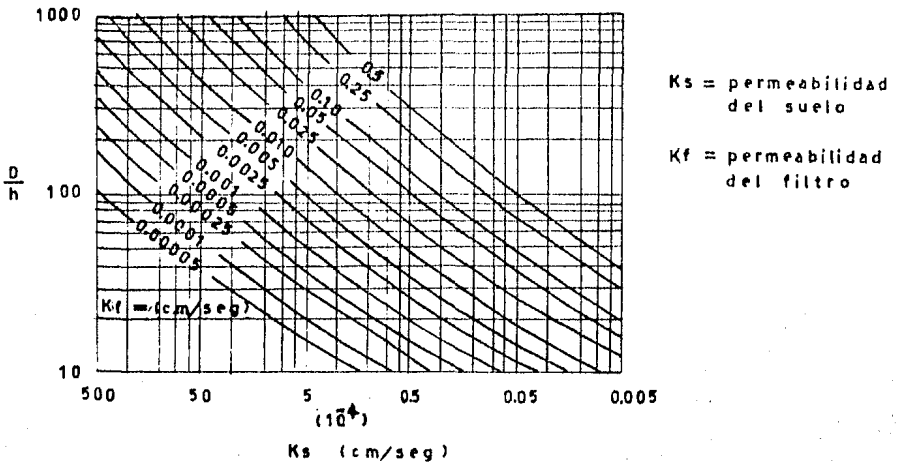


Fig.48 Gráficas de diseño de capas permeables horizontales.

No obstante la protección completa que dan las capas permeables a toda la superficie de apoyo del pavimento, su empleo y sus dimensiones, están regidas por un factor importante, su costo, el cual generalmente resulta alto.

LOS DRENES TRANSVERSALES DE PENETRACION.

Una de las causas comunes del deslizamiento de taludes y laderas, es la infiltración del agua de lluvia o de otras fuentes, a través de la masa del suelo. Las fuerzas de filtración y el incremento de las presiones neutrales así generadas, actúan disminuyendo la componente normal efectiva de la cual depende la resistencia del corte.

No es rara la existencia de agua en los cortes, ya que aún bajo esta situación se puede tener un cierto equilibrio en ellos, pero con un período de lluvias excepcional, se puede incrementar el flujo de agua subterránea que llega a la masa del corte, alterando el equilibrio existente y produciendo la falla.

Por ello, cuando un talud ya construido muestre evidencias de inestabilidad y donde el agua sea la causa principal, dicho talud puede estabilizarse mediante el abatimiento de sus presiones neutrales y la reorientación de las fuerzas de filtración. Esto se logra introduciendo en la masa del corte presión atmosférica, por medio de drenes de penetración colocados transversalmente al eje del camino; estos drenes crean a su alrededor, una zona de influencia con presión creciente hacia su exterior, hasta que ésta se iguala con la presión existente en el terreno, con ello se crea un gradiente hidráulico que orientará el flujo hacia el dren, abatiendo las presiones generadas por el agua. Además, aunque por el dren no salga agua, el aire introducido por medio

de él, al ponerse en contacto con el agua del suelo propicia la formación de meniscos los cuales hacen trabajar al agua a tensión, éste se traduce en esfuerzos de compresión entre las partículas sólidas del suelo, aumentando la resistencia del conjunto y por tanto mejorando su estabilidad.

Para colocar estos drenes se necesita de una maquinaria adecuada, capaz de hacer perforaciones de 7.5 a 10 cm. de diámetro, con pendiente descendente hacia la vía, comprendida entre 3% y 20% y longitudes máximas de penetración de poco más de 100 m.; ya que deben tener la longitud suficiente para cubrir toda la zona inestable.

Hecha la perforación, se coloca dentro de ella un tubo metálico perforado en toda su periferia con 5 cm. de diámetro usual. Dada su ubicación, a dicho tubo hay que aplicarle un recubrimiento anticorrosivo (como el asfalto) e emplear tubería galvanizada.

La parte del tubo próxima a la salida se deja sin perforar a fin de evitar obstrucciones debidas a la vegetación. Una vez en la superficie, los drenes descargan el agua en las cunetas e en tubos colectores de alrededor de 20 cm. de diámetro que se encargan de alejarla de las zonas críticas.

Cuando se construye un camino nuevo, la longitud necesaria de la tubería se podrá determinar de manera aproximada, dibujando un perfil del talud con las superficies probables de deslizamiento.

Entre los inconvenientes de este sistema, está el de tener un costo relativamente alto puesto que se requiere de un gran número de drenes para lograr una buena eficiencia, teniendo que perforarse dos o más hileras de ellos, con espaciamentos horizontales y verticales del orden de 5 a 10 m. Además, su eficiencia también está condicionada a que los drenes intercepten la línea de corriente superior del flujo en el nivel freático. También hay que llevar a cabo, trabajos periódicos de mantenimiento, limpiando su interior y destapando sus orificios mediante máquinas equipadas con cepillos con cerdas metálicas.

Al igual que las demás obras complementarias de drenaje, los drenes de penetración no son de uso rutinario, puesto que para garantizar su efectividad hay que realizar estudios previos como sondeos, inspección visual, análisis de estabilidad de taludes, etc.

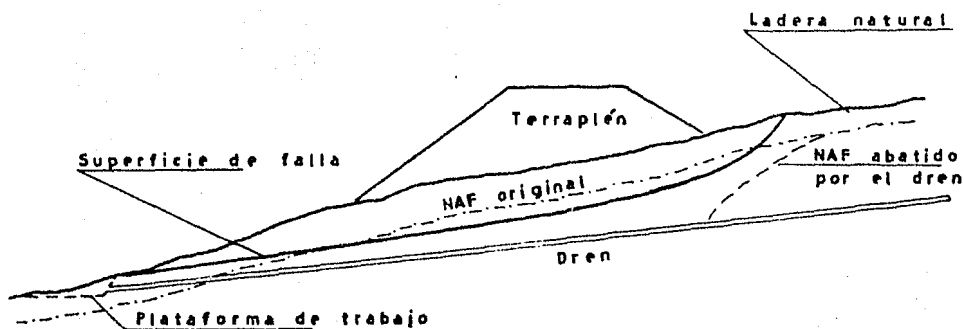


Fig.49 Dren transversal de penetración en ladera.

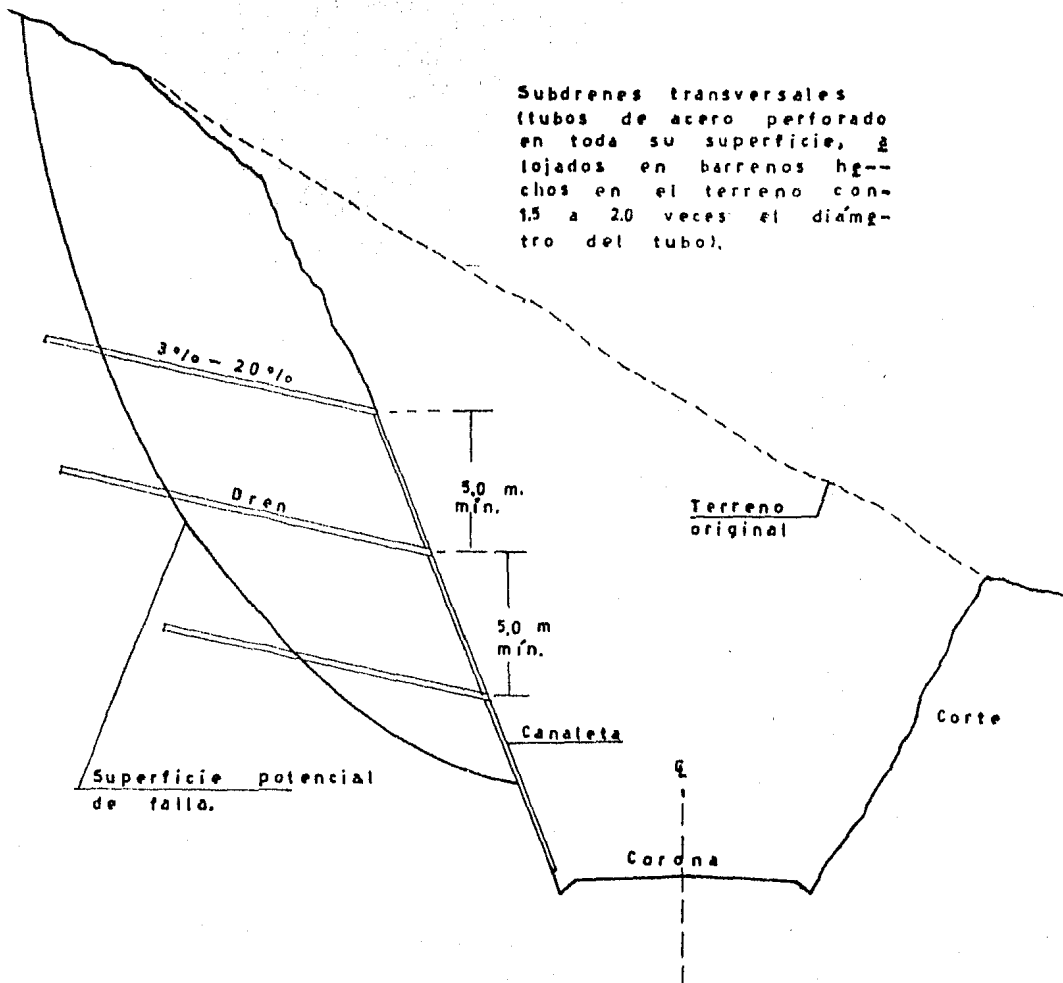
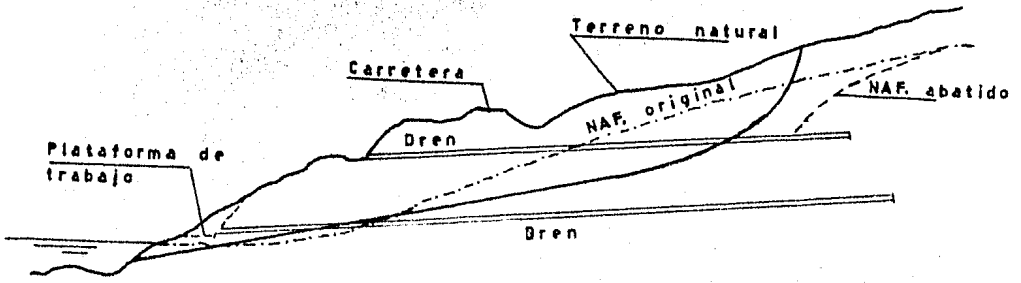


Fig.50 Drenes transversales de penetración en corte.

Corrección de una falla existente.



Dren de penetración en balcón.

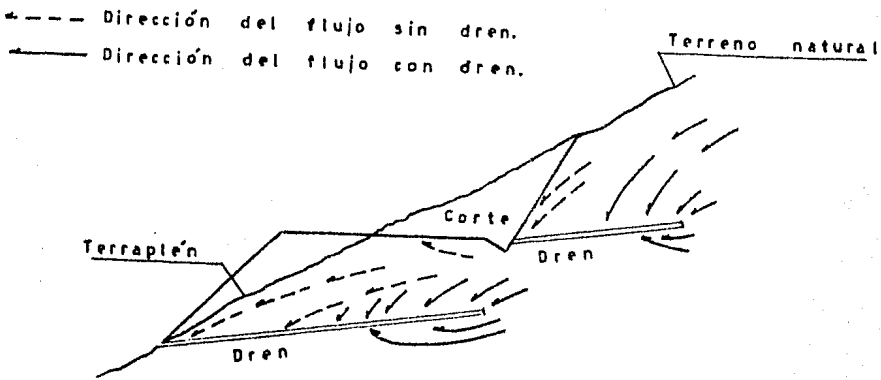


Fig.51 Croquis de la disposición de drenes de penetración.

LAS TRINCHERAS ESTABILIZADORAS.

A diferencia de las anteriores, este tipo de obras no son de uso frecuente en la Ingeniería de vías terrestres; se emplean, cuando se presenta el caso de que secciones en terraplén hayan de cruzar por laderas naturales cuya estabilidad sea ya de por sí crítica, debilitada por flujos internos de agua.

En estos casos se requiere de una obra drenante capaz de mejorar, por un lado, las características mecánicas del suelo en ambas laderas (arriba y abajo), al crear una gran zona de influencia donde se abaten las presiones generadas por el agua, por otro lado, debe mejorar el suelo de apoyo, ya sea por el efecto drenante y/o por la sustitución del suelo por un material de mejor calidad.

A las obras capaces de lograr esto se les conoce como trincheras estabilizadoras, las cuales se pueden construir paralelamente al camino o en dirección transversal a él, dependiendo de la condición topográfica. Están constituidas por una excavación en la que se coloca una capa de material de filtro, con espesor comprendido entre 0.5 y 1.0 m. en el talud aguas arriba y en el fondo de dicha excavación. A esta última parte se le añade un sistema de recolección constituido por tubos perforados con 15 a 20 cm. de diámetro usual; estos tubos conducen el agua hasta donde sea inofensiva, para ello se conectan con una tubería de desfogeo que se prolonga hasta la zona topográfica adecuada, — también se emplean tubos transversales a la trinchera y en casos muy —

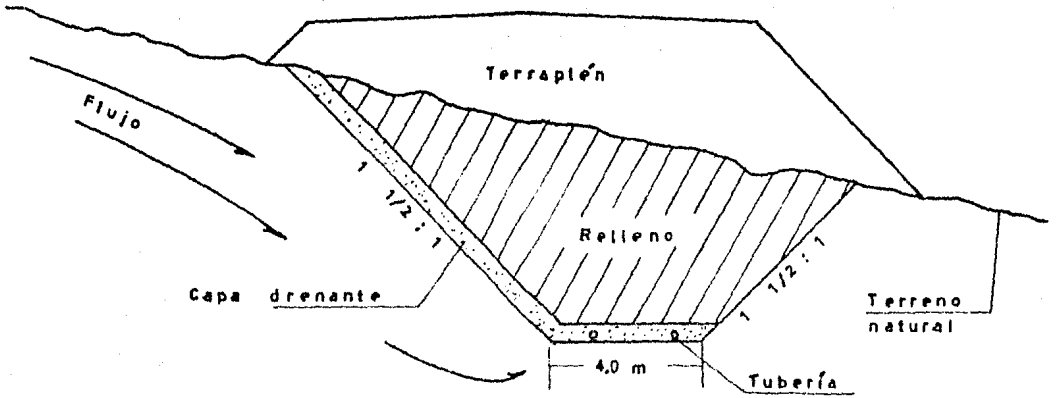
especiales y difíciles se usa el bombeo periódico.

Las dimensiones de la trinchera varían mucho según cada caso, - se han construido normalmente con profundidades de 3 a 15 m. y aún más; con ancho mínimo de 4 m., de tal forma que permita a la maquinaria trabajar dentro eficientemente; la longitud también varía mucho dependiendo obviamente de la magnitud del problema, puesto que se han construido de hasta 100 m. de longitud de fondo.

Por otra parte, los taludes de la excavación dependerán del tipo de material y de que tan crítica sea la situación de la ladera; debido a esto, es recomendable aplicar un procedimiento de construcción-rápido, haciendo la excavación en franjas, rellenando antes de construir la siguiente.

Para el relleno de la trinchera se emplea el material excavado (excepto si es de muy mala calidad) e se substituye por material de calidad suficientemente buena, como para que no sea de falla cualquier superficie trazada teóricamente a través de la trinchera; en ambos casos el relleno se compacta en capas. Algunas trincheras se han rellenado empleando fragmentos de roca, obteniéndose buenos resultados.

Trinchera bajo el terraplén.



Trinchera con berma lateral.

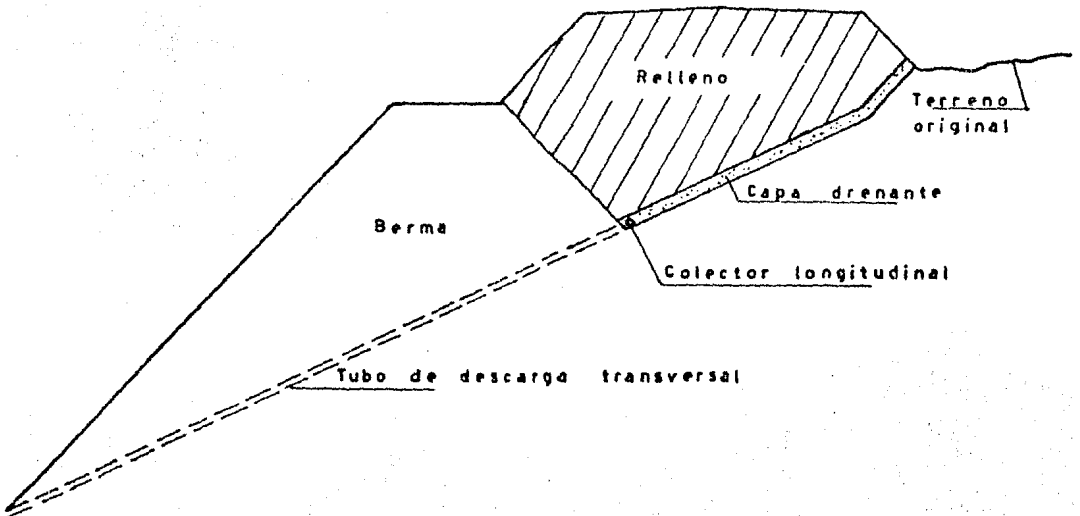
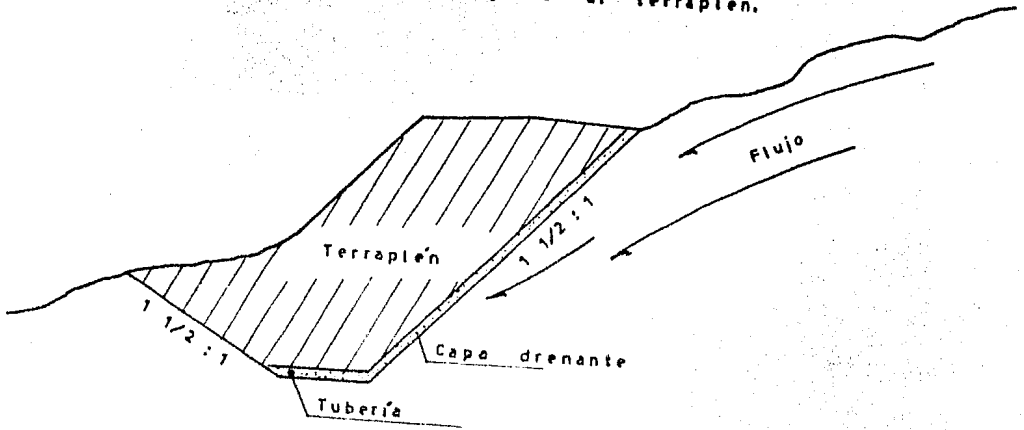


Fig.52 Tipos de trincheras estabilizadoras.

Trinchera integrada al terraplén.



Trinchera llevada hasta estrato firme.

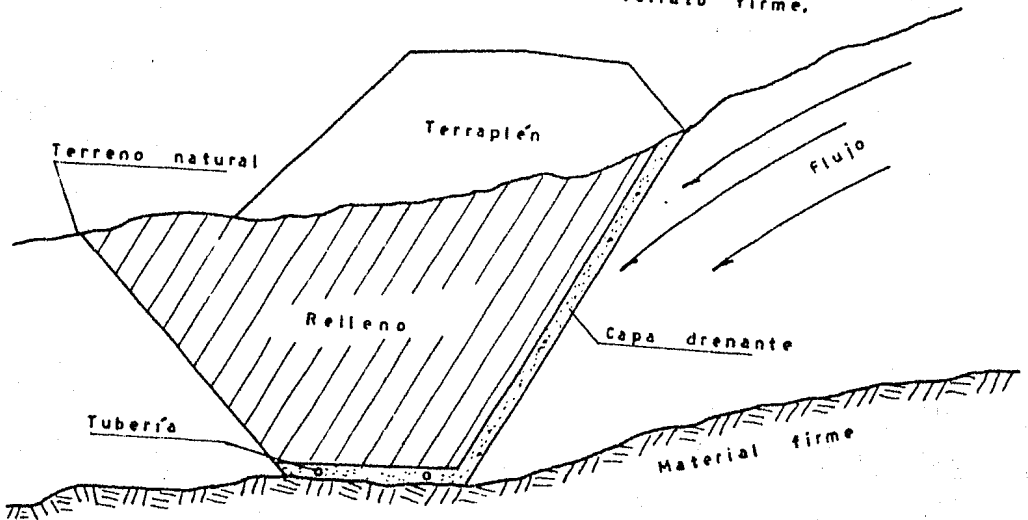


Fig.53 Tipos de trincheras estabilizadoras,

IV. CONCLUSIONS.

CONCLUSION.

El drenaje superficial, como se ha podido ver, son obras estructuralmente sencillas cuyo costo relativo al total de la vía de comunicación es bastante pequeño y sin embargo, los beneficios que de ellas se obtienen, traducidos en protección al camino, justifican indiscutiblemente su construcción.

Puesto que cada caso es distinto, antes de decidir la construcción de estas obras se deben hacer las inspecciones visuales necesarias, además de utilizar toda la información que sobre la zona se tenga a la mano, pues el hecho de que sean relativamente baratas, no justifica su uso indiscriminado e rutinario.

Al igual que las demás obras de Ingeniería, el drenaje superficial requiere de mantenimiento periódico, a fin de detectar en ellas, cualquier obstrucción, erosión o agrietamiento, que impida su buen funcionamiento o que pueda acarrear problemas mayores a los que con ellas se pretende solucionar.

Por ello, se debe tener bien claro que la importancia del drenaje superficial es de tal magnitud, que su ausencia o ineficiencia, determinan la propia existencia del camino.

El subdrenaje, al igual que el drenaje superficial, son obras convenientes y benéficas, pero a diferencia de éstas últimas, el subdrenaje tiene un coste relativamente alto lo cual a veces ha servido como pretexto para no construir las, aún siendo necesarias. Este criterio ha traído como consecuencia la falla de los caminos.

Antes que derrochar el dinero haciendo reconstrucciones, es preferible no iniciar la construcción de una vía de comunicación, hasta tener el presupuesto suficiente para dotarla del drenaje requerido.

Por otra parte, no debe pensarse que la única función del subdrenaje es eliminar agua, considerando inútiles a aquellas obras en cuya salida no se vea un gran caudal, ya que aún en el caso de que no hubiera afloramiento de agua, el subdrenaje sigue funcionando puesto que introduce en la masa del suelo aire a la presión atmosférica, modificando positivamente el estado de presiones en el agua del terreno; además de cambiar favorablemente la dirección de las fuerzas de filtración. Todo lo anterior redundará en un mejoramiento de la resistencia del conjunto.

BIBLIOGRAFIA.

- "Manual de drenaje para caminos rurales" SOP.
Olivera Fernando.
- "La Ingeniería de suelos en las vías terrestres" Vol.2.
Rico A. y Del Castillo H.
- "Mecánica de suelos" Tomo III.
Júarez Badille E.
- "Drenaje en las vías terrestres" Ponencia SOP.
Ruz Villamil F.
- "Manual de caminos vecinales"
Etcharren R.
- "Manual de drenaje de caminos"
Mesqueira S.
- "La Ingeniería de suelos en las vías terrestres" Vol.1.
Rico A. y Del Castillo H.
- "Ingeniería de carreteras y aeropuertos"
Legault A.
- "Caminoes" Tomo I.
Escario J.L.
- "Drenaje en carreteras y aeropuertos"
Setelo Avila G.
- "Mecánica de suelos para ingenieros de carreteras y aeropuertos"
Dpto. Británico de Caminos.