



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

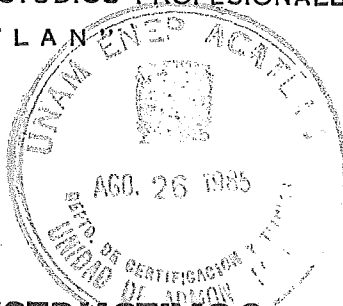
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

"ACATLAN ENER ACATEPEC"

7715648-2

7625656-3

7715648-4



**PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE  
OBRAS DE PROTECCION PARA  
CARRETERAS**

M-0028722

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A N:**

**CORNEJO JIMENEZ LUIS ARMANDO**

**MENDOZA MORALES JUAN JOSE**

**RODRIGUEZ MONTOYA RAUL**

1 9 8 5



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 PROFESIONAL

" PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE OBRAS DE  
PROTECCION PARA CARRETERAS"

CORNEJO JIMENEZ LUIS ARMANDO.

MENDOZA MORALES JUAN JOSE.

RODRIGUEZ MONTOYA RAUL.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN  
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

CI/098/1985

SRES. LUIS ARMANDO CORNEJO JIMENEZ,  
JUAN JOSE MENDOZA MORALES Y  
RAUL RODRIGUEZ MONTOYA  
Alumnos de la carrera de Ingeniería  
Civil.  
P r e s e n t e s .

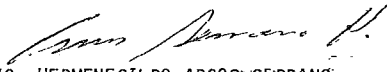
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha, 30 de agosto de 1983, me complace notificarles que esta Coordinación tuvo a bien asignarles el siguiente tema de tesis: "Procesos Constructivos de Obras de Protección para Carreteras", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Generalidades.
- II.- Necesidad de Obras de Protección para Carreteras.
- III.- Procesos Constructivos de Obras de Protección para Carreteras.
- IV.- Uso y Conservación de las Obras de Protección para Carreteras.
- Conclusiones.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Víctor Perusquia Montoya, profesor de esta Escuela.

Ruego a ustedes tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e ,  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Acatlán, Edo. de Méx., a 24 de junio de 1985.

  
ING. HERMENEGILDO ARCOS SERRANO  
Coordinador del Programa de  
Ingeniería.

G R A · C I A S

CORNEJO JIMENEZ LUIS ARMANDO

A MIS PADRES,

HERMANOS Y

FAMILIARES.

MUCHAS GRACIAS.

JUAN JOSE

CON AGRADECIMIENTO

A MIS PADRES, HERMANOS,

ESPOSA, FAMILIARES Y TODAS

LAS PERSONAS QUE COLABORARON

PARA QUE TERMINARA MI CARRERA.

RAUL

I N D I C E

<u>INTRODUCCION</u>	<u>PAGINA</u>
CAPITULO I GENERALIDADES	
1.1.- HISTORIA DE LOS CAMINOS EN MEXICO.	2
1.2.- TIPOS DE CAMINOS EN MEXICO.	11
1.3.- FACTORES PARA LA LOCALIZACION DE UN CAMINO.	21
1.4.- FACTORES HIDROLOGICOS.	33
1.5.- FLUJO DE AGUA EN SUELOS	40
CAPITULO II NECESIDAD DE OBRAS DE PROTECCION PARA CARRETERAS.	
2.1.- PROBLEMAS EN CARRETERA POR FALTA DE PROTECCION.	50
2.2.- DRENAJE.	57
2.2.1.- DRENAJE SUPERFICIAL	58
2.2.2.- DRENAJE SUBTERRANEO (SUBDRENAJE)	85
2.3.- ESTABILIDAD DE TALUDES.	99
2.3.1.- CORTES.	104
2.3.2.- TERRAPLENES.	109
2.4.- VIENTO.	117
CAPITULO III PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE OBRAS DE PROTECCION PARA CARRETERAS.	
3.1.- OBRAS DE DRENAJE EN CARRETERAS.	126
3.1.1.- DRENAJE SUPERFICIAL.	126
3.1.2.- SUBDRENAJE.	175
3.2.- OBRAS DE PROTECCION DE LOS TALUDES EN CARRETERAS.	202



	<u>PAGINA</u>
3.3.- MUROS DE RETENCION EN CARRETERAS.	228
3.4.- OBRAS DE PROTECCION CONTRA INVASION DE ARENA - PROVOCADA POR EL VIENTO.	248
CAPITULO IV USO Y CONSERVACION DE LAS OBRAS DE PROTECCION PARA CARRETERAS.	257
CONCLUSIONES.	271
BIBLIOGRAFIA.	

## I N T R O D U C C I O N

El objetivo fundamental para alcanzar en el presente trabajo, es el de analizar las normas y criterios en la construcción de las obras de protección para carreteras, mediante la observación de un buen procedimiento de construcción, así como de la calidad de los materiales usados en la elaboración de las mismas.

Conservar el buen estado de las carreteras es de la mayor importancia porque ello hace posible que las inversiones hechas en su construcción no se pierdan y que los beneficios que producen esas vías se mantengan permanentemente. Por otra parte, el crecimiento registrado, tanto en el número de vehículos como en el peso de los mismos, ha obligado a actuar con firmeza en los renglones de modernización de la red, así como en la realización de aquellas obras auxiliares y partes accesorias que determinan su buen funcionamiento.

En el Capítulo I "Generalidades", se hace una pequeña reseña histórica de los caminos en México a través de sus diferentes gobiernos y situaciones económicas, así como de la forma de financiamiento para su construcción.

Se establecen las características de los diferentes tipos de caminos existentes en la República Mexicana, analizando brevemente los factores que intervienen en la localización de un camino.

En lo referente a los factores hidrológicos se describen los principales que intervienen en forma directa o indirecta en el-

comportamiento de las obras de protección para carreteras, se hace un breve análisis del flujo de agua en suelos, así como - del agua capilar en ellos.

En el Capítulo II "Necesidad de Obras de Protección para Carreteras", se hace la descripción de algunos de los problemas más comunes presentados en los caminos, debido a la carencia o deficiencia de obras de protección.

Estableciendo la importancia del drenaje de una carretera, es dividido para su estudio en: drenaje superficial y drenaje subterráneo.

A continuación se trata muy someramente el tema relacionado con la estabilidad de taludes, dividiendo a éstas en taludes naturales o laderas y taludes artificiales, estableciendo las fallas más comunes relacionadas con la estabilidad de los mismos.

Se hace consideración a los problemas ocasionados por la invasión de arena provocada por el viento en algunas carreteras del país.

Por lo que se refiere al Capítulo III "Procesos Constructivos de Obras de Protección para Carreteras", se establecen los procesos constructivos de las obras de drenaje superficial para carreteras, así como constatar los requerimientos de calidad que deben cumplir los materiales que se utilizan en su construcción. Se abordan los procesos de elaboración referentes a: alcantarillas, el bombeo, las guarniciones, los bordillos, los lavaderos, las bajadas, las bermas, las cunetas, las contracunetas, los canales interceptores, los bordos y la vege

tación. También se consideran las obras de protección que forman parte del llamado drenaje subterráneo tales como: subdrenaje de zanja y capas permeables, construcción de una capa permeable con remoción de material, construcción de trincheras - estabilizadoras, construcción de un dren transversal de penetración, construcción de un sistema de pozos de alivio y la ejecución de una galería filtrante.

Se aborda el tema de normas y criterios para la construcción de obras protectoras de los taludes en carreteras, enunciando - diferentes métodos para corregir problemas de laderas o taludes - inestables, su protección o para reconstruir zonas falladas, tales como métodos de elusión, métodos de excavación, abatimiento de taludes, empleo de bermas y escalonamientos, empleo de materiales ligeros, empleo de materiales estabilizantes, empleo de pilotes, empleo de contra pesos al pie de la falla, anclajes, - uso de explosivos, empleo de vegetación, así como la utilización de zampeados. Se hace alusión a problemas especiales como: derrumbes y caídos, deslizamientos de tierras y flujos.

Se hace referencia a la buena construcción y calidad de materiales para elaborar muros de retención en carreteras, poniendo especial atención por lo que respecta a los diferentes tipos de muros y el drenaje adecuado para cada situación.

Concluye el capítulo, describiendo las obras de protección - contra la invasión de arena provocada por el viento.

En el Capítulo IV "Uso y Conservación de Obras de Protección para Carreteras", se establecen los lineamientos generales que -

se deben seguir para conservar en buen estado las obras protec  
toras, y por consiguiente, casi seguro, la misma carretera. Se  
da una guía para efectuar y programar inspecciones que determi  
nen el tipo de trabajos que se deben efectuar en las obras de-  
protección para su eficiente funcionamiento.

Por último, están nuestras conclusiones sacadas de acuer-  
do a lo tratado en la presente tésis, esperando que sea de pro  
vecho e interés para quien la lea.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

## 1.1 HISTORIA DE LOS CAMINOS EN MEXICO

En México se construyen caminos de acuerdo con su capacidad económica; éstas redes van de acuerdo a categorías, las cuales pueden ser: de cuota que son de altas especificaciones hasta vecinales que en algunos casos son muy modestos por sus brechas.

De acuerdo con la exigencia del tema, trataremos de mencionar aunque muy someramente la evolución de los caminos en México, desde la época precortesiana hasta la era contemporánea.

Los caminos existentes antes de la llegada de los españoles eran construidos a base de piedra, había una gran cantidad de calzadas, caminos, veredas y senderos, lo que sorprendió a los españoles ya que en ese entonces no se utilizaba la rueda en vehículos de transporte, ni tampoco se disponía de animales de tiro. Las tribus que más destacaron en la construcción de este tipo de estructuras fueron los aztecas y los mayas, los cuales se vieron obligados a construirlas por su gran actividad comercial, religiosa y bélica.

Se dice que las tribus que se dedicaron a la construcción de caminos también se preocuparon por su conservación, en tal grado que emitieron leyes de la forma y época en que tenían que ser reparados, que por lo general era al final de la temporada de lluvias. Para la construcción y reparación de los caminos de estas épocas eran utilizados los esclavos pero además también cooperaban los habitantes de la región, excepto los guerreros o los privilegiados.

Los caminos que los conquistadores encontraron sirvieron para que estos pudieran desarrollar su tarea de conquista.

Con la colonización de la Nueva España surgió la apertura de nuevos caminos y algunas mejoras en los ya existentes; no por querer

las autoridades dar un mayor desarrollo social y material a la Nueva España, sino por la satisfacción geográfica que ocupó ésta y el campo económico que representaba a las mismas autoridades.

Al introducir a la Nueva España los animales de tiro y carga, - así como el uso de la rueda, trajo como consecuencia modificación en los caminos que entonces se encontraban prestando servicio. Por otro lado, como casi todas las actividades se desarrollaban en el centro de la Nueva España y como los productos tenían que salir por el puerto, fué necesario construir caminos necesarios y adecuados para comunicar a dichos puertos con el centro de la Nueva España.

Se dice que aproximadamente por el año 1522 Cortés dió ordenes a Alvaro López para que se construyera el camino México-Veracruz; camino que fuera al principio de la colonia el más importante y al - - cual se le dió el nombre "camino a Europa".

Uno de los pasos más importantes se dió en este camino, ya que fué aquí donde se experimentó por vez primera el funcionamiento de tránsito por medio de una carreta, que sería posteriormente el sistema de transportación utilizado en este país durante la época colonial.

Después de mandado a hacer el camino a Veracruz, Cortés dispuso que se construyera en 1523 el camino a Tampico. La construcción de caminos fueron haciéndose uno tras otro. En 1537 el Virrey de la Nueva España Don Antonio de Mendoza mandó se hiciera la apertura de dos caminos hacia el occidente. Para el año 1596 el Virrey Don Luis de Velasco ordenó la construcción del camino a Acapulco, al cual se le llamaría "ruta hacia Asia".

Con la llegada de los españoles y la introducción de las bestias y la carreta se inició propiamente la construcción de carreteras en México, de modo que al final del virreinato se habían construido 7 -



mil kilómetros; por las que era posible transitar en carretas tiradas por caballos. El intercambio mercantil que se generó entre la Nueva España y la Península Ibérica, fue de mucha importancia y si éste no creció, se debió más a las restricciones que impuso la Corona. Cuando finalizó la Colonia, los caminos se encontraban en evolución debido al empleo de diferentes vehículos que antes no conocían. En el año de 1810 después de iniciada la Independencia nada se pudo hacer en cuestión de caminos debido a la situación del país.

En base a las leyes creadas en junio de 1839, diciembre de 1842 y noviembre de 1846, se forma la Dirección de Colonización e Industria, la cual se encargaría de la reparación y construcción de caminos. En el año de 1842 se observa en el gobierno mayor disposición para la construcción de caminos al haberse creado un cuerpo de ingenieros civiles para la ejecución de los mismos. Los cambios que se han suscitado en los caminos de México, han sido en base a la evolución de los vehículos que fueron apareciendo. Por ésta época hizo su aparición la diligencia, claro es, que la creación de estas rutas de acarreo trajo como consecuencia el establecimiento de postas, paraderos y hoteles. Desafortunadamente sabemos que por ésta época se le dió un auge mayor a los ferrocarriles, lo que hizo que los caminos cayeran considerablemente en su prestación de servicios.

En el año de 1867 el entonces presidente de la República Lic.- Benito Juárez, crea un impuesto destinado a la conservación de caminos. Fué el 13 de mayo de 1891 cuando el presidente de la República Gral. Porfirio Díaz, creó la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, quién se encargó de la construcción y conservación de los caminos en el país.

Con la Revolución Mexicana de 1910, el país entró en tal conflicto que no hubo capacidad para poder planear o programar proyec-

tos de obras civiles de gran importancia.

Debido a la aparición del automóvil y su rápido desarrollo al mismo tiempo que el movimiento revolucionario, los caminos existentes en el país resultaban inadecuados y por lo tanto reclamaban una transformación, así tenemos que hasta que el país se vió con un gobierno firme que quiso mirar por el bienestar de los caminos, se vió con la angustiosa realidad de que sus caminos eran viejos e inadecuados. Era entonces urgente construir caminos cuyas necesidades eran obvias, luego entonces no hubo ni siquiera planeación, ya que lo que había que construir estaba a la vista, así, se fueron construyendo caminos, limitados únicamente por lo que se disponía en recursos económicos.

En 1925 el presidente Gral. Plutarco Elías Calles, viendo la necesidad de construir caminos, expidió una ley, en la cual se hacía mención, que se le cargaría un impuesto a la gasolina; en ésta ley también quedó incluida la Comisión Nacional de Caminos, la cual se encargaría de administrar el producto de dicho impuesto para la construcción, reparación y mantenimiento de los caminos. La Comisión Nacional de Caminos estaba representada por tres miembros los cuales representaban a: la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, a la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas y el tercer miembro a los Causantes.

Teniendo en cuenta el poco tránsito que había al inicio de los caminos, la Comisión creó un proceso de mejoramiento de caminos en forma paulatina, el cual consistía en mejorar la superficie de rodamiento, en relación con la intensidad del tránsito. Se crearon carreteras de tipo secundario mejorado y se revistieron las superficies de rodamiento con arena arcillosa, grava más o menos cementada,

tepetates, tezontles, etc. Se iniciaron experimentos de petrolización sobre éstos materiales, siendo el más importante y eficiente - el de petrolización sobre grava suelta, el cual se utilizó en el camino Monterrey-Nuevo Laredo.

El primer esfuerzo caminero del país, realizado entre 1925 y 1930, produjo 1420 kilómetros de carreteras, y que el 1% de nuestro territorio quedará vinculado a través del automóvil y el camión. Fueron tres las áreas que se comunicaron: la Ciudad de México con las ciudades de Pachuca, Puebla y Acapulco; la Ciudad de Mérida con el puerto de Progreso y Valladolid y por último Monterrey con Nuevo Laredo.

A pesar de los avances obtenidos por la Federación en los primeros años, hubo la necesidad de construir caminos secundarios en donde intervinieron los gobiernos de los Estados. Por acuerdo presidencial en diciembre de 1932, se formó el sistema de cooperación federal a los Estados en donde se impartía a éstos una ayuda del 50% del costo de caminos nacionales y locales construídos por el sistema en ese mismo acuerdo, se formaron juntas locales en todos los Estados encargados de administrar y dirigir las obras.

Dichas juntas se integraban por representantes de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, por el Gobierno Estatal, uno de los causantes, uno de la Cámara de Comercio y por uno de la Tesorería del Estado.

En la década 1931 a 1940 se agregaron a la red 8500 kilómetros; en este último año se disponía de una red de 9920 kilómetros, con la cual quedaba comunicada por el automóvil y el camión el 9% del área de la República. Las carreteras más importantes construídas fueron: México-Nuevo Laredo pasando por Ciudad Valles y Ciudad Victoria; México-Veracruz pasando por Perote y Jalapa; Córdoba-Veracruz;

México-Toluca-Morelia-Guadalajara que tiene un ramal importante a Irapuato-León-Aguascalientes-Zacatecas; y por último el que partía de México a Tuxpan pasando por Pachuca que ya había sido comunicada en la década anterior; Chihuahua-Ciudad Juárez; Saltillo-Piedras Negras; Monterrey-Reynosa y Ciudad Victoria-Matamoros. Además Torreón-Monterrey; Aguascalientes-Tampico pasando por San Luis Potosí y Puebla-Oaxaca.

Hasta esa época se había construido gran cantidad de caminos estatales e interestatales que comenzaron a integrar y a comunicar, a poblaciones importantes y de mediana importancia. Pero había muchas pequeñas poblaciones que requerían comunicarse con otras poblaciones para poder desarrollarse. Es pues evidente la necesidad de construir caminos vecinales, desde los de extracción e intercambio-comercial, hasta los de penetración a las regiones totalmente comunicadas.

El 14 de mayo de 1947, se creó el Departamento de Planeación y Fomento de Carreteras Vecinales, órgano perteneciente a la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, el cual se encargaría de coordinar y construir caminos vecinales.

Se tuvieron así, ya las tres modalidades de como administrar y construir un camino:

- 1) Carretera Troncal o Nacional costeada totalmente por la Federación; de la red de caminos del país, la principal.
- 2) Carreteras Secundarias, que se enmarcan en el sistema de Cooperación, las cuales son costeadas por la Federación y el Estado correspondiente, ambas con un 50%.
- 3) Caminos Vecinales, los cuales son costeados por la Federación, el Estado correspondiente y los particulares benefi-

ciados, todos con una tercera parte.

En la década que va de 1940 a 1950 se agregaron 12 530 kilómetros, con lo que se llegó a una red total de 22 450 kilómetros, con que quedaba comunicado por el autotransporte el 17% del territorio del país. Entre las obras más importantes construídas se puede mencionar: Terminación de la carretera Panamericana que une Ciudad Juárez, Chihuahua en la frontera con Estados Unidos y Ciudad Cuauhtémoc, Chiapas en la frontera con Guatemala; México-Nogales; Durango-Torreón; Mérida-Campeche; Jiquilpan-Colima; Piedras Negras-Villa Acuña y la de Veracruz-Coatzacoalcos.

El pujante desarrollo del país, el incremento en el número de vehículos de motor y el sorprendente crecimiento demográfico, han motivado que numerosos caminos se hayan saturado y no cumplan satisfactoriamente con su misión comunicadora. Este problema planteó la disyuntiva de modernizar los tramos de la red que unían a aquellas ciudades que por su alto crecimiento económico y demográfico tenían ya una comunicación precaria, o bien construir nuevas arterias de altas especificaciones. La última alternativa ofrecía grandes ventajas, porque además de que su construcción no interfería con el tránsito existente, cabía la posibilidad de ensayar una nueva fórmula de financiamiento de halagueñas perspectivas en nuestro país, basado en el cobro de una cuota por transitar por un camino mejores especificaciones y por lo tanto de mayor seguridad. Efectivamente este sistema de financiamiento tiene la virtud de no restar recursos para la prosecución de la obra integradora que requiere el país, a fin de llevar los beneficios de la civilización a tantas regiones aun incomunicadas. Por otra parte, mediante ésta modalidad se mantenía incólume el principio de que el tránsito por los caminos del País debe ser libre de pago de cuota, ya que deja al automovilista-

la opción de escoger la ruta que más le convenga.

Los caminos directos, como se les llama también a las carreteras de cuota, proporcionan mayor seguridad, comodidad y economía en tiempo y en general en costos de transporte, por lo que se considera razonable que se cobre por la prestación de éste servicio, una cuota que en la mayoría de los casos se calcula con base en el ahorro que representa para el usuario y que siempre se procura que sea menor a éste ahorro.

Las primeras carreteras de cuota, entre las que figuran la de la Ciudad de México a Cuernavaca, fueron administradas y conservadas por una empresa de participación estatal denominada Constructora del Sur. Pronto se popularizó el sistema con gran aceptación de los usuarios por lo que se construyeron más caminos de este tipo; por este motivo el gobierno decidió crear en 1958 el organismo descentralizado Caminos Federales de Ingresos. En el decreto que lo creó se anunciaba que la operación de ésta clase de caminos no tenía como finalidad el lucro.

Entre 1950 y 1960 se construyeron 22 440 kilómetros más de carreteras, con lo que se duplica la red existente en 1950 alcanzando una longitud total de 44 890 kilómetros, con lo que quedaba comunicado por autotransporte el 27% del territorio del país. Entre las obras más relevantes de este período están: San Luis Potosí - Piedras Negras pasando por Saltillo; Coatzacoalcos-Salina Cruz; Coatzacoalcos-Villahermosa-El Carmen-Champotón; así como el inicio de una muy extensa red de caminos menores.

Posteriormente en 1963 se modificó su organización creándose lo que es ahora Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos.

El nuevo organismo descentralizado está constituido en tal forma, que puede negociar importantes financiamientos para la construcción de otras carreteras. Esto explica el notable impulso que se ha dado a ésta red vial.

En la década que va de 1960 a 1970, se suman a la red carretera nacional 26 630 kilómetros más para culminar, en 1970 con una longitud total de 71 520 kilómetros, con lo que queda vinculado o comunicado a través del automóvil y el camión, el 31% del país. Para esta época la mayor parte de los caminos troncales del país habían quedado terminados por lo que la obra caminera de 1960 a 1970 se significa, por la gran cantidad de caminos alimentadores y de interconexión con los troncales.

La modalidad de operar carreteras de cuota se ha extendido también a los puentes y a los transbordadores. A la fecha Caminos y Puentes Federales de Ingresos administra y conserva una red de más de 1200 kilómetros de carreteras de 2 y 4 vías de circulación que es equivalente aproximadamente a 1 700 kilómetros de caminos de 2 carriles; asimismo administra y conserva más de 30 puentes de cuota con longitud total aproximada de 16 000 metros.

De 1970 a la fecha se ha mantenido el crecimiento de la red carretera constante, al grado que ya se encuentra comunicada aproximadamente el 80% de la población del país, alcanzando estimativamente un total de 240 000 kilómetros.

Entre las carreteras más importantes que hay en la actualidad, tocante a las de cuota: México-Querétaro-Irapuato, México-Cuernavaca-Iguala, Tijuana-Ensenada, México-Pachuca, Monterrey-Salttillo. Existen dos carreteras importantes en construcción: Minatitlán-Villahermosa, así como la de Guadalajara-Colima-Manzanillo. A últi -

mas fechas se completó la Carretera Costera del Pacífico que une a los Estados costeros del Océano Pacífico. Entre los grandes puentes-existentes en la actualidad están: El Puente Coatzacoalcos sobre el río del mismo nombre, el Puente Tuxpan sobre el río Tuxpan, el Puente Culiacán, el Puente Sinaloa, el Puente Nautla. A últimas fechas se terminaron, el Puente de La Unidad en el Estado de Campeche con una longitud superior a los 2 500 metros sobre la Laguna de Términos y el Puente Coatzacoalcos II aguas arriba del anterior nombrado. En construcción se encuentra otro puente muy importante, el Tampico sobre el río Pánuco.



## 1.2 TIPOS DE CAMINOS EN MEXICO.

El hombre siempre ha deseado comunicarse para satisfacer necesidades de tipo social, político, comercial y cultural. Encontró - que una de las formas más eficientes para lograrlo era por medio - del camino, que es una vía de comunicación terrestre que permite el traslado de personal y bienes de un lugar a otro.

Por principio, describiremos brevemente las partes constitutivas de un camino.

Su estructura está formada por tres elementos fundamentales: el pavimento, la terracería y el suelo de cimentación.

El pavimento está formado por una o más capas de materiales, - especialmente procesados, que transmiten las cargas de los vehículos a las terracerías en condiciones adecuadas, su finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de los vehículos, el intemperismo producido por agentes naturales y a cualquier otro agente natural perjudicial. Pueden ser de dos tipos: Flexible o Rígido.

El pavimento flexible generalmente se compone de una carpeta - asfáltica, una capa de materiales de base y una capa de materiales de sub-base. La carpeta puede medir varios centímetros de espesor o reducirse a un tratamiento superficial mediante un riego de asfalto y material pétreo. En general un pavimento está formado por diversas capas de mejor calidad y mayor costo cuanto más cercanas se encuentran a la superficie de rodamiento; ello es principalmente, por la mayor intensidad de los esfuerzos que les son transmitidos.

Actualmente existe el pavimento llamado semirígido que es, esencialmente, un pavimento flexible a cuya base se le ha dado una rigidez alta por adición de cemento o asfalto.

El pavimento rígido es una estructura de concreto simple, reforzado, continuo o presforzado; que puede apoyarse en la sub-base o directamente sobre las terracerías.

Las terracerías son el conjunto de cortes y terraplenes ejecutados entre el terreno de cimentación y la capa subrasante. La capa superior de las terracerías, con espesores que normalmente varían entre 30 y 50 centímetros, constituye la capa subrasante sobre la cual se apoya directamente el pavimento, y en la mayoría de los casos tiene especificaciones de calidad más estrictas que los correspondientes al cuerpo de terraplen.

El terreno de cimentación soporta las cargas que transmiten las capas superiores y es parte integrante de la estructura de la carretera, ya que sus características afectan notablemente el comportamiento de la obra vial.

Los anteriores son componentes de la estructura de un camino - también deben ser consideradas otras partes que lo forman como son: los acotamientos situados a ambos lados de la superficie de rodamiento, que son las fajas laterales destinadas a alojar a los vehículos que se estacionan, por emergencia, a lo largo de la carretera. Paralelo a la carretera tenemos el drenaje longitudinal también llamado cuneta. También pueden existir contracunetas, en aquellos tramos donde se prevea la necesidad de desviar las corrientes de agua y evitar que invadan la carretera o sobrecarguen la cuneta. Sigue el drenaje transversal, que está formado por las alcantarillas estructurales mayores (puentes), que permitirán que el agua cruce de un lado a otro de la carretera, sin invadir su superficie.

En algunas regiones de México donde se ha alcanzado un alto nivel de desarrollo, la circulación de vehículos alcanza volúmenes muy

elevados de composición compleja. Este fenómeno se limita a las cer canías de las grandes ciudades o itinerarios excepcionales sino - que abarca una serie de regiones importantes en cuanto a sus actividades agrícolas, industriales, turísticas, etc. y que se encuentran ligadas por las grandes troncales. Ahora bien, las primeras - carreteras que se construyeron en el país, tuvieron por función lo de servir a estas regiones que ya desde entonces iniciaban su desa rrollo, lo que ha producido como consecuencia que las carreteras - que soportan el mayor volúmen de tránsito son las que fueron dise- ñadas para cargas de magnitud y frecuencia inferiores a las actua- les y que fueron construídas procurando servir al mayor número de- ciudades con preferencia a itinerarios directos. Por tanto en México, es de interés colectivo el modernizar algunas de las carrete - ras que soportan los principales volúmenes de tránsito y construir carreteras que signifique grandes acortamientos a los principales- itinerarios actuales y también el de crear nuevos que teniendo como base la circulación actual, sirvan a nuevas zonas.

Los criterios adoptados a fin de fijar las normas mexicanas para el proyecto geométrico de carreteras, han conducido a la conven- niencia económica de aceptar en la actualidad, una clasificación - compuesta de 5 tipos de caminos, según la intensidad de tránsito futu ro calculado en caso. Además cuando las estimaciones de tránsito- así lo requieren, se proyectan y construyen caminos de tipo espe- - cial, cuya geometría no está sujeta a las normas de los tipos clasifi cados.

De acuerdo a su capacidad práctica, considerando el tránsito no transformado a vehículos ligeros, se ha establecido la siguiente - clasificación de caminos:

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, de acuerdo con sus características, considera los siguientes caminos:

- a) TIPO ESPECIAL.- Para un tránsito diario promedio anual superior a 3 000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual, mayor de 360.
- b) TIPO A.- Para un tránsito diario promedio anual de 1 500 a 3 000, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360.
- c) TIPO B.- Para un tránsito diario promedio anual de 500 a 1 500, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180.
- d) TIPO C.- Para un tránsito diario promedio anual de 50 a 500, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60.
- e) TIPO D.- Para un tránsito similar al de Tipo C, pero con especificaciones para proyecto que lo hace más económico de construir.
- f) TIPO E.- Para un tránsito diario promedio anual de hasta 100, teniendo ancho de corona y calzada de 4.00 m.

En el número de vehículos indicado está considerado un 50% de vehículos pesados.

La velocidad de proyecto y consecuentemente las especificaciones geométricas de los caminos clasificados, varían según las características topográficas de los terrenos que atraviesen. En éstos se consideran las siguientes clases:

- A) Terreno Plano y Lomerío Suave.
- B) Lomerío Fuerte.

C) Montañoso poco Escarpado.

D) Montañoso muy Escarpado.

Para los caminos de Tipo Especial, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes estudia y fija las características geométricas de cada caso.

Para los demás casos ya están tabuladas las especificaciones geométricas, como se indica en las siguientes tablas:

C A R R E T E R A T I P O A				
TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL . . . . . 1 500 a 3 000 vehículos				
TRANSITO HORARIO MAXIMO ANUAL. . . . . 180 a 360 vehículos				
C O N C E P T O S	TERRENO - PLANO Y - LOMERIO SUAVE	LOMERIO FUERTE	MONTAÑOSO POCO ESCARPADO	MONTAÑOSO MUY ESCARPADO
Ancho de la Corona	9.00 m	9.00 m	8.50 m	8.00 m
Ancho de la Carpeta	6.10 m	6.10 m	6.10 m	6.10 m
Velocidad de Operación	100 km/hr	80 km/hr	70 km/hr	60 km/hr
Velocidad de Proyecto	70 km/hr	60 km/hr	50 km/hr	40 km/hr
Grado Máximo de Curvatura	8º	11º	16º 30'	26º
Pendiente Máxima	4.0%	5.0%	5.5%	6.0%
Pendiente Gobernadora	2.0%	3.5%	4.0%	4.5%

TABLA I

C A R R E T E R A T I P O B				
TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL . . . . . 500 a 1 500 vehículos				
TRANSITO HORARIO MAXIMO ANUAL. . . . . 60 a 180 vehículos				
C O N C E P T O S	TERRENO PLANO Y LOMERIO SUAVE	LOMERIO FUERTE	MONTAÑOSO POCO ESCARPADO	MONTAÑOSO MUY ESCARPADO
Ancho de la Corona	9.00 m	9.00 m	8.50 m	8.00 m
Ancho de la Carpeta	6.10 m	6.10 m	6.10 m	5.50 m
Velocidad de Operación	80 km/hr	70 km/hr	60 km/hr	50 km/hr
Velocidad de Proyecto	60 km/hr	50 km/hr	40 km/hr	35 km/hr
Grado Máximo de Curvatura	11º	16º 30'	26º	35º
Pendiente Máxima	4.5%	5.5%	6.0%	6.5%
Pendiente Gobernadora	2.5%	3.5%	4.5%	5.0%

TABLA 2

C A R R E T E R A T I P O C				
TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL . . . . . 50 a 500 vehículos				
TRANSITO HORARIO MAXIMO ANUAL . . . . . 6 a 60 vehículos				
C O N C E P T O S	TERRENO PLANO Y LOMERIO SUAVE	LOMERIO FUERTE	MONTAÑOSO POCO ESCARPADO	MONTAÑOSO MUY ESCARPADO
Ancho de la Corona	7.00 m	7.00 m	6.50 m	6.00 m
Ancho de la Carpeta	5.50 m	5.50 m	5.50 m	5.50 m
Velocidad de Operación	70 km/hr	60 km/hr	40 km/hr	35 km/hr
Velocidad de Proyecto	50 km/hr	40 km/hr	30 km/hr	25 km/hr
Grado Máximo de Curvatura	16º 30'	26º	47º	67º
Pendiente Máxima	5.0%	6.0%	6.5%	7.0%
Pendiente Gobernadora	3.0%	4.0%	4.5%	5.0%

TABLA 3

C A R R E T E R A T I P O D				
TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL . . . . . 50 a 500 vehículos				
TRANSITO HORARIO MAXIMO ANUAL . . . . . 6 a 60 vehículos				
C O N C E P T O S	TERRENO PLANO Y LOMERIO SUAVE	LOMERIO FUERTE	MONTAÑOSO POCO ESCARPADO	MONTAÑOSO MUY ESCARPADO
Ancho de la Corona	6.00 m	6.00 m	6.00 m	6.00 m
Ancho de la Carpeta	5.50 m	5.50 m	5.50 m	5.50 m
Velocidad de Operación	60 km/hr	55 km/hr	50 km/hr	45 km/hr
Velocidad de Proyecto	60 km/hr	50 km/hr	40 km/hr	30 km/hr
Grado Máximo de Curvatura	11º	17º	30º	62º
Pendiente Máxima	5.0%	8.0%	10.0%	13.0%
Pendiente Gobernadora	5.0%	6.0%	7.0%	10.0%

TABLA 4

C A R R E T E R A T I P O E				
TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL . . . . . Hasta 100 vehículos				
C O N C E P T O S	TERRENO PLANO Y LOMERIO SUAVE	LOMERIO FUERTE	MONTAÑOSO POCO ESCARPADO	MONTAÑOSO MUY ESCARPADO
Ancho de la Corona	4.00 m	4.00 m	4.00 m	4.00 m
Ancho de la Carpeta	4.00 m	4.00 m	4.00 m	4.00 m
Velocidad de Proyecto	60 km/hr	50 km/hr	40 km/hr	30 km/hr
Grado Máximo de Curvatura	11º	17º	30º	62º
Pendiente Máxima	6.0%	9.0%	11.0%	15.0%
Pendiente Gobernadora	4.0%	7.0%	9.0%	12.0%

TABLA 5

En donde:

Velocidad de Operación.- En un camino o un tramo del mismo, es el promedio de las velocidades a que circulan los usuarios. Esta velocidad resulta siempre superior a la de proyecto.

Velocidad de Proyecto.- En un camino o tramo del mismo, es la que se fija para normar el proyecto del mismo y es aquella con la que se puede hacer el recorrido dentro de la máxima seguridad.

Grado Máximo de Curva - Es el límite superior del grado de curvatura que podrá usarse en el alineamiento horizontal de un camino o tramo del mismo, dentro de la velocidad de proyecto dada.

Pendiente Gobernadora.- Es la pendiente del eje de un camino que se puede sostener indefinidamente y que sirva de base para fijar las longitudes máximas que se deben dar a pendientes mayores que ella para una velocidad de proyecto dada.

Pendiente Máxima.- Es la mayor pendiente del eje de un camino que se podrá usar en una longitud determinada.

Existe otra clasificación de los caminos, atendiendo a las inversiones que se hacen al construirlos.

La evaluación de un proyecto carretero tiene como objeto funda



mental, señalar la bondad o reditualidadde las inversiones requeridas para ejecución, a través de la estimación de los beneficios que en forma directa o indirecta se obtengan del mismo; la evaluación indica el orden de prioridad que le corresponde dentro de un grupo de proyectos similares. Los criterios usados para determinar la factibilidad económica de construir una carretera corresponden a tres categorías diferentes.

- a) Carreteras de Penetración Económica.
- b) Carreteras de Función Social.
- c) Carreteras en Regiones en Pleno Desarrollo.

Las Carreteras de Penetración Económica tienen la función de romper la situación tradicional de autoconsumo que priva en zonas aisladas e integrarlas al desarrollo económico y social del país. El efecto de las inversiones canalizadas en este tipo de carreteras, se mide a través del índice de productividad, el cual se obtiene relacionando los incrementos del valor de la producción al quinto año de terminada la obra, con el costo de la misma.

Las Carreteras de Función Social tienen por objeto comunicar a las localidades a fin de que reciban los beneficios de la infraestructura social. Las consecuencias de invertir se manifiestan principalmente en el campo social, ya que la zona puede tener una escasa potencialidad económica, pero contar con una fuerte concentración de población, en este caso el criterio de valuación se basa en la relación entre el monto de la inversión y el número de habitantes por servir.

El tercer tipo, corresponde a carreteras que sirven a zonas en Pleno Desarrollo, ya comunicadas y cuya función es la de hacer más fluído el tránsito, abatiendo los costos de transporte. Su efecto se

mide en función del ahorro que representa para los usuarios, en lo que se refiere a transporte, tracción y tiempo; relacionados con el costo de construcción de la misma.

Otra clasificación sería la llamada por Transitabilidad que corresponde a las etapas de construcción de la carretera y se divide en:

- 1) Terracerías.- Cuando se ha construído la sección del proyecto hasta su nivel de subrasante transitable - en tiempo de secas.
- 2) Revestida.- Cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.
- 3) Pavimentada.- Cuando sobre la subrasante se ha construído - ya totalmente el pavimento.

### 1.3 FACTORES PARA LA LOCALIZACION DE UN CAMINO.

Las vías de comunicación tienen una gran importancia desde el punto de vista económico, principalmente, porque aumenta la cantidad de bienes y servicios, los hace más baratos y aumenta su calidad. Desde el punto de vista social y político, las vías de comunicación revisten gran importancia, porque son un factor de difusión cultural y de unificación nacional. En el estudio de caminos se pueden distinguir varias fases:

- 1) Planeación.
- 2) Reconocimiento
- 3) Trazo Preliminar.
- 4) Localización  $\left\{ \begin{array}{l} \text{En el plano.} \\ \text{En el terreno.} \end{array} \right.$
- 5) Construcción.
- 6) Explotación y Conservación.

A continuación trataremos de explicar brevemente los cuatro primeros puntos.

Antes que cualquier otro estudio deben hacerse las consideraciones conducentes a determinar si es conveniente o no, construir el camino. En ello consiste la Planeación, solo que el resultado de ésta sea favorable deberá seguirse con los demás pasos. Aquí enunciaremos en forma breve, los aspectos que deben estudiarse en la Planeación de un camino:

- a) Inventario de los recursos naturales de la zona. (Existencia de centros mineros, agrícolas, ganaderos, industriales, etc.)
- b) Estimación de la población de la zona.
- c) Tendencias en el futuro.
- d) Estimación de los tráficos, actuales y futuro. (Tonelada-kil-

lómetro).

e) Conveniencia de construir o no el camino.

En general los lineamientos que se deben seguir para normar el criterio de inversiones debe ser:

- Conservar las obras existentes y modernizar las que lo ameriten, para asegurar con ello su cabal y eficaz aprovechamiento.

- Terminar las obras que se encuentren en construcción.

- Planear y construir nuevas obras que sirvan para crear la infraestructura básica, a fin de acelerar el desarrollo agrícola, industrial, ganadero y comercial del país.

Para cumplir con lo anterior, se debe establecer un equilibrio deseable entre los recursos que se asignen para satisfacer los requerimientos de conservación y mejoramiento de las obras en servicio, y los destinados a construir nuevas obras. Esto es, los recursos humanos y materiales empleados deberán ser distribuidos conforme a dicha asignación, con base en el principio de que las obras en sí, no constituyen un fin, sino un medio para alcanzar metas de mayor trascendencia que concurran a activar el proceso evolutivo del país. Para lograr la cabal observancia de éste principio se requiere de una adecuada organización administrativa como apoyo eficaz de las labores constructivas. Este tiene plena ejecutoria práctica en lo referente a carreteras, constituyendo la guía fundamental para integrar las vastas zonas del territorio nacional, las carreteras propician el desplazamiento de numerosos usuarios y facilitan el transporte de los productos agropecuarios, materias primas y productos elaborados, entre los centros de producción y los centros de consumo. La red carretera es un medio de aprovechamiento para hacer llegar la justicia social a los diversos sectores del país. Conse -

cuentemente se ha tenido en consideración el efectivo beneficio que proporcionan las carreteras en cuánto permiten el transporte rápido y adecuado de las personas y cosas por la mayor parte del territorio nacional.

Las tareas colectivas en cuyo cumplimiento se encuentra empeñada el gobierno, y la necesidad de proporcionar empleo y vida digna a un creciente sector del pueblo mexicano, obliga a buscar la mejor forma de incorporar zonas potencialmente productivas, dentro de las cuales existe una actividad económica que debe ser impulsada. Por ello se ha concedido especial preferencia a las carreteras de penetración hacia regiones aun no beneficiadas, así como los caminos rurales que tienen como objetivo principal, comunicar las localidades que cuentan con más de 500 y menos de 2 500 habitantes, las cuales concentran más del 60% de la población rural de país. Esta medida se ha orientado a proporcionar a los núcleos campesinos la posibilidad de integrarse al esfuerzo económico nacional de manera fácilmente accesible.

Los estudios generales de planeación permiten definir las características más sobresalientes de los proyectos, y con base en la evaluación económica se determinan los índices de productividad y de rentabilidad de las obras así como el orden de preferencia para su cumplimiento. Se deberán efectuar numerosos reconocimientos para la selección de ruta de diversas carreteras conforme a propuestas derivadas de evaluaciones preliminares para determinar el costo de las obras y evaluar la posibilidad de ser incluidas en programa.

Se deberán definir las características de la circulación carretera en todo el territorio nacional, mediante estudios sistemáticos de origen y destino, aforos de tránsito y estudios de velocidad y -

tiempo de recorrido, todo lo cual nos permitirá definir la capacidad que para soportar la corriente de vehículos, tienen los distintos tramos de la red, pronosticar la época de su congestión y, en su caso proponer que se amplien y modernicen algunas carreteras o bien se construyan vías alternas. Esta tarea nos debe conducir también a estimar los volúmenes de tránsito que en el futuro se presentarán en las carreteras.

Colateralmente y de acuerdo con las autoridades locales deberán realizarse aforos en las cercanías de las grandes ciudades, para medir la relación que exista entre el tránsito urbano, suburbano y carretero o foráneo.

Deberá de ser emprendida una labor tendiente a promover los caminos rurales de acceso, con el fin de beneficiar el mayor número de población rural de la zona y de incrementar en casos de reconstrucción la eficiencia del servicio que los caminos existentes proporcionan. Así mismo se deberá estudiar los cruces a nivel entre carreteras y vías férreas, en las cuales se registran accidentes algunas veces fatales con el objeto de preparar soluciones adecuadas tendientes a evitarlos.

Para la posible localización de un camino, hacemos uso de dos tipos de reconocimientos, aéreo y terrestre. Tocante al reconocimiento aéreo, generalmente se apoya en la Fotogrametría, definida como la ciencia o el arte de obtener medidas por medio de fotografías. Comúnmente está considerada más acertadamente a marcar procedimientos para fotointerpretación y conversión de fotografías individuales en compuestas (llamadas mosaicos) y en mapas. La Fotogrametría en este sentido limitada y particularmente la basada en fotografías aéreas, está aumentando su importancia como un medio de tra

bajo para el ingeniero en carreteras. Sus aplicaciones aparecen no solo en la localización de caminos sino en la planeación, diseño geométrico, derechos de vía, drenaje, estudios de tránsito, clasificación e identificación de suelos, volúmenes de tierra, localización de materiales y condiciones topográficas del pavimento.

Las fotografías aéreas verticales, tomadas con la cámara enfocada verticalmente hacia abajo, son las más útiles para la elaboración de mapas de carreteras. El terreno que se va a reconocer se fotografía en vuelos paralelos, de tal forma que las fotografías individuales se traslapen tanto en dirección del vuelo (traslape longitudinal) como en los vuelos sucesivos (traslape transversal). Para usos estereoscópicos, el traslape longitudinal debe ser mayor que la mitad de la fotografía (no menor de 55% ni mayor de 65%) de tal manera que el centro (punto principal) de una fotografía está incluido en ambas fotos adyacentes. El traslape transversal deberá promediar un 25% con porcentajes menores de 15 o mayores de 55% - inaceptables en relación al ancho, altura y escala. La selección de la altura desde la cual las fotografías deben ser tomadas, depende de los usos que van a tener las mismas, solas o en los mapas a elaborar. Para la elaboración del mapa, intervienen los siguientes factores: la distancia focal de la cámara aérea, la combinación de seada en la escala del mapa y curvas de nivel y la relación de la escala mapa-fotografía. Esta última es, a propósito una función del proyecto estereoscópico usado para la elaboración del mapa.

Existen algunos aparatos que convierten datos aéreos fotográficos en mapas. Todos utilizan el concepto de que la zona en cuestión es vista en relieve cuando se observa estereoscópicamente un par de fotografías tomadas. Con estos instrumentos, pueden hacerse

mapas de excelente exactitud que muestran todos los detalles naturales y artificiales. También pueden ser dibujadas las curvas y calcular las cotas. Sin embargo, algunas partes que no pueden ser identificadas en las fotografías deberán ser localizadas en reconocimiento terrestre. En zonas boscosas, lógicamente, deben ser tomadas en cuenta como difíciles, ya que no hay visibilidad perfecta en las fotografías. Aunque a veces, la elaboración de mapas es posible en estas zonas cuando los árboles están sin follaje o considerando las diferentes alturas de los árboles en relación al suelo.

El resultado del estudio de las fotografías de vuelo a 4 000 m o 5 000 m de altura, para la localización preliminar, consiste en un plano a escala 1 : 10 000, o en croquis a la escala de las fotografías que indican los corredores o fajas de terreno apropiadas para la localización del camino, así como los ejes de las diferentes alternativas posibles, cuyos perfiles se dibujan por separado.

Para los reconocimientos terrestres es necesario un minucioso estudio por parte del personal debidamente especializado y con la experiencia necesaria en este tipo de labores.

Como primer paso debemos pensar en el estudio detallado de la ruta a seguir en función de cartas geográficas disponibles, levantamientos y mediante el empleo de aparatos de tipo portátil como son: brújula, para la medición de rumbos, barómetros (aneroide para medición o determinación de alturas), clisímetro para poder determinar pendientes ascendentes o descendentes, podómetros o cuenta pasos para determinar distancias, cámara fotográfica, etc.

El inicio, la terminación y los puntos intermedios de paso del camino, forman parte de los puntos obligados de paso. El estudio debe de ser de una faja con el primordial objeto de poder fijar los -



puntos obligados de paso; podemos mencionar que existen dos clases de puntos obligados de paso:

- 1) Puntos obligados por razones topográficas o técnicas, por ejemplo un puerto en una cordillera o un estrechamiento en el cauce de un río.
- 2) Puntos obligados por razones económicas, políticas o sociales, por ejemplo un centro de producción, agrícola, ganadero, minero, etc.

Podemos mencionar que un puerto es una salida de un valle o punto bajo rodeado de montañas. Estos puntos obligados de paso tienen una importancia decisiva en la localización y es lo primero que un ingeniero debe buscar en el proyecto de un trazo. En general podemos mencionar que el puerto más bajo que nos represente la menor longitud de línea será sin discusión el que deba ser elegido ya que se comprenderá para salir de un valle existirá más de un puerto. De acuerdo a lo anterior podemos mencionar que tendremos ahorro en el desarrollo longitudinal del camino y en consecuencia menor costo de construcción, así como de operación y mantenimiento.

Otro ejemplo de punto obligado es, el cruce de un río en donde ofrezca topográfica y geológicamente las mejores condiciones.

Punto obligado por razón política sería la cabecera de un distrito, por razón económica, la existencia de una mina, de una zona agrícola, ganadera, industrial, etc.

En la actualidad se cuenta con cartas de toda la República que comprenden a escala 1 : 50 000, curvas de nivel, poblados de toda índole, corrientes, caminos y ferrocarriles, cuencas hidrográficas, etc., que como auxiliares como antes se mencionó nos sirven para seleccionar una o varias rutas que posteriormente se estudiarán con todo detalle.

El personal que forma la brigada de reconocimiento, tiene como fin principal precisar en el terreno la posición preliminar de las rutas que van a estudiarse con más detalle posteriormente. El reconocimiento generalmente lo efectúan el Ing. en Jefe de la Brigada de Estudios, el Ingeniero localizador, el drenajista, el geólogo y el Ingeniero de suelos conjuntamente y como antes se mencionó, deben ser técnicos con gran experiencia principalmente en la construcción de caminos con objeto de precisar hasta donde sea posible todos los detalles y aspectos relacionados con la construcción misma. De la labor de estos técnicos dependen muchas ventajas o deficiencias que se presentan durante la construcción por ejemplo, acortamientos o alargamientos de la ruta estudiada, estructura geológica del terreno atravesado favorable, suelos consistentes y estables, cruces con ríos, arroyos y barrancas de costo mínimo y una enorme diversidad de factores que significan aumento o disminución en el costo de construcción y en la operación posterior.

El reconocimiento puede ser de distintas maneras según la zona, la vegetación, los medios de transporte que hay, etc. En los casos en que es posible, los reconocimientos por avión son muy instructivos, pero hay casos en que la vegetación es tan cerrada que aún en helicópteros no se puede llevar a cabo. Con el reconocimiento, se pretende llegar al resultado de obtener un croquis completando los datos que puedan obtenerse en las cartas, para con él hacer un plano aproximado de la región y los perfiles aproximados de las rutas probables. Hasta aquí todavía no se puede estar seguro de que las distancias, las pendientes, las elevaciones y demás datos, sean exactos, pero la idea que se obtiene, permite que se estudie o se descarte el camino o definitivamente sea escogida una ruta para pro

seguir con la localización. Con los datos obtenidos del reconocimiento pueden efectuarse anteproyectos con el objeto de precisar volúmenes de terracerías comparativas entre las rutas que se estudiarán con más detalles, los costos de operación de cada ruta, en función de la distancia, ascenso, descenso, curvatura y pendiente.

Los vuelos aéreos ofrecen un método útil para efectuar reconocimientos de carreteras. El exámen de las rutas posibles desde el aire dan una visión de conjunto que no puede obtenerse desde la tierra. Frecuentemente en este tipo de reconocimiento puede descartarse una o varias alternativas sin necesidad de un exámen posterior - desde la tierra, se puede también establecer puntos de control que en reconocimientos terrestres no fuera posible preverlos, así como también vislumbrar obstáculos para posteriormente evitarlos en el paso posterior del trazo.

Los vuelos después de que se hayan hecho el reconocimiento terrestre, son muy ventajosos al relacionar claramente el camino propuesto con los detalles del terreno circundante.

El estudio geotécnico consiste fundamentalmente en determinar las diferentes formaciones geológicas de que están constituidas las diferentes zonas por las que se atravesará con el camino. La primera etapa de este estudio puede realizarse en las mismas fotografías obtenidas de los vuelos del reconocimiento, pues sobre ellas se realizan los estudios de la fotointerpretación; también claro está, este estudio puede realizarse haciendo un recorrido sobre las probables rutas del camino.

Además de indentificar los diferentes tipos de formaciones, es conveniente determinar la disposición de las mismas pues de ellas - depende en varias ocasiones la bondad o no de una determinada ruta,

ya que influyen en forma determinante en los costos de construcción y conservación del camino, sobre todo cuando hay necesidad de practicar cortes porque la estabilidad de los taludes de los mismos dependerá de la disposición que tengan las capas constituyentes de la formación geológica, así por ejemplo cuando tenemos un anticlinal y queremos practicar un corte, debemos tener especial cuidado para determinar el echado de los estratos pues de él dependerá fundamen-talmente la conveniencia o no de construir esa ruta o definitivamente cambiar la localización. Otro dato interesante es detectar la -existencia o no de fallas en la zona y en caso de haberlas determi-nado con la mayor precisión posible, si están muertas o son activas todavía, ya que en el caso de que sean activas sin discusión alguna hay que evitar que el camino cruce por ellas, por el enorme daño -que ocasionarían.

Por lo que se refiere a zonas constituídas fundamentalmente -por suelo, se debe tener especial cuidado en lo que respecta al origen de los mismos, pues de él dependerán muchas características de su futuro comportamiento como por ejemplo, los taludes necesarios, -su capacidad para resistir cargas, etc. Esta última etapa normal -mente se realiza con observaciones directas en el campo y realizando algunos pequeños sondeos para verificar lo que se observa super-ficialmente.

Otro objetivo importante de este tipo de estudios es localizar la ubicación de aquellos sitios que pueden ser posibles bancos de -préstamos, así como también estimar su cubicación aproximada.

En toda obra de Ingeniería Civil y en particular en las obras-viales (caminos), el estudio del drenaje es uno de los aspectos so-bre los que hay que poner especial cuidado ya que de él dependerá -que dicha obra resulte buena desde el punto de vista económico, así

como desde el punto de vista técnico y operacional.

Por otro lado datos obtenidos de los diferentes caminos construídos a través de los años, demuestran que el costo de las obras de drenaje en los caminos, representa un valor que fluctua entre el 20% y el 30% del valor total de la obra. Además el mayor o menor número de obras de drenaje tiene una influencia determinante en la conservación del camino.

Como todo lo anteriormente dicho es consecuencia de la hidrología de la zona, y además es parte fundamental de ésta Tesis, haremos un estudio un poco más amplio en páginas siguientes.

Como conclusión acerca de los factores que influyen en la elección o localización de un camino podemos decir: que en toda obra de Ingeniería, procuramos siempre que por cada peso invertido, se obtenga un beneficio máximo.

Cuando se estudian varias rutas para elegir la más conveniente, ésta última debe tener no solamente el menor costo de construcción sino además el menor costo de operación y conservación. En resumen la ruta más económica es aquella que tiene el menor costo anual total, es decir, aquella en que la suma del costo anual de construcción y el costo anual de operación sea menor que en las otras rutas estudiadas.

Cuando analizamos las rutas factibles para unir dos puntos, ya sea que se trate de un nuevo camino o de una modificación al alineamiento actual, para mejorar la pendiente y la curvatura debemos tomar en consideración el volúmen de tránsito y tráfico que circula o circulará por esa obra vial. Si se trata de mejorar el alineamiento de un tramo en operación, se conoce el volúmen de tráfico actual y pueden determinarse las economías por acortamiento o por mejoramien-

to de la pendiente y la curvatura.

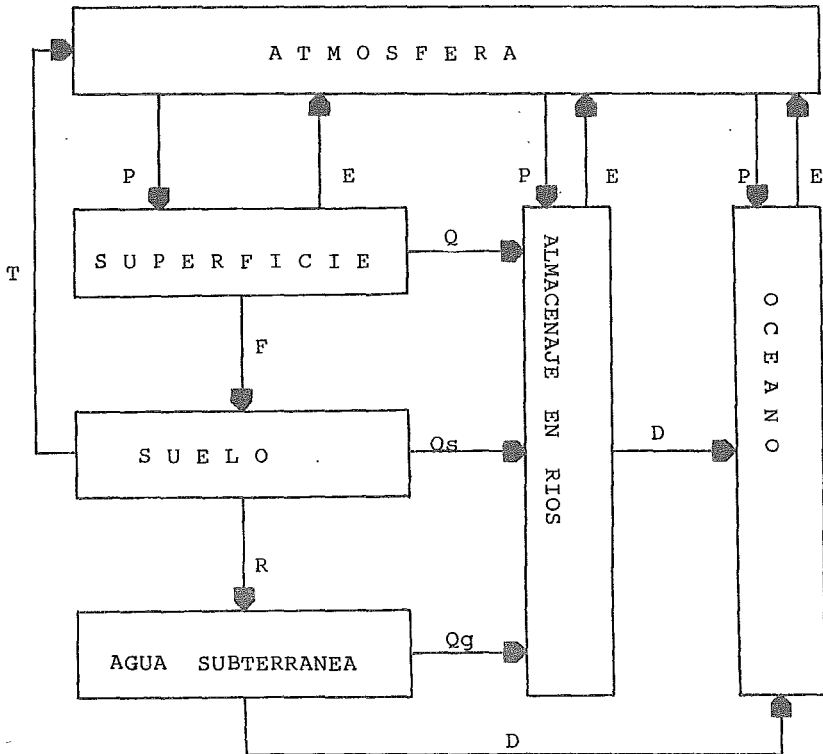
Si se trata de un camino nuevo, el tonelaje puede obtenerse por comparación con otras regiones similares, por el cálculo de la producción de las áreas cercanas y por el incremento de la misma, de acuerdo con los proyectos regionales de inmigración, industrias, etc.

#### 1.4 FACTORES HIDROLOGICOS

Una de las ciencias naturales que con su conocimiento nos da una excelente ayuda para proyectar una carretera que sea funcional, es la Hidrología, ciencia que trata sobre el estudio del agua, su ocurrencia, circulación y distribución sobre y debajo de la superficie terrestre.

Es conveniente, antes que nada, conocer la circulación general del agua, llamada Ciclo Hidrológico, que bien puede empezar con la evaporación de los océanos, el vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento, para que en determinadas condiciones el vapor se condense formando nubes que, a su vez, pueden ocasionar precipitaciones, generalmente en México en forma de lluvia. De la precipitación sobre el terreno, una parte es retenida por la superficie, otra escurre sobre ella y la restante penetra en el suelo. El agua retenida es devuelta a la atmósfera por evaporación y por la transpiración de las plantas. La parte que escurre sobre la superficie es drenada por arroyos y ríos hasta el océano; aunque parte se pierde por evaporación. El agua que se infiltra satisface la humedad del suelo y abastece los depósitos subterráneos, de donde puede fluir hacia las corrientes de los ríos, o bien descargar a los océanos; la que queda detenida en la capa vegetal del suelo es regresada a la atmósfera por transpiración.

La anterior es una descripción simplificada y cualitativa del llamado Ciclo Hidrológico, que se muestra en forma gráfica en el esquema siguiente.



- |                                    |                                |
|------------------------------------|--------------------------------|
| E.- EVAPORACION                    | D.- DESCARGA A LOS OCEANOS     |
| Q.- ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL      | T.- TRANSPIRACION              |
| F.- INFILTRACION                   | Qg.- ESCURRIMIENTO SUBTERRANEO |
| P.- PRECIPITACION                  | R.- RECARGA                    |
| Qs.- ESCURRIMIENTO SUBSUPERFICIAL. |                                |

FIG. 1

CICLO HIDROLOGICO. REPRESENTACION CUALITATIVA



Del Ciclo Hidrológico, la Hidrología solamente no se encarga del estudio de la Atmósfera, de quién se encarga la Meteorología y del Océano que es tema de la Oceanografía.

Debido a la complejidad de los procesos naturales que intervienen en los fenómenos hidrológicos, es difícil examinarlos mediante un razonamiento deductivo riguroso, por lo que no siempre es aplicable una ley física fundamental para determinar el resultado hidrológico esperado. Es más razonable partir de una serie de datos observados, hacerles un análisis estadístico y después tratar de establecer la norma que gobierna dichos sucesos.

Lo anterior establece la necesidad de contar con registros de varios años de las diversas componentes que intervienen en los problemas hidrológicos. En la República Mexicana las principales fuentes de información sobre datos hidrológicos son: la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la Comisión Federal de Electricidad, la Secretaría de Programación y Presupuesto a través de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL) y la Comisión Internacional de Límites y Aguas.

Es conveniente enunciar diversos conceptos que son parte del estudio de la Hidrología, como son:

a) LA CUENCA. El área que contribuye al escurrimiento y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios se conoce como Cuenca de drenaje de una corriente, que se encuentra limitada por su parte aguas, que es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida distribuyendo el escurrimiento, originado por la precipitación, que fluye hacia el punto de salida de la cuenca.

El escurrimiento del agua en una cuenca depende de diversos factores, siendo uno de los mas importantes las características fisiográficas de la cuenca, entre éstas se puede mencionar principalmente su área, tipo de vegetación que exista en la cuenca, tipo de suelo de la misma, pendiente, características de su cauce principal, - como son su longitud y pendiente, elevación de la cuenca y red de drenaje.

b) PRECIPITACION. El agua proveniente de la atmósfera, en cualquier estado físico, que es recibida por la superficie terrestre, - recibe el nombre de Precipitación, para que ésta se origine es necesario que una parte de la atmósfera se enfríe hasta que el aire se sature con el vapor de agua, originándose la condensación del vapor atmosférico. El enfriamiento de la atmósfera se logra por la elevación del aire.

Los aparatos de medición de la Precipitación se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de la lluvia u otro tipo de precipitación, registrando su altura. Los aparatos de medición se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones en Pluviómetros y Pluviógrafos.

El Pluviómetro consiste en un recipiente cilíndrico de lámina de aproximadamente 20 cm de diámetro y de 60 cm de altura. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica con una probeta de sección 10 veces menor que la de la tapa. La medición de la altura de lluvia se hace con una aproximación de hasta décimos de milímetro, ya que cada centímetro medido en la probeta corresponde a un milímetro de altura de lluvia, generalmente se acostumbra hacer una lectura cada 24 horas.

En cuanto al Pluviógrafo, por medio de este aparato se lleva -

un registro de altura de lluvia contra tiempo. Los mas comunes son de forma cilíndrica, y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores, que originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador montado en un sistema de reloj. Como el papel registrador tiene un cierto rango en cuanto a la altura de registro, una vez que la aguja llega al borde superior automáticamente regresa al borde inferior y sigue registrando.

Al utilizar el Pluviógrafo podemos conocer la intensidad de precipitación  $i$ , que se define como la altura de precipitación entre el tiempo en que se originó.

c) EL ESCURRIMIENTO. Es la parte de la precipitación drenada por las corrientes de las cuencas hasta su salida. Existen tres clases de Ecurrimiento, que son: Superficial, Subsuperficial y Subterráneo.

El Ecurrimiento Superficial es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y escurre sobre la superficie del suelo y la red de drenaje hasta salir de la cuenca. Se puede decir que su efecto sobre el Ecurrimiento Total es directo y sólo existirá durante una tormenta e inmediatamente después de que ésta cese. La parte de la precipitación que contribuye al Ecurrimiento Superficial se denomina precipitación en exceso.

El Ecurrimiento Subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada en la superficie del suelo, pero que se mueve lateralmente sobre el horizonte superior del mismo. Esto puede ocurrir cuando exista un estrato impermeable paralelo a la superficie del suelo; su efecto puede ser inmediato o retardado, dependiendo de las características del suelo. En general si es inmediato se le da el mismo tratamiento que al Ecurrimiento Superficial; en caso contrario, se

le considera como Escurrimiento Subterráneo.

El Escurrimiento Subterráneo es el que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra a través del suelo, una vez que éste se ha saturado. La contribución del Escurrimiento Subterráneo al Total varía muy lentamente con respecto al Superficial. Para analizar el Escurrimiento Total puede considerársele compuesto por los Escurrimientos Directo y Base. Este último proviene del agua subterránea, y el Directo es originado por el Escurrimiento Superficial.

La consideración anterior tiene como finalidad distinguir la participación de cada Escurrimiento. A la salida de una cuenca, en el caso de tener una corriente perenne (contiene agua todo el tiempo, ya que el nivel freático siempre permanece por arriba del fondo del cauce), mientras no ocurra tormenta alguna, por dicha corriente solo se tendrá Escurrimiento Base debido al agua subterránea; al originarse una tormenta, si la cuenca es pequeña, casi inmediatamente se tendrá también Escurrimiento Directo. Ahora bien, el efecto de la tormenta se manifiesta directamente sobre el Escurrimiento Total y puede suceder que se requiera bastante tiempo para que el agua que se infiltra, y pase a formar parte del agua subterránea, sea drenada.

d) LA INFILTRACION. Es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático. El agua primero satisface la deficiencia de humedad del suelo y, después, cualquier exceso pasa a formar parte del agua subterránea.

La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones se llama capacidad de infiltración. Durante una tormenta solo se satisface la capacidad de infiltración mientras ocu

rre la lluvia en exceso. Antes o después de la lluvia en exceso, la capacidad de infiltración está ligada a la intensidad de lluvia.

La rama de la Hidrología que tiene particular relación con los Ingenieros de caminos, trata de la frecuencia e intensidad de la precipitación y la frecuencia con la que ésta origina máximos de escurrimientos que igualan o excedan ciertos valores críticos. También es de importancia la distribución de la precipitación a través de las estaciones, ya que influye sobre el crecimiento de los pastos, arbustos y otras plantas útiles para el control de la erosión, o mejoramiento de los lados del camino. Por lo anterior al Ingeniero de caminos le interesa conocer no sólo el escurrimiento máximo, sino también su frecuencia; por razones económicas tal vez no se justificaría proyectar una obra para una intensidad de lluvia que ocurriera sólo una vez en 50 a 100 años; mientras mayor sea la intensidad de una precipitación, menor será su frecuencia.

### 1.5 FLUJO DE AGUA EN SUELOS.

Los problemas relacionados con el flujo de agua que se infiltra a través de los suelos tienen extraordinaria importancia dentro de la tecnología de las vías terrestres. La importancia se conecta sobre todo con la influencia de la infiltración del agua sobre la estabilidad general de las masas de suelo y, en menor grado, con las posibilidades que tiene el agua de infiltración de producir turbificación, erosiones internas, etc.

El agua es uno de los factores de mayor influencia en la estabilidad y el comportamiento mecánico de las obras de Ingeniería en que interviene el suelo. Si se puede observar, en el caso de obras viales, la relación que año con año se repita entre las fallas en muchas laderas naturales, bordes, cortes, etc. y la época de lluvias e intensidad de éstas.

En toda obra de Ingeniería el agua procedente de las precipitaciones pluviales, no solo la que corre superficialmente, podría ser perjudicial al erosionar y socavar parte de su estructura, sino también aquella agua que por algún medio se infiltra y fluye dentro de la masa de suelo, ya que es probable que tienda a causar problemas tales como: desplazamientos verticales y horizontales que fluyen desfavorablemente en el buen funcionamiento de la obra y en la estabilidad de la misma.

En el caso de caminos, el agua puede perjudicar seriamente a los pavimentos y a las terracerías, al llegar ésta a esos sitios, ya sea por elevación del nivel de aguas freáticas, por filtraciones a través de la obra, etc. Es por esto que los técnicos deben poner una atención especial al agua subterránea y tratar de controlarla por medio de obras de subdrenaje. En una carretera solo serán -

colocadas en partes localizadas en donde se concentren las aguas - subterráneas.

Cuando el agua fluye por el interior de una masa de suelo, por definición lo hace con una presión hidrodinámica, superior a la hidrostática correspondiente a la condición de equilibrio. Este hecho produce varios efectos importantes. En primer lugar, según la dirección del flujo, la presión hidrodinámica puede alterar el peso volúmetrico sumergido del suelo; por ejemplo si el flujo ocurre verticalmente hacia arriba, se ejerce un efecto boyante sobre las partículas del suelo, que equivale a una disminución del peso volumétrico. En segundo lugar, el aumento en la presión del agua produce una disminución correspondiente en la presión efectiva y, por lo tanto, en la resistencia al esfuerzo cortante de la misma a través de la cual ocurre la filtración, de modo que, por ejemplo, un talud estable en condición exenta de flujo, podrá no serlo si se presenta dicha condición.

El agua que se infiltra a través del suelo también puede producir arrastre de partículas sólidas que, de no recibir debida atención puede poner en peligro la estabilidad de cualquier estructura de tierra, al dejarla materialmente surcada por túneles y galerías formadas por erosión.

El agua del suelo puede clasificarse en tres categorías, dependiendo de su movilidad dentro de él.

En primer lugar está el agua absorbida ligada a las partículas de suelo por fuerzas de origen eléctrico, que no se mueve en el interior de la capa porosa y que, por lo tanto, no participa en el flujo.

En segundo lugar, aparece el agua capilar, cuyo flujo presenta

gran importancia en algunas cuestiones de mecánica de suelos, tales como el humedecimiento de un pavimento por flujo ascendente y otras análogas.

En tercero, existe en el suelo la llamada agua libre o gravitacional que, bajo el efecto de la gravedad terrestre, puede moverse en el interior de la masa sin otro obstáculo que el que le imponen su viscosidad y la trama estructural del suelo.

En una masa de suelo, el agua gravitacional está separada del agua capilar por una superficie a la que se denomina nivel freático.

Se llama agua capilar a la que está retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad. Incluye la película de agua que queda rodeando los granos del suelo y el agua que llena los poros más pequeños después que se ha avenado el agua de gravitación.

Se considera nivel freático a la superficie que constituye el lugar geométrico de los puntos en que el agua posee una presión igual a la atmosférica.

Las velocidades del movimiento de las aguas subterráneas es casi siempre lento, lo que hace que el factor velocidad (cinético) sea despreciable. La energía que causa el movimiento es la suma de los dos conceptos de energía de potencia: presión y elevación. Este potencial para el movimiento o corriente recibe el nombre de "carga hidráulica".

El movimiento de las aguas subterráneas es resultado de la fuerza disponible para mover el agua a través del suelo debido a diferencias en el contenido de energía, es decir, diferencias de carga hidráulica. El gradiente hidráulico es la diferencia de carga hidráulica en dos puntos distintos, dividida por la distancia entre los dos puntos, medida a lo largo del curso del movimiento.



La Red de Flujo

En la práctica, el trazo de una red de flujo comprende los siguientes pasos:

1) Delimitación de la zona de flujo que se desea estudiar, - analizando sus condiciones específicas de frontera.

2) Trazo de dos familias de curvas ortogonales entre sí que - satisfagan las condiciones de frontera.

No se pueden dar muchas reglas generales para definir que - - fronteras pueda tener en un caso dado una zona de flujo en estudio, pero a continuación se mencionan algunos casos muy frecuentes respecto a los que si es posible decir algo como guía de criterio.

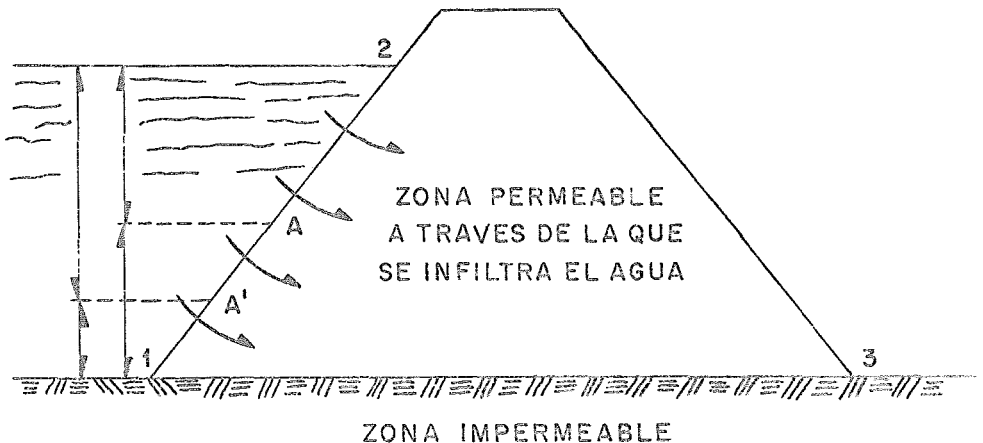


FIG. 2 ANÁLISIS DE ALGUNAS CONDICIONES DE FRONTERA EN REDES DE FLUJO.

De acuerdo con la figura Núm. 2 considerese en primer lugar - el caso ilustrado de la línea 1 - 2, que es evidentemente una frontera de la zona por la que se infiltra el agua a través del terraplén.

Al analizar lo que sucede en los puntos A y A' puede notarse que a lo largo de esa línea son diferentes las cargas de presión - (representadas por las alturas de agua medidas del punto a la superficie); las cargas de posición también lo son, si se toma el plano 1 - 3 como plano de comparación por ejemplo, pero la suma de ambas, o sea la carga hidráulica total, es la misma en todos los puntos y está representada por la distancia comprendida entre la horizontal 1 - 3 y el nivel de agua. Así, la línea 1 - 2 es una línea equipotencial.

Considerese ahora el caso de la frontera 1 - 3. El agua que llegue a hacer contacto con esa línea deberá seguirla en su recorrido, pues la roca impermeable no le permite atravezarla. Así, la línea 1 - 3, es una línea de flujo. También puede establecerse como regla general que es una línea de flujo, el contacto entre un medio impermeable y otro permeable a través del cual se infiltra el agua.

#### Agua capilar en carreteras

Es obvio que los diferentes sistemas de subdrenaje darán salida al agua contenida en el suelo en donde dichas obras se localizan siempre y cuando las presiones en el agua sean iguales o superiores a la presión atmosférica y que no drenarán agua alguna de las zonas en que ésta se encuentre a presiones menores que la atmosférica, es decir donde el agua se encuentre trabajando a esfuerzos de tensión. Las zonas donde el agua se encuentra trabajando a

tensión comúnmente son referidas como zonas de agua capilar. La potencialidad capilar de un suelo depende de varias de sus características, pero la granulometría, es la que generalmente sirve mejor para describirla. En las gravas limpias, la altura potencial de capilaridad es prácticamente nula, llegando al orden de los decímetros en las arenas finas. En los limos típicos no plásticos suele quedar dentro del orden del metro y en las arcillas la altura potencial de capilaridad puede alcanzar el orden de magnitud de las decenas y aún de las centenas de metros. Específicamente, como por ejemplo, puede citarse la arcilla del valle de México cuya altura potencial de capilaridad es superior a los 100 m.

Quando se construye una obra de drenaje, por ejemplo una hilera de drenes transversales de penetración, lo que se está haciendo en el terreno es introducir una frontera cuya presión será la atmosférica, por lo que la hilera de drenes introduce en la zona de flujo una frontera de presión nula. Si la presión en el agua en donde está colocada esta hilera de drenes es superior a la atmosférica se crea un gradiente hidráulico entre dicha hilera y su zona vecina, fluyendo el agua a los drenes y de éstos al exterior simplemente por gravedad. Lo anterior produce una modificación del flujo en la zona en que ellos se localizan. La modificación de la zona de flujo consiste tanto en la dirección y magnitud de las fuerzas de filtración como en las presiones neutras del agua en la zona afectada. En la fig. 3, se ilustran esquemáticamente los anteriores efectos.

En la figura se supone que se ha practicado un corte en un terreno arcilloso cuyo nivel freático ocupaba la posición señalada por la línea I; el sólo hecho de practicar el corte ha introdu

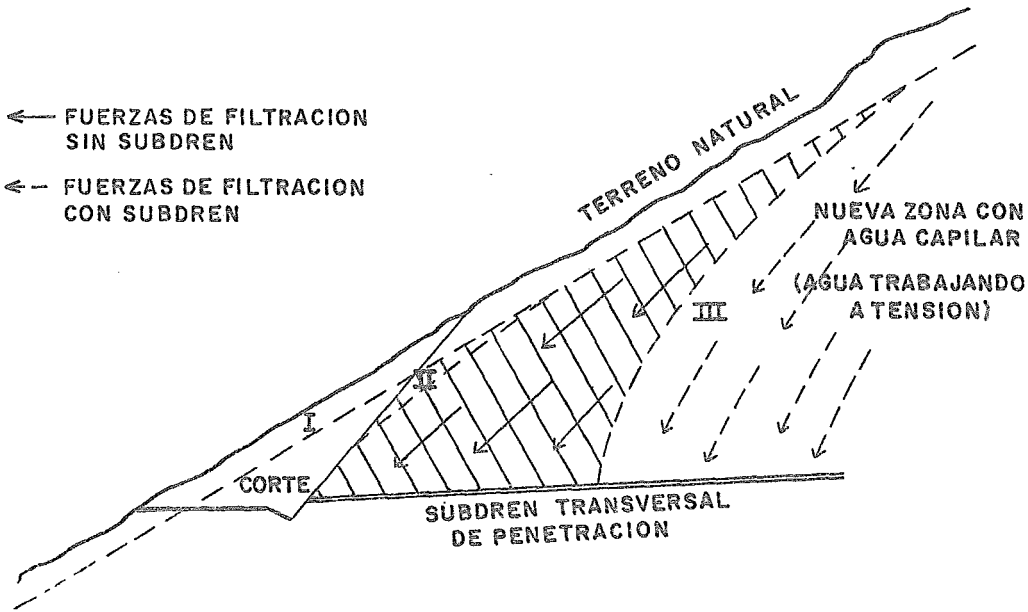


FIG. 3 ESQUEMA DE LA INFLUENCIA DE UN SUBDREN TRANSVERSAL DE PENETRACION EN EL TALUD DE UN CORTE SUJETO A FLUJO DE AGUA.

cido un cambio en la posición del nivel freático, que pasará a ocupar la posición marcada con II en la fig. 3. Independientemente, - el corte producirá los efectos de atracción del flujo del agua de - los que se ha hablado. Si se supone ahora que se coloca una hilera de drenes de penetración transversal, el nivel freático adoptara un perfil similar al III; en toda la zona rayada de la figura se han - substituído presiones neutrales de un valor superior a la presión → atmosférica por tensiones en el agua que, al producir por reacción - presión en la estructura sólida del suelo, habrán aumentado los esfuerzos efectivos en la zona y, correspondientemente, la resisten cia al esfuerzo cortante detrás del talud del corte. Este efecto be néfico es debido a que en toda la zona rayada el agua trabaja a la-

tensión después de colocar el subdren y es independiente del cambio favorable en la dirección de las fuerzas de filtración que el subdren también produce.

Estudios realizados han demostrado que existe una inter-relación entre la humedad relativa ambiente y la presión del agua en suelo, cuando estas dos fases están en equilibrio. Así, si en un cierto lugar la humedad relativa fuese siempre de 100% y se tuviese un suelo arcilloso, el nivel freático necesariamente se encontraría cerca de la superficie del terreno y, recíprocamente, un nivel freático próximo a la superficie o en ella indicará, en un suelo arcilloso, que la humedad relativa en el lugar es cercana al 100%, suponiendo condiciones tales que las fases líquida y gaseosa estén en equilibrio; por otra parte, una humedad relativa constantemente muy baja en un cierto lugar implica un nivel freático profundo.

Las ideas anteriores tienen repercusión en la técnica ingenieril, concretamente en lo que se refiera a protección de pavimentos contra invasión de agua capilar. Supongase un lugar en que el subsuelo sea arcilloso y en el que el nivel freático esté próximo a la superficie (humedad relativa alta en el ambiente); en este caso, a no ser que la base y la sub-base de un pavimento tengan potencialidad capilar nula, llegarán a saturarse por capilaridad, aún cuando se hallan construido con un contenido de agua relativamente bajo. Ahora será conveniente aislar, desde el punto de vista de ascensión del agua capilar, las distintas capas del pavimento, para evitar la ascensión del agua. El aislamiento deberá realizarse a base de un material con potencialidad capilar nula (por ejemplo, grava limpia), pues otro material, por impermeable que sea, terminará por saturar el pavimento al cabo del tiempo necesario. En este caso, una capa -

altamente permeable entre la sub-base y el terraplen, con sus correspondientes prolongaciones a los lados del pavimento, cumplirá con la finalidad perseguida.

El construir la base y la sub-base de un pavimento con materiales de potencialidad capilar muy baja es indispensable también en lugares con alta humedad ambiente, pues de otro modo, los materiales tomarán agua del exterior y acabarán por saturarse.

En lugares con humedad ambiente muy baja, en que existe una fuerte evaporación superficial, al colocar una terracería y un pavimento sobre un subsuelo arcilloso, se interrumpe la evaporación en esa faja y esa ruptura del equilibrio hidráulico preexistente propicia la acumulación del agua y la expansión del subsuelo arcilloso bajo la estructura de tierra. Lo anterior produce un levantamiento de la parte central de la sección del terraplén pudiendo aparecer grietas longitudinales en los acotamientos de la carretera, causados por los esfuerzos de tensión debidos a la flexión en las zonas extremas del terraplén. Una solución práctica para estos problemas ha sido el ampliar lateralmente la sección del terraplén (que será usualmente de pequeña altura), a fin de que las grietas resulten inofensivas. Adicionalmente, conviene también que la base y sub-base tengan baja potencialidad capilar.

CAPITULO II

NECESIDAD DE OBRAS DE PROTECCION PARA  
CARRETERAS

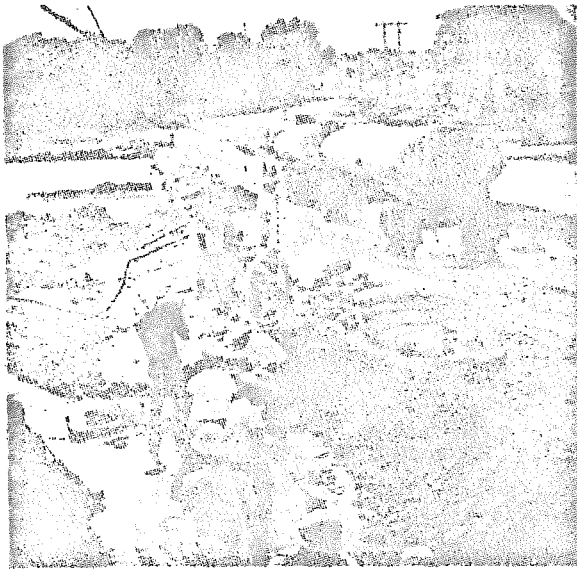
## 2.1 PROBLEMAS EN CARRETERA POR FALTA DE PROTECCION

Se ha insistido mucho sobre la importancia de las técnicas destinadas a recoger, canalizar y eliminar las aguas susceptibles de perjudicar de cualquier modo a una carretera. Las aguas amenazan a estas estructuras de muy diversas maneras; procedentes de las lluvias, se infiltran o discurren por la superficie del terreno. Las aguas que fluyen superficialmente provocan erosiones en cortes y terraplenes y tienden a correr hacia las cañadas y bajos topográficos, ahí se almacenan a causa del obstáculo que representa el borde de tierra, a no ser que sean oportunamente eliminadas por una alcantarilla construída a través de la estructura; al almacenarse se infiltran a través del bordo produciendo en él saturación que abate su resistencia al esfuerzo cortante y propicia asentamientos, fuerzas de filtración que amenazan su estabilidad. Las aguas que se infiltran en el terreno tienden a brotar en los cortes practicados para alisar las carreteras o en las coronas de las mismas, amenazando la estabilidad de los primeros y el buen comportamiento de los pavimentos que cubren las segundas.



ENCHARCAMIENTO DE AGUA EN EL ACOTAMIENTO, POR FALTA DE UN BUEN BOMBEO EN EL, CON POSIBILIDAD DE INFILTRACION A LAS CAPAS INFERIORES. CARRETERA VERACRUZ - ALVARADO.

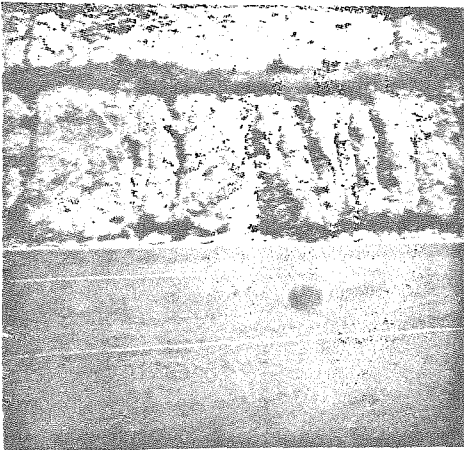




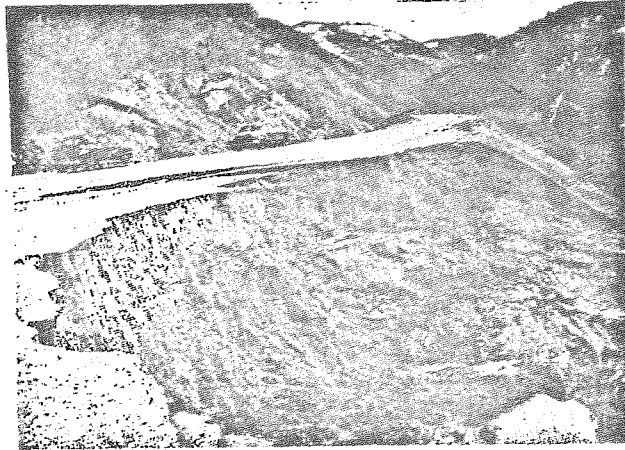
FALLAS EN CARRETERAS DE-  
BIDO AL MAL FUNCIONAMEN-  
TO DE ALCANTARILLAS QUE  
NO FUERON CONSTRUIDAS  
EN FORMA ADECUADA.



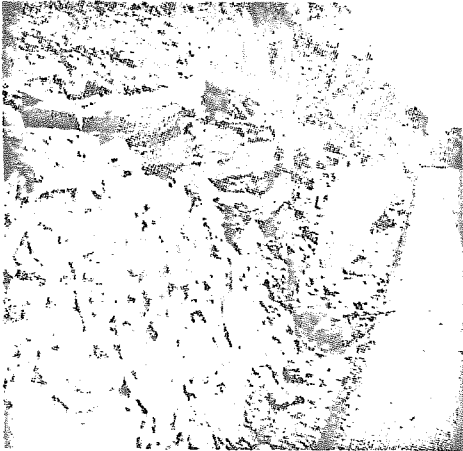
DESTRUCCION DE UN LAVADERO, DEBIDO A LA MALA CALIDAD EN LA UNION CON EL BORDILLO Y FALTA DE ANCLAJE. CARRETERA VERA-CRUZ - ALVARADO.



EROSION EN TALUDES, TRAYENDO COMO CONSECUENCIA INVASION DE MATERIAL EN EL CAMINO. CARRETERA MEXICO - PACHUCA.



EL DESLIZAMIENTO DEL TERRENO HA DESTRUIDO UNA PARTE DE ESTE CAMINO EN MONTANA. UNA DE LAS CAUSAS BASICAS DE ESTE FENOMENO NO CONSISTE EN LA PRESENCIA DE HUMEDAD EXCESIVA, QUE VUELVE INESTABLE LA MASA DE TIERRA.



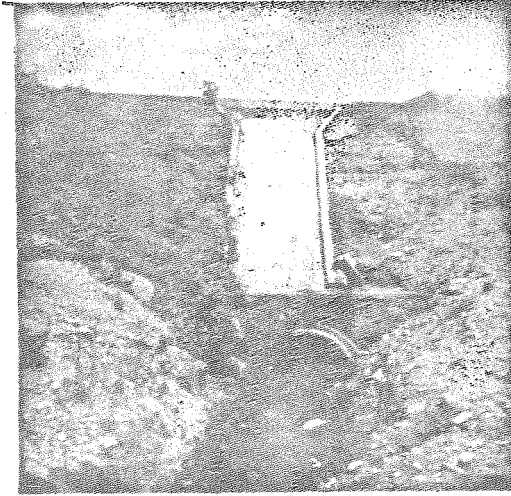
FALLA DE UN MURO DE RETENCION. CARRETERA MEXICO - PACHUCA.



FALLA DE PAVIMENTO DEBIDO A LA MALA COLOCACION DEL LAVADERO. CARRETERA VERACRUZ - CORDOBA.

Los problemas de drenaje superficial o subterráneo (subdrenaje) son de la mayor importancia en la construcción de carreteras y se reflejan quizá más que cualquiera otros en la duración y buen funcionamiento de estas estructuras, así como en los costos de su conservación. Para muchos Ingenieros con experiencia caminera, las precauciones de drenaje y subdrenaje son el capítulo fundamental a cuidar en el proyecto y construcción de las carreteras; pues una carretera mal drenada está, independientemente del cuidado puesto en las demás etapas de su diseño y construcción, inexorablemente condenada a una rápida destrucción si ha de estar bajo la acción de las aguas, aunque ésta no sea particularmente intensa y ello sin que importen consideraciones adicionales, tales como intensidad del tránsito u otras que, en cambio, palián a veces las consecuencias de deficiencias en otros aspectos de la construcción, tales como el buen comportamiento de terraplenes por ejemplo.

Otros problemas en carreteras se presentan cuando una alcantarilla insuficiente hidráulicamente hablando (atrasamiento de ella por ejemplo), producirá el almacenamiento del agua, aguas arriba del terraplén; aun cuando esta agua no llegue a desbordar sobre la corona de dicho terraplén (en cuyo caso sus efectos seguramente serán destructivos), el almacenamiento tiende a producir filtraciones al cuerpo del terraplén que resultan ser nocivos para la estructura.



ALCANTARILLA AZOLVADA. CARRETERA: LIBRAMIENTO NORTE DE LA -  
CIUDAD DE MEXICO.

La falta de lavaderos podía en un momento dado provocar ciertos problemas en una carretera, ya que las aguas bajarían prácticamente por los taludes del terraplén ocasionando su erosión y destrucción parcial.

Como es natural, se presentarán condiciones críticas en aquellas zonas en que se reúnen una alta precipitación pluvial con características pobres en cuanto a resistencia y deformabilidad de los suelos que constituyen las terracerías de la obra vial, su terreno de cimentación y aún su inmediato contorno geológico.

Cuando se construye un corte en una carretera se crea una frontera de esfuerzos exteriores nulos, lo que equivale a haber efectuado una descarga en el terreno natural; esta descarga produce disminución de los esfuerzos normales y aumento de los cortantes en el terreno localizado detrás del talud del corte. La disminución de los esfuerzos normales causa, a su vez, disminución de la resistencia -

del suelo al esfuerzo cortante, por lo que, en definitiva, todo -  
contribuye a comprometer la estabilidad de la masa del suelo en que  
se ubica el talud. Además el talud del corte representa también una  
frontera a la presión atmosférica, por lo que cualquier flujo pre -  
viamente existente dentro de la masa del suelo tenderá a salir pre-  
cisamente por esa superficie y por la cama del corte efectuado. Co-  
mo se ha dicho, el agua que tiende a salir por el corte produce dos  
efectos nocivos: genera fuerzas de filtración en el sentido desfavo-  
rable y propicia las expansiones volumétricas de la masa de suelo -  
causadas en última estancia por la descarga efectuada; todo esto --  
conduce también a que la estabilidad del corte se vea disminuida.  
Como es obvio a partir de lo arriba escrito, las etapas más críti-  
cas para la estabilidad de un talud o un muro de retención suele -  
ser las épocas de alta precipitación pluvial o inmediatamente posteri-  
ores a ellas.

## 2.2 DRENAJE.

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

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

Con el paso del tiempo se ha visto la importancia que tiene la aplicación de técnicas (procesos constructivos), para la eliminación, recopilación y canalización de las aguas que llegan a fluir por una carretera.

Las aguas amenazan estas estructuras de diversas maneras; ya sea por el agua producto de la lluvia: la cual fluye superficialmente o se infiltra en el terreno; el agua de ríos subterráneos; etc. Las aguas que fluyen superficialmente provocan erosiones en los cortes y terraplenes, que fluyen hacia un bajo o una cañada donde tiene que ser eliminada por una estructura de drenaje transversal (alcantarilla o puente), si no es así, estas aguas se estancan y empiezan a infiltrarse en el terreno, produciéndose una saturación que quita resistencia al material y por tal motivo dan origen a asentamientos, tubificaciones y filtraciones que ponen en peligro la estructura. El agua que se infiltra trata de aflorar o salir en los cortes donde se encuentra alojada la carretera o en la corona de ésta, de donde se ve amenazada la estabilidad de la misma

y el buen comportamiento del pavimento de la carretera.

Los problemas por drenaje superficial o subdrenaje son, se puede decir, los de mayor importancia en la construcción de carreteras; y son estos problemas, los que mayormente influyen en la duración y buen funcionamiento de tales estructuras, así como en su costo de conservación.

Para muchos proyectistas las precauciones de drenaje y subdrenaje son la parte fundamental del proyecto a cuidar en una carretera, pues una estructura mal drenada está destinada a una rápida destrucción, si ha de estar bajo la acción del agua; independientemente del cuidado proporcionado a las etapas de diseño y construcción.

#### 2.2.1. DRENAJE SUPERFICIAL.

Se llama drenaje superficial al que tiende a eliminar el agua que escurre encima del terreno o del camino, sea que provenga directamente de lluvia, de escurrideros naturales o de aguas almacenadas.

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

A continuación se hará una breve descripción de las principales estructuras que comprende el drenaje superficial.

a) LOS CRUCES.- Los principales cruces de agua en un camino los constituyen las alcantarillas y los puentes, responsables del drenaje transversal de la vía terrestre; es decir, del paso de grandes masas de agua, arroyos, ríos, etc. a través de la obra.



Suele llamarse a los puentes obras de drenaje mayor, a las alcantarillas de drenaje menor. La frontera entre ambos tipos de estructura no está, naturalmente definida; convencionalmente se acepta en México que un puente es la obra que tiene algún claro de longitud mayor que 6 m, reservándose el nombre de alcantarilla para estructuras resueltas con claros menores de 6 m que pudieran repetirse varias veces, dando a la obra en conjunto una longitud mas grande que ese límite.

En el presente trabajo se referirá brevemente solo a las alcantarillas, dejando a un lado los puentes que constituyen en sí un campo muy amplio por tratar.

Para la localización de las alcantarillas se considera su alineamiento horizontal y vertical. El alineamiento horizontal de la alcantarilla, debe procurarse que coincida con el cauce, ya que así será mas eficiente, sin embargo en cauces de curso variable, éste puede rectificarse y así obtener mayor velocidad. Generalmente las alcantarillas se localizan en el fondo del arroyo, cañada o depresión que desaguarán, en los puntos bajos del perfil es conveniente colocarlos para dar salida al agua que de los lados escurre, el espaciamiento de estas alcantarillas está de acuerdo con la pendiente, clase de suelo, ancho de la sección y según la importancia del camino.

En lo que se refiere al alineamiento vertical, conviene dar a las alcantarillas igual pendiente que la del lecho de la corriente ya que si se modifica ésta, se azolvará la entrada o erosionará la salida dependiendo del cambio de pendiente. Sin embargo por obtener economía en el volumen de terracerías, es necesario a veces modificar la pendiente del cauce sacrificando en parte el buen funciona -

miento de la obra, los cambios de pendiente se suavizan mediante canalizaciones convenientes, favoreciendo así el funcionamiento hidráulico.

En cuanto a estudios hidrológicos el problema es semejante al de los puentes, aunque en menor escala, tomando como base los resultados obtenidos por los estudios hidrológicos, se calcula el área hidráulica necesaria que es capaz de dejar pasar un determinado gasto (Q) producto de la precipitación y escurrimiento del lugar.

Estos son algunos procedimientos para calcular el área hidráulica necesaria.

POR COMPARACION.- Este método es aplicable cuando se va a construir una alcantarilla donde ya existía otra, en este caso sirven de base las huellas visibles o los informes de las personas del lugar, siempre y cuando los informes se refieran a no menos de 10 años será entonces posible proporcionar correctamente la capacidad de la nueva alcantarilla por comparación con el área hidráulica existente.

PROCEDIMIENTO EMPIRICO.- Por lo que respecta a este procedimiento, se aplicará si no existe ninguna estructura y especialmente cuando no hay datos respecto al gasto máximo del arroyo, ni de la precipitación pluvial, consiste en el empleo de la fórmula empírica de Talbot ya establecida:

$$a = 0.183 c \sqrt[4]{A^3}$$

Donde: a= Área hidráulica que deberá tener la alcantarilla en m.

c= El coeficiente de escurrimiento, función de la naturaleza del área drenada.

A= Área drenada en hectáreas.

Indudablemente que la fórmula de Talbot no es muy general, - pues fue deducida para un caso especial, con cierta precipitación-pluvial (100 mm. por hora), para una velocidad de 3 m/seg y para - determinadas áreas de escurrimiento; sin embargo como las áreas - drenadas en nuestra país son generalmente menores que las norteamericanas para las cuales se elaboró la fórmula de Talbot, se cree - que en los casos comunes de alcantarillas, dará buenos resultados.

El éxito de la fórmula de Talbot o de cualquier otra empírica estriba en la determinación del coeficiente de escurrimiento para lo cual también es necesario tener una amplia experiencia. El coeficiente depende de la naturaleza del área por drenar. A continuación se da una tabla con los valores mas usuales de "c".

NATURALEZA DEL TERRENO	COEFICIENTE
TERRENO PLANO	0.20
TERRENO LIGERAMENTE ONDULADO	0.30
TERRENO ONDULADO	0.50
LOMERIO	0.60
LOMERIO FUERTE	0.80
MONTAÑOSO	0.90-1.00

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO "c" PARA LA FORMULA DE TALBOT.

TABLA 6

Para usar la fórmula de Talbot es necesario conocer el área - drenada, que puede tomarse de cartas geográficas o bien medirse directamente sobre el terreno. Si se dispone de cartas geográficas - configuradas, en las que puede determinarse la ubicación de los - parteaguas bastará con tomarla de esas cotas y calcular el área hidráulica por medio de la fórmula de Talbot. En el estudio y proyecu

to del alcantarillado, se recomienda el uso de las cartas geográficas o bien el levantamiento topográfico por poligonales o radiaciones y cuando las cuencas son muy grandes es preferible determinar el gasto por otros procedimientos.

PROCEDIMIENTO RACIONAL.- Es mediante la precipitación pluvial; éste método consiste en proyectar la alcantarilla para dar paso a una cantidad de agua determinada por el escurrimiento probable del agua de lluvia. Existen varias fórmulas basadas en este método de ellas la que más uso tiene es la de Burkli-Ziegler, que es la siguiente:

$$Q = 0.022 C A h \sqrt{s/A}$$

En la que:

Q = El gasto de la alcantarilla en metros cúbicos por segundo.

h = La precipitación en centímetros por hora correspondientes al aguacero mas intenso durante diez minutos.

C = Un coeficiente de escurrimiento que depende de la naturaleza del terreno.

A = Las hectáreas tributarias.

s = La pendiente del terreno en metros por kilómetro.

Para el uso correcto de esta fórmula es indispensable elegir con criterio los coeficientes y además tener datos sobre las precipitaciones. Estas se calculan de acuerdo con los datos sobre lluvias de que se disponga.

En nuestro país se tienen pocos datos por lo que, en general, es de aconsejarse el uso de la fórmula de Burkli-Ziegler, con cier

to cuidado.

Otro de los factores que intervienen en la fórmula es el grado de permeabilidad, que depende naturalmente de la formación del terreno. La relación se expresa por un coeficiente. A continuación se da una tabla de los valores de "C" para usarse en la fórmula de Burkli-Ziegler. (Para el sistema Métrico Decimal).

NATURALEZA DEL TERRENO	COEFICIENTE
CALLES PAVIMENTADAS Y ZONAS COMERCIALES	0.75
CALLES EN ZONAS RESIDENCIALES	0.625
CALLES CON MACADAM Y JARDINES	0.30
TERRENOS DE CULTIVO	0.25
TERRENOS MONTAÑOSOS	0.18

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO "C" PARA LA FORMULA DE BURKLI - ZIEGLER.

TABLA 7

Otro elemento de la fórmula, lo constituye la pendiente del terreno, difícil de determinar, pues son varias las de la cuenca y ésta es generalmente de forma irregular.

El número de hectáreas tributarias, como en el caso de la fórmula de Talbot, se determina con los mismos procedimientos.

Como se dijo anteriormente ésta fórmula no puede ser de uso general en México por la falta de datos o por lo incompleto de los mismos.

Una vez conocida el área hidráulica que debe darse a la alcantarilla se determinan las condiciones que afectan la forma de dicha área y la manera de proporcionar las dimensiones de las alcantarillas, como ya se ha dicho en el proyecto de una alcantarilla -

debe lograrse que el paso del agua sea de tal manera que no cauce -  
trastornos al camino y que no requiera excesivos cuidados de conser-  
vación, este será el criterio general que se tendrá en cuenta al -  
proporcionar las dimensiones.

b) EL BOMBEO.- Se llama bombeo, a la forma que se le da a la -  
sección del camino para evitar que el agua de lluvia se estanque y -  
por lo tanto ocasione trastornos al tránsito e infiltraciones en -  
las terracerías, que provocan saturaciones en las mismas, reblande-  
cimientos del terreno y finalmente destrucción del camino; sirve -  
también para evitar que el agua corra longitudinalmente sobre la su-  
perficie y lo erosione.

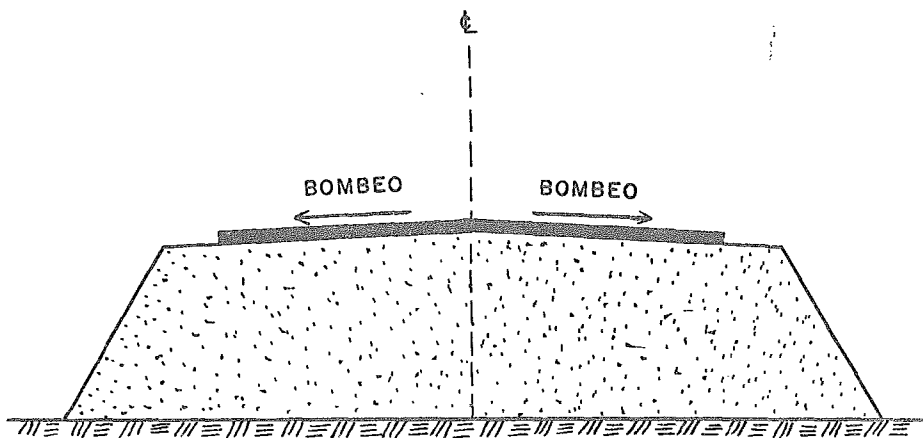


FIG. 4 BOMBEO DE UN CAMINO.

En caminos normales de dos bandas de circulación y en seccio-  
nes en tangente es común que el bombeo se disponga con un 2% depen-  
diente desde el eje del camino hasta el hombro correspondiente del-  
camino; en las secciones en curva, el bombeo se superpone con la -  
sobreelevación necesaria, de manera que según se entra a la curva, -

ésta última domina rápidamente, de manera que la pendiente transversal ocurre sin discontinuidades, desde el hombro mas elevado al mas bajo. En carreteras con pavimento rígido el bombeo puede ser un poco menor, del orden de 1.5%.

En las carreteras de mas de dos bandos de circulación pueden presentarse dos casos típicos. O se tiene un camellón central relativamente estrecho o se tiene uno muy amplio, generalmente sembrado de pasto. En el primer caso, es común que el bombeo tenga lugar del camellón hacia ambos hombros, pero en el segundo es común que se disponga un bombeo mixto, en dos vertientes, con pendientes desde el eje de cada banda hacia el hombro respectivo y hacia la sección central de la vía, en la cual suele existir un elemento de canalización.

Cuando se construyen terraplenes sobre suelos blandos, el bombeo, tiende a perderse con el tiempo, porque se produce mayor asentamiento en el centro de la sección que en sus hombros, para ésto se debe preever dichos asentamientos en el proyecto, exagerando el bombeo inicial para evitar o reducir el problema.

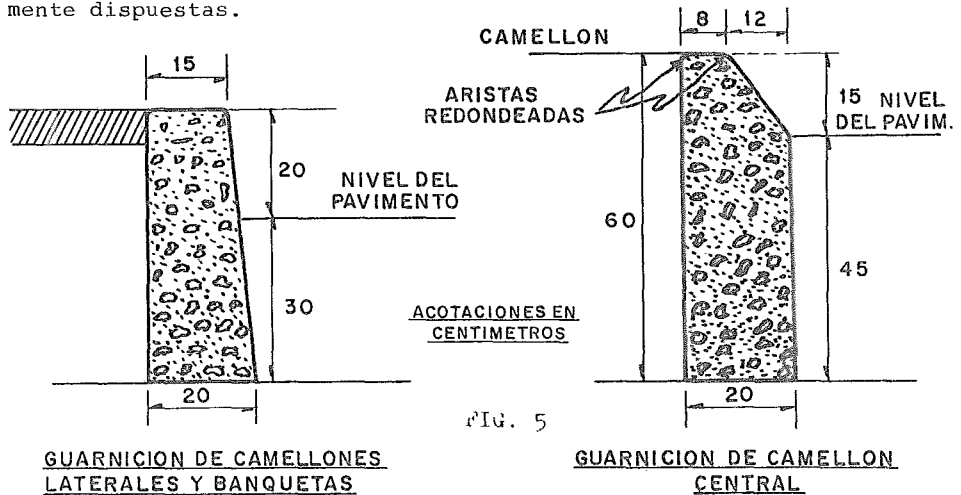
En caminos revestidos conviene que el bombeo no baje del 4% para dar una rápida salida del agua transversalmente; en estos caminos modestos hay tendencia a transitar por la zona central, por lo que provoca la formación de surcos en el revestimiento, con desplazamiento del material hacia afuera formándose zonas de encharcamiento muy perjudiciales, si el bombeo no es fuerte.

En las autopistas de 4 o mas bandas de circulación y camellón central suele ser un grave problema la acumulación en el camellón de toda el agua que se colecta en el ala mas elevada de las curvas con sobreelevación; eventualmente ha llegado a suceder que inclusi-

ve el agua rebasa el camellón que lo represa, invadiendo la otra - ala de la autopista; para evitar este peligro se dejan pequeñas in - terrupciones en el camellón de trecho en trecho, con lo que el agua se concentre en ellas y pasa al ala opuesta.

c) LAS GUARNICIONES.- En zonas urbanas, las guarniciones se - construyen en las orillas de las banquetas, para contener a las - mismas y evitar que deslicen sobre la superficie de rodamiento; a - la vez tienen la función de proteger a las banquetas contra la ac - ción del tránsito. En las carreteras, las guarniciones se constru - yen con los mismos objetivos en las banquetas de los puentes, de - las casetas de cobro de peaje y de pasos a desnivel y en algunos - tipos de camellones que separan las bandas de circulación de las - autopistas o que se construyen en entronques, isletas de pasos a - desnivel, etc.

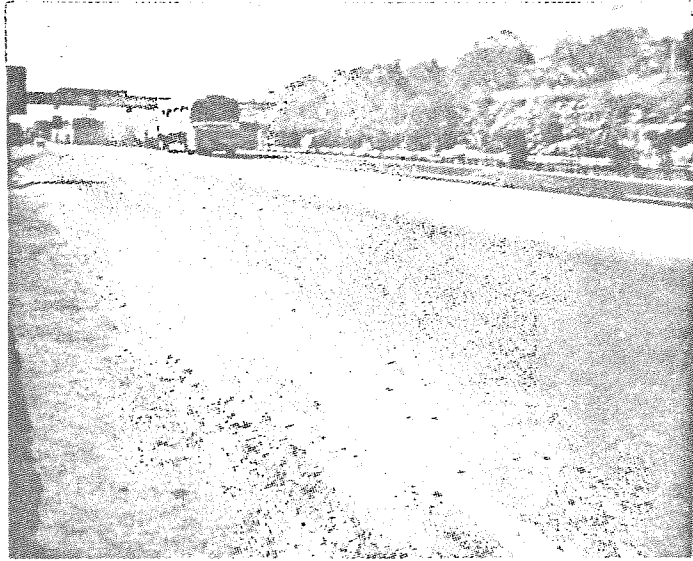
Las guarniciones tienen relación con el drenaje, aunque ese - no sea su objetivo principal, pues canalizan el agua que escurre - en la superficie de rodamiento, guiándola hacia salidas especial - mente dispuestas.



GUARNICION DE CAMELLONES LATERALES Y BANQUETAS

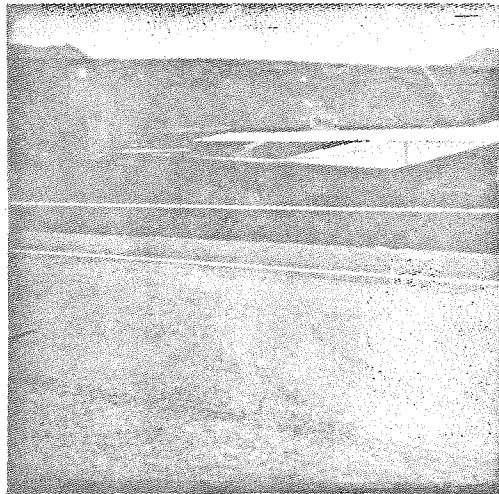
GUARNICION DE CAMELLON CENTRAL





GUARNICION DIVIDIENDO CARRILES DE AUTOPISTA.

CARRETERA MEXICO - PACHUCA.



GUARNICION PROTECTORA DEL USUARIO EN ACCESO A UN PUENTE. CARRE-

TERA LIBRAMIENTO NOROCCIDENTE DE LA CIUDAD DE MEXICO.

La forma trapezoidal se dispone para dar mayor resistencia a la sección al vuelco; el mismo objetivo se busca con la esbeltez de la sección, que permite una longitud de empotramiento conveniente.

Es práctica de algunos países colocar una verdadera guarnición enterrada entre la orilla de la carpeta y los acotamientos; se busca proteger al pavimento dándole, el confinamiento que le falta en las zonas de borde. Si esta guarnición se pinta adecuadamente, constituye un excelente medio de señalamiento; si parte ligeramente sobresaliente es corrugada es una muy buena advertencia para el conductor que permite que su vehículo salga de la zona de carpeta. Si se adopta esta solución, ha de preverse desde la construcción de las capas inferiores del pavimento, adoptando las precauciones necesarias para que no impida el drenaje lateral del mismo.

d) LOS BORDILLOS.- Los bordillos son estructuras que se colocan en el lado exterior del acotamiento en las secciones en tangente, en el borde opuesto al corte en las secciones en balcón o en la parte interior de las secciones de terraplen en curva. Son pequeños bordos que forman una barrera para conducir el agua hacia los lavaderos y las bajadas, evitando erosiones en los taludes y saturación de éstos por el agua que cae sobre la corona del camino. La altura del bordillo debe ser suficiente para que no sea rebasado por el agua almacenada, pero no debe ser muy excesiva. No debe pasar de 25 cm. la altura de los bordillos, pero funcionarán muy bien en la gran mayoría de los casos estructuras con 12 ó 15 cm.

El gasto que debe esperarse para ser canalizado por un bordillo puede calcularse en función del área drenada (entre lavaderos), de la precipitación máxima por hora y de la duración de ésta.

Al aumentar la pendiente longitudinal de la carretera aumenta la velocidad de escurrimiento del agua confinada por los bordillos y por consiguiente disminuyen el requerimiento de área hidráulica, el tirante y el ancho de la lámina de agua. Todos los anteriores son efectos deseables y contribuyen a fundamentar el criterio de que es siempre conveniente que exista algo de pendiente longitudinal en las carreteras.

La liga entre los bordillos y los lavaderos o bajadas que finalmente eliminan el agua de la corona de la vía debe ser motivo de atención, para el mantenimiento eficiente del sistema; a este respecto convendrá deprimir ligeramente la superficie del acotamiento cerca de la entrada de los lavaderos. En algunos países de Europa se construyen los bordillos en forma de L, siendo la parte vertical el bordillo propiamente dicho y la horizontal de unos 50 cm. parte del acotamiento; si ésta última se maneja con una pendiente adecuada puede llegarse prácticamente a la construcción de una cuneta, con base en la cual es muy fácil canalizar convenientemente el agua y establecer una liga muy adecuada con lavaderos y bajadas. El uso de una sección como ésta es cara y seguramente sólo se justifica en caminos importantes, en zonas excepcionalmente lluviosas y cuando se utilizan materiales muy erosionables.

Lo usual es unir el bordillo con los lavaderos por medio de dos curvas, confinando la zona deprimida del acotamiento. La curva correspondiente al lado aguas arriba del bordillo respecto al lavadero suele hacerse mas amplia que la de aguas abajo, para facilitar el paso del agua.

Como todas las obras complementarias de drenaje los bordillos no deben verse como soluciones rutinarias de uso indiscriminado, -

sino sólo proyectarse en donde realmente son necesarias. En principio un bordillo es un obstáculo a la rápida eliminación del agua - en la dirección transversal; por ende resultará contraproducente - desde el punto de vista. Sólo deberán utilizarse, por lo tanto, en aquellos lugares en que el escurrimiento del agua sobre los terraplenes cauce trastornos, porque el material que forme los taludes - sea realmente erosionable y esté desprotegido. Es importante considerar que la protección con vegetación en los taludes de los terraplenes es una alternativa a la construcción de bordillos, pues materiales bien protegidos por especies vegetales ya no se erosionan. Otra protección que puede hacer innecesarios los bordillos es la - que se obtiene en forma natural en terraplenes muy bajos (menos de 1.5 m. de altura), en los que el agua no puede alcanzar velocida - des erosivas. Finalmente otro factor a ponderar será evidentemente la intensidad y duración de los periodos de precipitación pluvial.

e) LOS LAVADEROS. Los lavaderos son canales que se conectan - con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes con la misión de conducir el agua de lluvia que escurre por los acotamientos hasta los lugares alejados de los terraplenes, en donde ya sea inofensiva. En general son estructuras de muy fuerte pendiente y - en ésta circunstancia radica la mayoría de los peligros que los - aquejan.

Cuando se disponen en los caminos están sobre los terraplenes, sobre los lados en terraplén de cortes en balcón (generalmente a la entrada y a la salida) o en los lados interiores de curvas, cuando corresponden a secciones también en terraplén.

La capacidad del umbral de entrada del lavadero dependerá de - la separación entre ellos, del gasto total que escurre por el bor-



LAVADERO FUNCIONANDO. CARRETERA VERACRUZ - ALVARADO.

dillo y del tirante en una sección inmediatamente antes del umbral. Izzard propone la siguiente fórmula para el cálculo de la longitud del umbral de entrada al lavadero, que toma en cuenta el cambio brusco de dirección que ha de sufrir el agua en ese lugar:

$$Lu = \frac{Q}{0.386 (a+y)^{3/2}}$$

Donde:

- Lu = Es la longitud del umbral de entrada al lavadero en m.
- Q = Es el gasto que llega al lavadero y ha de descender por él, en m/seg.
- a = Es el desnivel entre el acotamiento y la sección mas deprimida del umbral de entrada al bordillo, en m. Generalmente es del orden de 0.06 m.
- y = Es el tirante de escurrimiento sobre el acotamiento, en una sección próxima al umbral de entrada, en m.

Por lo difícil que es de lograr que todo el gasto que baja con finado por el bordillo sea captado por el lavadero, dado el brusco viraje que el agua ha de hacer, es usual aceptar que únicamente entre el 80 y 90% del agua aceptada.

Las fuertes velocidades con que el agua baja por el lavadero - harían en principio necesaria la construcción de una caja disipadora de energía al pie del mismo, con objeto de evitar erosiones del propio lavadero al pie del terraplén; la alternativa sería la prolongación del lavadero en un abanico de amortiguación y en la longitud suficiente. Otra solución parece ser dar gran rugosidad a la plantilla del lavadero provocando un flujo de bajada fuertemente turbulento, con arrastre de aire en la vena líquida, lo que parece reducir la energía de la bajada en forma suficiente, de manera que no produzca erosiones peligrosas al pie del talud.

Los lavaderos se colocan también como elementos eliminadores del agua captada por cunetas y contracunetas, estructuras de drenaje que se mencionan mas adelante. En este caso se presenta una zona crítica en la unión entre ambas estructuras, pues existe entonces el peligro de que el agua se introduzca bajo el lavadero, erosionando y disminuyendo su sustentación, con riesgo de falla. Para evitar este peligro es recomendable que esta zona de unión sea amplia y sin quiebres, y que el lavadero tenga un dentellón de entrada, para protegerlo del efecto de filtración; dicho dentellón puede tener una profundidad tan pequeña como 50 cm.

Caben respecto a los lavaderos los mismos comentarios ya hechos en relación a otras obras complementarias de drenaje. No son estructuras que deban proyectarse indefectiblemente, sino únicamen-

te se hagan realmente necesarias.

f) LAS BAJADAS.- Se denomina así a estructuras de función análoga a los lavaderos, pero constituidas por un tubo apoyado en la superficie inclinada del terreno o enterrado en él. En rigor la distinción respecto a los lavaderos es un tanto de simple nomenclatura y muchos ingenieros consideran a las bajadas como lavaderos entubados.

Las bajadas tienen el inconveniente de la dificultad de inspección, que en algunas ocasiones puede llegar a obligar a la utilización de sondeos.

Uno de los usos mas frecuentes de las bajadas se tiene cuando dentro de la longitud de un corte queda comprendido un talweg en el coronamiento; el agua que ahí cae no puede dejarse escurrir libremente sobre el talud del corte, porque es demasiada, ni puede ser canalizada a la cuneta por la misma razón. La bajada es la solución típica al problema, con un tubo que atraviese la corona del camino y conduzca el agua a donde no dañe.

g) LAS BERMAS.- O escalonamientos pueden cumplir funciones de drenaje superficial, de control de aguas y de conducción y eliminación.

El efecto de la berma o del escalonamiento es disminuir la fuerza erosiva del agua que escurre superficialmente por los taludes de un terraplén, un corte o por el terreno natural. Estos elementos pueden encauzar más convenientemente al agua colectada si se les da una pendiente apropiada hacia lavaderos, bajadas o estructuras análogas; esta agua erosionaría de otra manera los taludes causando arrastres que provocarían problemas en las cunetas o se infiltraría en el propio talud con malos efectos sobre su estabilidad general. Son tan malas las consecuencias de la infiltración

del agua en los escalonamientos formados en materiales susceptibles, que en todos los casos de duda en que no sea posible emplear una impermeabilización de completa garantía, será preferible no hacerlos.

En ocasiones se aprovechan estos escalones para plantar pequeños arbustos que una vez desarrollados protegen efectivamente la superficie del talud contra la erosión.

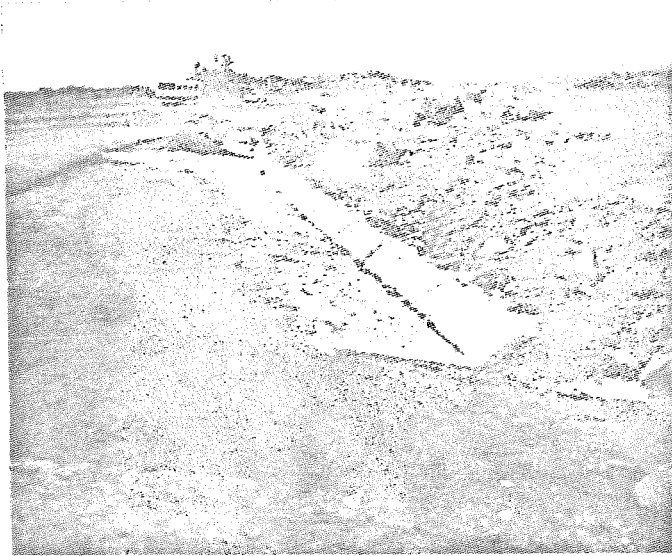
h) LAS CUNETAS .- Las cunetas son canales que se adosan a los lados de la corona de la vía terrestre, en el lado del corte en secciones de tal naturaleza; en cortes en blacón hay entonces cuneta - en un solo lado y en cortes en cajón, en los dos. La cuneta se dispone en el extremo del acotamiento, en contacto inmediato con el corte. Su situación le permite recibir los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y los del área comprendida entre el coronamiento del corte y la contracuneta, si la hubiere o el terreno natural aguas arriba del corte, si no hay contracunetas. También puede recibir la cuneta agua que haya caído sobre la corona de la vía, cuando la pendiente transversal de ésta tenga la inclinación apropiada para ello. La capacidad hidráulica de la cuneta como canal define principalmente la posibilidad de cumplir su función de canalizar y eliminar con rapidez el agua que colecte. El gasto por drenar depende del área de influencia, del coeficiente de escurrimiento y de la intensidad de lluvia durante un tiempo igual al de concentración.

La pendiente longitudinal mínima que debe existir en una cuneta es de 0.5%. La velocidad con que el agua circule sobre ella debe quedar comprendida entre los límites de depósito y erosión, ambos indeseables.

En la tabla siguiente, se proporciona, la máxima velocidad que puede alcanzar el agua sobre los materiales que se citan sin provo-



car erosión.



CUNETA REVESTIDA CON CONCRETO. CARRETERA KALAPA - VERACRUZ.

MATERIAL	VELOCIDAD (m/seg.)
ARENAS FINAS Y LIMOS	0.40-0.60
ARCILLA ARENOSA	0.50-0.75
ARCILLA	0.75-1.00
ARCILLA FIRME	1.00-1.50
GRAVA LIMOSA	1.00-1.50
GRAVA FINA	1.50-2.00
PIZARRAS SUAVES	1.50-2.00
GRAVA GRUESA	2.00-3.50
ZAMPEADOS	3.00-4.50
ROCAS SANAS Y CONCRETO	4.50-7.50

TABLA 8

VALORES MAXIMOS DE VELOCIDADES NO EROSIVAS EN CUNETAS

Se ha convenido limitar la velocidad del agua en las cunetas a 3.00 m/seg. en zampeados y a 4.00 m/seg. en concreto.

El gasto que puede eliminar es una función muy sensible de pendiente longitudinal, pero es dudoso que pueda exceder en ningún caso de 0.5 m<sup>3</sup>/seg; valores mayores producen derrames. Como norma de criterio la tabla siguiente proporciona los gastos que pueden calcularse en la cuneta del tipo triangular, para distintas pendientes del camino y velocidades del agua.

PENDIENTES DEL CAMINO (%)	VELOCIDAD DEL AGUA (m/seg.)	GASTO (m <sup>3</sup> /seg.)
1	0.63	0.11
2	0.89	0.15
3	1.09	0.19
4	1.26	0.22
5	1.41	0.24
6	1.54	0.27

TABLA 9

VALORES DEL GASTO EN LA CUNETA TRIANGULAR PARA DISTINTAS PENDIENTES DEL CAMINO Y VELOCIDADES DEL AGUA.

En general en la práctica mexicana la sección triangular es con mucho lo más frecuente. El talud hacia la vía es como mínimo 3:1, preferentemente 4:1 y el del lado del corte sigue sensible mente la inclinación de éste. Se prevee una lámina de agua de no más de 30 cm.

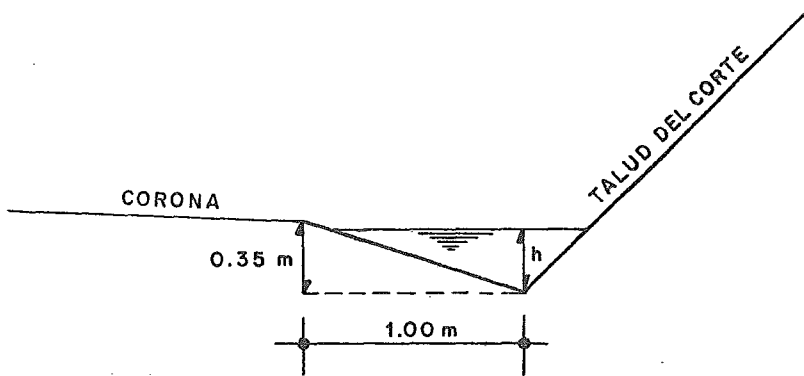


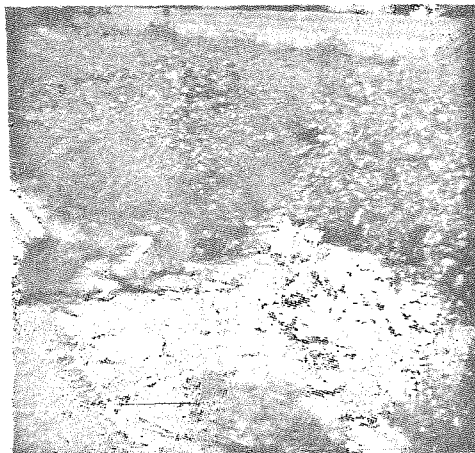
FIG. 6

SECCION TRIANGULAR TIPICA DE UNA CUNETETA

En épocas recientes está tomando cierta fuerza la opinión de -  
suprimir por completo las cunetas en los caminos pavimentados con -  
carpetas asfálticas o con losas de concreto. En estos casos se pro-  
longa la superficie del pavimento en todo el ancho del acotamiento-  
hasta el pie del corte, en donde es frecuente construir una pequeña  
guarnición, que no suele ser mas que un realce o remate de un par de  
centímetros, para tener una buena liga con el talud del corte. Pa-  
ra facilitar la eliminación del agua que se concentra en la zona es  
común incrementar en el acotamiento el bombeo transversal de la sec-  
ción que si generalmente es de 1.5% a 2.0% se hace pasar a 4.0% en-  
dicha zona. Desde luego, una práctica constructiva tal tiene proba-  
blemente ventajas económicas en la construcción y obviamente las -  
tiene en la conservación, pues a las costosas y engorrosas faenas -  
de limpieza de cunetas opone la limpieza de un acotamiento, que es-

mucho mas sencilla y puede hacerse con motoconformadora.

Al final de su recorrido las cunetas descargan por lavaderos y bajadas a alcantarillas, cañadas, cauces naturales, etc. Ya se ha mencionado que la liga con estas obras de eliminación es un punto delicado a contemplar siempre con cuidado en cada caso individual.



UNION DE UNA CUNETEA CON UN CONDUCTO PARA DIRIGIR EL AGUA HACIA LA ALCANTARILLA DE ALIVIO. CARRETERA MEXICO - PACHUCA .

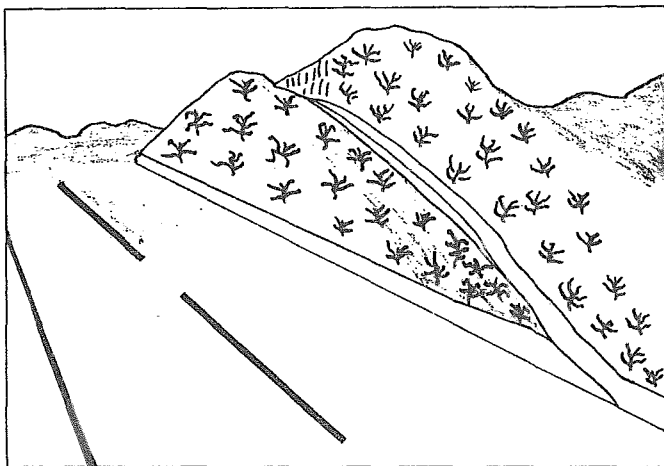
i) LAS CONTRACUNETAS.- Se denominan contracunetas a los canales, excavados en el terreno natural o formados con pequeños bordos, que se localizan aguas arriba de los taludes de los cortes, cerca de éstos, con la finalidad de interceptar el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas, para evitar la erosión del talud y el congestionamiento de las cunetas y la corona de la vía terrestre por el agua y su material de arrastre.

La localización de las contracunetas va íntimamente ligada con su funcionamiento, por lo cual se colocan siempre en las lade-

ras, del lado de aguas arriba y a cierta distancia de la orilla del corte. Como son normales a la línea de máxima pendiente del terreno prácticamente quedan paralelas al eje del camino.

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

La contracuneta se construye a una distancia variable del coronamiento del corte y que depende de la altura de éste; se trata de que entre la contracuneta y el propio corte no quede un área susceptible de generar escurrimientos no controlados de importancia y de no colocarla demasiado cerca del corte, a fin de facilitar su trazo y permitir que se desarrolle sobre terreno que no se vea afectado por pequeños derrumbes que pudieran llegar a presentarse.



CONTRACUNETAS EN LOS CORTES

DE LOS CAMINOS EN TERRENO

La contracuneta debe conducir el agua captada a cañadas o cauces naturales en que existan obras que crucen la vía terrestre y es normal que para evitar excesivo desarrollo del canal, los extremos lleguen a tener pendientes muy considerables, funcionando como auténticos lavaderos.

Las contracunetas presentan el caso especial de sus tramos extremos, de muy fuerte pendiente, en los que el uso de revestimiento suele ser mucho mas frecuente e indiscutido.

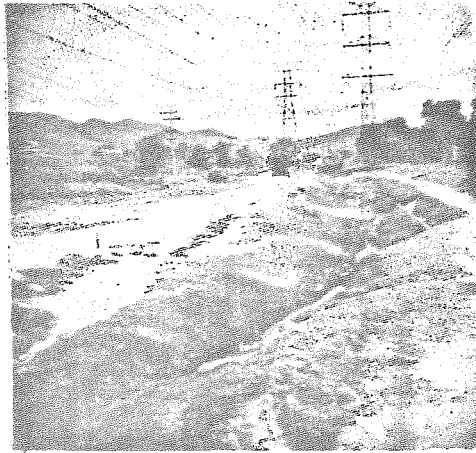
Precisamente el aspecto de revestimiento de las contracunetas, es el que da lugar a prácticas tan inconvenientes, que llega a ser razonable muchas veces el preguntarse si estas obras complementarias deben emplearse en absoluto. Por razones de costo, los ingenieros de vías terrestres tienden, como es natural, a no revestirlas casi nunca o nunca y en tal caso se llega a producir en la corona del corte una sección en la que se desarrolla una zanja permeable.

Es prácticamente seguro que pueda afirmarse que en todos los casos en que la contracuneta pueda ser útil o necesaria, o se pone revestida, o será preferible no ponerla, pues los riesgos que implica colocarla en una mala condición (la eventual falla total del corte) superan en mucho a sus posibles beneficios (proteger la superficie del talud de erosiones y a las cunetas o a la propia corona de invasión de aguas no controladas).

El criterio para definir la necesidad de contracunetas ha de basarse en consideraciones topográficas y de la naturaleza de los materiales que formen los cortes, los terrenos vecinos y el terreno natural.

j) LOS CANALES INTERCÉPTORES.- Son los canales que se construyen con fines de encauzamiento de las aguas superficiales que escu-

rrirán hacia la corona de una vía terrestre, causando en ello erosiones o depósitos inconvenientes.



CANAL INTERCEPTOR.

CARRETERA MEXICO - PACHUCA.

Un canal interceptor funciona en forma análoga a la de una contracuneta y le son aplicables muchos de los comentarios previamente hechos en torno a éstas obras; sin embargo, la costumbre reserva la expresión canales interceptores para los que se construyen a distancias relativamente grandes de la vía terrestre y no están específicamente ligados a un corte en particular sino que defienden un tramo mas o menos largo de la vía, independientemente de cual sea la naturaleza de su sección.

La lejanía a que suelen colocarse los canales interceptores respecto a la vía terrestre hace que muchas veces pueda pensarse en construirlos sin revestimiento y ello sin mayor riesgo.

Las dimensiones, pendiente y longitud de los canales deben calcularse de acuerdo con el área por drenar o sea el gasto, según los procedimientos habituales en hidráulica.

k) LOS BORDOS.- En algunos casos, como por ejemplo en los caminos en terreno desértico o bien en zonas bajas, es necesario encauzar el agua para no construir un gran número de alcantarillas de es caso gasto o bien porque la lámina de agua es muy extensa sin cauces definidos. El encauzamiento se hace por medio de bordos de tierra, zampeados o no de acuerdo con el gasto, tirante y velocidad del - - agua.

Los bordos también se construyen para encauzar las aguas, sean en el terreno natural próximo a la vía terrestre, para que el agua llegue a gargantas, cauces naturales, etc. o sea en la entrada de - las alcantarillas o puentes, con el fin de que el agua cruce apro - piadamente por tales estructuras. Los anteriores bordos son en general estructuras bastante mas formales, pues han de sufrir el embate de aguas rápidas.

Los ingenieros a cargo de los drenajes de los caminos descui - dan a veces la descarga de las aguas colectadas y encauzadas, lo - cual ocurre aguas abajo de la vía terrestre. Esta descarga, en oca - siones, causa daños en terrenos de labor, pastizales y en caserios. Debe tenerse muy presente que la vía terrestre al interrumpir el - drenaje general de una zona con su presencia y concentrar la descarga de las aguas que la cruzan en algunos puentes aislados, puede - fácilmente generar problemas hidráulicos aguas abajo en zonas donde - no existían previamente.

l) LA VEGETACION.- Una de las mas efectivas protecciones de un



corte o un terraplén o del terreno natural contra la acción erosiva del agua superficial es la plantación de especies vegetales; éstas retardan el escurrimiento; disminuyendo mucho la energía del agua y contribuyen a fomentar una condición de equilibrio en los suelos en cuanto a contenido de agua.

Siempre que la vegetación exista, el ingeniero deberá respetarla. La desforestación sistemática, el deshierbe o el desenraicamiento excesivo en la zona de derecho de vía o en la zona de influencia de una vía terrestre deben verse como una de las peores prácticas en que es dado caer a un ingeniero constructor. Mas bien sus esfuerzos deberán tender a fomentar la protección vegetal en todos sus aspectos. Cuando ésta no exista, su plantación puede contribuir a proteger muy eficazmente la vía. Como ya se ha indicado, la plantación de especies vegetales debe estar a cuidados de especialistas, que utilicen variedades apropiadas en la región, cuyo crecimiento pueda ocurrir con los mínimos cuidados iniciales.



TALUD DEL TERRAPLEN  
DE UNA CARRETERA,  
PROTEGIDO CON VEGE-  
TACION. CARRETERA  
VERACRUZ - ALVARADO.

En los taludes son especialmente útiles especies trepadoras o pastos tupidos, en tanto que para las barreras protectoras en el terreno-natural suelen dar mejor resultado los arbustos.

m) LOS VADOS.- En algunas comarcas poco lluviosas se encuentran hondonadas por las que llega a escurrir agua solamente en raras ocasiones de tal manera que no ameritan la construcción de una alcantarilla. En estos casos lo que se hace es construir un vado, que es la estructura que permite el paso de un río o arroyo cuando está seco o bien cuaundo lleva determinado caudal hasta determinado nivel. Longitudinalmente puede ser a nivel o en curva vertical, preferentemente parabólica, pero siempre cuidando que no produzcan trastornos al automovilista al pasar sobre ellas, es decir que no sean depresiones bruscas o con cam- -bios que produzcan golpes.

Existe otra estructura denominada puente -vado que es de forma de puente que se utiliza para dar paso al gasto de las aguas máximas ordinarias y que durante el período de aguas máximas extraordinarias permite que el agua sobrepase por encima de ella. Las estructuras anterio-res son recomendables para caminos de bajo tránsito. Un gran porcenta-je de los arroyos y de los ríos del país tienen régimen torrencial, -por lo cual puede ser cruzados con un vado la mayor parte del año, por otra parte, el escaso tránsito solo sufrirá interrupciones unas cuau-tas horas.

### 2.2.2. DRENAJE SUBTERRANEO (SUBDRENAJE).

La necesidad de un subdrenaje siempre será independiente del tipo de carretera que se considere; no colocarlo allí donde es necesario, siempre será de efectos destructivos, tanto para una carretera de escasas especificaciones como para una gran autopista, o sea, que cualitativamente los daños son similares en las dos estructuras.

No es justificable nunca dejar de hacer la inversión por concepto de construcción del subdrenaje, so pena de una destrucción pronta de la estructura.

La estabilidad de cortes, terraplenes, pavimentos y laderas en una carretera se ven influidas, siempre, por el flujo existente en el interior de la masa de suelo, por lo que se ha tenido la necesidad de desarrollar técnicas que permitan controlar o reducir a un mínimo los daños que pueda causar este flujo a la estructura a su cimentación o en un caso dado a la vecindad donde se encuentra alojada ésta. Las condiciones críticas se presentarán en las zonas en que se suma una alta precipitación pluvial con características de poca resistencia y deformabilidad de los suelos que componen las terracerías de la carretera, su cimentación y aún su contorno geológico.

Cuando se hace un corte en una ladera para alojar a la carretera se está creando una frontera de esfuerzos exteriores nulos, lo que es equivalente, a haber efectuado una descarga del terreno natural; esta descarga provoca disminución de los esfuerzos normales y aumento de los esfuerzos cortantes en el terreno localizado detrás del talud del corte practicado. El talud del corte representa una frontera a la presión atmosférica, por lo que cualquier flu

jo existente en la masa de suelo tenderá a salir por la superficie que presenta el corte y la cama de éste. El agua que tiende a salir por el corte produce dos efectos nocivos: produce fuerzas de filtración en el sentido desfavorable y propicia la expansión del suelo causada por la descarga hecha; esto trae como consecuencia que la estabilidad del corte se vea mermada. Para lo anteriormente expuesto, se puede decir que la etapa mas crítica para la estabilidad del talud es precisamente la época de alta precipitación pluvial o poco después a ella.

Los métodos de subdrenaje empleados en los cortes tienden a controlar el flujo de agua que trata de salir por el talud o cama de éste, reorientando el flujo de tal manera que la dirección de las fuerzas de filtración cambie y sea menos desfavorable o que disminuyan las presiones neutrales en zonas convenientes, aumentando de esta manera la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y condicionando la posibilidad de cambios volumétricos.

En lo referente a los terraplenes, el efecto del flujo de agua es indeseable. En los terraplén<sup>1</sup>es interesa el flujo interno en el suelo de cimentación; si este terraplén se encuentra en sección enbalcón interesa el flujo en la ladera natural y el que se infiltra al propio terraplén. La colocación del terraplén modifica el estado de esfuerzos en el suelo que forma la ladera en que se apoya, de manera que aumentarán los esfuerzos cortantes actuantes en él, así como los normales; por ser la pendiente del terraplén mayor que la de la ladera el aumento en los esfuerzos cortantes no se ve compensado por el aumento en la resistencia del subsuelo, que es consecuencia del incremento de los esfuerzos normales. Es así que la esta-

bilidad del terreno en que se colóca el terraplén se ve disminuida. Si a lo anterior le aunamos la presencia del flujo de agua, se tendrá todavía una situación mas crítica.

En el uso de los terraplenes, el subdrenaje aumenta la resistencia al esfuerzo cortante en la ladera de cimentación y en el propio terraplén al abatir las presiones neutrales en el suelo, con lo cual se aumentan los esfuerzos efectivos; ahora se puede buscar una reorientación de las fuerzas de filtración, a fin de que actúe en forma menos perjudicial.

Otro de los problemas que se presentan y que es necesario preveer es la infiltración del agua en el contorno geológico donde se encuentra alojada la estructura, pues puede perjudicar, también, muy seriamente a los pavimentos y terracerías que hayan de construirse para aquella. El agua puede llegar a la estructura por varios caminos por ejemplo; elevación del nivel freático, por filtración de agua de lluvia a través de la carpeta, etc., pero en cualquier caso su presencia será siempre perjudicial.

El humedecimiento de la parte superior de las terracerías disminuye su resistencia, propicia la deformación del pavimento sobre ella y causa la incrustación de materiales granulares que por lo general forman la sub-base. Es por esto, que el suelo de apoyo al pavimento deberá estar provisto de un subdrenaje adecuado en las partes donde se requiera.

Para el diseño del sistema de subdrenaje en una carretera es preciso realizar una exploración geológica y aún de suelos, en las zonas donde se sospeche que haya peligro. Estas zonas deberán ser revisadas por especialistas geólogos y en geotecnia que realicen minuciosos recorridos de la futura obra durante el proyecto y trazo-

y aún ya en la construcción y funcionamiento, a fin de revisar y corregir deficiencias que pudieran manifestarse.

Para fines de planeación de subdrenaje, las pruebas de laboratorio están encaminadas a clasificación y raras veces a permeabilidad. Las pruebas de campo para detectar el flujo interno son muy útiles, pero algunas veces es preciso no contar con su ayuda por razones de costo y tiempo.

El diseño del sistema de subdrenaje en carreteras no puede seguir normas fijas y se apoya más en la experiencia, práctica y aún a veces la intuición, que en estudios amplios, es obvio que lo antes dicho no quita la conveniencia de realizar tales estudios cuando sea necesario y haya la forma de realizarlos.

De lo que se dijo arriba, se deduce que no siempre un sistema de subdrenaje se considere como definitivo por muy completo que parezca. La construcción de la carretera y su funcionamiento deberán estar siendo observados con detalle con la finalidad de completar el subdrenaje en los lugares que se requiera.

Los diferentes métodos que hasta la fecha se han venido usando para controlar las conducciones del flujo de agua en terracerías y para mejorar las condiciones de estabilidad de cortes, terraplenes y pavimentos se pueden designar a los siguientes:

- 1.- Subdrenaje de zanja y capas permeables.
- 2.- Construcción de una capa permeable con remoción del material.
- 3.- Trincheras estabilizadoras.
- 4.- Drenes transversales de penetración.
- 5.- Pozos de alivio.
- 6.- Galerías filtrantes.

A continuación se describirán brevemente estos procedimientos de solución de subdrenaje.

1.- Subdrenaje de zanjas y capas permeables:

Este tipo de subdrenaje consiste en una zanja de profundidad adecuada, provista de un tubo con perforaciones en su fondo de 1 cm a 1.5 cm y rellena de material filtrante; el agua colectada se desaloja por el tubo gravitacionalmente hacia un bajo o cañada en donde su descarga no acarrea consecuencias.

El diámetro del tubo es de 15 cm y se coloca sobre una plantilla de material impermeable de espesor aproximado de 15 cm.

Este sistema se construye longitudinalmente al camino, en sus acotamientos al pie de los cortes en cajón su construcción se requerirá, si es preciso, en los hombros de la carretera. Su función es desviar las aguas que afloran por el talud del corte o en la corona del camino, bajo el pavimento, captándola, con lo que se modifican las fuerzas de filtración, se alivian las presiones internas en el agua, al proporcionar a ésta una salida más eficiente y se protege debidamente la estructura del pavimento como se puede ver en la fig. 7.

Cuando el flujo es importante, la carretera ancha y dicho flujo no es interceptado por la zanja de una profundidad razonable (3 ó 4 m.) Luego entonces es necesario cambiarla acción del subdren por otros análogos, pero ahora en sentido transversal al camino o bien como una capa permeable construída bajo el pavimento, como sub-base de éste.

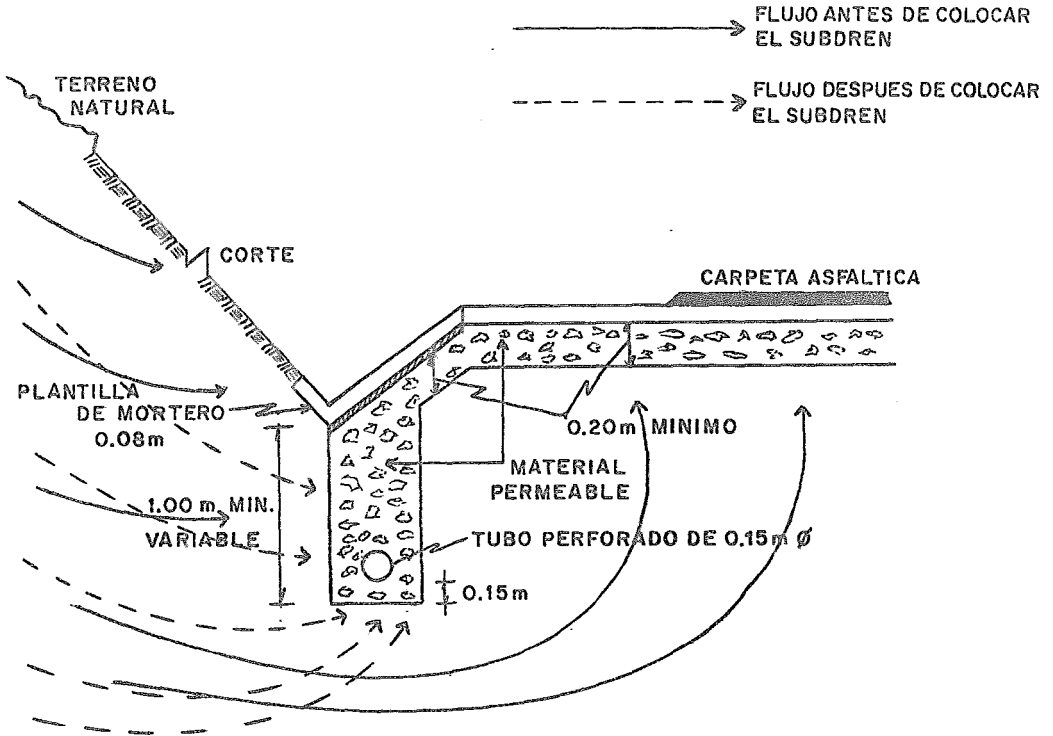


FIG. 7 SUBDREN Y SUB-BASE PERMEABLE.

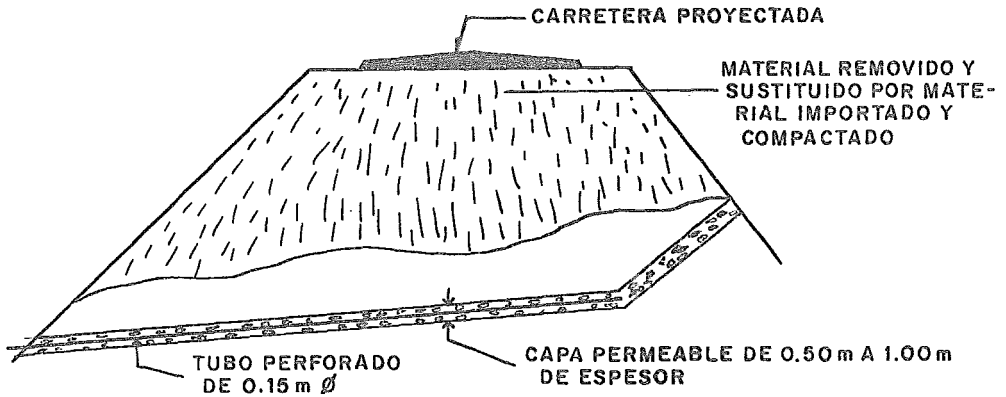


FIG. 8 REMOCION DE MATERIAL BLANDO Y COLOCACION DE UNA CAPA PERMEABLE BAJO FERRAPLENES.



Esta capa no requiere tubos perforados, pues mediante la práctica se sabe que el agua es captada y conducida al subdren longitudinal y eliminada por el tubo de éste; para ello se requiere cuidar la pendiente transversal, de tal forma que este drenaje sea rápido.

Los materiales usados en las capas son conocidos como filtros y su función es permitir el paso franco de agua a donde ésta quiera ser conducida e impedir el arrastre de las partículas. Los materiales son por lo general agregados naturales como la grava y arena.

Estos materiales naturales, cuando son de buena calidad son prácticamente indestructibles, comparadas con la vida útil de la carretera; si su colocación es adecuada, tienen un comportamiento tanto como filtro, como en lo que se refiere a resistencia y compresibilidad. Para cumplir éstos materiales granulares con su papel de filtros, se requiere de una granulometría bien graduada.

## 2.- Construcción de una capa permeable con remoción de material.

Cuando una capa está saturada, es de mala calidad y su espesor no es mayor de cuatro o cinco metros y bajo de ésta se encuentra otra de mejor calidad, se puede remover toda la capa de material malo en un ancho conveniente, de tal manera que en ese ancho quede alojada la carretera. La excavación para la remoción podrá ahora recubrirse con una capa de 50 cm a 1.0 m de una material permeable que actúe como subdren en la estructura; la capa deberá estar provista de tuberías perforadas de captación y tuberías de desfogue. Luego la excavación se rellenará con material de buena ca-

lidad compactado donde se podrá colocar el terraplén de la carretera, como se aprecia en la figura 8.

La capa colocada y que sirve como subdren evita que el material colocado y el terraplén sufran los efectos del agua. Además el sistema permite que el terraplén se apoye en terreno firme, por lo que el proceso cubre los fines de mejoramiento del terreno de cimentación y de la estabilidad del terraplén.

### 3.- Trincheras estabilizadoras.

Cuando por la ladera hay un flujo de agua y ésta se compone por grandes espesores de material cuya estabilidad se encuentra amenazada por el flujo, y sobre ésta haya que construirse un terraplén, la labor de remover materiales malos y canjearlos por otros de mejores propiedades resulta ya difícil e incosteable. Entonces puede sugerirse captar el flujo y eliminar el agua en una zona bajo el terraplén; ésto se consigue eliminando las aguas de una zona que comprenda aquella por la que podría desarrollarse el círculo de deslizamiento del conjunto formado por el terraplén y su terreno de cimentación.

La captación se hace construyendo una trinchera excavada en el lugar en que se colocará el terraplén, según figura 9.

Además el talud aguas arriba de la trinchera y su fondo se recubrirán con una capa de material filtrante de 50 cm a 1.0 m de espesor, en la cual se conectarán tuberías de captación y desfogue, posteriormente la trinchera se rellenará con material compactado adecuadamente. El fondo -

por lo regular deberá tener un ancho apropiado que permita las maniobras; la profundidad de éstas oscila entre tres y quince metros.

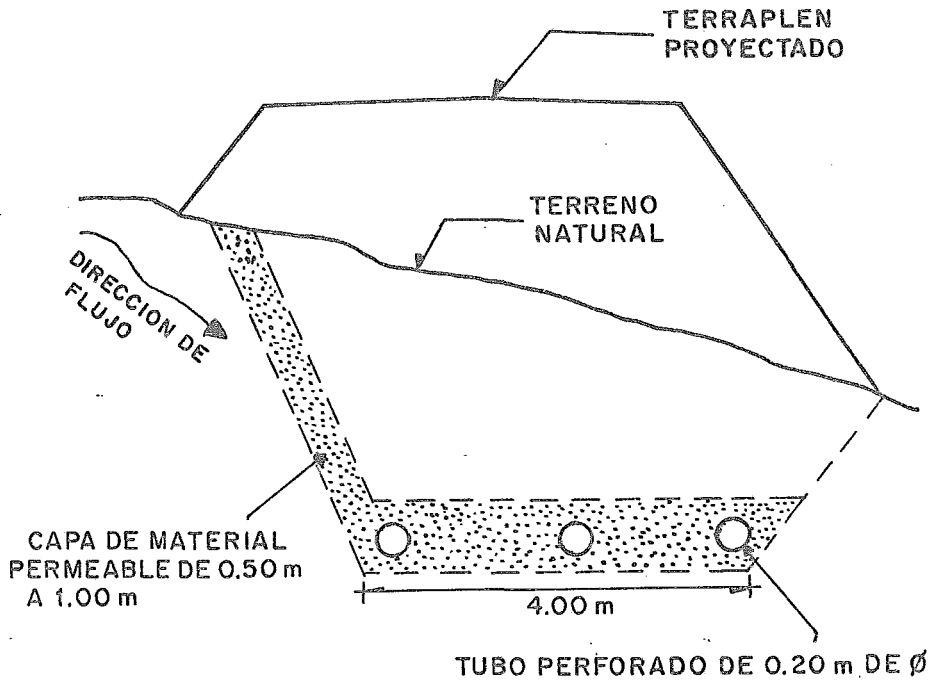


Fig. 9 TRINCHERA ESTABILIZADORA.

#### 4.- Drenes transversales de penetración.

Estos drenes son tuberías perforadas, que penetran en el terreno natural en el sentido transversal a la carretera para captar las aguas internas y abatir las presiones naturales.

Son especialmente usados para mejorar la estabilidad de -

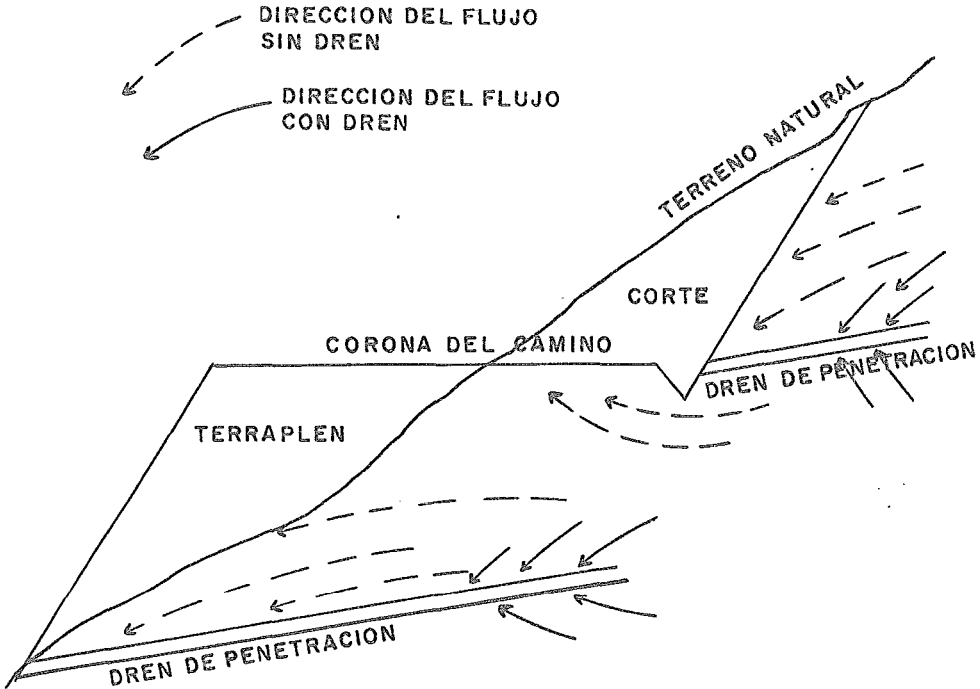


FIG. 10 INFLUENCIA DE LOS DRENES TRANSVERSALES DE PENETRACION.

hasta de 20 m; se colocan en zonas en las cuales se colecte el flujo perjudicial o sea ladera arriba en la zona en la cual se colocará el terraplén. La recolección se hace en una galería, construída como un pequeño túnel; también puede desalojarse con drenes transversales de penetración o por bombeo directo. En el caso de los drenes transversales, suele ser difícil lograr una conexión física con los pozos. El espaciamiento entre los pozos de alivio es variable, dependiendo de la circunstancia que se presente y lo mismo - pasa con las hileras; es común espaciamiento entre 5 y 10 m

y una disposición en dos hileras traslapadas.

En la figura 11 se muestra un esquema de lo antes mencionado.

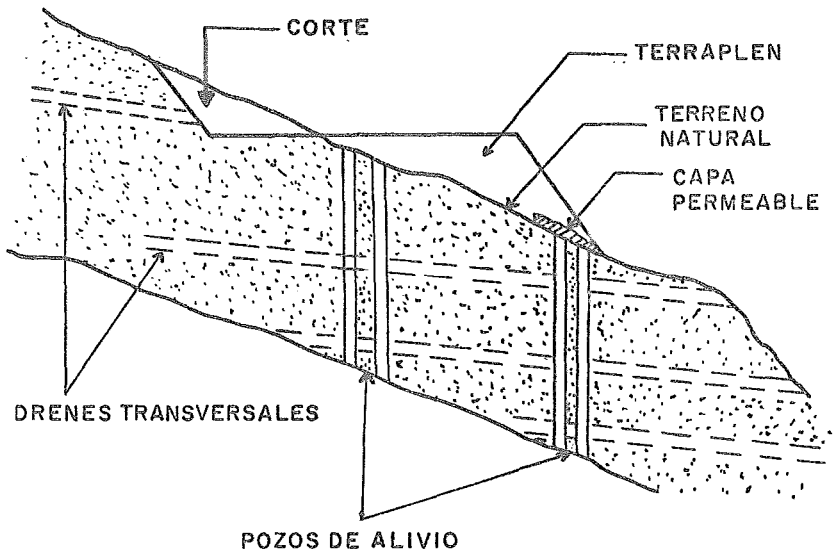


FIG. 11 POZOS DE ALIVIO COMBINADOS CON DRENES TRANSVERSALES.

#### 6.- Galerías filtrantes.

Su uso es particularmente justificable cuando la zona inestable es de grandes proporciones.

Las galerías filtrantes, en esencia, no es mas que un túnel de sección adecuada para permitir su propia excavación y localización en la parte en que se considere mas

eficiente para captar los flujos de agua perjudiciales para la estabilidad del talud o del suelo de cimentación del terraplén considerado. El revestimiento de la galería debe ser permeable al grado de permitir su trabajo como dren; frecuentemente, la excavación realizada requerirá ademas o no se rellenará simplemente con material filtrante en el que se aloja un tubo perforado de dimensiones adecuadas, de manera que el material rellene el espacio entre el suelo y las paredes de la excavación; también es frecuente disponer drenes de tubos perforados saliendo radialmente de la galería, a fin de captar más eficientemente las aguas y aumentar la zona de influencia para el abajamiento de las presiones neutrales.

En la siguiente figura podemos ver una galería con tubos radiales.

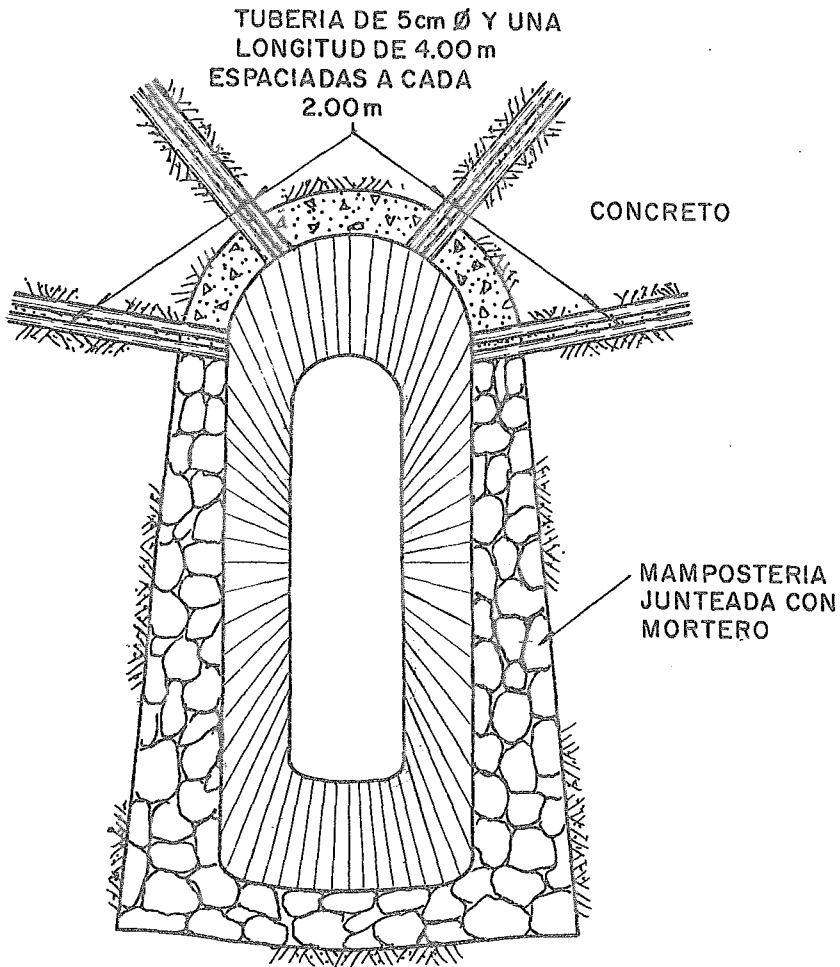


FIG. 12 GALERIA FILTRANTE.

### 2.3 ESTABILIDAD DE TALUDES.

Se conocen con el nombre genérico de taludes, cualesquiera sus superficies inclinadas respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierra. Cuando el talud se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Cuando los taludes se deben a la intervención del hombre, se denominan artificiales, en corte cuando se realiza una excavación en una formación térrea natural y en terraplen en sus lados inclinados. También se producen taludes en los bordes de una excavación que se realice a partir del nivel del terreno natural, a los cuales se suele denominar taludes de la excavación.

En primer lugar será preciso analizar la necesidad de definir criterios de estabilidad de taludes, entendiéndose por tales algo tan simple como el poder decir en un instante dado cual será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén; casi siempre la más apropiada será la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse. Aquí radica la esencia del problema y la razón de su estudio. A diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material térreo por mover y, por lo tanto, diferentes costos. Podrían imaginarse casos en que por alguna razón, el talud más conveniente fuese muy tendido y en tal caso no habría motivo para pensar en "problemas de estabilidad de taludes", pero lo normal es que cualquier talud funcione satisfactoriamente desde todos los puntos de vista excepto el económico, de manera que las consideraciones de costo presiden la selección del idóneo, que resultará ser aquel al que corresponda la mínima masa de tierra movida, o lo que es lo mismo, el talud más escarpado.



En las figuras 13 y 14 se ilustran tipos de taludes que se pueden presentar.

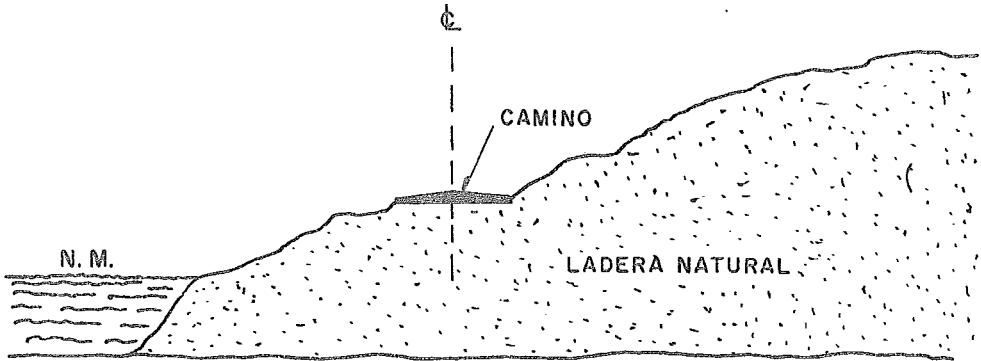


FIG. 13 CARRETERA CONSTRUIDA SOBRE UNA LADERA NATURAL.

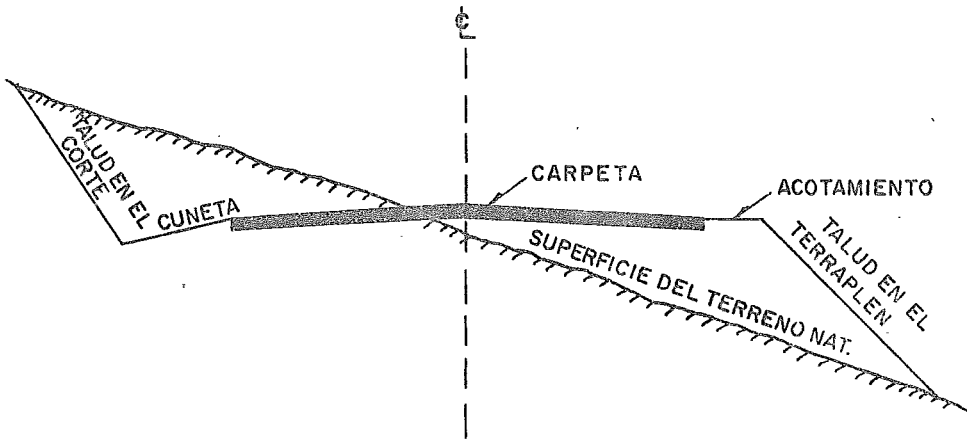


FIG. 14 CARRETERA PROYECTADA CON TALUDES ARTIFICIALES, EN CORTE Y EN TERRAPLEN. (SECCION TRANSVERSAL EN BALCON).

En México, por ejemplo, estadísticamente hablando, puede decirse que el 50% de toda carretera por construir se desarrollará en terreno francamente montañoso, un 30% en terreno ondulado y un 20% en terreno plano. En el primer tipo de configuración quizá un 70% del costo total de la carretera corresponda al movimiento de tierras que, a su vez, consistirá fundamentalmente en la formación de cortes y terraplenes, en los que cualquier cambio en la inclinación repercutirá en forma importante en el costo total.

Los problemas relacionados con la estabilidad de las laderas naturales difieren radicalmente de los que se presentan en taludes construídos por el Ingeniero. Dentro de éstos deben verse como esencialmente distintos los problemas de los cortes y los de los terraplenes. Las diferencias importantes radican, en primer lugar, en la naturaleza de los materiales involucrados y, en segundo, en todo un conjunto de circunstancias que dependen de cómo se formó el talud y su historia geológica, de las condiciones climáticas que privaron a lo largo de tal historia y de la influencia que el hombre ejerce en la actualidad o haya ejercido en el pasado. Esta historia y génesis de formación de laderas y taludes, la historia de esfuerzos a la que estuvieron sometidos y la influencia de condiciones climáticas o, en general, ambientales, definen aspectos tan importantes como la configuración de los suelos y las rocas, o flujo de aguas subterráneas a través de los suelos que forman la ladera o el talud, el cual influye decisivamente en las condiciones de estabilidad.

Dentro de los taludes artificiales también existen en las vías terrestres diferencias esenciales entre los cortes y los terraplenes. Estos últimos constituyen una estructura, que se construyen -

con un material relativamente controlado o que, por lo menos en principio, se puede controlar; en los cortes, no existe esa posibilidad.

De modo que, hay que diferenciar los múltiples modos por los que un talud puede llegar a no cumplir la función que se le haya asignado, o a un eventual colapso, viendo cada modo como un problema distinto, en génesis, planteamiento y solución.

Sin embargo, no existe un método general de análisis aplicable a todos los taludes. Casi todos los más populares son métodos de análisis límite en los que, como primera etapa, se establece un mecanismo cinemático de falla, extraído naturalmente de la experiencia, con base en el cual se analizan las fuerzas tendientes a producirlo (fuerzas motoras), las cuales se han de comparar, por algún procedimiento con las fuerzas capaces de desarrollarse y que tienen a que el mecanismo de falla no se produzca (fuerzas resistentes). Así pues, todos los métodos de cálculo de boga están ligados a un mecanismo cinemático de falla específico, por lo que solo serán aplicables a aquellos problemas de estabilidad en que la falla sea del tipo que se considera.

Por lo anterior, se recomienda que debe dejarse al criterio de Ingenieros de campo, auxiliados por estudios someros y rápidos, la recomendación de la inclinación de la inmensa mayoría de los cortes y terraplenes de las carreteras. Reconociendo tal hecho cobran gran importancia los métodos de estudio masivo. que permiten definir a bajo costo las condiciones prevalecientes en grandes áreas; la fotointerpretación y la geofísica deben verse como armas de especial utilidad para definir las normas de proyecto de los

taludes. De la misma manera será importante elevar el nivel profesional de los Ingenieros de campo encargados de estos problemas, procurando que especialistas en mecánica de suelos, mecánica de rocas e Ingenieros Geólogos competentes desempeñen estas labores en estrecha colaboración con los Ingenieros encargados de la localización. También será importante organizar los trabajos de tal manera que el especialista que dió las recomendaciones iniciales tenga ocasión de verificarlas durante la construcción, haciendo los ajustes necesarios.

### 2.3.1. CORTES

Los factores de que depende la estabilidad de las masas de tierra se pueden agrupar como se muestra a continuación.

#### FACTORES DE QUE DEPENDE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN SUELO

##### a) Factores Geomorfológicos.

- a.1) Topografía de los alrededores y geometría del talud.
- a.2) Distribución de las discontinuidades y estratificaciones.

##### b) Factores Internos.

- b.1) Propiedades mecánicas de los suelos constituyentes.
- b.2) Estados de esfuerzos actuantes.

##### c) Factores Climáticos y, concretamente, el Agua Superficial-Subterránea.

#### FALLAS LIGADAS A LA ESTABILIDAD DE LAS LADERAS NATURALES.

Se presentan y agrupan en esta división las fallas que ocurren típicamente en laderas naturales, aun cuando de un modo u otro también pudieran presentarse de manera ocasional en taludes artificiales.

1) Deslizamiento superficial asociado a falta de resistencia por baja presión de confinamiento (Creep). Se refiere esta falla al proceso más o menos continuo y por lo general lento de deslizamiento ladera abajo que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales, se le suele denominar con la palabra inglesa "Creep", aunque también se utiliza la expresión "deslizamiento superficial".

El Creep suele afectar a grandes áreas y el movimiento super-

ficial se produce sin una transición brusca entre la parte superficial móvil y las más inmóviles más profundas. No se puede hablar de una superficie de deslizamiento. El creep suele deberse a una combinación de las acciones de las fuerzas de gravedad y de otros varios agentes. La velocidad de movimiento ladera abajo de un creep típico puede ser muy baja y rara vez excede de algunos centímetros por año.

En rigor debe hablarse de dos tipos de creep según ha señalado Terzaghi: el estacional, que afecta sólo a la corteza superficial de la ladera que sufre la influencia de los cambios climáticos en forma de expansiones y contracciones térmicas o por humedecimiento y secado, y el masivo, que afecta a capas de tierra más profundas, no interesadas por los efectos ambientales y que, en consecuencia, sólo se puede atribuir al efecto gravitacional. El primero, que en mayor o en menor grado existe siempre, producirá movimientos que podrán variar con la época del año: el segundo se manifestará por movimientos prácticamente constantes. El espesor de la capa superficial a la que afecta el creep estacional es sumamente bajo y su dimensión máxima puede estimarse en un metro.

Localizado el creep, no se debe vacilar en cambiar el trazo de la vía terrestre, evitando sus problemas, pues no existe por el momento, ningún remedio confiable contra este tipo de falla. De no evitarse el problema, los cortes y terraplenes de la vía terrestre estarán en continuo movimiento, con todos los inconvenientes de capacidad de servicio y aspecto que esto representa, con elevados costos de conservación y con el riesgo, siempre inminente de que se produzcan fallas de todo tipo, originadas por el propio deslizamiento superficial.

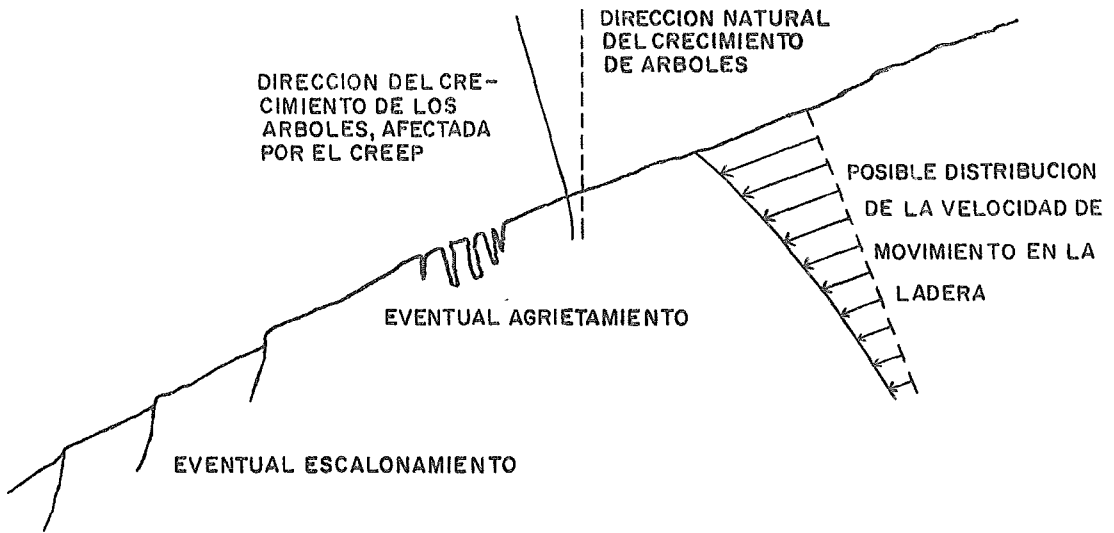


FIG. 15 SIGNOS DEL DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL.

2) Fallas asociadas a procesos de deformación, generalmente relacionadas con perfiles geológicos desfavorables. Este inciso se refiere al tipo de fallas que se producen en las laderas naturales como consecuencia de procesos de deformación acumulativa, por la tendencia de grandes masas a moverse ladera abajo. Este tipo de fallas quizá es típico de laderas naturales en depósitos de talud o en otras formaciones análogas en cuanto a génesis geológica formadas por materiales bastante heterogéneas, no consolidadas y bajo la acción casi exclusiva de las fuerzas gravitacionales. Muchas veces aparecen en el contacto de estos depósitos con otros subyacentes, más firmes.

Una vez producida la superficie de falla podrá ocurrir un deslizamiento rápido de las masas afectadas, a la tierra sobre la superficie de falla podrá permanecer en su posición, desde luego en un estado no muy alejado del equilibrio límite o crítico. Ello depende

rá, primordialmente, de la inclinación de la superficie de falla -  
formada y, en menor grado, de las restricciones creadas al deslizamiento  
por las heterogeneidades e irregularidades de forma y materiales -  
que pueden existir a lo largo de la superficie de falla.

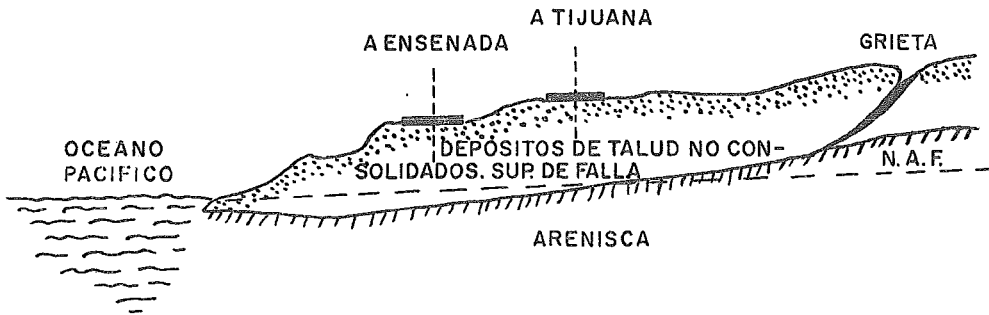


FIG. 16 SUPERFICIE DE FALLA FORMADA EN UNA LADERA  
NATURAL. (AUTOPISTA TIJUANA - ENSENADA).

La figura 16 muestra una falla real del tipo descrito. Se trata de un gran deslizamiento de masas no consolidadas de depósitos de talud situados sobre formaciones de roca arenisca muy sana. La inclinación media de la superficie de falla es de unos  $15^{\circ}$ , siendo quizá  $13^{\circ}$  el valor que se pueda atribuir al ángulo de resistencia residual de los depósitos de talud. El nivel freático y en general - la presencia de agua en los materiales en la proximidad de la su -



perficie de falla desempeñan un papel fundamental en la estabilidad y, de hecho, hacen algo mas complejo el mecanismo que se ha descrito para la generación de estas fallas.

3) Flujos. Se refiere este tipo de falla a movimientos más o menos rápidos de una parte de la ladera natural, de tal manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de velocidades y desplazamientos recuerda el comportamiento de un líquido viscoso. La superficie de deslizamiento o no es distinguible o se desarrolla durante un lapso relativamente breve; es también frecuente que la zona de contacto entre la parte móvil y las masas fijas de la ladera sea una zona de flujo plástico.

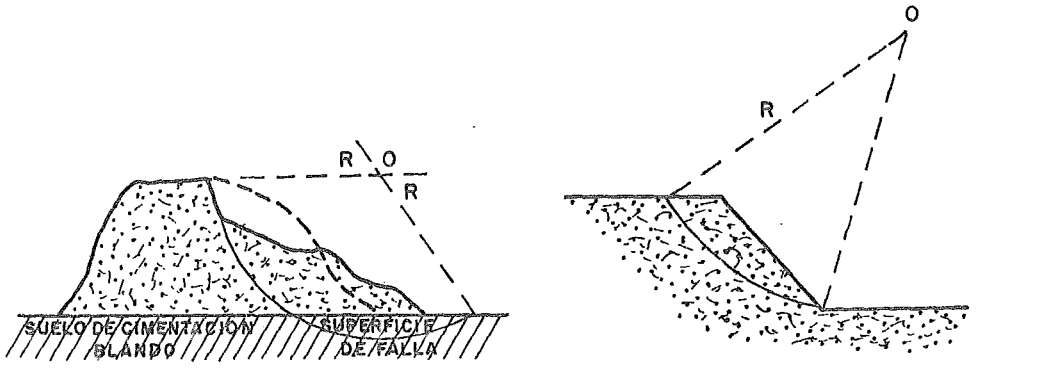
El material susceptible de fluir puede ser cualquier formación no consolidada, y así el fenómeno puede presentarse en fragmentos de roca, depósitos de talud, suelos granulares finos o arcillas francas; son frecuentes los flujos de lodo.

### 2.3.2 TERRAPLENES

#### FALLAS RELACIONADAS A LA ESTABILIDAD DE TALUDES ARTIFICIALES

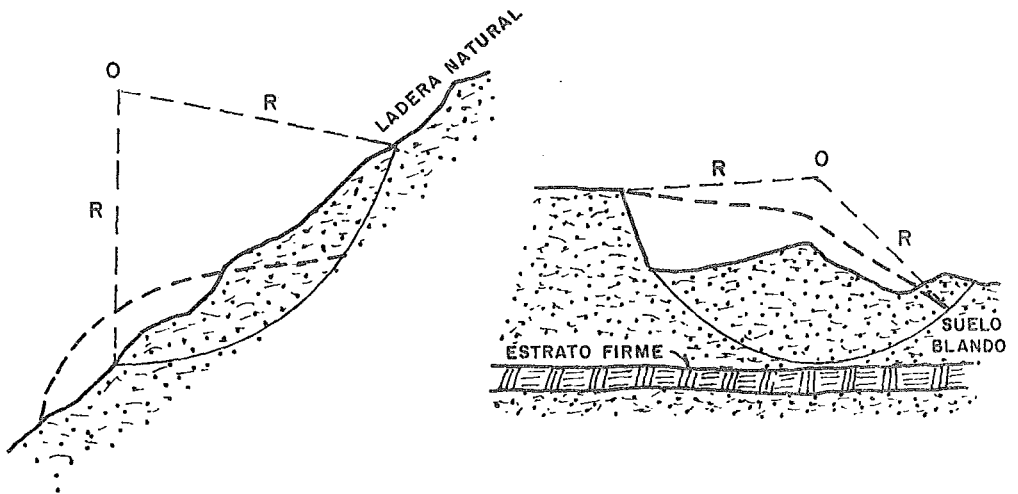
1) Falla Rotacional. Se describen ahora los movimientos rápidos o prácticamente instantáneos que ocurren en los taludes y afectan a masas profundas de los mismos, con deslizamiento a lo largo de una superficie de falla curva que se desarrolla en el interior del cuerpo del talud, interesando o no al terreno de cimentación. Se considera que la superficie de falla se forma cuando en la zona de su futuro desarrollo actúan esfuerzos cortantes que sobrepasan la resistencia del material. Así pues, en el interior del talud existe un estado de esfuerzos cortantes que vence en forma más o menos rápida la resistencia al esfuerzo cortante del suelo; a consecuencia de ello sobreviene la ruptura del mismo, con la formación de una superficie de deslizamiento, a lo largo de la cual se produce la falla. Estos movimientos son típicos de los cortes y los terraplenes de una vía terrestre.

Las fallas del tipo rotacional pueden producirse a lo largo de superficie de falla identificables con superficies cilíndrica o concoidales cuya traza con el plano del papel sea un arco de circunferencia, o pueden adoptar formas algo diferentes, en los que por lo general influyen la secuencia geológica local, el perfil estratigráfico y la naturaleza de los materiales.



a) Falla de base.

b) Falla por pie del talud.



c) Falla superficial.

d) Falla limitada por un estrato firme.

FIG. 17 FALLAS ROTACIONALES. SECCIONES TÍPICAS.

Desde luego las fallas rotacionales en forma circular ocurren por lo común en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico esté regido básicamente por su fracción arcillosa. En general afectan a zonas relativamente profundas del talud, siendo ésta profundidad mayor (hablando solo del mismo, sin considerar el terreno de cimentación) cuanto más escarpado sea aquél. Aunque el Ingeniero asocia las fallas rotacionales circulares con los cortes y terraplenes que él construye, son también comunes en laderas naturales de materiales homogéneos y finos (muchas veces en las formadas por arcillas sobreconsolidadas); cuando las laderas son muy tendidas, la superficie de falla pueden desarrollarse con poca profundidad. Las fallas rotacionales circulares pueden ser de cuerpo de talud o de base; las primeras se desarrollan sin interesar al terreno de cimentación, en tanto que las segundas se desarrollan parcialmente en él.

Las fallas rotacionales de forma distinta a la circular típica parecen estar asociadas sobre todo a arcillas sobreconsolidadas, que se presenten en taludes no homogéneos, por diferencias en la meteorización, por influencia de la estratificación o por otras causas que se reflejen en discontinuidades o en desorden estructural en el talud. Son por lo tanto típicas de cortes. Ocurren siempre acompañadas de gran fragmentación de los materiales involucrados.

Producido el deslizamiento, la cabeza de la falla puede presentar taludes casi verticales, por lo que tenderán a producirse nuevas fallas, si el Ingeniero no interviene oportunamente; este mismo efecto se presenta a veces en los costados de la falla.

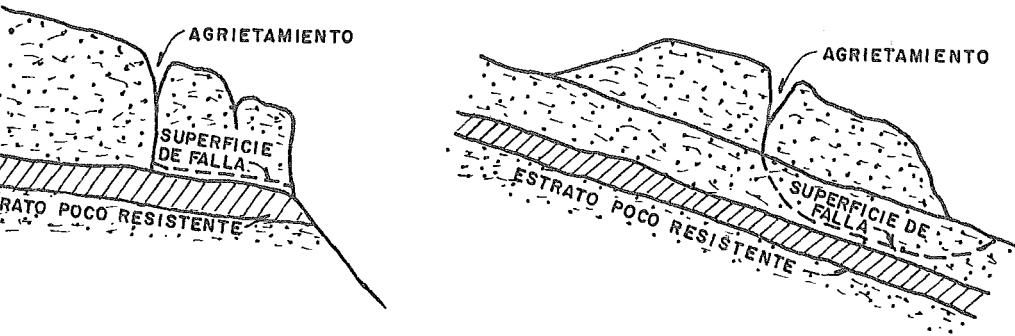
2) Falla Traslacional. Estas fallas por lo general consisten en movimientos traslacionales importantes del cuerpo de talud sobre superficies de falla básicamente planas, asociadas o la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad bajo el talud.

La superficie de falla se desarrolla en forma paralela al estrato débil y se remata en sus extremos por dos cantiles, por lo general formados por agrietamientos. Los estratos débiles que fomentan estas fallas son por lo común de arcillas blandas o arenas finas o limos no plásticos sueltos. Con mucha frecuencia, la debilidad del estrato está ligada a elevadas presiones de poro en el agua en estratos de arena (acuíferos). En este sentido las fallas pueden estar ligadas también al calendario de las temporadas de lluvias en la región.

Las fallas del material en bloque muchas veces están asociadas a discontinuidades y fracturas de los materiales que forman un corte o una ladera, siempre en añadidura al efecto del estrato débil subyacente.

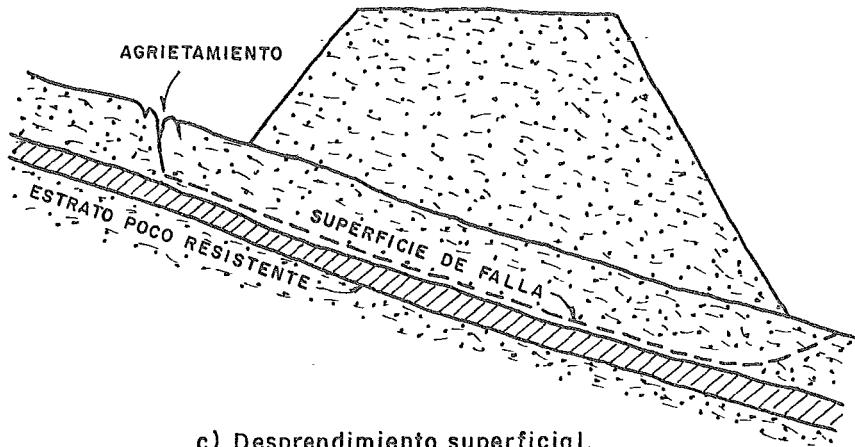
Las fallas de una franja superficial, son típicas de laderas naturales formadas por materiales arcillosos producto de la meteorización de las formaciones originales. Se suele provocar por el efecto de la sobrecarga impuesta por un terraplén construido sobre una ladera. En estas fallas el movimiento ocurre casi sin distorsión.

3) Falla con Superficie Compuesta. Este tipo de fallas abarca movimientos en que se combinan la rotación y la traslación, dando lugar a superficies de falla compuestas en que se desarrollan zonas planas a vez que tramos curvos, asimilables a arcos circulares. En-



a) En bloque.

b) Falla en bloque propiciada por la estratificación del terreno natural.



c) Desprendimiento superficial.

FIG. 18 FALLAS TRASLACIONALES.

general, estas superficies están predeterminadas por la presencia de heterogeneidades dentro del talud.

En general, cuanto menor sea la profundidad a que la heterogeneidad aparezca (fallas, juntas, un estrato débil, etc.) mayor será la componente traslacional en la falla.

Las fallas compuestas suelen producir la distorsión de los materiales, que es típica de las fallas circulares.

4) Derrumbes y Caídos. Estas fallas son típicas tanto de las laderas naturales como de los cortes practicados en aquéllas. A veces suceden también en otros lugares fuera de las vías terrestres propiamente dichas, pero ejerciendo cierta influencia sobre éstas; tal, por ejemplo, es el caso de los derrumbes que pueden ocurrir en la orilla de un río, como consecuencia de la erosión de la corriente.

Por lo general consisten en desprendimientos locales de no muy grande volumen, aunque naturalmente existen desprendimientos de grandes masas fragmentadas que se deben clasificar como derrumbes. En estas fallas no puede hablarse de una superficie de deslizamiento, y el desprendimiento suele estar predeterminado por las discontinuidades y fisuras preexistentes. Suele suceder que éstas se abran al construirse el corte y que su frente quede sin el anterior confinamiento lateral, lo que da ocasión a que se aflojen los fragmentos, actúen presiones hidrostáticas del agua acumulada y otros efectos indeseables. Los derrumbes y caídos están siempre asociados a cantiles o cortes escarpados y con mucha frecuencia a las arcillas fuertemente sobreconsolidadas, excluyendo las rocas.

5) Fallas Por Erosión. Son fallas tan frecuentes y dañinas en terraplenes y cortes en las carreteras. Se trata del resultado del



FOTOGRAFIA DE UN DERRUMBE Y CAIDO .

CARRETERA MEXICO - PACHUCA.

ataque superficial de los agentes erosivos sobre los materiales que componen el talud. El viento y el agua (lluvia o escurrimiento superficial) son los agentes cuyos malos efectos el Ingeniero ha de intentar contrarrestar con mayor frecuencia en las carreteras. La falla se manifiesta en irregularidades, socavones y canalizaciones en el plano del talud, originalmente regular, si no se detiene de una manera adecuada, estos defectos podrán progresar hasta la eventual destrucción del talud, en el caso de un terraplén, o hasta atacar profundamente un corte, con consecuencias a veces muy graves.

6) Fallas por Agrietamiento. Tienen importancia especial en los terraplenes. Es seguro que en los terraplenes de las carreteras se puedan presentar agrietamientos tanto en el sentido trasversal -



como en el longitudinal. Los primeros ocurriran por asentamiento diferencial a lo largo del eje del camino y solo serán de consideración en el caso de terraplenes construidos sobre suelos blandos, - por ejemplo en zonas de transición con terreno de cimentación de mejor calidad o en lugares en que, por algunas razones, los asentamientos diferenciales pueden ser particularmente grandes. Sin embargo, es difícil concebir que un caso de este tipo de agrietamiento se presente en forma peligrosa y sistemática. El agrietamiento longitudinal respecto al eje de la obra vial es mucho mas frecuente o por lo menos, mucho más frecuentemente susceptible; ocurre sobre todo por movimientos diferenciables de los hombros del terraplén y su parte central. Se manifiesta por la aparición de dos familias de grietas simétricas respecto al eje del camino; ubicadas en los hombros, incluso en las partes extremas de la zona usualmente pavimentadas; estas grietas continuan en forma casi ininterrumpida durante decenas o centenares de metros. Muchas veces esta forma de agrietamiento constituye un problema importante a cuya solución ha de avocarse el Ingeniero, tanto por la magnitud de las grietas que se forman, como por el avance que el fenómeno pueda ir teniendo con el tiempo con el tiempo, hasta provocar la eventual destrucción del terraplén en conjunto. Todavía se discute cual puede ser la génesis de los más importantes fenómenos de agrietamiento longitudinal que se han reportado, pero parece ser que son causa importante los movimientos diferenciales por distinto grado de secado entre los materiales cercanos a los hombros y taludes del terraplén y los de la zona central del mismo, mucho menos expuestos a la evaporación solar.

#### 2.4 VIENTO.

Los depósitos de arena presentan ciertas formas características y fáciles de reconocer. Con frecuencia el viento reúne las partículas de arena en montículos y promontorios llamados dunas o médanos, los cuales se mueven algunas veces lentamente a lo largo de la dirección del viento. Algunos médanos tienen solamente 30 cm de altura, pero otros alcanzan proporciones colosales. En el sur de Irán existen dunas de hasta 210 metros de altura, con una base de mas de 900 metros de ancho.

Como se sabe, a medida que decae la velocidad de una corriente, disminuye también la energía disponible para el transporte de material; consecuentemente, sobreviene el depósito del material. La misma relación entre la energía que disminuye y el incremento en el depósito se aplica al viento; pero al referirnos a la arena depositada por el viento necesitamos examinar mas estrechamente la relación y explicar porque la arena se deposita en forma de médanos y no como un manto continuo regular.

La sombra del viento. Cualquier obstáculo, grande o pequeño, que se interponga en el camino del viento, desviará el aire en movimiento, creando una "sombra de viento" del lado de sotavento, así como otra más pequeña del lado del viento inmediatamente enfrente del obstáculo. Dentro de cada sombra de viento se mueve el aire en remolinos con un movimiento medio menor que el del viento que pasa por fuera. El límite entre las dos zonas de aire que se mueven a diferentes velocidades se llama superficie de discontinuidad.

Cuando las partículas de arena empujadas por el viento chocan con un obstáculo, se asientan en la sombra del viento que está inme

diatamente enfrente de dicho obstáculo puesto que la velocidad del viento (y la energía consecuente) son bajas en esta sombra de viento, tiene lugar el depósito y se forma gradualmente un montículo de arena. Otras partículas rebasan el obstáculo y cruzan la superficie de discontinuidad dentro de la sombra de viento de sotavento, detrás de la barrera. Aquí nuevamente son bajas las velocidades, sobreviene el depósito y se forma un montón de arena (el médano), proceso que es ayudado por el aire que se arremolina y tiende a barrer la arena hacia el centro de la sombra de viento.

Sombra de viento de una duna. En realidad, una duna de arena actúa por si misma como una barrera que corta el viento y, al interrumpir el flujo de aire, puede provocar el depósito de arena. El perfil a través de un médano, en la dirección hacia la cual sopla el viento, muestra una pendiente suave de lado del viento y otra pendiente más pronunciada existe una sombra de viento en la que el depósito de arena es activo. El viento conduce los granos de arena sobre la pendiente suave hasta la cresta de la duna y a continuación caen dentro del área de la sombra de viento. La pendiente más en declive, del lado de sotavento, se llama cara de deslizamiento de la duna, a causa de los pequeños deslizamientos de arena que se producen ahí.

La cara de deslizamiento es necesaria para que exista una verdadera sombra de viento. He aquí como se forma la cara de deslizamiento. La presencia de un montículo de arena afecta al flujo de aire por encima de éste, como se indica en el diagrama superior de la fig. 19

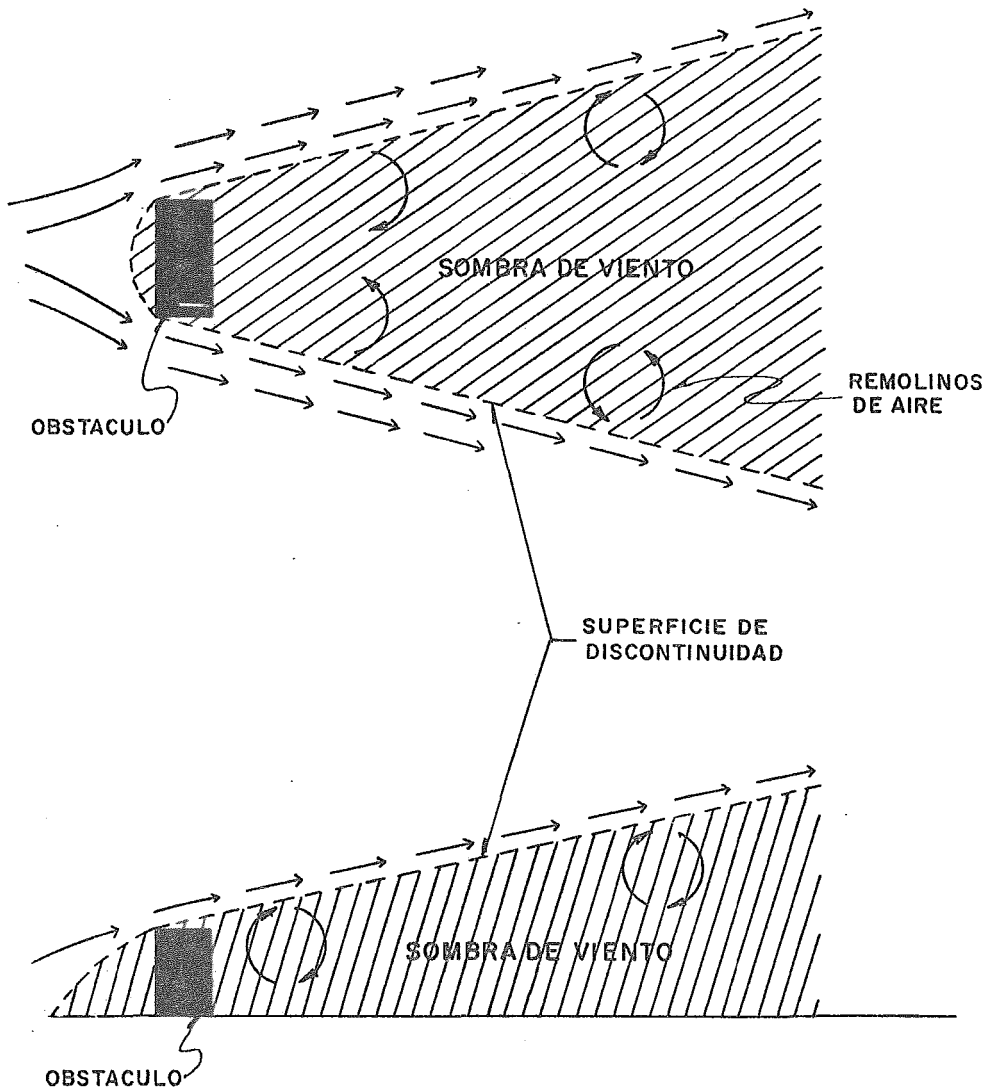


FIG. 19 SOMBRA DE VIENTO FORMADA POR UN OBSTACULO  
QUE SE INTERPONGA EN EL CAMINO DEL VIENTO.

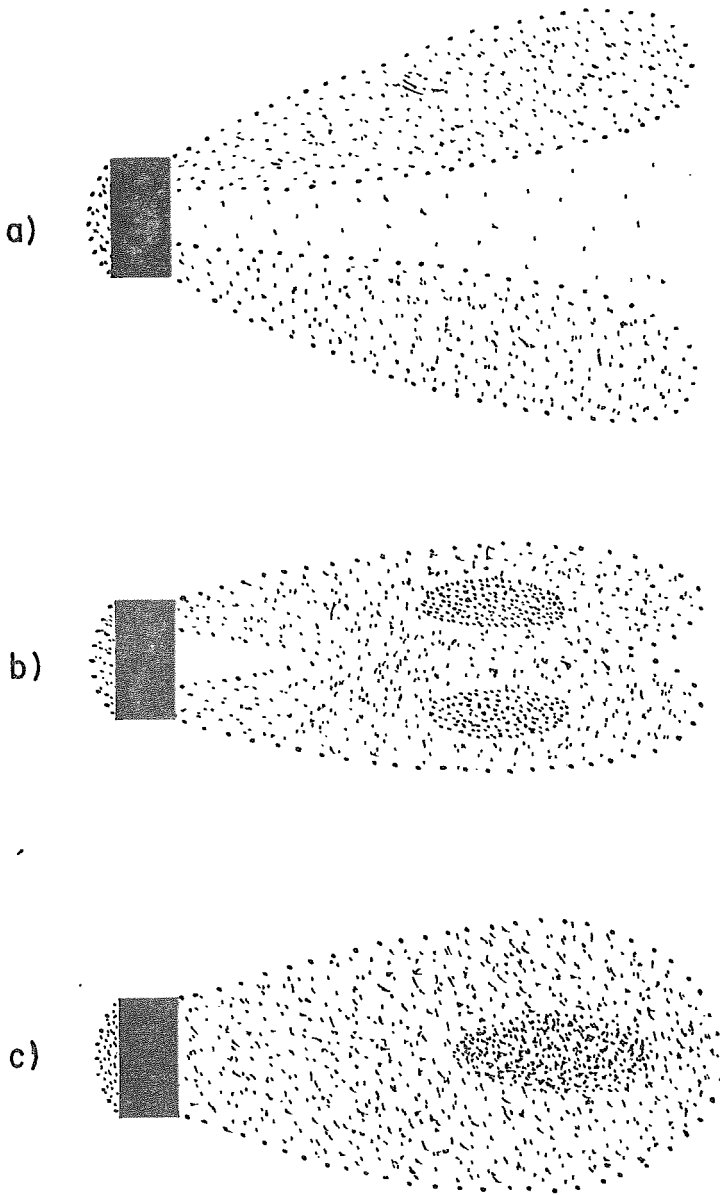


FIG. 20 SECUENCIA DE DIAGRAMAS INDICANDO LA  
FORMACION DE UNA DUNA O MEDANO .

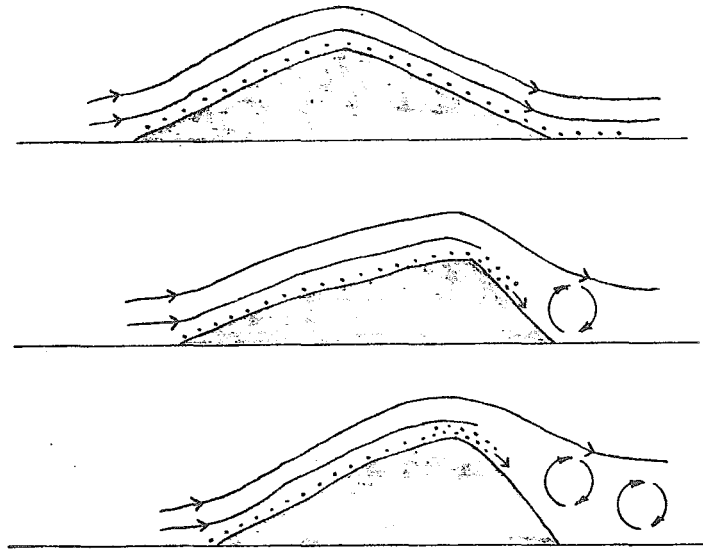
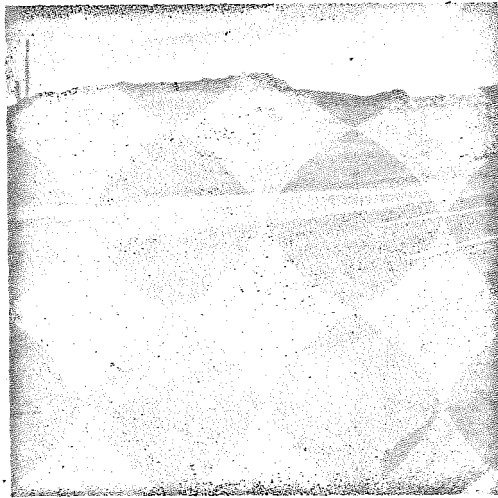


FIG. 21 DESARROLLO DE LA CARA DE DESLIZAMIENTO  
EN UNA DUNA O MEDANO.

Observese que el viento fluye sobre el montículo con una trayectoria lineal. Estas líneas de flujo tienden a converger hacia la cima del montículo y divergen hacia sotavento. Las velocidades son menores en la zona donde diverge el flujo de aire que en la zona de flujo convergente. En consecuencia la arena tiende a depositarse sobre la pendiente de sotavento, precisamente sobre la cima del montículo donde la velocidad comienza a disminuir. A causa del depósito, esta pendiente se hace más abrupta y eventualmente se desploma la arena bajo la influencia de la gravedad. El desplome sobreviene, generalmente, a un ángulo de  $34^{\circ}$  con relación al horizonte. Entonces se produce una cara de deslizamiento con superficie de declive para crear una zona de viento en el lado de sotavento. Dentro de esta caen los granos de arena como la nieve a través del aire tranquilo. El depósito continuo y el desplome periódico a



CARRETERA CONSTRUIDA DEL LADO DEL SOTAVENTO DE  
UNA DUNA COSTERA. CARRETERA VERACRUZ - ALVARADO.



CARRETERA CONSTRUIDA SOBRE LA CARA DE DESLIZAMIENTO DE  
UNA DUNA COSTERA. CARRETERA VERACRUZ - ALVARADO.

lo largo de la cara de deslizamiento es factor importante en el crecimiento lento o en el movimiento de la duna en dirección del viento.

Dunas Costeras. No solo se encuentran dunas en el desierto. A lo largo de las costas del océano, de los lagos grandes, y aún en los climas húmedos, se forman promontorios o montículos de arena - soplada por el viento, que se llaman dunas delanteras. Están bien-desarrolladas a lo largo de grandes tramos de la Carretera Costera del Golfo, especialmente en el Estado de Veracruz, dicha carretera une las ciudades de Matamoros, Tamaulipas con Puerto Juárez, Quintana Roo. El viento provoca la invasión de arena en la superficie de rodamiento de tal carretera, o bien en cunetas o contracunetas. Estas dunas delanteras son modeladas por la influencia de fuertes-vientos costeros que actúan sobre las partículas de arena de la playa. En muchas costas la vegetación es lo suficientemente densa para obstruir el movimiento tierra dentro de las dunas, por lo que éstas se concentran en una faja estrecha paralela a la línea de la costa. Por lo común estas dunas tienen una superficie irregular, - caracterizada a veces por la presencia de cavidades.

No obstante, en las áreas de vegetación escasa, se puede mover la arena tierra adentro, formando una serie de camellones en ángulo recto y en dirección del viento. Estas dunas transversales muestran la pendiente suave hacia donde viene el viento y la pendiente abrupta en el lado opuesto, características de otras dunas. Las dunas transversales son también comunes en las regiones áridas y semiáridas, donde la arena es abundante y la vegetación escasa, - como ejemplo está la carretera México-Nogales, a su paso por la región árida del Estado de Sonora.



Barjanes. Los barjanes son dunas de arena en forma de luna en creciente, cuyos cuernos apuntan a la dirección en que sopla el viento, y se mueven lentamente a su impulso, las más pequeñas, a una velocidad de unos 15 metros por año, y las más grandes a razón de 7 y 8 metros por año. La altura máxima alcanzada por los barjanes es de unos 30 metros y su amplitud máxima, de punta a punta, es aproximadamente de 300 metros.

Todavía existe desacuerdo acerca de la formación de los barjanes. Sin embargo, parecen esenciales ciertas condiciones: un viento que sople en una dirección fija, una superficie de terreno duro y relativamente plano, un abastecimiento de arena limitada y una falta de vegetación.

Dunas Parabólicas. Estas dunas de gran tamaño, tienen la forma de una cuchara, son parabólicas, semejantes a un barjan al revés, es decir, que sus extremos apuntan hacia la dirección de la que viene el viento. Normalmente están cubiertas por una vegetación escasa que permite el movimiento limitado de la arena. Son frecuentes en las áreas costeras y en grandes valles.

Dunas Longitudinales. Las dunas longitudinales son largos promontorios de arena alineados en la dirección general del movimiento del viento. Las de tipo pequeño tienen menos de 3 metros de altura y unos 60 de largo. Sin embargo en el desierto de Libia fácilmente alcanzan una altura de 100 metros, extendiéndose por 90 ó 100 km a través de la región.

Estratificación en las Dunas. Las capas de arena de una duna normalmente están inclinadas. Las que están a lo largo de la cara de deslizamiento tienen un ángulo de unos 34º, mientras que las capas de la pendiente del lado del viento tienen una pendiente más suave.

CAPITULO III

PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE OBRAS DE PROTECCION PARA

CARRETERAS

3.1 OBRAS DE DRENAJE PARA CARRETERAS.

3.1.1 DRENAJE SUPERFICIAL

A) ALCANTARILLAS.- La diferencia fundamental entre los puentes y las alcantarillas es que éstas llevan un colchón de tierra y aquellos no. Una alcantarilla consta de dos partes: el cañón y los muros de cabeza. El cañón forma el canal de la alcantarilla y es la parte principal de la estructura. Los muros de cabeza sirven para impedir la erosión alrededor del cañón, para guiar la corriente y para evitar que el terraplén invada el canal. Sin embargo, se alarga el cañón, los muros de cabeza se pueden omitir. Según la forma del cañón, las alcantarillas se dividen en alcantarillas de tubo, alcantarillas de cajón y alcantarillas de bóveda.



ALCANTARILLA DE CAJON. DE MAMPOSTERIA Y CONCRETO

OBSERVESE EL CAÑON Y LOS MUROS DE CABEZA

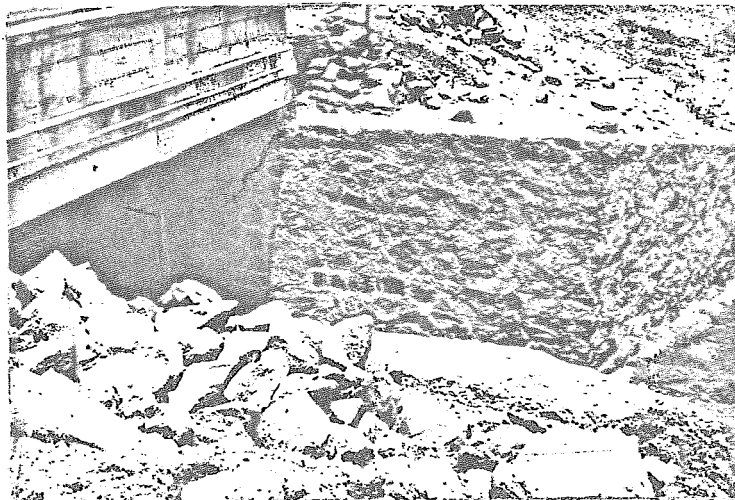
CARRETERA TOLUCA-ATLACOMULCO

La elección de cuál tipo de alcantarilla es la mejor depende:

1) Del suelo de cimentación; 2) De las dimensiones de la alcantarilla y requisitos de la topografía, y 3) De la economía relativa de los diferentes tipos posibles y adecuados de estructura.

Dependiendo de su forma y material, las alcantarillas se clasifican en :

Alcantarillas de Cajón. Pueden ser de acuerdo a su construcción, monolíticas o seccionales, pueden ser con el fondo y lados de concreto simple y cubierta de concreto reforzado, también pueden ser de concreto reforzado en los cuatro lados que son las menos comunes, en México se usan generalmente para carretera las de muros laterales de mampostería con una cubierta de losa y piso de concreto, debido a que resultan muchas veces más económicas.



ALCANTARILLA DE CAJON A BASE DE MAMPOSTERIA Y CONCRETO, EN CONSTRUCCION, OBSERSE EL DRENAJE EN LOS MUROS DE CABEZA QUE TRABAJAN COMO MUROS DE RETENCION. CARRETERA TOLUCA - ATLACOMULCO.

Las mamposterías son estructuras que se construyen a base de pie  
dra y pueden ser de tres clases:

A) Mampostería de Segunda Clase, que es la que se construye con piedra toscamente labrada, rastreada y junteada con mortero de cemento.

B) Mampostería de Tercera Clase, que es la que se construye con piedra sin labrar junteada con mortero de cemento, de cal hidratada en polvo o de cal hidratada en pasta.

C) Mampostería Seca, es la que se construye sin mortero de liga con piedra sin labrar, pero debidamente acomodada para dejar el me  
nor número de vacíos.

Para carreteras es común utilizar la primera, en donde las piedras deberán pesar como mínimo 30 kilogramos, excepto las que se emplean para acuñar. Se desecharán las piedras redondeadas y los cantos rodeados sin fragmentar. Las piedras deberán estar limpias y exentas de costras. Si sus superficies tienen cualquier materia extraña que reduzca la adherencia, se limpiarán o lavarán y serán rechazadas si tienen grasas, aceites y/o si las materias extrañas no son removidas.

Los otros materiales, como son cemento portland, ó cal, arena y agua, deberán cumplir con los requisitos mínimos que exige la Secre  
taria de Comunicaciones y Transportes.

En términos generales, para las mamposterías de segunda clase, -  
deben considerarse 240 litros de mortero por metro cúbico de mampostería. El mortero podrá hacerse a mano ó con máquina, segun conven  
ga y de acuerdo con el volumen por mezclar. En el primer caso, la

arena y el cemento, se mezclarán en seco en una artesa limpia y estonca, hasta que la mezcla adquiriera un color uniforme; a continuación se agregará el agua en cantidad suficiente para formar una pasta trabajable. Si se prepara en máquina revolvedora, esta deberá ser de la capacidad adecuada. El mezclado se hará durante 15 minutos como mínimo.

Todo desplante de mampostería deberá terminarse, afinarse y, si lo ordena el proyecto, compactarse. Sobre la superficie así tratada, se tenderá una plantilla de mortero simple ó con pedacera de piedra lo cual tendrá el espesor mínimo necesario para lograr una superficie uniforme.

En la construcción de las mamposterías de segunda clase deberán seguirse los siguientes lineamientos.

- a) Sobre el desplante se colocarán las piedras de mayores dimensiones, cuidando que queden bien asentadas.
- b) Toda piedra deberá labrarse, en forma tal que corresponda con la forma del sitio del asiento.
- c) Para las esquinas y extremos de muros, se seleccionarán las de mejor forma.
- d) En los paramentos visibles no se admitirán salientes mayores de 2 cm. con relación al plano técnico.
- e) Si las piedras son de origen sedimentario, se labrarán y colocarán de modo que sus lechos de estratificación queden normales a la dirección de la resultante de las fuerzas.
- f) Cada piedra deberá llenar lo mejor posible el hueco dejado por las piedras contiguas.

- g) Toda piedra, despiante y plantilla deberá humedecerse previamente al junteo con mortero de cemento, y se procurará que éste y las lajas de piedra llenen completamente los espacios que dejen las piedras contiguas.
- h) El espesor de las juntas no será mayor de 4 cm. ni menos de 2 cm.
- i) Antes que endurezca el mortero, se vaciarán las juntas de los paramentos visibles hasta una profundidad de 4 cm. para entallarlas después.
- j) Ninguna piedra deberá aflojar a las ya colocadas. Si tal sucediera, o la piedra quede mal colocada, o provoque que se abra una de las juntas, deberá ser retirada en unión del mortero que la envolvía, para colocarla nuevamente según lo indicado.
- k) Las piedras deberán cuatrapearse para obtener el mejor amarre posible y desplazar las juntas verticales.
- l) El entallado en los paramentos, se hará después de rellenar los huecos y esperando que el mortero de la mampostería haya endurecido. El paramento se conservará húmedo mientras se realiza la operación de entallado y se conservará así por 3 días.
- m) Con el fin de que los paramentos presenten buen aspecto se limpiarán y se corregirán los defectos que puedan tener.

Por lo que se refiere al piso de concreto simple y la losa de concreto reforzado, se utilizará el concreto hidráulico que es una mezcla y combinación de cemento Portland, agregados pétreos selec-

cionados como la grava y la arena, agua y adiconantes en su caso en dosificación adecuada, que al endurecer adquiere las caracterís ticas previamente fijadas.

En obras de importancia como las carreteras sólo se podrán - usar cementos de calidad y de marca reconocida. Cuando se trata de cementos de nuevas marcas ó sin antecedentes de calidad, la Secretaria de Comunicaciones y Transportes decidirá su empleo de acuer do a pruebas de laboratorio.

Los agregados grueso y fino también serán supervisados por la Secretaría, cuidando su granulometría, que no contengan arcilla y sustancias nocivas que afecten las características del cemento se leccionado. El agua debe ser también de buena calidad.

La revoltura deberá hacerse con una máquina revolvedora que - trabaje a su capacidad normal y que garantice la homogeneidad de la mezcla; ó bien, que provenga de una planta de concreto premez clado, reuniendo las características fijadas en el proyecto. Si la mezcla se hace a mano se observarán los siguientes requisitos: se usarán siempre artesas ó tarimas estancas, sobre ellas se extende rá primero la arena y encima, uniformemente, el cemento; ambos se mezclarán perfectamente en seco, traspaleándolos varias veces has ta que la mezcla presente un color uniforme; en seguida se volverá a extender, se añadirá el agregado grueso y se mezclará en la mis ma forma; una vez obtenido un color uniforme, se abrirá un cráter en la revoltura y se depositará el agua necesaria, sobre la cual - se irán derrumbando las orillas del cráter; después se revolverá el conjunto traspaleando de uno a otro lado, en ambos sentidos, - por lo menos 5 veces, hasta que la mezcla presente un aspecto -- uniforme. Desde el momento en que se adicione el agua hasta que -



se deposite la revoltura en los moldes, no deberán transcurrir más de 30 minutos y por ningún motivo se agregará más agua después de este tiempo.

Se usará el equipo adecuado para depositar el cemento, puede ser en botes, con carretillas, con transportadores especiales, con canales ó tubos, ó con equipo especializado de bombeo.

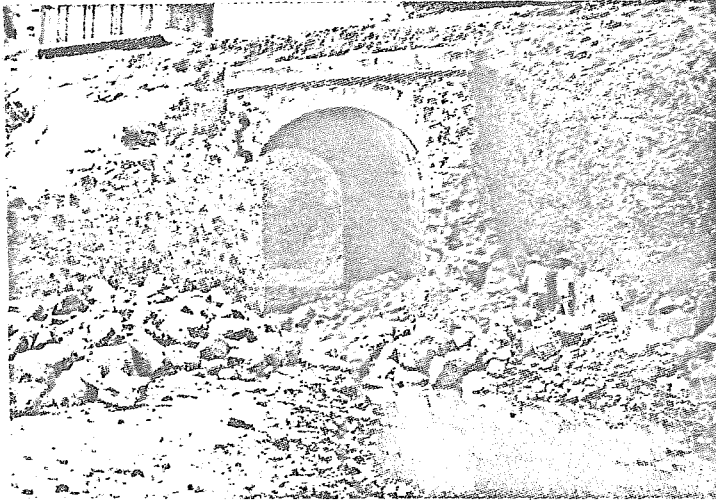
La cimbra más conveniente es a base de madera: puntales, maderas, arrastres, vientos y tarimas o duela. La superficie sobre la que estará en contacto el concreto, deberá llevar aceite o grasa de manera que no se adhiera con él.

Durante el vaciado del concreto se usarán vibradores de inmersión y un número suficiente de ellos para asegurar el correcto acomodo de la revoltura.

El acero de refuerzo requerido para el concreto hidráulico deberá ser preferentemente de una marca prestigiada ó de calidad reconocida. Al colocarse en la obra, el acero para concreto hidráulico, deberá hallarse libre de oxidación perjudicial, exento de tierra, grasas ó aceites y cualquier otra sustancia extraña.

Cualquiera que sea su diámetro y con el fin de darle las formas que establezca el proyecto, las varillas de refuerzo se doblarán en frío y lentamente. Los empalmes, si es necesario hacerlos será de dos tipos: traslapados ó soldados. Cuando el proyecto no determine otra cosa, los traslapes tendrán una longitud de 40 veces el diámetro para varilla corrugada ; y de 60 veces el diámetro para varilla lisa. Se colocarán en los puntos de menor esfuerzo de tensión. En los empalmes a tope, los extremos de las varillas

se unirán mediante soldadura de arco y otro procedimiento de resultados similares.



CONSTRUCCION DE LOS MUROS DE CABEZA PARA UNA  
ALCANTARILLA DE BOVEDA. CARRETERA TOLUCA -  
ATLACOMULCO.

Alcantarilla de Bóveda.- Este tipo de alcantarillas se --  
recomienda cuando se tiene un terraplén alto y además se cuenta -  
con una cimentación firme, las bóvedas son semejantes a las alcan-  
tarillas de cajón, salvo que las cubiertas van en arcos de mampostería,  
de concreto simple ó de concreto reforzado.

Este tipo de obras han perdido su popularidad adquirida anteriormente,  
debido a que muchas veces se han empleado indebidamente en casos en que  
no era indicado su uso, ya que este tipo de alcantarillas no debe emplearse  
cuando se requiera que sean de claros grandes y muy altos en éste caso se  
recomienda usar bóvedas de ar-

cos múltiples, reduciendo así el costo de la obra.

En general, los procesos de construcción son similares a los que ya se han descrito para construcción de alcantarillas de cajón, cuidando desde luego, la calidad de los materiales que se utilizan.

Las bóvedas, como las losas, se aconsejan cuando no se pueden colocar tubos y cuando la piedra es abundante, también cuando la pendiente transversal es muy fuerte y cuando el colchón es muy grande. Tiene el inconveniente de ser de ejecución lenta, pero tienen la gran ventaja de su estabilidad sobre todo si los estribos están bien cimentados. El mejor tipo, para las de claros grandes, es el que tiene articulaciones en la bóveda. Pueden ser simples, gemelas ó múltiples.

Alcantarillas de Tubo.- Pueden ser varios tipos a su vez: de tubo de concreto reforzado y de lámina corrugada.

En lo referente a las de tubo de concreto reforzado, en su construcción no se emplearán tubos con diámetro menor de 75 cm., salvo indicación en contrario del proyecto. Por lo general las alcantarillas se deben construir después de construído el terraplén hasta el nivel de subrasante.

La excavación para las alcantarillas deberá ser hecha con las dimensiones y niveles establecidos en el proyecto. La excavación generalmente, deberá ser un metro mayor que el diámetro para que pueda realizarse la compactación del material de relleno. Se procurará que las paredes de la excavación sean tan cercanas a la vertical como el terreno lo permita.



TERMINACION DE UNA ALCANTARILLA DE TUBO DE CONCRETO  
REFORZADO. CARRETERA XALAPA - VERACRUZ.

El fondo de la excavación en que asiente el tubo deberá estar exento de raíces, piedras salientes, oquedades u otras irregularidades.

Cuando no se pueda perfilar la excavación para asentar adecuadamente la alcantarilla, la excavación deberá llevarse hasta una profundidad de 20 cm. abajo del nivel fijado para la plantilla y ésta excavación excedente se rellenará con material adecuado, compactado al 90% , para después asentar los tubos lo mismo se hará hasta la profundidad necesaria, cuando al nivel de desplante fijado en el proyecto no se encuentre terreno resistente. Si hay corriente de agua ó filtraciones durante la colocación de los tubos el agua deberá desviarse temporalmente. Los tubos deberán de cumplir con los requisitos de calidad exigidas por S.C.T. Las juntas serán del tipo de macho y campana o de macho y hembra. Para for -

mar un ducto continuo, firme, sin filtraciones y con superficie lisa, después de colocar los tubos deberán sellarse con mortero de cemento, en proporción uno a dos las juntas y taparse, con el mismo mortero, las perforaciones de manejo, si las hubiera. Todos los tubos se colocarán con el macho en posición aguas abajo y al instalarlos se procederá de abajo hacia arriba, siguiendo la pendiente fijada en el proyecto.

Se deben tomar todas las precauciones en los transportes, almacenamientos, maniobras y colocación de los tubos, para evitar que éstos sean dañados. No deberán colocarse tubos agrietados ó despostillados que no permitan la construcción de una junta estanca.

Los rellenos de las excavaciones se formarán teniendo cuidado especial en que la colocación del material en los costados del tubo se realice en forma simétrica hasta una altura equivalente a las 3/4 partes del diámetro, como mínimo, por lo regular en capas de 20 a 25 cm. El material que se use como relleno deberá ser compactable y estar exento de raíces, troncos y otras materias orgánicas.

Cuando la colocación de los tubos se haga sobre el terreno natural, antes de la construcción del terraplén se procederá como se indica a continuación. Se conformará el terreno para acondicionarla superficie de desplante, que deberá estar exenta de raíces, piedras salientes, oquedades y otras irregularidades, para obtener los niveles fijados en el proyecto.



CONSTRUCCION DE UNA ALCANTARILLA DE TUBO DE LAMINA GALVA--  
NIZADA ANTES DE LA CONSTRUCCION DEL TERRAPLEN. CARRETERA  
TECOMAN - PLAYA AZUL.

Una vez colocado el tubo se procederá a protegerlo simultáneamente en los - lados, por capas compactadas en espesores no mayores de 20 cm., pa ra formar una sección trapezoidal con base inferior de 6 diámetros, base superior de un diámetro y altura de una y media veces el diá- metro del tubo.

Por lo que respecta a las alcantarillas de tubo de lámina corru gada galvanizada, generalmente son más económicos para drenar áreas pequeñas, tratándose de áreas grandes se usan baterías de tubos de diámetro máximo , considerando además que la economía estriba en la correcta elección del tipo de tubo, el de lámina corrugada aunque- posiblemente no es el más barato, sin embargo es el más aconseja- ble por su fácil instalación y por poder usarse inmediatamente,és- te tipo de tubo de lámina corrugada es un tubo flexible de paredes

delgadas que puede resistir grandes cargas sin fallar cuando comparado con un producto rígido (de mampostería, de concreto reforzado, etc.) éste necesita un espesor bastante grueso esto es por que la estructura flexible puede flexionar bajo carga y por lo tanto descartar gran parte del peso, mientras que la estructura rígida queda sujeta a una carga mayor, un conducto flexible de metal y bajo carga reacciona de modo diferente a un conducto rígido. Solo parte de su resistencia propia resiste las cargas exteriores: al flexionar bajo carga se ensancha en sus costados, comprime el suelo y por lo tanto desarrolla una resistencia pasiva la cual a su vez ayuda a soportar las cargas verticales.

Para su construcción se debe tener cuidado en su manejo, ya que de la fábrica llegan en partes y a su vez en paquetes para que sean ensambladas o remachadas. Las láminas de metal base estarán galvanizados en ambas caras. Cuando lo señale el proyecto, la lámina galvanizada deberá tener un recubrimiento adicional para protegerla contra la erosión o la corrosión, el cual consistirá en una doble capa de cemento asfáltico, aplicada por el proceso de inmersión.

La excavación para las alcantarillas deberá ser siguiendo de manera similar los lineamientos descritos para la colocación de tubo de concreto reforzado. Las estructuras corrugadas de metal pueden sufrir pequeños asentamientos desiguales sin dislocarse ni romperse; sin embargo, para que sean eficientes y presenten mejor aspecto, se recomienda instalarlas sobre una base resistente y adecuada que distribuya la carga uniformemente. Bajo ninguna circunstancia debe un tubo corrugado asentarse en un lecho de concreto; además de ser un caso innecesario, resulta un perjuicio considera

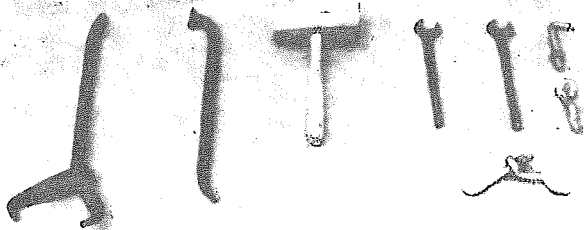
ble al unir dos materiales cuyas características son completamente opuestas, flexibilidad y rigidez.

Los tubos que se empleen en la construcción de las alcantari-llas estarán formados por secciones armadas y unidas entre sí; las secciones ensamblables se armarán como se indica a continuación. En tubos de diámetro de 91 cm. o menor, con grapas especiales galvanizadas, de diámetro mínimo de 7.9 mm. En tubos de diámetro de 107 cm o mayor, con pernos galvanizados de gancho y ojo, de diámetro mínimo de 9.5 mm. En tubos de placas múltiples, con perno galvanizado de 19 mm. de diámetro.

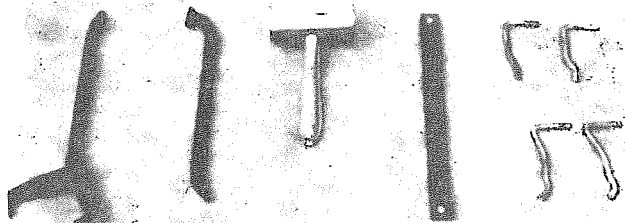
Los tramos de tubo formados con secciones remachadas se unirán con bandas de acoplamiento galvanizadas de metal base igual al de las secciones por unir y calibre igual a un número inferior al calibre del tubo, excepto cuando los tubos por unir sean de lámina calibre 16, en cuyo caso el calibre de la banda no será inferior al de 16. Las bandas se sujetarán con pernos de acero de alta resistencia.

Los tubos encajables constan básicamente de una sección semicircular con pestañas salientes en un borde, y perforaciones para los sujetadores en ambos bordes. Debido a que las secciones pueden usarse como tapas o fondos indistintamente, no hay problemas de identificación en la obra. Cuando se especifican estructuras con extremos a escuadra, se proveen tapas de entrada y salida de 4 y 5 corrugaciones respectivamente para cada estructura. No se necesitan bandas de acoplamiento.

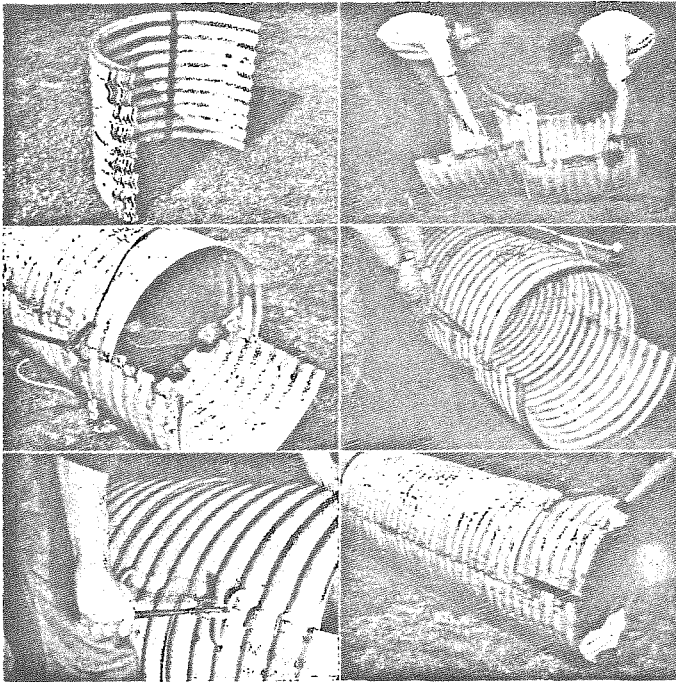




HERRAMIENTAS Y SUJETADORES PARA TUBOS DE 107 CENTI-  
METROS Y MAYORES. DE IZQUIERDA A DERECHA: BARRA DE  
AJUSTE, BARRETA, MAZO, LLAVES DE BOCA FIJA Y PER-  
NOS MACHO Y HEMERA.



PARA LOS TUBOS DE 81 CENTIMETROS DE DIAMETRO Y ME-  
NORES, EL JOGO DE HERRAMIENTAS ES EL MISMO, EXCEP-  
TO QUE EN VEZ DE LAS DOS LLAVES DE BOCA FIJA ESTA  
UNA BARRA DOBLAGRAPAS. LAS GRAPAS DE LOMO RECTO SON  
PARA TUBOS DE 45 A 75 CENTIMETROS; LAS DE LOMO CUR-  
VO, PARA TUBOS DE 20 A 38 CENTIMETROS DE DIAMETRO.



INSTRUCCIONES PARA EL ARMADO. SUPERIOR IZQUIERDA: SUELTENSE LOS ZUNCHOS. SUPERIOR DERECHA: EMPIECESE A ARMAR DESLIZANDO EL SEGUNDO FONDO DEBAJO DEL PRIMERO. CENTRO IZQUIERDA: APRIETENSE LAS SECCIONES EN SU LUGAR USANDO LA BARRA DE AJUSTE MIENTRAS SE COLOCAN LOS SUJETADORES. CENTRO DERECHA: INSERTESE LA GRAPA EN LA BARRA DOBLAGRAPAS, MIENTRAS QUE EL EXTREMO INFERIOR SE APOYA SOBRE UN TACO DE MADERA PARA IMPEDIR QUE EL TUBO GIRE. INFERIOR IZQUIERDA: ENROSQUESE LA TUERCA DEL PERNO MACHO Y HEMBRA. INFERIOR DERECHA: COLOQUESE LA TAPA DE SALIDA PARA TERMINAR EL TUBO CON EXTREMO A ESCUADRA.

Cuando se use más de un tubo se armarán, colocarán y troque- larán de acuerdo con lo fijado en el proyecto. Los tubos se colo- carán de manera que en sus traslapes transversales, el extremo - del tubo al que le corresponda la parte exterior del traslape que- de hacia aguas arriba, para evitar filtraciones y obstrucciones al flujo de agua. Los tramos de tubo se colocarán sobre la superfi - cie de desplante en tal forma que los traslapes longitudinales que den en los costados y nunca en la parte superior e inferior. Cuan - do para unir los tramos de los tubos se requieren bandas de acopla - miento, éstas se fijarán sólidamente una vez que los tramos estén en el lugar indicado en el proyecto.

Los rellenos de las excavaciones se formarán de acuerdo con el proyecto, teniendo especial cuidado en que la colocación del ma - terial en los costados del tubo se realice en forma simétrica - hasta una altura equivalente a las  $3/4$  partes del diámetro, como mínimo. El material que se use como relleno deberá ser compacta - ble y estar exento de raíces, troncos y otras materias orgánicas.

Cuando la colocación de los tubos se haga sobre el terreno - natural, antes de la construcción del terraplén se procederá de - manera similar que para los tubos de concreto reforzado.

En los tubos no deberán utilizarse secciones o placas abolla - das, deformadas o con raspaduras que hayan deteriorado su galvani - zado y/o recubrimiento, por lo que durante su colocación se evita - rá dejarlos caer, arrastrarlos o rodarlos sobre terreno pedregoso, los tubos deberán anclarse únicamente cuando así lo disponga el - proyecto. Cuando lo establezca el proyecto, los extremos de la al - cantarilla se protegerán con muros de cabeza, también, si el pro -

yecto lo establece, el interior de los tubos en su tercio inferior se protegerá llenando los valles y cubriendo las crestas de las corrugaciones con un mortero asfáltico, para dejar una superficie tersa y resistente.

Como ya se indicó con anterioridad, los muros de cabeza sirven para impedir la erosión alrededor del cañón, para guiar la corriente y evitar que el terraplén invada el canal. Los muros de cabeza son generalmente de mampostería o de concreto, pero pueden hacerse de piedra suelta. Su altura debe ser tal que se extienda más arriba de su intersección con los taludes del camino. El muro de cabeza debe prolongarse por lo menos 60 cm abajo de la plantilla formando un dentellón que sirva a la vez de amarre y de protección contra la erosión de dicha plantilla. El dentellón de aguas arriba debe hacerse más profundo que el de aguas abajo. En muchos casos la plantilla de la alcantarilla se extiende tanto aguas arriba como aguas abajo en forma de delantal para impedir la erosión. En estos casos al extremo del delantal debe ponerse también un dentellón.

La longitud del muro de cabeza depende de la longitud de la alcantarilla, de la altura de la misma y del talud del terraplén, - debiendo ser tal que el pie del terraplén que se derrama alrededor del extremo del muro de cabeza no invada el canal de la corriente.

Cuando los muros de cabeza no son rectos, sino que llevan aleros, para determinar la longitud de los mismos debe también de tenerse en cuenta el ángulo que forman los aleros y el talud natural del terreno.

Cuando se tienen cunetas demasiado largas es necesario colo -

car alcantarillas de alivio a las mismas con el fin de dar salida al agua a través de ellas. Estas alcantarillas deben de tener un dispositivo adecuado para dirigir el agua hacia ellas. Dicho dispositivo puede ser un simple muro transversal, un cajón de entrada - un desarenador ó un pozo de visita.

El muro transversal tal como su nombre lo indica, no es más que un muro de mampostería ó de concreto que se atraviesa en la cu neta aguas abajo de la entrada de la alcantarilla con el fin de - contener el agua y guiarla a ella.

El cajón de entrada es un cajón de mampostería ó de concreto en el cual el agua que corre por la cuneta y luego de caer entra a la alcantarilla.

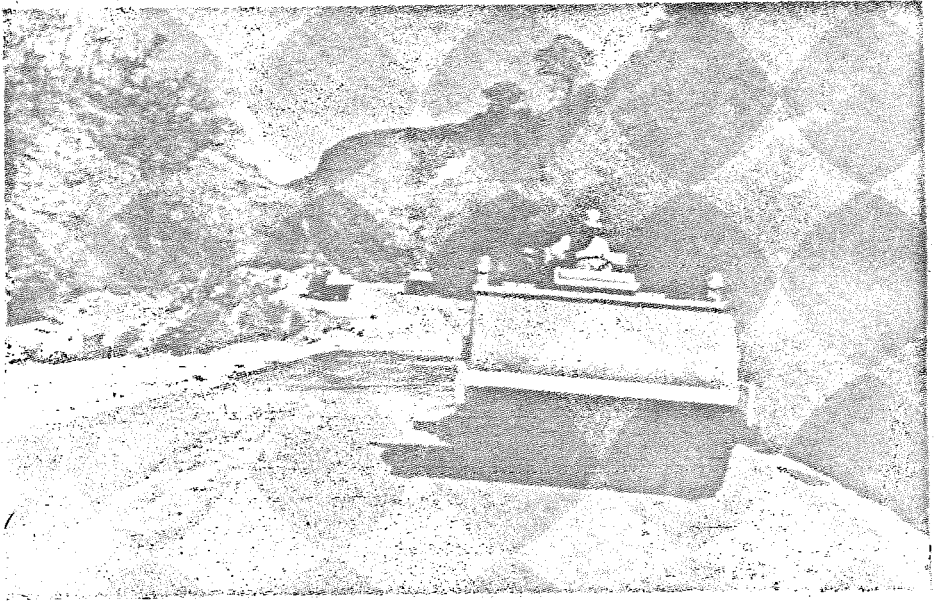
El desarenador es un cajón de entrada que cuenta con un primer depósito con el fin de retener los arrastres que lleva la cun ta.

El pozo de visita es un desarenador bastante grande y profundo, que está tapado por una reja móvil por la cual pueden entrar - operarios a inspeccionar y limpiar tanto el pozo como la alcantari lla.

La aplicación de éstos dispositivos mencionados es muy frecuente en laderas de lomas en donde el agua que se reúne en la cuneta o badén de la parte superior, se puede eliminar del camino a intervalos por medio de alcantarillas de alivio.

B) EL BOMBEO.- Generalmente se construye dando los desniveles requeridos por el proyecto desde la capa subrasante del pavimento. La maquinaria que se usa en la formación del pavimento es : trac -

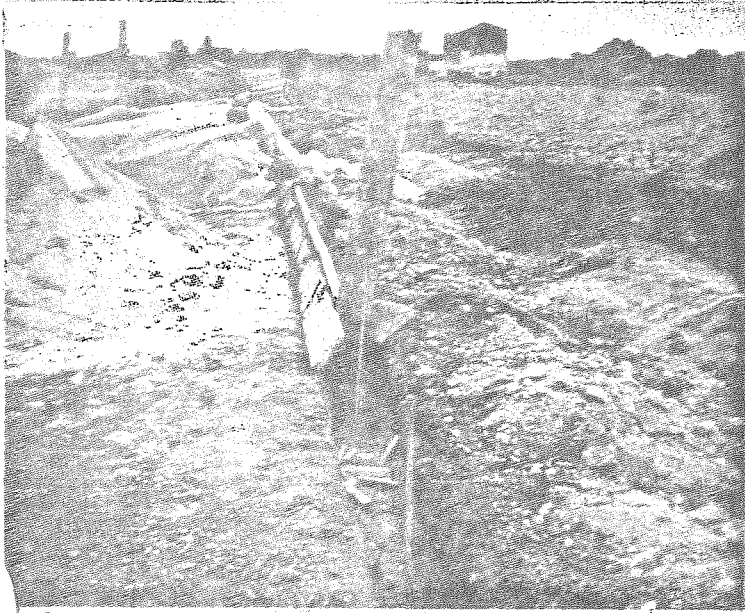
tox sobre orugas, camiones de volteo, cargadores frontales, moto - conformadora, compactadores de diversos tipos, barredora, petrolizadora, pavimentadora. Las operaciones incluyen principalmente - cortes ó formación de terraplenes, explotación de bancos, préstamo lateralés, compactación de capas, tratamiento de los materiales por usar, mezcla de materiales, etc.



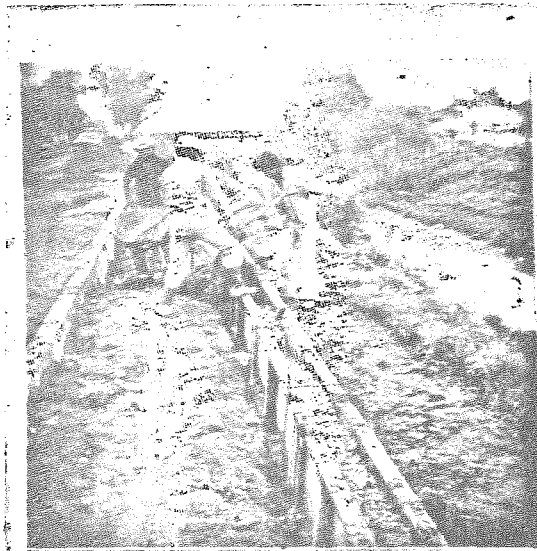
TERMINACION DE UNA CARRETERA. NOTESE LA PENDIENTE TRANSVERSAL (BOMBEO) CON LA INCLINACION DEL COMPACTADOR.

Se debe cuidar que el bombeo sea el requerido por el proyecto al terminar cada capa del pavimento, para evitar acumulación de agua sobre la superficie, tanto en la construcción como en la operación de la carretera.

C) LAS GUARNICIONES.- Las guarniciones se construyen usualmente de concreto, pero la piedra pudiera ser conveniente, si exis



CONSTRUCCION DE UNA GUARNICION DE CAMELLON  
CENTRAL. CARRETERA XALAPA - VERACRUZ.



CONSTRUCCION DE UNA GUARNICION DE CAMELLONES LATE-  
RALES Y BANQUETAS. CARRETERA MEXICO - PACHUCA.

te este material y abunda la mano de obra. En la construcción de guarniciones de concreto se utiliza cimbra deslizante, de madera ó de lámina de acero, siendo preferibles las últimas por ser más fáciles de manejar y más durables, además de que logran mejor -- acabado en la guarnición.

El concreto que se utiliza en su construcción debe de cumplir con los requisitos de calidad exigidos por la S.C.T. Es muy conveniente vibrar siempre el concreto durante el vaciado. Cuidar el alineamiento especificado antes, durante y después del colado. La construcción presenta el problema específico del curado, que siempre será molesto y, a veces, de difícil y costosa solución en zonas en que el agua escasea mucho, generalmente se requieren 6 riegos al día. Se han empleado con éxito productos comerciales que - facilitan el curado de la mezcla.

Se ha dicho en algunas ocasiones, que la guarnición, sobre todo si es relativamente alta puede constituir un obstáculo psicológico para el tránsito, lo que produce un efecto de canalización que reduce los anchos efectivos; por este concepto, no conviene que sobresalgan más de 25 cm.

D) LOS BORDILLOS.- La práctica mexicana utiliza generalmente bordillos de sección trapecial, de concreto asfáltico ó hidráulico, como se muestran en la siguiente figura.



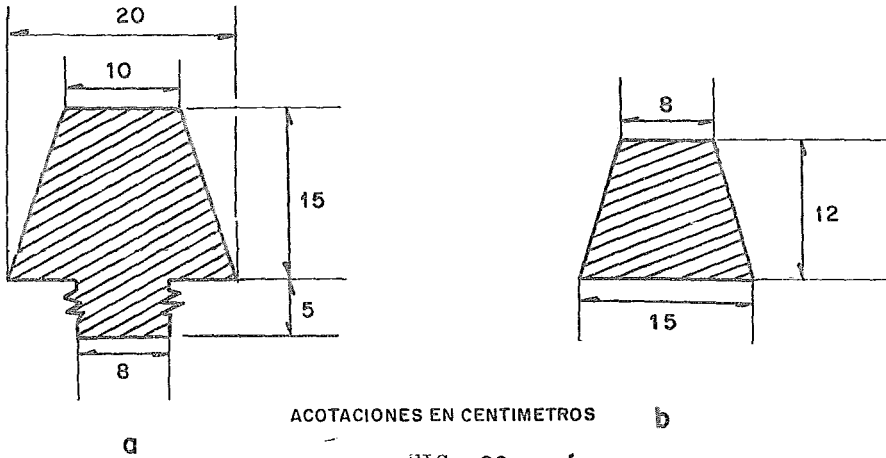


FIG. 22

Bordillos de concreto asfáltico, elaborado con material pétreo de tamaño máximo de 3/4" y cemento asfáltico No.6 en proporción aproximada de 100 Kq/m<sup>3</sup> de material pétreo.

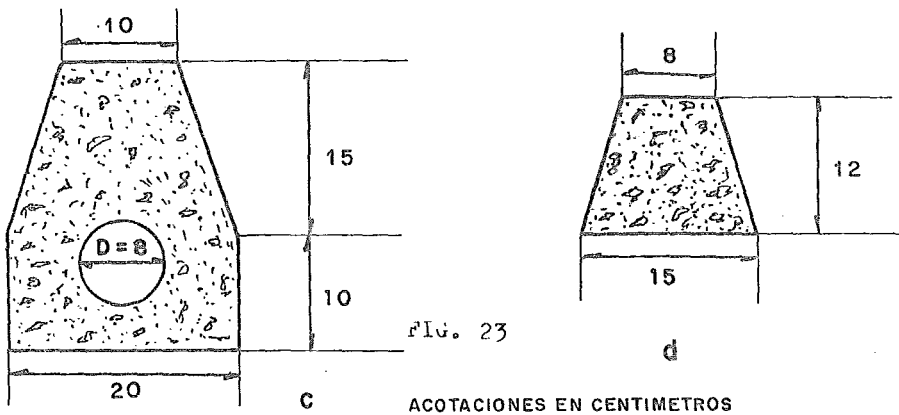


FIG. 23

Bordillo de concreto hidráulico, con  $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$ .

El anclaje que muestra el bordillo tipo a lo fija muy adecuadamente al material del acotamiento, protegiendo el alineamiento; el anclaje no se construye continuo, sino intermitente, por ejemplo, en pequeños tramos de 8 a 10 cm. cada 6 m. Seguramente el bordillo del tipo b es el que con más frecuencia puede verse en las carreteras mexicanas.

Para la construcción de los bordillos se utiliza preferentemente el concreto asfáltico ó el hidráulico; podría pensarse en utilizar la piedra en donde exista y se desee el empleo masivo de mano de obra. En la construcción de bordillos de concreto asfáltico ó hidráulico ha de emplearse cimbra metálica ó de madera, a no ser que se disponga de máquinas especiales, que permitan la construcción en forma mucho más expedita de lo que permite el empleo de cimbra, que da lugar a operaciones lentas y caras. Las máquinas especiales tienen un molde de la estructura que es alimentado del material correspondiente por un tornillo sin fín; en estos casos, es esencial vigilar la velocidad de avance de la máquina, que define la consistencia estructural y el buen acabado de la obra. En el uso de concreto asfáltico es también muy importante un adecuado control de la temperatura; valores elevados de esta conducen a obras sin la debida liga que se desintegran, en tanto que temperaturas bajas producen estructuras poco consistentes, por manejarse un producto de excesiva viscosidad, 130° C es quizá un valor recomendable para la temperatura, en condiciones normales. En la siguiente tabla, se proporciona los límites entre los que debe mantenerse la curva de distribución granulométrica del material pétreo que se incorpore a la planta en la que se fabrique el concreto asfáltico para bordillos.

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

TABLA 10

REQUERIMIENTOS GRANULOMETRICOS DE MATERIALES  
PETREOS UTILIZADOS EN EL CONCRETO ASFALTICO  
PARA BORDILLOS, SEGUN LA PRACTICA MEXICANA.

En lo que se refiere a los bordillos de concreto hidráulico, éste debe de cumplir los requisitos de calidad exigidos por la S.C.T., requieren juntas de expansión, que suelen disponerse cada 10 m. En este mismo material deberá cuidarse especialmente el curado.

Generalmente en la construcción de las guarniciones y los bordillos, estarán ubicados en los hombros de los tramos de terraplén, con el objeto de encauzar los escurrimientos superficiales y evitar la erosión en los taludes. A cada 50 m. de longitud de guarnición ó bordillo como máximo, deberá dejarse un espacio libre para la descarga de los escurrimientos a los lavaderos que se coloquen en los taludes. Cuando sean de concreto hidráulico, se fijarán al terreno por empotramiento o por medio de anclajes. Cuando sean de concreto asfáltico deberá aplicarse previamente un riego de liga, para mejorar su adherencia a la superficie de desplante. Cuando sean provisionales para proteger terracerías que no se

vayan a pavimentar de inmediato, se harán preferentemente de suelo-cemento.

E) LOS LAVADEROS.- Un punto importante en la construcción de los lavaderos es darles suficiente estabilidad dentro del cuerpo del terraplén, por lo que suelen hundirse en éste, llegando la corona de sus muretes de borde, al nivel del talud. La práctica de la colocación directa del lavadero sobre el talud debe verse siempre como inadecuada.

Los lavaderos se construyen muy frecuentemente de mamposte-  
ría con junteo de lechada de cemento en proporción 1:4, en este ca-  
so la piedra y mortero deben cumplir con los requisitos de calidad  
exigidos por la S.C.T.

También se hacen de concreto hidráulico y la rugosidad nece-  
saria en la plantilla puede incrementarse también colocando piedras  
ahogadas parcialmente en el concreto.

Así mismo se construyen de media sección de tubo de lámina -  
galvanizada corrugada con juntas atornilladas; el tubo debe salir  
de una plantilla de mampostería ó de concreto, con cuyos materia -  
les deberá construirse invariablemente la entrada, así como rema -  
tar en un final de bajada también de mampostería ó de concreto;  
es muy recomendable que en zonas intermedias de su desarrollo, el  
tubo se amarre con silletas de mampostería.

En terraplenes muy altos puede convenir colocar los lavaderos  
transversal y longitudinalmente, colocando algunas secciones en la  
dirección longitudinal sobre la superficie de talud, para captar -  
y eliminar las aguas que caen directamente sobre éste, formando así  
una verdadera retícula canalizadora.

Para unir los bordillos con los lavaderos, lo usual es por medio de dos curvas, confinando la zona deprimida del acotamiento. La curva correspondiente al lado aguas arriba del bordillo respecto al lavadero suele hacerse más amplia que la de aguas abajo, para facilitar el paso del agua.

Si las velocidades de agua son muy fuertes, es conveniente - construir una caja amortiguadora al pie del lavadero para evitar su erosión y posible destrucción.



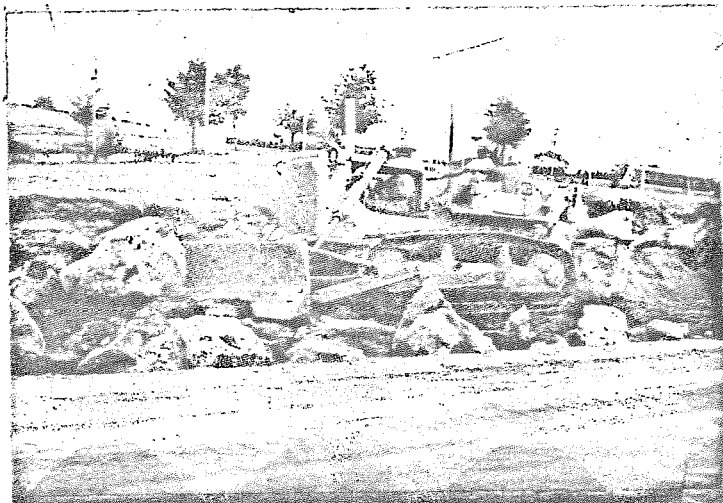
TERMINACION DE UN LAVADERO CONSTRUIDO CON CONCRETO  
HIDRAULICO. CARRETERA LIBRAMIENTO NORTE DE LA CIU-  
DAD DE MEXICO.

En los casos en que se requiera, deberán llevar dentellones ó pijas para garantizar su anclaje a los taludes y evitar su deslizamiento.

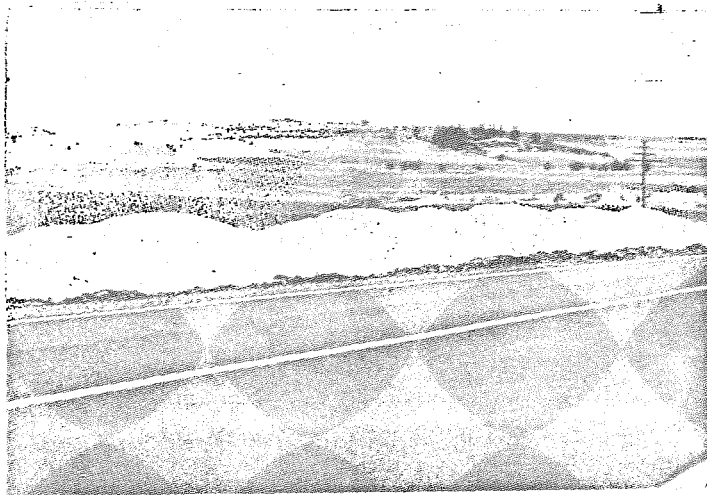
F) LAS BAJADAS.- En su construcción , la tubería que se ha empleado con más éxito es la de lámina, provista de alguna junta capaz de absorber pequeños movimientos por temperatura o por asentamiento del terraplén o del terreno en que se coloque el tubo.

En lugares de precipitación escasa o en donde la velocidad de escurrimiento no vaya a ser demasiado alta podrá utilizarse también el concreto hidráulico para hacer los tubos. Si se protege al concreto contra la erosión en forma efectiva podrá extenderse mucho el campo de aplicación de este material en el sentido de las velocidades crecientes. Finalmente se ha usado también la tubería de barro vitrificado, junteado con campana. El diámetro mínimo en los tubos de la bajada deberá de ser de 45 cm. pero no es difícil ver diámetros mayores de 60 cm o más, en lugares en donde se prevé la necesidad de eliminar grandes gastos.

G) LAS BERMAS.- Las bermas construídas en los terraplenes con fines de drenaje suelen tener una relación peralte: huella en el orden de 1: 1 a 1: 1.5 y son de dimensiones pequeñas, verdaderos escalones; aquellos valores pueden aumentar a 1:2 a 1:3 en las que construyen sobre el terreno natural, para control de las aguas que bajan por él amenazando la carretera, dando lugar a una estructura análoga en sus objetivos a las que se hacen en terrenos de la bor en declive como protección contra la erosión. Los escalonamientos en los cortes, cuando se construyen para interrumpir la trayectoria de bajada de las aguas suelen tener su relación peralte-huella gobernada por la inclinación general del corte, por lo que difícilmente podrá pasar de 0.75:1 ó 1:1.



CONSTRUCCION DE UNA BERMA UTILIZANDO TRAC-  
TOR. CARRETERA TOLUCA - ATLACOMULCO.



Los problemas de infiltración pudieran ser graves, sobre todo en el caso de escalonamientos en cortes con materiales susceptibles y éstos elementos podrían contribuir a auspiciarlos, pues es frecuente que en la dirección de su desarrollo longitudinal presenten largos trechos con poca pendiente. En estos casos, los escalonamientos deberán protegerse ó no hacerse. La protección puede ir desde el dar al escalón una ligera pendiente hacia el interior del corte, poniendo en ese borde interior una cuneta con pendiente suficiente para eliminar rápidamente el agua recolectada, hasta una completa impermeabilización de las huellas, incluyendo la cuneta mencionada. Esta última se ha hecho con suelo-cemento, suelo-asfalto o aún con concreto.

Los materiales más susceptibles a la infiltración de agua en escalones son las rocas junteadas o agrietadas, sobre todo si su echado es desfavorable a la vía y los suelos residuales que contengan estructuras heredadas en formación desfavorable; también hay suelos que por su constitución son muy susceptibles, tales como los loes o muchos suelos limosos. Su construcción puede ser con tractor o bien si abunda la mano de obra, se hace uso de ella.

H) LAS CUNETAS.- Como ya mencionamos, la sección triangular es la más conveniente y fácil de construir; se conforma al terminar la capa subrasante y el trabajo puede hacerse con motoconformadora. Cuando las cunetas se revisten, usualmente ello se hace con zampeados de mampostería o concreto hidráulico. En el primer caso suele utilizarse piedra braza o rosa, cuatrapeada y junteada con mortero en proporción 1:4 (90 kg de cemento por cada metro cúbico de mampostería), todos los materiales deberán ser aprobados por la S.C.T.



Por lo que respecta al segundo caso, pueden utilizarse losas coladas en el sitio o precoladas.

En general en los zampeados de mampostería, se verificarán los siguientes procesos constructivos; la superficie de asiento, las piedras contiguas y la piedra por colocarse deberán humedecerse; las piedras se colocarán sobre una capa de mortero, cuatrapeadas y acomodadas de modo que se llene, lo mejor posible, el hueco formado por las piedras contiguas; las juntas se llenarán completamente con el mortero, y antes que endurezca se entallarán al ras del parámetro; en caso de que una piedra se afloje, quede mal sujeta, o abra una de las juntas, se retirará con todo el mortero que la rodea, y se volverá a asentar, previo humedecimiento del sitio de asiento, con mortero nuevo; después de haberse terminado las juntas, la superficie del zampeado de mampostería deberá mantenerse húmeda durante 3 días.

Por lo referente al concreto, su menor rugosidad lo hace más eficiente hidráulicamente que el zampeado de mampostería; con el concreto puede también construirse con mayor rapidez. Las losas utilizadas suelen tener alrededor de 1 m. de longitud y tener juntas selladas, para evitar fugas de agua.

Los recubrimientos con suelo-cemento y suelo-asfalto se han empleado relativamente poco en la práctica mexicana y algo más en la de algunos otros países. Resultarán recomendables cuando se tengan a mano materiales arenosos, susceptibles de alcanzar una resistencia y unas condiciones de permanencia altas con contenidos relativamente bajos de material estabilizante. Proporciones de aumento del orden de 6 % a 7 %, en peso, y de cemento asfáltico del or-

den de un 4 % a un 6 %, también en peso, son posiblemente frecuentes en la mayor parte de los trabajos prácticos.



CONSTRUCCION DE UNA CUBETA REVESTIDA CON MAMPOSTERIA DE PIEDRA. CARRETERA OAXACA - CIUDAD ALEMAN.

Los materiales se mezclarán en el lugar o en planta, para lo cual deberá de utilizarse el equipo adecuado, se extenderá la mezcla hasta obtener el espesor que indique el proyecto; luego se apizonara y, en su caso, se curará en forma adecuada. No se podrá hacer la mezcla suelo-cemento sobre un pavimento, aún cuando falte el riego de sello.

Antes de adoptar una solución de éste estilo deberán ponderarse con cuidado todas las dificultades constructivas que implica, entre las que destacan el mezclado de estabilizante, los transportes, y el tendido y la compactación de las mezclas; es común que -

los análisis económicos cuidadosos hagan ver como inconveniente el uso de productos estabilizados en casos que a primera vista parecían muy favorables.

Además ha de tenerse en cuenta que la duración de estos zampados es siempre inferior al concreto y a la mampostería y que, lógicamente los problemas de conservación son mayores. La compactación suele hacerse con equipos manuales vibratorios.

Cabe decir que la política más usual en muchos países es no revestir las cunetas en absoluto y esto por razones fundamentalmente económicas; es también de comentar que su recubrimiento con vegetación puede constituir una magnífica protección si las velocidades del agua no son altas ( 1 o 1.5 m/seg), aunque la capacidad hidráulica de la cuneta se vea disminuida por el correspondiente aumento en el coeficiente de rugosidad. En cuanto revestir las cunetas o cuanto poder ahorrarse el trabajo, que suele resultar costoso, es uno de los aspectos más apasionadamente debatidos en la construcción de las obras complementarias de drenaje. No parece posible establecer reglas generales al respecto, dado el número grande de elementos de decisión que han de ponderarse, juicio que, se comprende, no ha de contribuir a evitar discusiones. En términos generales podrá prescindirse del revestimiento cuando no sea de temer ni la erosión del fondo de la cuneta, causada por el agua que circula, ni el humedecimiento de los materiales de las capas superiores del pavimento por el agua que eventualmente llegue a infiltrarse desde la cuneta. La primera condición indica que no deberán revestirse cunetas labradas en roca, suelos en grandes fragmentos o las que quedaran sujetas a un flujo de agua escaso o

eventual, sea porque el área tributaria de la cuneta, hidrológicamente hablando, sea pequeña, o porque la duración de las tormentas sea muy breve en el lugar y estas sean esporádicas. La infiltración del agua de las cunetas al pavimento será relativamente inofensiva cuando la cama del corte sea muy permeable y cuando las capas superiores del pavimento, la subrasante y las terracerías lo sean también o cuando una base muy permeable y abierta sea la cama de un corte en roca y exista buena pendiente transversal en el lecho inferior de la base y longitudinal en el corte. Tampoco habrá necesidad de revestir las cunetas de cortes con muy fuerte pendiente longitudinal, siempre que su fondo no sea susceptible a la erosión.

I) LAS CONTRACUNETAS.- La profundidad del canal esta normalmente comprendida entre 40 y 60 cm. En contracunetas no revestidas, el talud aguas arriba debe ser más tendido para evitar erosión, pero esta distinción se hace menos necesaria si se usan revestimientos. Cuando se construyen excavando un canal, las contracunetas se excavan a mano con equipo ligero (zanjadoras, tractores livianos, conformadoras, etc.); el material producto de la excavación debe de colocarse aguas abajo de ella (por lo menos a 1 m.) o, lo que generalmente es mejor, debe retirarse.

En algunas ocasiones se han constuído las contracunetas formando un pequeño bordo, con material seleccionado de algún préstamo o con material seleccionado producto de una excavación en el mismo lugar, en cuyo caso esta deberá efectuarse aguas arriba del bordo que se forme. Dicho bordo deberá situarse sobre un pequeño despalme y estar formado por materiales apropiados y debidamente compactados.

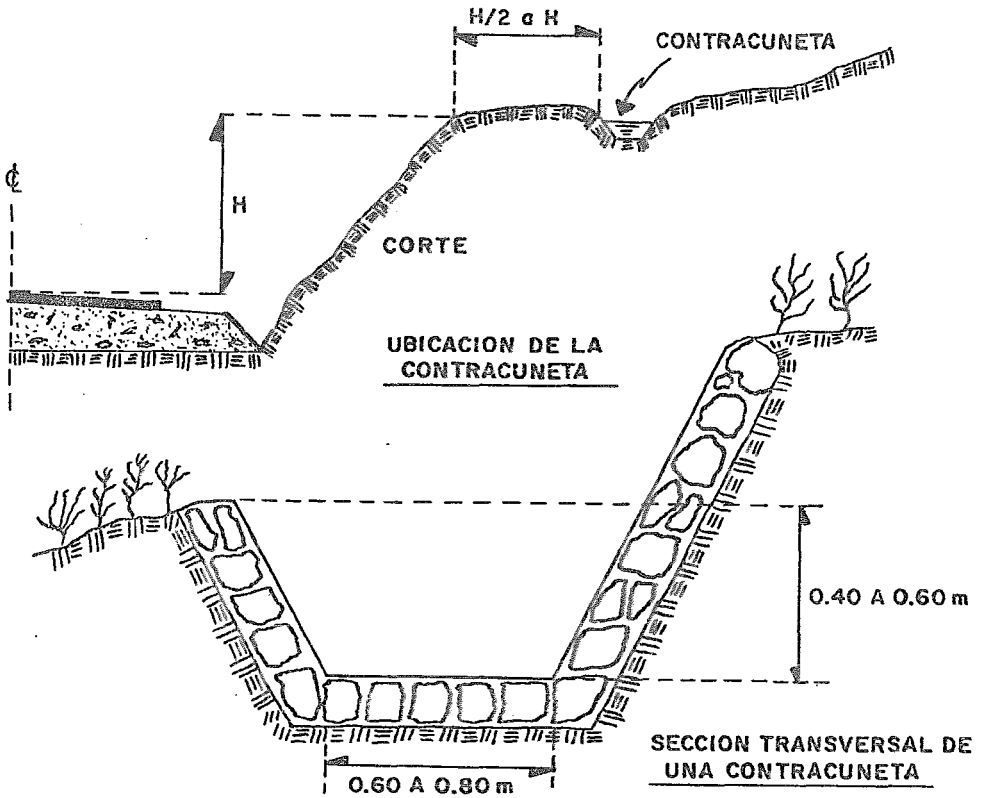


FIG. 24 SECCION TRANSVERSAL DE UNA CONTRACUNETA.

Es norma relativamente común formar las contracunetas en el terreno natural, sin revestirlas. Cuando las contracunetas se revisten, suelen usarse los mismos materiales que se mencionaron para el caso de las cunetas. En este caso las operaciones necesarias para el revestimiento se complican por la necesidad de llevar los materiales a los lugares elevados en que han de emplearse. Todos los criterios que suelen añejarse para definir si una contracuneta debe o no ser revestida son análogas también a los que se mencionaron para el caso de las cunetas, como también lo son todas las consideraciones en que tales criterios se fundamenta. Las contracunetas presentan el caso especial de sus tramos extremos, de muy fuerte pendiente, en los que el uso de revestimiento suele ser

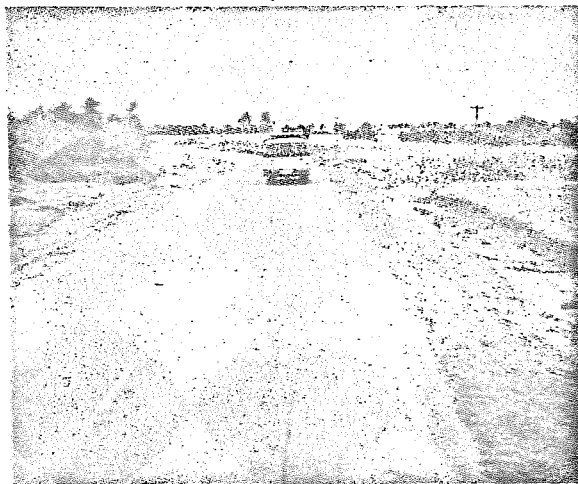
mucho más frecuente e indiscutido.

Precisamente el aspecto del revestimiento de las contracunetas es el que da lugar a prácticas tan inconvenientes, que llega a ser razonable muchas veces al preguntarse si estas obras complementarias deben emplearse en absoluto. Por razones de costo, los ingenieros de vías terrestres tienden, como es natural, a no revestirlas casi nunca o nunca y en tal caso se llega a producir en la corona del corte una sección en la que se desarrolla una zanja permeable. Si el suelo del corte es arcilla relativamente permeable o suelo constituido por mezclas susceptibles a los cambios de humedad, esta zanja permite entrar agua al cuerpo del corte, con las consecuencias ya vistas otras veces; por esta razón no es raro ver que en carreteras en que se han usado contracunetas no revestidas, el trazo de estas es precisamente el inicio de la superficie de falla en la corona del corte, superficie que probablemente no se hubiera formado de no existir la obra complementaria de drenaje.

Es prácticamente seguro que puede afirmarse que en todos los casos en que la contracuneta pueda ser útil o necesaria, o se pone revestida, o será preferible no ponerla, pues los riesgos que implica colocarla en una mala condición ( la eventual falla total del corte) superan con mucho a sus posibles beneficios (proteger la superficie del talud de erosiones y a las cunetas o a la propia corona de invasión de aguas no controladas). Una mala contracuneta conduce muy probablemente a un gran derrumbe ; el no ponerla allí donde era necesario, produce un tramo de mal comportamiento, susceptible de ser fácilmente detectable y corregido por varios métodos, incluyendo la construcción de una buena contracuneta.

En resumen, será preciso pensar en la conveniencia de construir contracunetas, en primer lugar, en aquellos cortes no protegidos por una topografía apropiada, vale decir en los hechos en las laderas y lomas con pendiente sostenida hacia la carretera en extensiones grandes, que ofrezcan áreas de captación de lluvia de consideración y, en segundo, en los formados por materiales erosionables y capaces de proporcionar corrientes importantes de gasto sólido, tales como suelos limosos, limo-arenosos, arcillosos, de depósitos de talud, formados por mezclas de suelos gruesos y material de empaque variado, pero más fino. Sin embargo, es fácil ver que en todos estos casos la contracuneta ha de ser revestida, so pena de caer en riesgos mayores que los que se desea evitar con ella.

J) LOS CANALES INTERCEPTORES. Los canales interceptores se construyen por excavación manual o con equipo, generalmente ligero del tipo de máquinas zanjadoras, conformadoras o tractores más o menos livianos. El material producto de la excavación deberá colocarse siempre aguas abajo del canal. Los taludes de este dependerán del material en que se efectúa la excavación y de sus propias dimensiones; taludes de 1:1 o  $1 \frac{1}{2} : 1$  son frecuentes.



NOTESE EL CANAL INTERCEPTOR NO REVESTIDO, EN  
EL LADO DERECHO. CARRETERA AMOZOG - TEPEACA.

Las excavaciones para canales se sujetaran a los procedimientos de construcción que establezca el proyecto, siguiendo un sistema de ataque que facilite el drenaje natural de la excavación. Durante el proceso de excavación se dispondrá en lo más posible, de obras auxiliares que se requieran para ejecutar, hasta donde sea posible económicamente, la excavación en seco, es decir, sin tirante de agua. Cuando el material se desperdicie lateralmente, se dejará, entre la excavación y el depósito, una berma con un ancho mínimo igual a la mitad de la altura del corte del canal y en ningún caso menor que un metro. Tratándose de contracunetas y canales en ladera, el desperdicio se depositará formando un bordo de sección sensiblemente uniforme paralelo a la contracuneta y al ca



nal, siempre del lado aguas abajo.

Como ya indicamos, la lejanía a que suelen colocarse los canales interceptores respecto a la carretera hace que muchas veces pueda pensarse en construirlos sin revestimiento y ello sin mayor riesgo. Naturalmente lo anterior no es una regla fija y en cada caso deberá ponderarse con cuidado el riesgo de permitir las infiltraciones que inevitablemente ocurrirán a través de la plantilla no revestida, optando por la protección en todos los casos necesarios. Lo que trata de decirse es que, con mayor frecuencia que en las contracunetas, podrán encontrarse casos en relación al - uso de canales interceptores en que el no utilizar revestimientos, no produzca malas consecuencias de importancia.

Cuando los canales se revisten, se utiliza generalmente la mampostería y, en los casos más importantes el concreto. Conviene que la superficie del revestimiento quede lo más lisa posible, para propiciar el escurrimiento, aumentando la eficiencia de la - obra.

K) LOS BORDOS.- Los bordos se construyen generalmente con - material producto de excavación; es normal que dicha excavación se desarrolle en forma más o menos paralela al propio bordo y debe procurarse que no constituya un tajo profundo. En el caso de los bordos interceptores que se construyen aguas arriba de la carretera, por ejemplo para conducir el agua colectada por un talweg hacia una cañada, que probablemente cruzara a la vía terrestre con una obra, convendrá que la excavación se ejecute aguas arriba del bordo, dando a la plantilla del canal así formado la pendiente necesaria para que el agua que llegue a caer en él sea conducida tam -

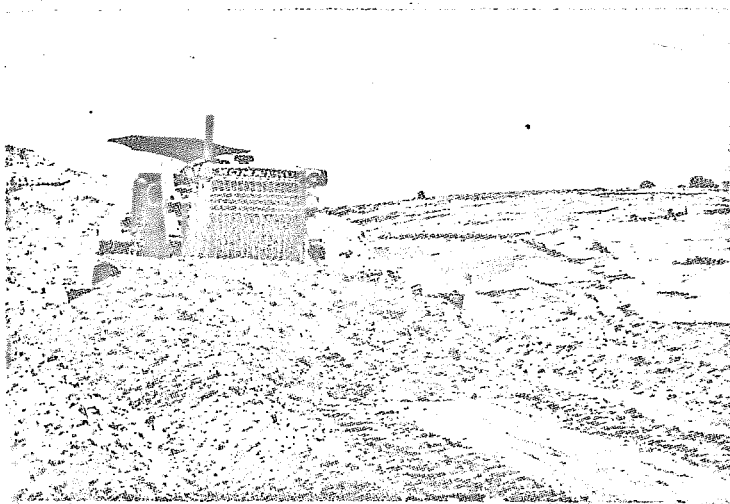
bién hacia el cauce natural de hecho, si este canal es profundo y formal, hará innecesario al bordo y el problema se habrá resuelto con un canal interceptor, que es una solución alternativa a contemplar. Cuando el canal producto de la excavación no sea profundo, ni esté conformado o cuando la zona de préstamo no este inmediatamente próxima y alineada con el bordo, será cuando haya de hablarse de éste.

Los bordos de tierra suelen construirse con taludes 2:1 a 3:1 en alturas que rara vez rebasan 2 m. y con un ancho de corona en el orden de los 50 cm. En muchos países es común que se construyan a mano, realizando de esta manera también una compactación elemental del material que se coloca; para ello se utilizan pisones. La otra alternativa de construcción es a base de tractor liviano, zanjadoras y conformadoras. Si se espera que el agua se mueva con cierta velocidad a lo largo del talud aguas arriba, podrá pensarse en proteger este con piedra o en sustituir el bordo por un murete de mampostería.

Antes de construirse el bordo debe despalmarse el terreno, exclusivamente bajo él, respetando la vegetación vecina y guardando el material de despalme aguas arriba para después colocarlo, todo o en parte, sobre el talud del bordo, para fomentar su vegetación.

Los bordos que encauzan las aguas hacia alcantarillas y obras de drenaje son en general estructuras bastante más formales que las anteriores, pues han de sufrir el embate de aguas rápidas. En estos casos seran comunes las protecciones de taludes con enrocamiento, la construcción con mampostería de buena calidad y aún el uso de muros de concreto (deflectores).

En muchas ocasiones los propios taludes del terraplén de la vía funcionarán como bordos encauzadores de escurrimiento hacia obras de drenaje: estos casos han de ser cuidadosamente detectados para planear las protecciones correspondientes, con vegetación, enrocamiento, mampostería o muros de concreto, según las velocidades que se esperen en el agua encauzada.



TRACTOR REMOVIENDO MATERIAL PARA LA CONSTRUCCION DE UN BORDO. CARRETERA TOLUCA - ATLACOMULCO.

L) LA VEGETACION.- Salvo indicación en contrario, las especies vegetales tales como pastos, rastreras, trepadoras, cactáceas y arbustivas se emplearán para controlar la erosión.

El cespéd o pasto deberá sembrarse al iniciarse la temporada de lluvias, de acuerdo con una de las cuatro modalidades que se indican a continuación.

- a) Por medio de semilla, para la cual se realizaran las -  
operaciones siguientes: verificar que cuando menos el -  
90% de la semilla que vaya a emplearse tenga poder germina  
tivo: preparar el terreno aflojándolo y rastrillándo  
lo hasta una profundidad aproximada de 5 centímetros y  
mezclando la tierra cuando sea necesario, con el fertiliza  
nte, en la cantidad y tipo que indique el proyecto.  
La siembra se llevará a cabo preferentemente con mezcla-  
dora mecánica, ya que en esta forma se depositara la semi  
lla más uniformemente en el terreno y cuando se trate  
de una mezcla de semillas se logrará mayor homogeneidad.  
En los casos de taludes en que no sea factible usar sem-  
bradora se podrá hacer al voleo a mano. La cantidad de  
semilla por metro cuadrado será la que fije el proyecto.  
Se cubrirá con abono o tierra, pasándole posteriormente  
un rodillo ligero o rastra de ramas sobre la superficie.  
La siembra se efectuará en aquellos lugares donde haya -  
tierra apropiada; en el caso contrario, será necesario -  
proveer una capa de tierra fértil que ya apisonada tenga  
un espesor mínimo de 15 cm.
- b) Por tepes, para lo cual se realizarán las operaciones si  
guientes: seleccionar lugares de donde se obtendrán los  
tepes o bloques de tierra con pasto; cortar los tepes del  
grosso y dimensiones que fije el proyecto; preparar el -  
terreno donde se colocarán los tepes, limpiándolo, aflo-  
jándolo y rastrillándolo hasta una profundidad aproxima-  
da de 5 cm; se regará el terreno cuando sea necesario, se  
colocarán los tepes atorándolos con estacas cuando la -

plantación se haga en planos inclinados, procediendo a colocarlos en este caso de abajo hacia arriba; se apisonarán los tepes suavemente para adherirlos al terreno y se regarán cuando sea necesario.

- c) Por guías o estacas vivas, para lo cual se realizarán las operaciones siguientes: seleccionar las plantaciones de donde se obtendrán las guías o estacas, podar las plantaciones para obtener las guías y cortar éstas cuando así se indique para obtener las estacas, preparar adecuadamente el terreno donde se plantarán las guías o las estacas según el caso se plantaran las guías en surcos de aproximadamente 3 cm de profundidad y se tapanán con la misma tierra del surco , si se trata de estacas se plantaran haciendo agujeros de 3 cm de diámetro y 5 cm de profundidad, por medio de cuñas y apartando la tierra alrededor de la estaca una vez plantada se regará cuando sea necesario. La plantación por guías o estacas vivas se hará únicamente en aquellos lugares donde haya tierra apropiada.
- d) Por hidrosiembra, utilizando el equipo de hidrosembradora, con el que se lanzará la mezcla que fije el proyecto, conteniendo semillas o estacas vivas, fertilizantes, agua material de cobertura y algun aglutinante, sobre la superficie del terreno previamente escarificado, logrando en esta forma que las semillas inicien su germinación con todos los elementos necesarios y con la debida protección. Este método es especialmente recomendado para taludes de difícil acceso.

Las plantas trepadoras deberán plantarse de acuerdo con el tipo de planta, con las características del suelo y con las condiciones climatológicas de la región, al iniciarse la temporada de lluvias, según lo indique el proyecto y con una de las dos modalidades que se indican a continuación:

a) Sembrando la cantidad de semillas que por metro cuadrado ordene el proyecto en el lugar por estabilizar.

b) Por estacas vivas plantadas en el lugar por estabilizar, en la cantidad que por metro cuadrado indique el proyecto.

De acuerdo con las condiciones climáticas de la región y la especie vegetal de que se trate, el proyecto determinará la periodicidad de los riegos.

El proyecto indicará la protección y defensa de las especies vegetales durante su establecimiento, contra la erosión, el ganado, los insectos y otros agentes nocivos.



PROTECCION ADECUADA DE  
LOS TALUDES DE UNA CA-  
RRERA CON VEGETACION  
EN UNA ZONA LLUVIOSA,  
EN EL ESTADO DE CAMPE-  
CHE. CARRETERA CAYAL -  
SOZLA.

M) LOS VADOS.- Los vados generalmente se proyectan de mampostería, de losas de concreto, o bien de dentellones de mampostería o concretos de rellenos y con cubierta de concreto. Pueden ser también pavimentados.

Un vado bien hecho debe llenar las siguientes condiciones:

- a) Se debe evitar la erosión y socavación aguas arriba y aguas abajo.
- b) La superficie de rodamiento no se debe erosionar al pasar el agua.
- c) El agua no debe provocar regímenes turbulentos, remolinos, etc., para lo cual debe facilitarse el escurrimiento.
- d) Debe tener señales visibles que indiquen cuando no deba pasarse porque el tirante del agua es demasiado alto y peligroso..

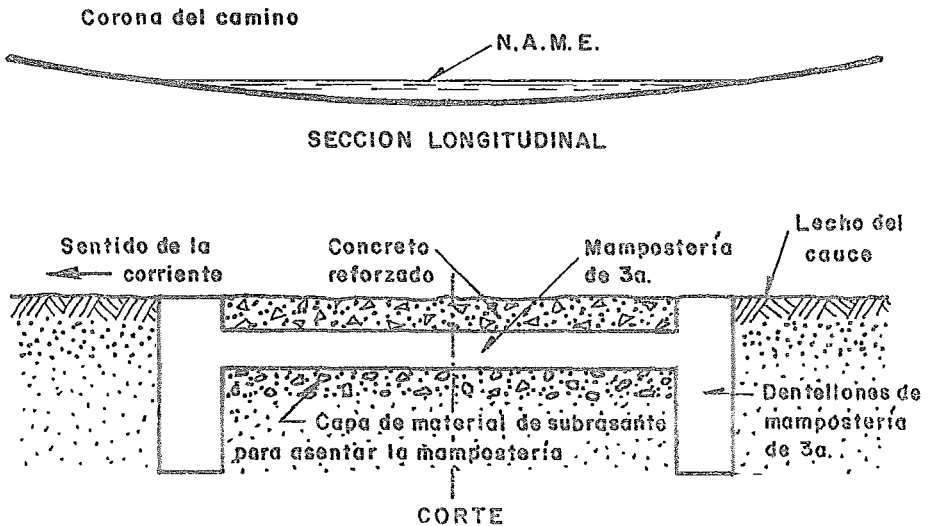


Fig. 25 Descripción de un vado.

Por lo que se refiere a los procesos constructivos de los vados, - en general se siguen los lineamientos para la construcción de mampostería y de concreto hidráulico ya descritos anteriormente, poniendo especial atención en lo que respecta a evitar la erosión y socavación aguas arriba y aguas abajo, utilizando zampeados, ya sean de mampostería o - de concreto, una longitud adecuada para que no ocurran tales problemas.

También se debe considerar, la buena canalización de agua hacia - el paso sobre el vado.

En el caso de los puentes-vados, deben de llenar los siguientes - requisitos de calidad:

- a) Altura y longitud tal que permita el paso del gasto de las avenidas ordinarias.
- b) Superestructura de dimensiones mínimas con el fin de que sea menor - la obstrucción al paso del agua.
- c) Que la superestructura se construya tan abajo del nivel de las aguas maximas extraordinarias como sea posible, con el propósito de que - los árboles que lleve la corriente, pasen sobre la estructura sin dañar le.

Estas estructuras generalmente son de concreto hidráulico, en su construcción se siguen lineamientos ya descritos anteriormente, poniendo especial cuidado en que se hagan en tiempo de secas o cuando el cauce sea mínimo, con el fin de tener las mejores condiciones para su - - construcción.



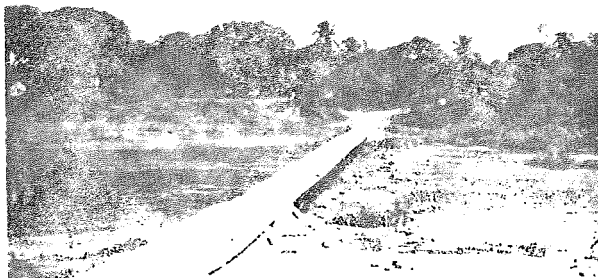
El vado consiste esencialmente en proteger el camino en forma adecuada contra la erosión del agua y proporcionar una superficie de rodamiento suficientemente sólida. El tramo de camino por el que pasará el agua encima, es decir el vado, tiene forma de curva vertical en columpio y para comodidad del tránsito los accesos se hacen muy tendidos, con una pendiente suave. Si en lugar de una curva vertical y accesos como se ha dicho, el vado se presenta en forma de una depresión brusca, no solamente será incómodo sino muy peligroso si por un descuido se toma a la velocidad en que se circule en el camino.

El vado es una obra característica de caminos alimentadores y muy económica de construir. Cuando la rasante del vado se proyecte arriba del lecho del cauce, se protegerán los taludes con mampostería y en los extremos de los mismos tanto aguas arriba como aguas abajo, se construirán dentellones, también de mampostería. Si la rasante del camino coincide con el fondo del cauce, los dentellones se construirán inmediatos a la corona, aguas arriba y aguas abajo. Para proteger la superficie de rodamiento se puede utilizar mampostería recubierta con una capa de concreto o de mortero rico en cemento, que proporcione una superficie lisa. Si la piedra es escasa en la región, puede hacerse todo lo dicho, con concreto; en los dentellones puede emplearse también concreto ciclópeo, que es un concreto de la resistencia que se haya fijado y en cuyo seno se depositan piedras de 30 kg. cuando menos; la cantidad de piedra que se agregue no será mayor del 30% respecto al volumen del concreto ciclópeo; las piedras estarán limpias y desde luego tendrán cuando menos la resistencia del concreto en que van a quedar alojadas; se mojarán antes de colocarse y se depositarán con cuidado procurando que entre ellas quede una separación mínima de 15 cm y en

tre las piedras y las superficies limitantes de la obra un espacio no menor de 10 cm.

En los casos en que se presente un pequeño escurrimiento permanente de agua, es conveniente colocar una o varias líneas de tubos sobre el fondo del cauce y construir el vado sobre los tubos; ésto permite el paso de cierta cantidad de agua en tiempo de lluvias, conservando seco el vado, hasta que el volumen de agua sea tal que rebase el vado.

En todos los casos es aconsejable poner a lo largo del vado postes de concreto o tramos de tubo que den una idea al conductor, sobre el espesor de la lámina de agua que está pasando por el vado.



PUENTE-VADO SAN CARLOS. UBICADO EN LA CARRETERA  
NARANJOS-PIEDRAS CLAVADAS EN EL ESTADO DE VERACRUZ.

El puente-vado generalmente estará formado por muros extremos y apoyos intermedios de mampostería y superestructura de concreto reforzado; como el agua rebasará el puente-vado, se requiere que la superestructura ofrezca la menor resistencia, por lo que no podrán construirse losas de concreto con nervaduras; ésto obliga a claros pequeños entre apoyos y a proyectar losas contínuas, una losa aislada, simplemente apoyada para 5 metros de claro, carga HS-15 y concreto de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$  puede resultar con un espesor de unos 35 cm; en las mismas condiciones pero con losa contínua puede bajar a unos 25 cm.

Se recomienda construir los puentes-vado de 3.00 metros de ancho libre, aún para caminos alimentadores de dos carriles, y sin parapetos como ya se dijo para no ofrecer resistencia al agua, pero con guarniciones interrumpidas de 25 cm de altura que delimiten, el puente mientras la lámina de agua no sea de mayor espesor. No debe pasarse sobre el puente-vado cuando las guarniciones las cubra el agua.

Los estribos, las pilas y los cimientos en un puente-vado serán de mampostería de tercera clase y la losa de concreto reforzado. Las losas serán contínuas pero de no más de 4 claros cada una y éstos de 4 a 4.5 metros. La superficie de rodamiento del camino se protegerá debidamente con zampro o concreto en el tramo que cubrirá el NAME.

### 3.1.2 (SUBDRENAJE)

#### 1.- SUBDRENAJE DE ZANJA Y CAPAS PERMEABLES.

Los subdrenajes en zanjas se harán en la ubicación, con las dimensiones, pendientes y demás características señaladas en el proyecto. Salvo otras indicaciones, las dimensiones de la zanja, el espesor de la plantilla, la posición de la tubería y las características de material de filtro serán las que se indican en la fig. sig.

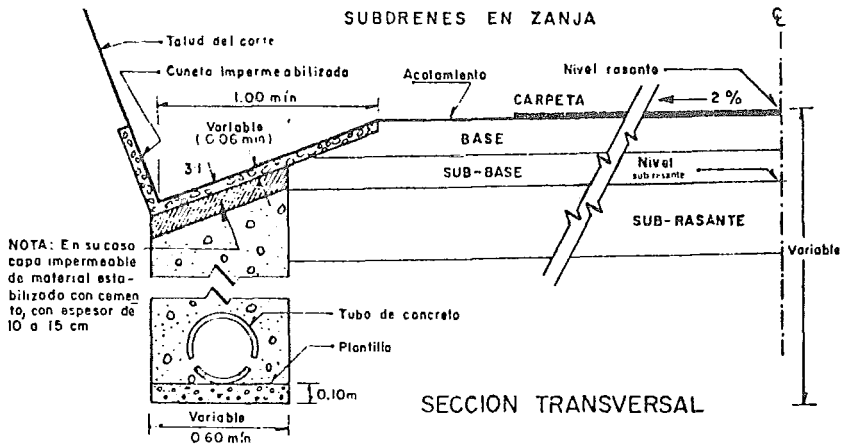


Fig. 26

Sub-dren de zanja y capa permeable (sub-base).

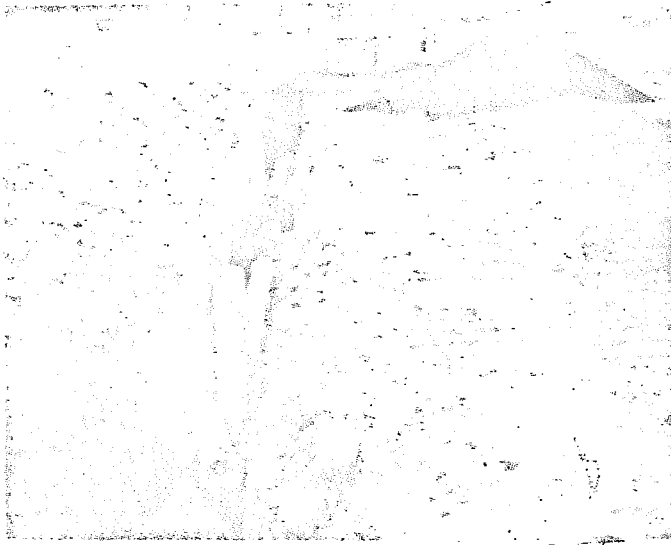
Para su construcción se hace primero una zanja con una profundidad adecuada del orden de 1.0 a 1.5 mts. como mínimo, pudiéndose en casos muy especiales presentar hasta 4.0 esta se hará a mano o con maquinaria según convenga.

Previamente a la colocación de los tubos en las zanjas, el fondo se acondicionara colocando la plantilla con el mismo material de filtro, con la pendiente de proyecto dándole un apisonado, hasta obtener una superficie resistente y uniforme. Cuando se ordene la plantilla se estabilizara agregándole cemento en la proporción que se indique. Los tubos se colocarán sin juntear, excepto los de lámina de acero galvanizada corrugada, para los que se utilizaran las juntas correspondientes, en todos los casos los tubos deberán quedar hacia abajo. Cuando se requieran variaciones en la pendiente, estas serán crecientes en el sentido del escurrimiento, la pendiente de la tubería será como mínimo de cinco décimos por ciento (0.5%), excepto que el proyecto determine otra cosa. La tubería deberá ser abierta hasta el nivel fijado, con el material de filtro, estos materiales deberán estar húmedos para evitar su segregación, se colocarán a volteo y se les dara un apisonado suave para lograr su acomodo, llegándose a compactar del orden del 85 % al 90 % de su peso volumétrico seco máximo obtenido en el laboratorio, por último se cubrirán con un zampeado según las características y espesores indicadas en el proyecto. Cuando una parte de la tubería trabaje unicamente como conductora de agua, no llevara perforaciones y deberá juntearse con mortero, según sea especificado.

Salvo no se indique otra cosa, los subdrenes en zanjas debe -



ECAVACION DE LA ZANJA PARA LA COLOCACION DE  
SUDRESES. CARRETERA XALAPA - VERACRUZ.



TUBOS COLOCADOS EN LA ZANJA. NOTESE LAS PERFORACIONES EN LOS TUBOS  
DE CONCRETO HIDRAULICO Y EL MATERIAL DE FILTRO ANTES DE SER ACOMO-  
DADO. CARRETERA XALAPA - VERACRUZ.

rán quedar totalmente terminados antes de iniciarse la construcción del pavimento, excepto el zampeado de protección. Si existe el riesgo que el material de filtro se contamine antes de colocar el zampeado se colocará una capa adicional de material estabilizado impermeable.

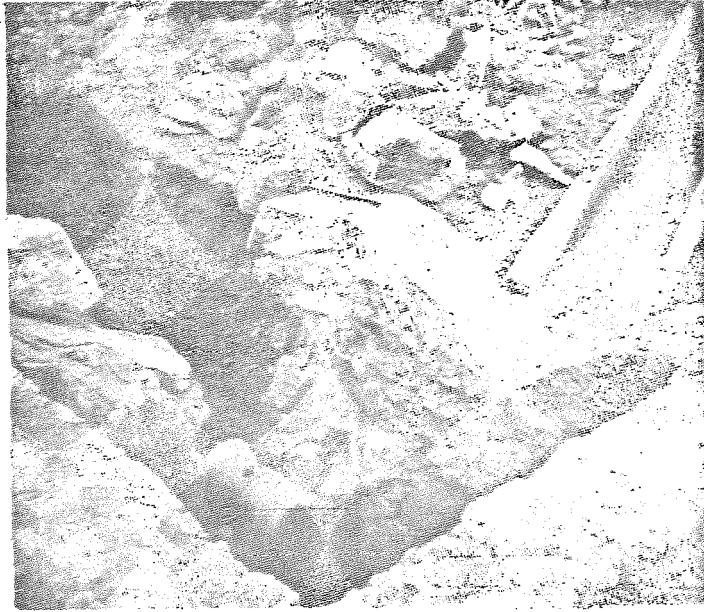
Los registros para inspección y limpieza de los subdrenes en zanja se harán de tabique rojo o similar, juntado con mortero, mampostería de piedra, braza con mortero o en su caso con concreto, cumpliendo con las características y normas de calidad que dicta la S.C.T. Estos quedarán ubicados en los lugares apropiados para tal fin.

ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES DE FILTRO

USADOS POR S.C.T.

MALLA	ABERTURA EN mm.	% QUE PASA, PESO
1 1/2"	38.1	- 100
1"	25.4	80 - 100
3/4"	19.1	65 - 100
3/8"	9.52	40 - 80
No. 4	4.76	20 - 55
No. 10	2.00	0 - 35
No. 20	0.840	0 - 20
No. 40	0.420	0 - 12
No. 100	0.150	0 - 7
No. 200	0.075	0 - 5

TABLA NUM (11)



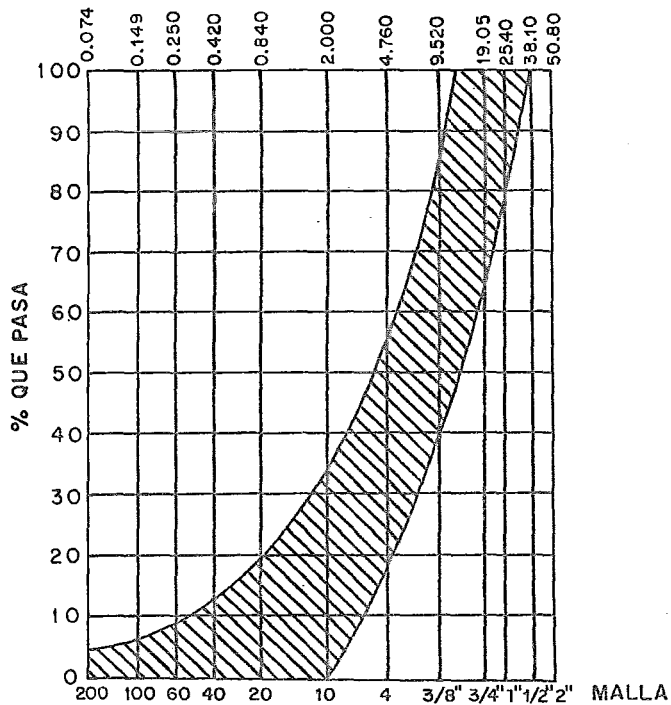
ASPECTO DE UN REGISTRO DE MAMPOSTERIA PA-  
RA INSPECCION Y LIMPIEZA DE LOS SUBDRENES  
DE ZANJA, SIRVE TAMBIEN PARA DESCARGA DE  
UN LAVADERO. CARRETERA XALAPA - VERACRUZ.



Las arenas y/o gravas para formar los filtros en los subdrenes seran limpias y constituídas por partículas resistentes. Salvo otra indicación, su granulometría será la que se especifica en la Tabla No. 11 y se representa en la fig. No. 26, de acuerdo con lo especificado por la S.C.T.

SUBDRENES  
GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

TAMAÑOS DE PARTICULAS EN mm.



NOTA.- La granulometría del material de filtro deberá estar en la zona sombreada de la gráfica. Este material deberá cumplir además con  $LL \leq 25\%$ ;  $LP \leq 6\%$

Fig. 26 - A

A este respecto la U.S. Corps of Engineers recomienda los siguientes criterios:

Para ranuras Longitudinales:

$$\frac{D_{85} \text{ (filtro)}}{\text{Ancho de la ranura}} \rightarrow 1.2$$

Para perforaciones circulares:

$$\frac{D_{85} \text{ (filtro)}}{\text{Diámetro del agujero}} \rightarrow 1.0$$

El U.S. Bureau of Reclamation Proporciona la siguiente regla:

$$\frac{D_{85} \text{ del Filtro (en la vecindad del tubo)}}{\text{Máxima perforación del tubo.}} \geq 2$$

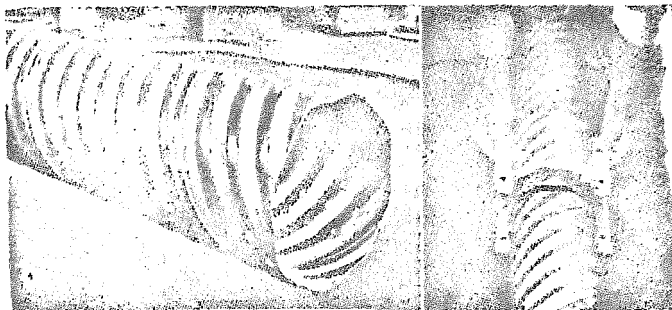
Juárez Badillo y Rico Rodríguez en su libro dan la siguiente recomendación:

$$\frac{D_{85} \text{ (del filtro)}}{\text{Máxima perforación del tubo.}} \geq 1.5$$

La piedra que se emplee deberá ser de buena calidad, sana, homogénea y durable. Los tamaños serán los señalados por el proyecto,

Los tubos que se empleen en los subdrenes, excepto en los de penetración, llevarán cuatro (4) hileras de perforaciones, dos (2) a cada lado y en forma simétrica con relación al eje vertical, según se indica en la fig. No. 27. Salvo otra indicación, tendrán un diámetro interior de 15 cm y podrá ser de uno de los siguientes materiales, según lo especifica la S.C.T.

- De barro, tipo macho y campana recocidos, vitrificados o no



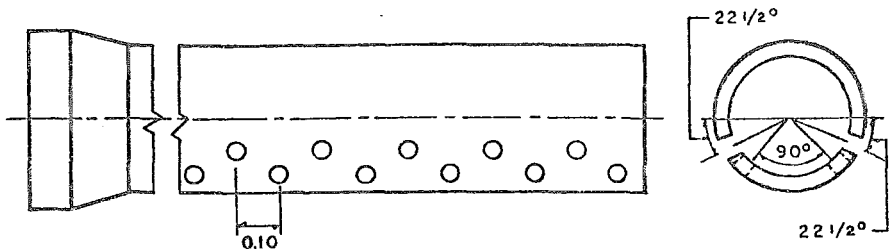
DETALLE DE LAS PERFORACIONES EN TUBOS CO-  
RRUGADOS DE LAMINA GALVANIZADA Y UNION DE  
ELLOS.



CONSTRUCCION DE SUBDRENE DE ZANJA CON  
TUBOS CORRUGADOS DE LAMINA GALVANIZADA.

exento de defectos y grietas y una longitud no mayor de (1) metro.

- De concreto hidráulico, simple, del tipo macho y campana, exento de defectos y grietas y una longitud no mayor de ciento veinticinco (125) cm.
- De lámina de acero galvanizada, corrugada, de calibre y características que sean fijadas en el proyecto.

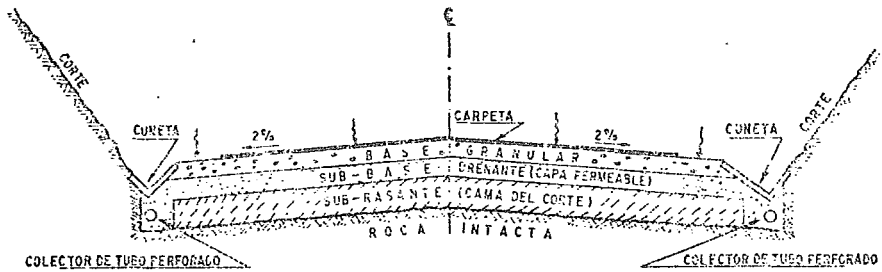


PERFORACIONES DEL TUBO DE CONCRETO

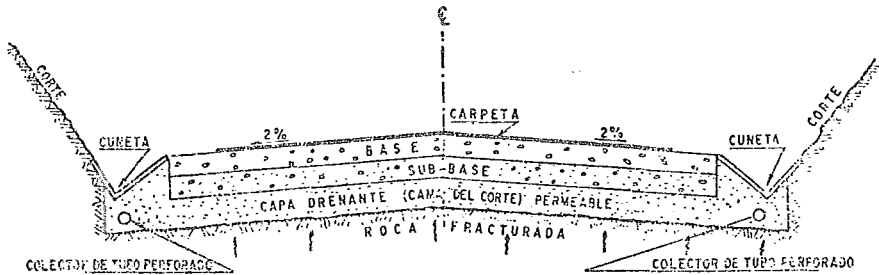
Fig. 27

Los subdrenes de capas permeables se harán por lo regular bajo la carpeta del pavimento a partir de la sub-base hacia abajo y también con las dimensiones, pendientes y demás características que sean señaladas en el proyecto. Salvo otras indicaciones, las

capas permeables se construirán de cualquiera de las dos formas siguientes: las cuales se indican en la figura No. 28



Sub-base utilizada como capa permeable, para interceptar agua proveniente del pavimento.



Sub-rasante utilizada como capa permeable, para interceptar flujo ascendente por sub-presión.

Fig. 28

Para la construcción de estas capas se seguirá el siguiente procedimiento:

- Serán construídas a partir de la frontera en donde el agua tiende a ascender por capilaridad en donde más convenga y - según sea especificado en el proyecto.

- Serán construídas del material de filtro cuya granulometría - este regida por las especificaciones de S.C.T. y de la cual se hace referencia en la tabla No.11 y figura No.26
- Su espesor será como mínimo de veinte (20)centímetros y se colocará bajo la base o la sub-base segun convenga y su pendiente transversal será del orden de dos (2) por ciento.

## 2.- CONSTRUCCION DE UNA CAPA PERMEABLE CON REMOCION DE MATERIAL.

Cuando se ejecuta una obra vial sobre una ladera, y que esta - presenta una capa con espesor entre cuatro (4) o cinco (5) metros y además sea de mala calidad y se encuentre saturada, se procederá a remover dicho material hasta encontrar otra capa de mejor cali - dad, a partir de lo cual se colocará una capa permeable de aproxi - madamente cincuenta (50) a cien (100) centímetros de espesor, cum - pliendo con las características que fijan las Normas de Construc - ción dictadas por la S.C.T.

Para materiales de filtro y de los cuales ya se hizo referencia con anterioridad y de los cuales se podrá decir lo siguiente:

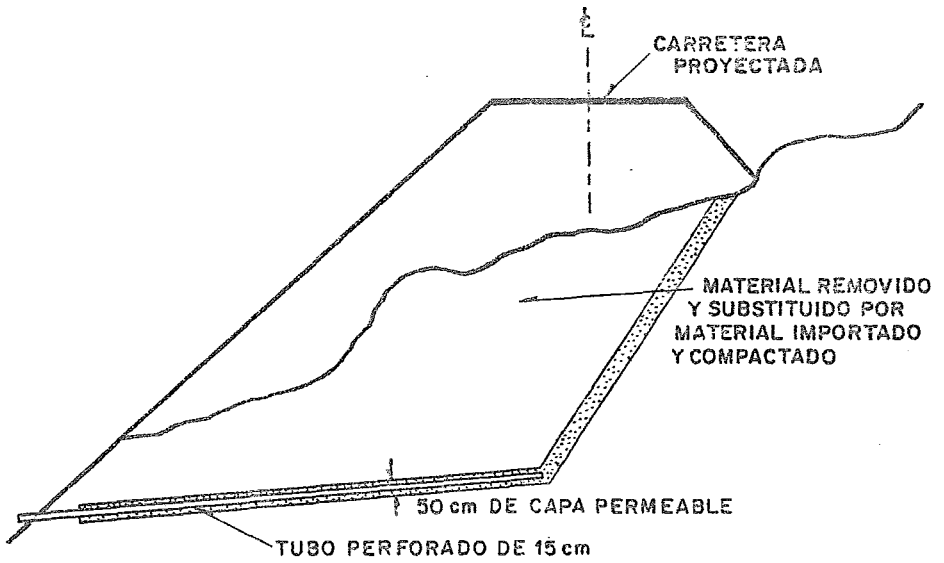
- La arena y/o grava para formar los filtros serán limpios y construídos por partículas resistentes.
- Su granulometría quedará alojada en lo que indica la Fig. No. 26 y se especifica en la Tabla No. 11
- La capa permeable se hará en un ancho tal que en este quede alojada la carretera.
- Entre dicha capa se colocarán tubos de recolección y desfogue

los cuales darán salida al agua captada por esta.

Previamente a la colocación de los tubos, el terreno donde - estos se colocaran, será acondicionado colocando una plantilla con el mismo material de filtro, con la pendiente proyectada y dándole un apisonado, hasta obtener una superficie resistente y uniforme. Cuando sea requerido, la plantilla se estabilizará agregándole cemento en la proporción que sea indicada. Los tubos se colocarán sin juntear, excepto los de lámina de acero, en todos los casos - las perforaciones de los tubos deberán quedar hacia abajo. La tubería deberá ser cubierta hasta el nivel fijado, con los materiales de filtro amén de otras indicaciones, estos materiales deberán estar húmedos para evitar su segregación. El material se colocara a volteo y se les dará un apisonado suave para lograr su acomodo. Cuando una parte de la tubería trabaje únicamente como conductora de agua, no llevará perforaciones y deberá juntearse.

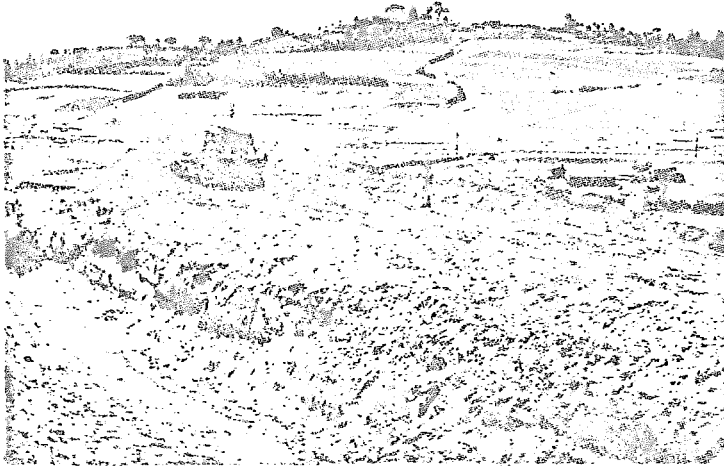
Las características de los tubos deberán reunir las condiciones que dicta la S.C.T. y de las cuales se hace referencia en el inciso No. 1.

Una vez terminada la capa permeable, se procederá a colocar un relleno de material de buena calidad compactándose como mínimo al 90% de su peso volumétrico suelto, determinado en el laboratorio y sobre del cual se colocará el cuerpo de terraplén de la carretera, compensando el material que fue removido. Los terraplenes se construirán en todo el ancho de la sección por capas sensiblemente horizontales, de espesor aproximadamente uniforme, la compactación se ejecutará uniformemente en todo lo ancho de la sección y con los grados de compactación fijados en el proyecto.



NOTA: EN EL EXTREMO DE SALIDA, EL TUBO NO DEBERA ESTAR PERFORADO

FIG. 29 REMOCION DE MATERIAL BLANDO Y COLOCACION  
DE UNA CAPA PERMEABLE BAJO TERRAPLENES.



REMOCION DE MATERIAL BLANDO. CARRETERA TOLUCA - APLACOMULCO.



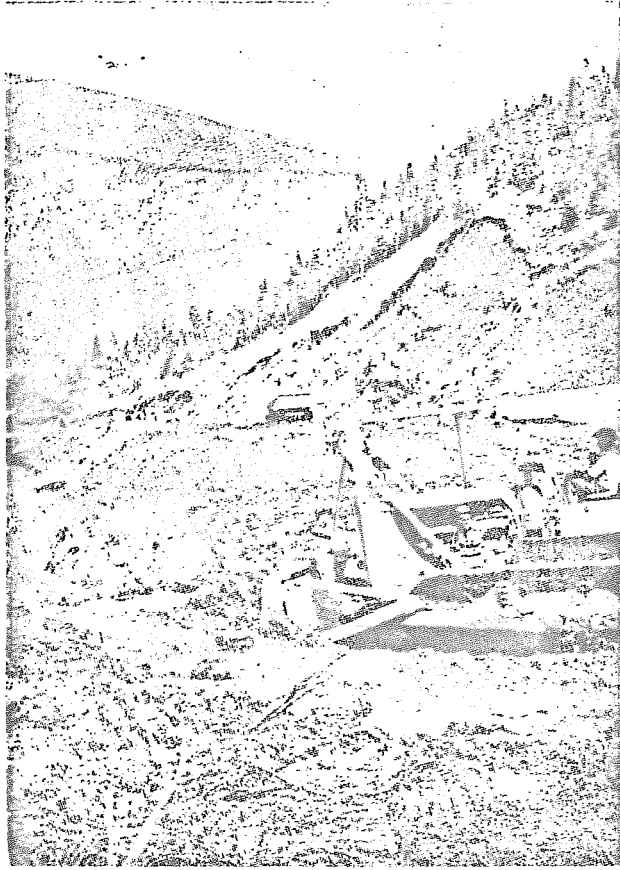
### 3.- CONSTRUCCION DE TRINCHERAS ESTABILIZADORAS.

Se dirá que la construcción de Trincheras Estabilizadoras, se harán en aquellos lugares en que existen problemas de estabilidad planteados o previsibles por condiciones de flujo y el nivel freático que se localice a 10 o 15 m bajo el terreno natural y en los cuales se tenga que alojar una carretera.

Una trinchera estabilizadora es una excavación dotada en su talud aguas arriba de una capa drenante, con espesor comprendido entre 0.50 m y 1.00 m de material de filtro y un sistema de recolección y eliminación de agua en su fondo, el cual suele consistir de una capa de material de filtro del mismo espesor arriba citado, dentro de la cual existiera tubería perforada, la que tendrá un diámetro de 15 a 20 cm y si es necesario de un diametro mayor cuando se esperan gastos mas grandes , dicha tubería servira para conducir rápidamente el agua captada, además se conectará a una tubería de desfogue la cual lleve el agua a un lugar donde esta sea inofensiva.

El procedimiento que se sigue para ejecutar la obra puede ser variado, pero por lo general se siguen los siguientes pasos.

Localizada la zona de falla, se procede a remover la capa de material inestable hasta la profundidad requerida, esta operación por requerirse de volúmenes considerables de tierra, se ejecutará con maquinaria y cuidando que esta sea la apropiada en el fondo de la excavación se dejará lugar para que la gente pueda maniobrar y tal será por lo menos de cuatro (4) o cinco (5) metros de ancho la inclinación del o los taludes sera variable dependiendo de las ca-



REMOCIÓN DE LA CAPA DE MATERIAL INESTABLE  
CON TRACTOR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA  
TRINCHERA ESTABILIZADORA.

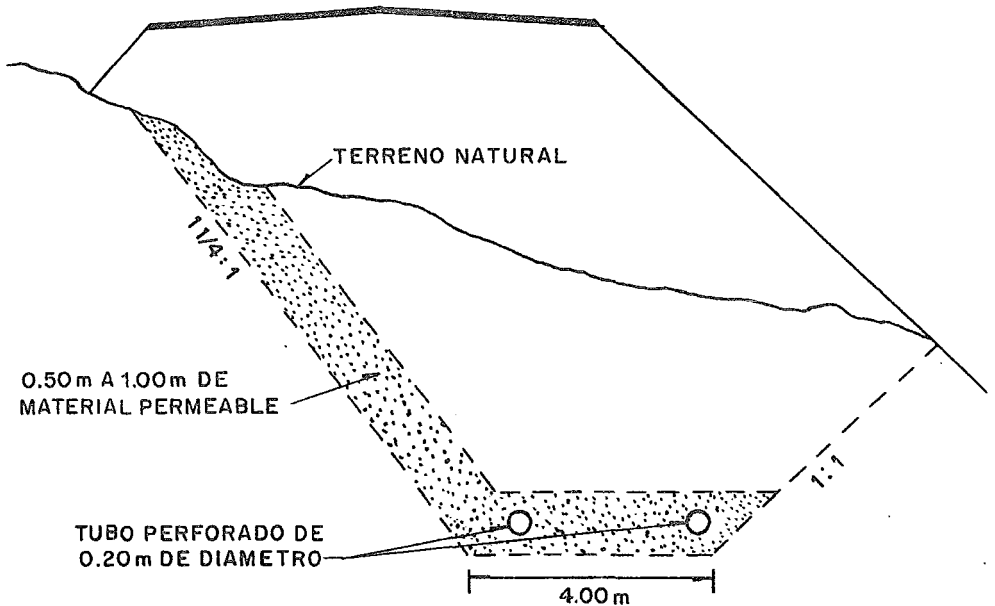
racterísticas, pero por lo general oscila entre 1: 1 ó 1.5: 1.

Teniéndose la excavación terminada se procede a condicionar el terreno donde serán colocados los tubos que servirán de captación y desfogue, dicho acondicionamiento se hará colocando una plantilla con el mismo material de filtro empleado para construir la trinchera con la pendiente requerida y dándole un apisonado hasta obtener una superficie resistente y uniforme. Cuando se requiera la plantilla se estabilizará con cemento Portland en proporción adecuada. Los tubos serán colocados sin juntar, excepto los de lámina de acero, las perforaciones de los tubos deberán quedar hacia abajo. La tubería será cubierta con el material de filtro hasta el nivel fijado. El material permeable se colocará a volteo y por capas hasta alcanzar el espesor de proyecto, dando un apisonado suave para lograr su acomodo. La tubería que solo trabaje como conductora de agua, no llevará perforaciones y sí se juntará.

La capa permeable que se construirá sobre el talud de aguas arriba, tendrá las mismas características de la capa que se construirá abajo.

El proceso que se sigue para construir la capa es básicamente el mismo, sólo que en esta no se colocara tubería, se irá tendiendo por capas de espesores adecuados, hasta alcanzar el espesor de proyecto dando un apisonado para lograr su acomodo, si no se indica otra cosa, los materiales de filtro deberán estar húmedos para evitar su segregación, quedando dichos taludes estables y una vez ya con el relleno, el problema de estabilidad se solucionará aún de mejor manera.

El relleno de la excavación deberá hacerse por capas de espesores no mayores de 20 centímetros proporcionando al material la humedad adecuada y compactando cada capa al 90%, salvo que el proyecto determine otros valores.



Trinchera estabilizadora

Fig. 30

#### 4.- CONSTRUCCION DE UN DREN TRANSVERSAL DE PENETRACION.

Los drenes de penetración transversal son instalaciones de subdrenaje que responden específicamente a la necesidad de abatir del interior de los taludes del corte las presiones generadas por el agua, que sean susceptibles de provocar fallas en el corte.



COLOCACION DE DRENES TRANSVERSALES DE  
PENETRACION, USANDO MAQUINARIA ESPECIA-  
LIZADA.

Consisten en tubos perforados en toda su periferia que pene - tran en el terreno natural en dirección transversal al eje de la vía, para captar el agua interna y abatir las presiones centrales.

Para la ejecución de este sistema de subdrenaje es recomendable y tener presente lo siguiente:

Las perforaciones en las que se alojarán los tubos deberán - ser de una vez y media (1 1/2") a dos (2) veces el diametro del tu bo de acero perforado. Su colocación dependerá del tipo de terreno o material que se intente drenar, es frecuente verlos hasta cin co metros uno el otro y en dos o más hileras separadas por espa - ciamiento vertical similar.

Los tubos deberán interceptar la superficie potencial de la - falla detectada, rebasándola cuando menos en cinco (5) metros.

La pendiente de los tubos deberá ser no menor de tres por - ciento (3%) ni mayor de veinte por ciento (20 %).

Hay siempre tendencia a que el proceso de perforación cambie substancialmente la pendiente adoptada, generalmente por efecto de la gravedad, lo que deberá cuidarse.

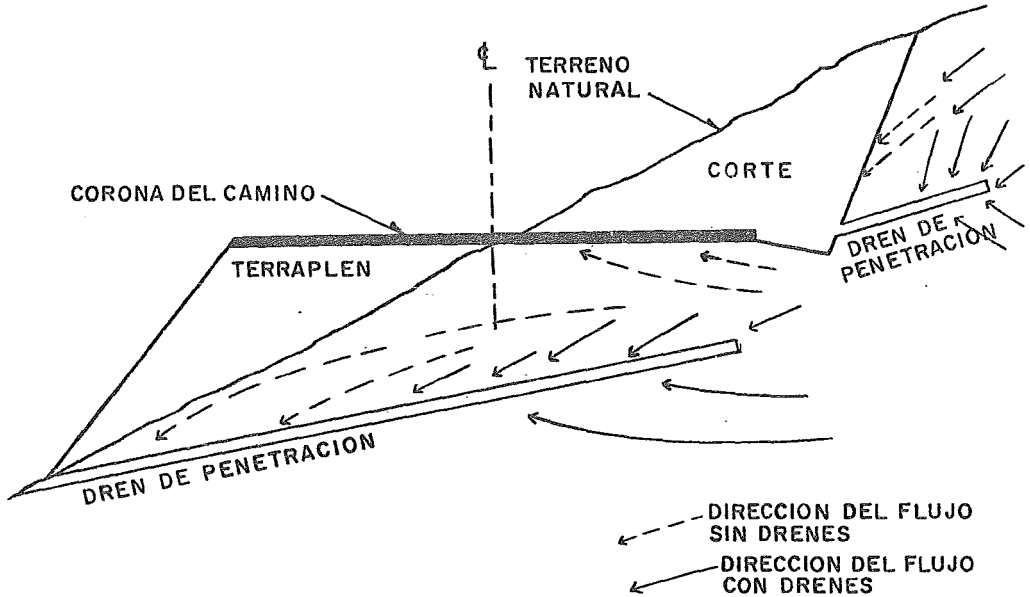
Los tubos deberán estar perforados en toda su superficie y protegidos contra la corrosión. Llevarán en el extremo de ataque una punta para facilitar su penetración.

El último tramo de tubo que se coloque será de hierro galvani zado y no llevará perforaciones en los tres (3) metros finales.

La descarga de los tubos no deberá hacerse directamente a los

taludes. La descarga puede ser libre a la cuneta o, en instalaciones importantes, a tubos colectores de unos veinte (20) centímetros de diámetro, que encaminen las aguas a donde sean inofensivas.

El equipo de perforación consiste en una herramienta rotatoria, perfectamente montada en una máquina con movilidad propia.



Esquema de la influencia de los drenes transversales de penetración en un corte en balcón

Fig. 31

#### 5.- CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE POZOS DE ALIVIO.

El método para instalar pozos de alivio no es una tecnología que este plenamente desarrollada y por lo mismo requiere personal experimentado, buena investigación de las condiciones de terreno,

buen equipo y buen criterio, para construir el sistema de subdrenaje de este tipo.

Los pozos se construyen no por regla, pero sí por la experiencia, por lo general de la siguiente manera:

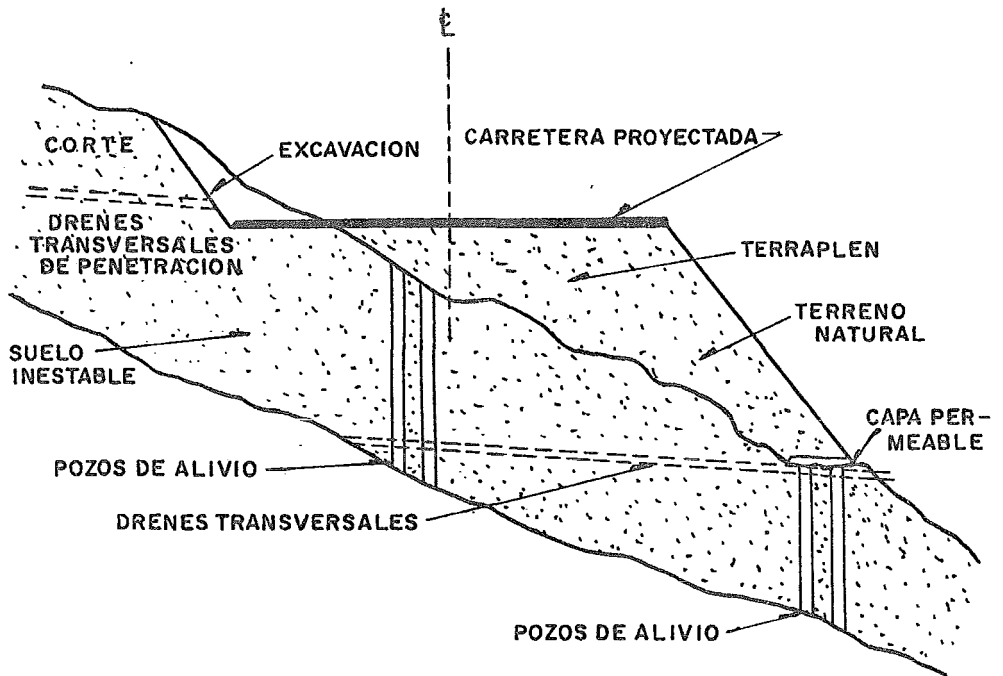
Teniéndose la zona falla, que por lo regular es ladera arriba la cual es causada por el flujo interno de agua en la masa de suelo se procede a perforar. Estas perforaciones se harán con la maquinaria apropiada y con un diámetro del orden de 40 o 60 cm la - profundidad a la que se llegue será la determinada por el proyecto y dependerá del espesor que tenga la zona probable de falla o pasando el nivel de aguas freáticas.

En las perforaciones hechas se colocará un tubo perforado de 10 o 15 centímetros de diámetro. El espacio que queda entre las - paredes de la perforación y las paredes del tubo será rellenodo con material de filtro. El tubo deberá estar protegido contra la corrosión, así mismo el material de filtro según la S.C.T. y de - las cuales ya se hizo mención con anterioridad (Fig. No. 26 y Tabla No. 11).

Los pozos deberán tener un sistema que elimine el agua que - drenen, el sistema puede ser de diferente tipo y este se diseñará de acuerdo a las características del mismo y conforme a lo indicado en cada proyecto. Los sistemas de eliminación pueden ser:

El de bombeo, que es quizá el medio más obvio para lograr tal fin, pero es costoso y complica mucho las maniobras de la conservación normal de la vía.





Pozos de alivio combinados con drenes transversales de penetración.

Fig. 32

Otro medio de captar el agua drenada por los tubos del sistema de pozos de alivio es el de construir una galería uniendo el fondo del pozo a modo de un pequeño tunel, este tunel se diseñará y construira de acuerdo al gasto captado por el sistema de subdrenaje .

El otro medio que puede haber para dar salida al agua es el de drenes de penetración transversal, el cual se construirá con las características que fueron mencionadas en el inciso correspondiente a drenes de penetración transversal.

El espaciamiento entre los pozos de alivio es un factor muy importante, para lo que se refiere a la efectividad del sistema.

Los espaciamiento entre los pozos de alivio es un factor muy importante, para lo que se refiere a la efectividad del sistema.

Los espaciamientos comprendidos entre 5 y 10 metros son los más comunes aunque estos pueden variar, como también lo es formar la pantalla con dos hileras próximas traslapadas.

#### 6.- PROCESO PARA LA EJECUCION DE UNA GALERIA FILTRANTE.

La galería filtrante es un tunel de sección adecuada para permitir su propia excavación, localizado en donde se juzgue más eficiente para captar y eliminar las aguas que perjudiquen la estabilidad de un talud o de una ladera natural que se use como terrreno de cimentación. Es bastante común que la galería filtrante se desarrolle por debajo de una superficie de falla previamente formada y en tal caso puede aumentarse mucho la capacidad drenante disponiendo de tubos perforados en abanico radial, que lleguen hasta la zona fallada.

El revestimiento de la galería debe ser tal que permita un efectivo trabajo como dren, existen de tubo metálico perforado embebido en material de filtro y el revestimiento convencional de concreto, de mampostería o mixto.

La galería se construirá con la maquinaria adecuada y de acuerdo con la forma, sección y dimensiones que fije el proyecto. La excavación se ejecutará conforme a la sección teórica, evitando aflojar el material más allá del perímetro teórico de la sección fijada.

Durante la construcción de la galería se irán indicando las zonas que sea necesario ademar. Los ademes podrán ser de madera, metálicos o de concreto hidráulico, pero se construirán en el lugar y de la forma, sección y dimensiones y demás características previamente establecidas.

Las galerías cuyo revestimiento se haga con tubo metálico, se harán conforme a lo siguiente: dejando en claro que esto no sigue una regla.

Las secciones ensamblables se armarán con placas múltiples, con pernos galvanizados (19 mm). Los tramos de tubo formados con secciones remachadas se unirán con bandas de acoplamiento galvanizadas, de metal base igual al de la sección por unir, las bandas se sujetarán con pernos de alta resistencia. Conforme vaya siendo armada la placa metálica, se irá colocando el material de filtro en el espacio comprendido entre la pared del túnel y la superficie metálica, la que estará dotada de perforaciones para captar el agua drenada por el material de filtro. El espacio que sea dejado para colocar el material de filtro, tendrá el espesor adecuado, dado por el diseño, para captar el flujo de agua interno en la masa de suelo, el calibre de la placa metálica, también estará dada por diseño.



ASPECTO DE LA CONSTRUCCION DE  
UNA GALERIA FILTRANTE A BASE  
DE TUBO METALICO.

(La instalación de este tipo de subdrenaje depende básicamente de la experiencia que tenga la gente que ejecuta la obra)

Las galerías con revestimiento de mampostería o de concreto, que por economía son las más comunes, siguen como proceso el usado en la construcción de tuneles, solo que con algunas variantes en cuanto a sistema de dren. Los recubrimientos de las galerías se harán de acuerdo con las dimensiones y demás características fijadas en el proyecto.

La mampostería se irá haciendo conforme vaya avanzando la excavación del tunel y esta deberá reunir los siguientes requisitos:

La piedra con que se construyera debiera pesar como mínimo 30 kg excepto las que se emplean para acuñar. Se desecharan las piedras redondeadas y los cantos rodados sin fragmentar. Las pie-

dras deberán estar limpias y exentas de costras, si sus superficies tienen cualquier materia extraña que reduzca la adherencia, se limpiarán o lavarán y serán rechazadas si tienen grasa o aceite. El junteo de la mampostería se hará con mortero, ya sea de cemento o calidra en proporción de 1:4 o 1:5 según convenga, la junta no será menor de 2 cm ni mayor de 4 cm. El desplante de la mampostería deberá terminarse y afinarse y si se requiere compactarse, sobre la superficie así tratada, se tenderá una plantilla de mortero simple o con pedacería de piedra, la cual tendrá el espesor mínimo necesario para lograr una superficie uniforme, salvo otra indicación, el mortero será idéntico al que se utilice en la mampostería.

Conforme se vayan terminando tramos de mampostería, se irá construyendo la bóveda de la galería, la cual podrá ser de piedra o concreto, por lo general son construídas de concreto, ya que facilitan su ejecución. De la bóveda saldrán radialmente la tubería que servirá de dren, esta será de un diámetro tal que permita el drenado eficientemente. En la fig. 33 se podrá ver la disposición de la tubería y algunos detalles de la bóveda.

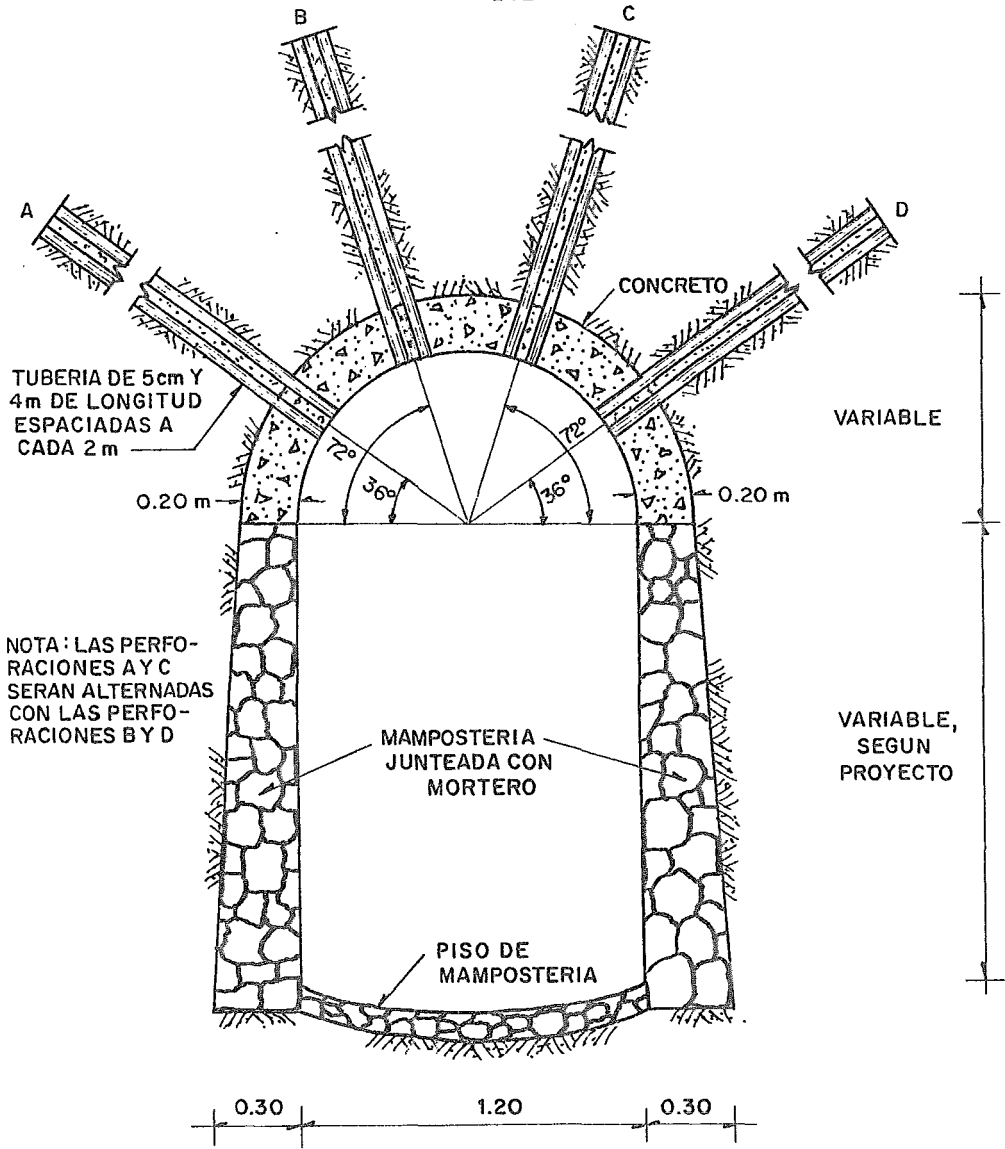


FIG. 33 SECCION TRANSVERSAL DE UNA GALERIA FILTRANTE

En la figura también se puede ver la disposición geométrica que guardan los tubos del dren.

El piso de la galería será construido de mampostería o concreto según lo especificado en el proyecto.

### 3.2 OBRAS DE PROTECCION DE LOS TALUDES EN CARRETERAS.

En este inciso se tratarán someramente, los principales métodos y sus procesos constructivos, a disposición del ingeniero para corregir problemas de laderas o taludes inestables, su protección o para reconstruir zonas falladas. Por cierto, ha de señalarse que muchas de las correcciones que se hagan en zonas falladas estarán ligadas al aspecto del drenaje, pues, se sabe la acción del agua superficial o subterránea tiene gran influencia en la estabilidad de las masas de tierra.

Todos los métodos correctivos siguen una o más de las siguientes líneas de acción.

- 1) Evitar la zona de falla.
- 2) Reducir las fuerzas motoras.
- 3) Aumentar las fuerzas resistentes.

El evitar la zona de falla suele estar ligado a cambios en el alineamiento de la vía, sea el horizontal o el vertical, a la remoción total de los materiales inestables o a la construcción de estructuras que se apoyen en zonas firmes, tales como puentes o viaductos.

La reducción de las fuerzas motoras se puede lograr, en gene

ral, por dos metodos: remoción del material en la parte apropiada de la falla y subdrenaje, para disminuir el efecto de empujes hidroestáticos y el peso de las masas de tierra, que es menor cuando pierde agua.

Por lo común, la línea de acción que ofrece más variantes - es la que persigue aumentar las fuerzas resistentes, algunas de - estas son el subdrenaje, que aumenta la resistencia al esfuerzo - cortante del suelo, la eliminación de estratos debiles y otras zo - nas de falla potencial, la construcción de estructuras de reten - ción u otras restricciones y el uso de tratamientos, generalmente químicos, para aumentar la resistencia de los suelos al desliza - miento.

A) Métodos de Elusión.- Indiscutiblemente constituyen los - medios más seguros para eliminar los problemas derivados de desli - zamientos y fallas, pero no siempre se pueden utilizar. En -- otras ocasiones se podran emplear solo parcialmente, en el senti - do de que no se pueda evitar por completo una zona inestable, pero que un ligero cambio de alineamiento haga posible eludir su peor parte o mucha de la longitud de la vía dentro de la zona, en estos casos este tipo de soluciones pueden ser todavía muy valiosas.

En muchas laderas inclinadas con condiciones de estabilidad difíciles suele ser una magnifica regla alterar lo menos posible - las formaciones naturales por la construcción de la vía. A esta idea corresponde la solución con construcción en "medios viaduc - tos", en la cual se fijan en la ladera los apoyos del lado inte - rior de la estructura que constituye la via, dejando volado el la - do exterior, apoyado a trechos sobre columnas cimentadas en forma



ciones sanas, las columnas son generalmente de concreto reforzado. La condición para el exitoso empleo de esta solución será, en primer lugar, el buen apoyo de las columnas y, en segundo que se altere poco realmente la ladera al colocar los apoyos del lado interior de la vía.

Los métodos de elusión de fallas no contribuyen a estabilizarlas, ésta, más el alto costo que por lo general tienen, son sus principales limitaciones. La influencia del costo suele ser determinante en fallas pequeñas, pero se disminuye mucho cuando la zona inestable es muy amplia, pues en tal caso los costos de cualquier método correctivo tienden a crecer.

B) Métodos de Excavación.- Estos métodos incluyen desde excavaciones menores hechas solo en la cabeza de la falla, hasta la remoción total del material inestable.

La remoción del material en la cabeza de la falla o en todo el cuerpo de la misma, hasta llegar a la remoción total, es un método que en la practica solo se pueden aplicar en fallas ya manifestadas, rara vez se puede conocer con detalle las futuras fallas en una zona de inestabilidad potencial para que resulte prudente proceder a remover materiales en gran escala.

La remoción de materiales suele dar lugar a soluciones bastante permanentes, cuando se cuidan en forma conveniente los aspectos de drenaje en la excavación que se efectue. Son métodos mejores para prevenir que para corregir, pues los costos unitarios de los movimientos de tierra relativamente grandes que implican son menores en construcciones nuevas que en trabajos de reparación.

Cuando una remoción se hace de manera adecuada, debe mejorar las condiciones de drenaje en la zona. El método se puede usar prácticamente en toda clase de deslizamientos, pero es eficiente sobre todo en los de tipo rotacional. Dejándose a un lado consideraciones de costo, que puede ser alto en fallas grandes, su principal desventaja estriba en que el material que se excava se ha de desperdiciar y esto pudiera ser difícil y peligroso en algunos casos, aparte de la repercusión que tales maniobras tendrán en el costo de la solución. También contribuye a incrementar esto último el hecho frecuente de que la excavación tenga que empezar en la parte más alta y progresar ladera abajo.

Generalmente la remoción del material se ejecuta con un tractor, el cual se encarga de la eliminación hacia una zona adecuada, de los materiales nocivos para un nuevo acomodo, como son árboles y vegetación en sí, el tractor excava y transporta el material hacia el lugar indicado para su colocación. Posteriormente se puede darle un cierto grado de compactación con un equipo adecuado.

C) Abatimiento de Taludes.- Este es uno de los métodos más socorridos para el mejoramiento de las condiciones de la estabilidad de los taludes. Es un método correctivo ligado a deslizamientos en el cuerpo del talud. De hecho este es el primer punto a tomar en cuenta respecto a esta solución, al igual que todas las demás, no es de alcance universal, y su eficiencia no es siempre la misma, sino que puede variar extraordinariamente de unos casos a otros.

Un segundo punto que se debe comentar desde un principio es

cuando se considere un abatimiento de un talud en un proyecto o en una falla que se presente en el campo, se debe tener muy presente que el talud abatido es diferente del talud original, con todo lo que ello implica. Por ejemplo, si el talud original se le había determinado un círculo crítico, el talud abatido tendrá otro círculo crítico diferente y, en consecuencia, el factor de seguridad de aquél no tendrá ningún sentido en este, para el cual se deberá realizar un nuevo análisis de estabilidad que permita calcular su factor de seguridad, ligado a su círculo crítico.

Como se sabe, en el caso de suelos puramente friccionantes, la estabilidad del cuerpo del talud depende solo del ángulo de inclinación, en tanto que, en suelos puramente cohesivos y homogéneos con el terreno de cimentación, la estabilidad depende más bien de la altura del talud (de hecho, para inclinaciones menores de  $53^\circ$  y falla de base, la estabilidad es independiente del ángulo de inclinación del talud, y para inclinaciones de los  $53^\circ$  hasta  $90^\circ$ , las condiciones de estabilidad si varían con la inclinación del talud, pero relativamente poco). Naturalmente que la mayoría de los taludes de las vías terrestres se hacen en suelos a cuya resistencia se considera una componente friccionante y otra de cohesión, pero las tendencias extremas anteriores pueden seguir sirviendo como norma de criterio. En suelos en que la componente friccionante tenga más importancia relativa que la cohesiva, será de esperar que la estabilidad este más bien ligada a la inclinación del talud, en tanto que en suelos de naturaleza más cohesiva, será la altura del talud, más que su inclinación, la que defina las condiciones del mismo.

Las consideraciones generales anteriores señalan direcciones -

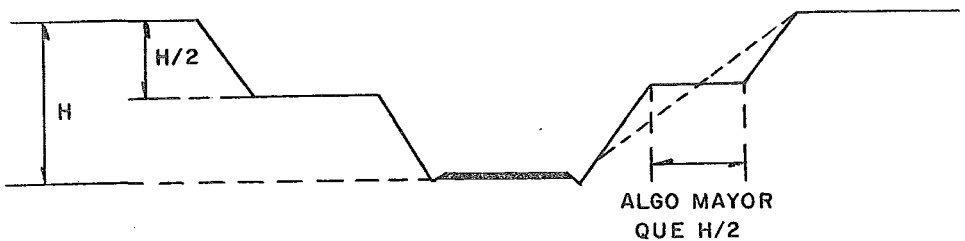
de pensamiento que se deben tomar en cuenta al escoger entre las diversas soluciones de corrección de fallas de taludes en que pueda pensarse. En suelos en que sea importante la componente friccionante de la resistencia, abatir los taludes tendera a ser eficiente en suelos más cohesivos, quizá resulten mejor otros métodos que se discutiran más adelante y que equivalen, en cierto sentido a trabajar con taludes de menor altura (escalonamientos, por ejemplo).

El abatimiento de un talud exige procedimientos de construcción cuidadosos, so pena de perder cualquier beneficio mecánico que pudiera obtenerse de la solución. En el caso de terraplenes, el abatimiento debe ser objeto de un proyecto previo, que incluya el correspondiente cálculo y la construcción se ha de hacer de abajo hacia arriba, de preferencia con un tractor, compactando lo necesario, los rellenos y ligando la nueva parte del talud con el original, de manera que no se tengan soluciones de continuidad con el conjunto. Esto suele requerir el escalonamiento de la sección original y el trabajo por cepas en el relleno que se coloque, trabajando en plataformas con las dimensiones necesarias para el manejo del equipo de compactación. En el caso de cortes, también será preciso proyectar por anticipado el abatimiento, el cual se deberá de construir de preferencia de arriba hacia abajo. Ahora, por razón natural, suelen ser menos peligrosos los problemas en lo referente a lograr una sección homogénea. Si en el abatimiento se usaran explosivos, lo que sucederá en cortes en roca, se deberá tener cuidado de evitar el abuso de estos, para lograr frentes enteros resistentes.

D) Empleo de Bermas y Escalonamientos.- Se denominan bermas

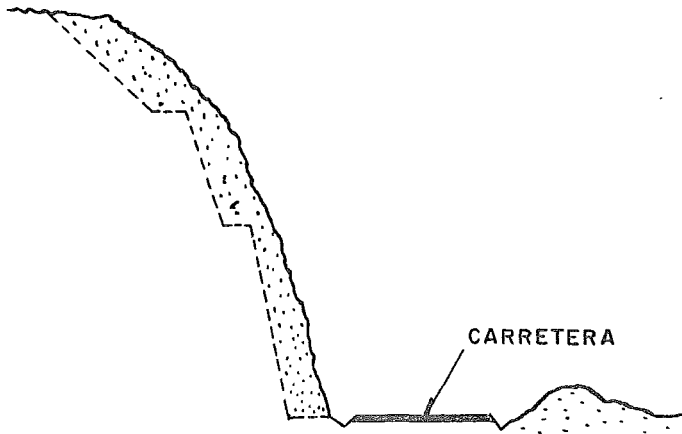
a masas generalmente del mismo material del propio talud o de uno similar que se adosan al mismo, para darle estabilidad. El uso de la berma tiende a incrementar la estabilidad del talud por razones un tanto similares a las expresadas para el abatimiento de taludes de hecho en muchos casos, la construcción de bermas equivale mecánicamente a un abatimiento del talud. El peso del material que se coloque podrá aumentar la resistencia al esfuerzo cortante del terreno de cimentación en su parte friccionante. En suelos cohesivos seguramente el efecto más interesante de la berma es descomponer el talud en dos, cada uno de menor altura, lo que repercute mucho en la estabilidad general.

El escalonamiento de taludes constituye una solución similar a la de las bermas.



a) Escalonamiento en materiales cohesivos .

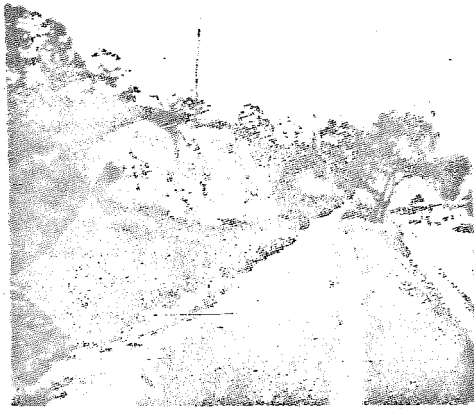
FIG. 34. ESCALONAMIENTO DE TALUDES.



b) Escalonamiento en suelos con resistencia friccional.

Fig. 34 ESCALONAMIENTO DE TALUDES.

En la figura No. 34, se muestran dos escalonamientos típicos, uno en suelos puramente cohesivos y otro en suelos con resistencia cohesiva y friccional. Puede verse como en el caso del escalonamiento en arcilla (suelo cohesivo), lo que se busca es transformar el talud en una combinación de varios otros de altura menor, pues en este tipo de suelos, este es el factor determinante en la estabilidad. Por ello los escalones deberán tener huella suficientemente ancha como para que puedan funcionar prácticamente como taludes independientes. En el caso de taludes en suelos con cohesión y fricción, el escalonamiento se hace sobre todo para provocar un abatimiento del talud, recoger caídos y coleccionar aguas son funcio-



ESCALONAMIENTO DE UN TALUD EN SUELO COM-

PUESTO POR MATERIAL COHESIVO.

CARRETERA MEXICO - PACHUCA.

nes secundarias pero a veces muy importantes, que se asignan también a los escalonamientos.

Es importante la función que pueden cumplir los escalones para proteger el corte contra la erosión del agua superficial, pues reducen la velocidad ladera abajo y el gasto de escurrimiento. Para ello es preciso que los escalones esten adecuadamente conformados, la mayor parte de las veces basta con que el escalón tenga una ligera inclinación hacia el corte, pero en terrenos muy erosionables pudiera llegar a convenir que se invirtiera su inclinación, haciéndola hacia la ladera y construyendo una cuneta impermeable en esa parte interna, que garantice la rápida eliminación de las aguas. Si la posible infiltración del agua de lluvia fuera muy de temer, se podría llegar a la preocupación extrema de impermeabilizar toda la huella de los escalones.

Como ya se dijo, el escalonamiento cumple también la función de detener pequeños derrumbes y caidos que puedan llegar a presentarse en los diversos taludes. En ocasiones esta condición, además del costo, gobierna su ancho.

En el caso de suelos con cohesión y fricción, el perfil del escalonamiento debe ser tal que se llegue a una inclinación razonable para todo corte considerando un talud simple que promedie a todos los escalones. La altura y el ancho de los escalones, aparte de la condición anterior y del costo, muchas veces se deben fijar las consideraciones ya mencionadas de prevención contra la erosión superficial del agua y la detención de derrumbes. Es común que la huella de los escalones disminuya hacia arriba, lo mismo que su peralte.



E) Empleo de Materiales Ligeros.- Esta solución es aplicable únicamente en terraplenes, por razones obvias, y solo será eficiente sobre suelos puramente cohesivos, tales como arcillas blandas o turbas, pues en terrenos de cimentación friccionantes la ventaja del poco peso se neutraliza mucho por la poca presión normal que se produce, lo que a su vez da lugar a que el terreno responda con baja resistencia. Basta decir que lo que se busca es la reducción de las fuerzas motoras, empleando en el cuerpo del terraplén materiales de bajo peso volumétrico. El tezontle, espuma basáltica volcánica, con peso volumétrico comprendido por lo general entre 0.8 y 1.2 ton./m<sup>3</sup>, ha sido muy utilizado para estos fines. Otros materiales, casi siempre de origen volcánico, resultan también apropiados, entre ellos figuran muchas arenas pumíticas.

El uso de materiales ligeros debe comprenderse claramente cuando se compactan los terraplenes, pues muchos de ellos se degradan estructuralmente por una compactación muy enérgica y pierden su característica de materiales ligeros.

Otras soluciones en esta línea, tales como la sustitución de parte del terraplén por tubos o cajones huecos de concreto, resultan por lo común muy costosas, por lo que su uso es limitado.

F) Empleo de Materiales Estabilizantes.- Un aspecto de esta solución es el añadir al suelo alguna sustancia que mejore sus características de resistencia, Por lo general este tipo de solución es más factible en terraplenes. Las sustancias que más normalmente se han añadido al suelo para el fin que se busca son cementos, asfaltos o sales químicas. Sin embargo en la práctica estos proce

dimientos resultan caros, por lo que su uso es limitado.

En general se trata de añadir cementación artificial a los granos del suelo. La mayor parte de los procesos de inyección química que se han intentado utilizan mezclas químicas en que predomina el silicato de sodio, a partir del cual puede formarse un gel silícico para rellenar grietas, intersticios o vacíos en el suelo. Se ha dicho que estos métodos solo se pueden aplicar a suelos arenosos con diámetro efectivo de décimo de milímetro como mínimo.

En forma muy excepcional se ha empleado el tratamiento térmico para estabilizar deslizamientos de tierras. El método fue descubierto por Litvinov. En esencia es un método de calcinación, en el que se inyectan al suelo gases a más de  $1\ 000^{\circ}\text{C}$ , para endurecerlo. Pueden lograrse radios de acción de 2 o 3 metros en torno al tubo de inyección.

Otro método de endurecimiento de suelos consiste en inyectar les lechada de cemento. Se ha empleado sobre todo en construcción de ferrocarriles en Europa. En Inglaterra constituye un método relativamente popular, cuyo uso se extiende incluso a cortes y terraplenes en arcilla. Se reportan los mejores resultados en el tratamiento de superficies de falla previamente formadas y relativamente superficiales, en materiales duros, tales como lutitas, argilitas y arcillas rígidas y fisuradas, no rinde buenos resultados en materiales flojos y sueltos.

En efecto de la inyección es desplazar al agua de las fisuras y rellenarlas con mortero de cemento, lo que forma un buen nexo de unión entre los bloques. No es un método que modifique las ca

racterísticas intrínsecas de la masa de suelo, pues la lechada no penetra en él. La inyección debe comenzar con presiones mayores que la presión preexistente en el punto que se considera, lo que permite la penetración en las fisuras y en la superficie de falla ya formada.

Un programa de inyecciones requiere de un conocimiento muy preciso de la superficie de falla respecto a la cual puede situarse convenientemente los pozos para inyectado. El espaciamiento de los pozos suele estar comprendido entre 3 y 5 m, y las operaciones de inyección deben progresar ladera arriba.

También se han utilizado como materiales para inyectar emulsiones asfálticas con las que se logra mejor penetración que con la lechada de cemento, por su menor viscosidad. El costo puede ser comparable o algo mayor al de la inyección con cemento, si bien estas cifras relativas dependen mucho de la disponibilidad de asfalto o cemento que se tenga en el país en que se aplique la solución y, como es natural, también de la experiencia que haya en el manejo de uno y otro producto. El uso de las inyecciones asfálticas esta fuertemente limitado por la posibilidad de flujo de agua interno, pues este puede remover facilmente la película asfáltica.

Otro método de tratamiento de suelos para los fines que se comentan es la congelación. Es un método lento y costoso, que solo se puede aplicar como tratamiento temporal.

G) Empleo de Pilotes.- El pilotaje constituye seguramente la solución más controvertible entre las que son usuales para estabilizar mecánicamente deslizamientos en laderas y taludes, sin

embargo, se han reportado algunos exitos espectaculares, logrados a costos comparativamente bajos. En casi todos los casos de éxito se instalaron dos y tres hileras de pilotes, y algunas veces su uso ha sido reportado como solución más bien restrictiva, en el sentido de que se instala una hilera de pilotes o dos para frenar un movimiento y se van instalando hileras sucesivas, a medida que el material se adapta a la restricción y los movimientos vuelven a comenzar, en tales condiciones existen fallas que se han estado piloteando a lo largo de veinte años.

Es probable que el método solo sea apropiado en deslizamientos superficiales, los profundos generan fuerzas muy grandes, que con dificultad resisten los pilotes, además, tales fuerzas harían avanzar al suelo entre los pilotes, aun suponiendo que estos resistiesen. En abundamiento de lo anterior debe pensarse que en los deslizamientos superficiales los pilotes resultaran cortos, aun cuando se anclen lo necesario, en cambio en los deslizamientos profundos se habrán de utilizar pilotes muy esbeltos.

El anclaje es evidentemente esencial, pilotes poco anclados serán arrancados y volcados, movimiento que, por cierto provocará alteraciones en la superficie de falla con posibles resultados contraproducentes. No existen reglas fijas en cuanto a la longitud de anclaje, la cual se deberá fijar en cada caso.

Generalmente los materiales que se emplean en la construcción de pilotes precolados, los más comunes son los siguientes: Concreto hidráulico, acero para concreto hidráulico, tubo y accesorios para chiflones, acero estructural para puntas y juntas, soldadura para

puntas y juntas los anteriores materiales son para pilotes precolados o bien colados en el lugar, (también existen pilotes de madera y de acero). Todos los materiales que se utilicen deben cumplir con los requisitos requeridos en el proyecto.

Los moldes para la fabricación de pilotes y sus apoyos deberán ser lo suficientemente firmes, para evitar la deformación de los pilotes, cuando los pilotes sean de sección cuadrada, se colocarán chaflanes de 2 cm en las aristas interiores de los moldes, su colado se hará en forma continua y en una sola operación y se compactara con vibrador. Todas las superficies del pilote deberán ser lisas, continuas y exentas de salientes, oquedades o rugosidades perjudiciales, las plantas de unión deberán quedar perpendiculares al eje longitudinal del pilote. Los pilotes precolados podrán ser hincados con martillo de caída libre o de doble acción y/o una combinación de martillo y chiflón de agua. Cuando los pilotes precolados sean hincados por cualquiera de los métodos anteriores se observaran las siguientes recomendaciones. Los martillos desarrollaran una energia, por golpe y en cada carrera del pistón completa, no inferior a 0.3 de kilogramo - metro por kilogramo de peso del pilote que se hinque, en ningún caso la energía por golpe desarrollada por el martillo será menor de 830 kilogramos-metro. El peso del martillo en ningún caso será menor a 1360 kilogramos y la altura de caída no sera mayor de 2.50 metros.

En el hincado de los pilotes se tomara en cuenta las siguientes recomendaciones; se usarán bloques de protección, las guías para el hincado de pilotes, se fijaran en su lugar por medio de tirantes o brazos rígidos, pero permitiendo libertad al martillo y

dando apoyo lateral al pilote, las placas de unión deberán ser soldadas cuidando que se asienten correctamente cuando lo fije el proyecto previo al hincado se hará una perforación en el terreno del diámetro y profundidad indicados.

Los extremos superiores de los pilotes cuando proceda, se cortaran en la forma y al nivel que determine el proyecto con objeto de remover el concreto dañado durante el hincado.

La solución solo se puede intentar en roca o materiales duros, pues los suelos blandos fluirán fácilmente en torno al pilote reduciendo mucho su eficiencia. Cuando la fricción a lo largo de la superficie de falla potencial sea muy importante, el pilotaje constituye una medida de prevención digno de tomarse en cuenta por que puede incrementar bastante los efectos de fricción. La figura No. 35 muestra un esquema ilustrativo del método que se comenta.

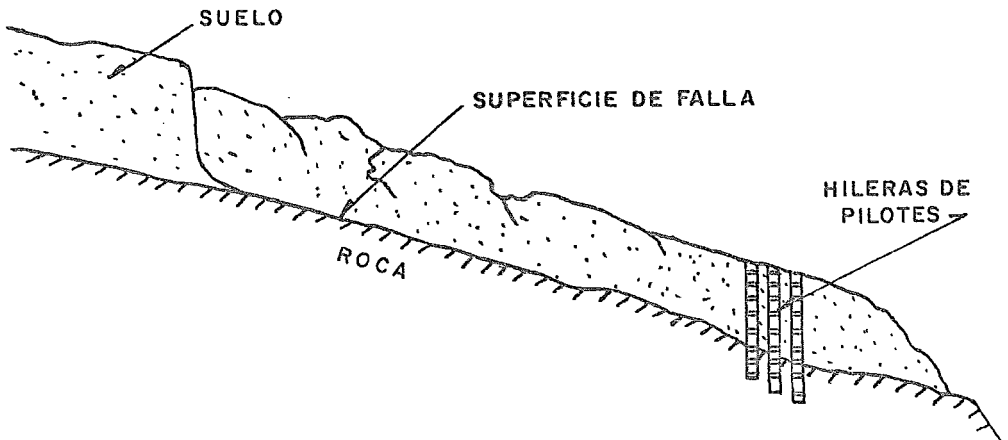


FIG. 35 CROQUIS DE ESTABILIZACION DE UNA FALLA CON PILOTES.

En ocasiones se complementa la acción de los pilotes colocando losas de concreto reforzado entre ellos.

H) Empleo de contrapesos al Pie de la Falla.- La solución por lo general busca dos efectos, en primer lugar balancear el efecto de las fuerzas motoras en la cabeza de la falla, en forma similar a como lo hace una berma, a la que equivalen algunos aspectos en segundo lugar, incrementar la resistencia al esfuerzo cortante del material subyacente, cuando este es de naturaleza friccionante.

Una apropiada forma de la superficie de falla (de preferencia que tienda a elevarse bajo el contrapeso) y que el terreno de la zona de colocación tenga suficiente resistencia para soportar el peso que se le impone son probablemente las dos condiciones para que pueda pensarse en el empleo de esta solución.

El método en si consiste en colocar un peso suficiente de suelo o roca en la zona apropiada al pie de la falla.

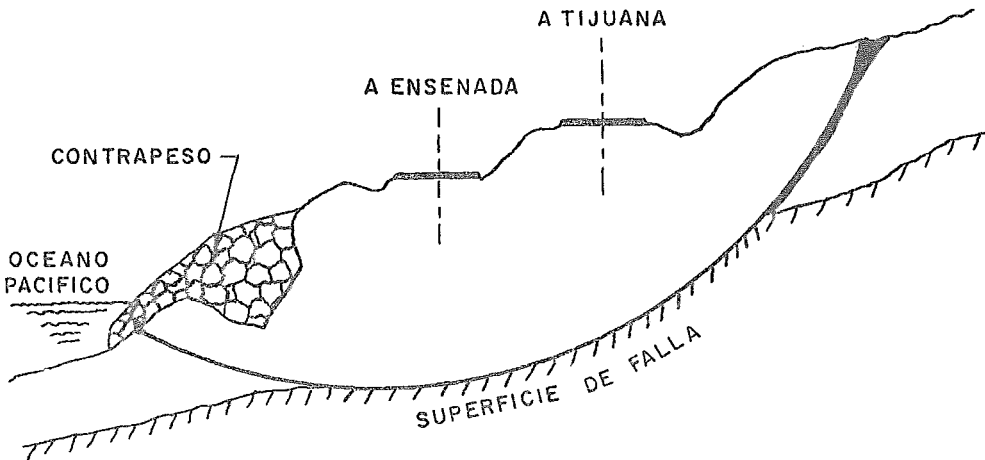


FIG. 36 CONTRAPESO DE ENROCAMIENTO. KM.12 + 360 DE LA AUTOPISTA TIJUANA - ENSENADA

La fig. núm. 36 muestra un croquis de una aplicación práctica de este método, construída en la autopista Tijuana - Ensenada con el doble propósito de estabilizar y prevenir la erosión marina, se trata de un contrapeso importante de enrocamiento.

Existen varias soluciones mixtas, que combinan el efecto del contrapeso con otros deseables. Por ejemplo, se han estabilizado fallas con el uso de respaldos de enrocamiento, en los que el efecto del contrapeso se suma a la sustitución de materiales malos por otros de mucho mejor calidad y al subdrenaje.

La colocación de contrapesos se hace generalmente a volteo, cuidando que se haga lo mejor posible el acomodo de las rocas o el material por usar.

1) Anclajes.- Independientemente del uso conocido y ya muy extendido de las técnicas de anclaje en roca, en los últimos años se han desarrollado espectacularmente estas mismas técnicas para el caso de los suelos, tanto cohesivos como friccionantes. Basta mencionar que algunos problemas muy importantes de estabilidad de taludes y laderas se han resuelto con técnicas de anclaje en suelos con costos muy razonables, conviene fijar la atención en esta solución haciéndola entrar en el conjunto de las analizadas.

Una variante de los métodos de anclaje que se ha usado poco en las carreteras, pero que con seguridad es merecedora de mayor preferencia por parte de los proyectistas, es la utilización de tirantes de anclaje en estructuras de retención especialmente cuando estas han de cimentarse en suelos poco resistentes, con presiones de contacto mayores que la capacidad de carga, en retenciones a ba



se de pilotes, el anclaje de estos pueden dar muy buenos resultados cuando el estrato resistente en que se afianzan no ofrece su suficiente garantía de que los pilotes no la penetren lateralmente.

Los anclajes suelen consistir en cables de acero unidos a muertos y solidamente ligados a la estructura de retención. Por razones que se comprenden con facilidad, su uso será más sencillo en terraplenes que en cortes.

J) Uso de Explosivos.- La superficie de falla sobre la cual ocurre un deslizamiento en muchas veces lisa y pulida, el caso típico de este fenómeno es el de masas de suelo cohesivo que deslizan sobre mantos de roca o suelos mucho más duros. Este tipo de contactos constituyen también una superficie potencial de deslizamiento.

En tales situaciones, se ha recurrido a veces a utilizar explosivos para romper y hacer rugoso un contacto de tal naturaleza, se proporciona así una mejor liga friccional a los dos materiales en contacto. La eficiencia del método se aumenta si a cierta profundidad de la superficie de falla existen mantos drenantes a los que la explosión comunique con dicha superficie, a la que entonces se proporciona drenaje.

En la utilización de este método deberá cuidarse el manejo de los explosivos, pues de otra manera se corre el riesgo de que la explosión acelere el deslizamiento sobre cualquier superficie previamente formada o lo genere, sobre una superficie potencial.

Se ha dudado mucho sobre la permanencia de una corrección por medio de explosivos y el punto se discute con frecuencia, sin

que exista un entendimiento claro al respecto. Parece que la mayoría de los especialistas opina que para que el método sea exitoso es preciso que exista una formación dura abajo de la superficie de falla. También conviene mencionar que en todos los casos en que se ha usado el método se ha reportado un asentamiento importante en los meses siguientes a su puesta en práctica. Es cuestionable cualquier ventaja de drenaje que se pueda obtener mediante el uso de explosivos, los fragmentos resultantes no forman un filtro, de manera que con seguridad los pequeños, espacios entre ellos se sellaran al depositarse el material muy fino arrastrado en el flujo de agua. Los deslizamientos muy profundos quedan fuera del alcance del método, por la violencia de las explosiones necesarias para ponerlo en práctica.

Los explosivos se pueden usar también en derrumbres y caídas, pero no como método de corrección, sino de remoción.

Es probable que el aspecto más sugestivo del uso de explosivos sea su costo, que suele ser muy inferior al de otras soluciones, al grado que suele ser aun ventajoso económicamente un programa que incluya varias aplicaciones sucesivas de procedimiento a lo largo de varios años.

K) Empleo de Vegetación.- Se trata ahora de un método preventivo y correctivo de fallas por erosión. Los movimientos de tierra que acompañan a la construcción de cortes y terraplenes producen inevitablemente una destrucción muy indeseable de la cobertura vegetal, dejando a los suelos al ataque de agua superficial y vientos. Se acepta que la vegetación cumple dos funciones importantes en primer lugar, disminuye el contenido de agua en la parte

superficial y en segundo da consistencia a esa parte por el entra mado mecánico de sus raíces. Como quiera que las plantas y el - pasto toman el agua que necesitan del suelo en que crecen, se - pueden plantear varios criterios para seleccionar el tipo de especies más convenientes en un caso dado desde luego, el uso de - plantas propias de la región será en principio recomendable y evi tará fracasos posibles en la adaptación al ambiente de especies - importadas, fracasos que son difíciles de prever para un Ingenie- ro Civil, pero hay especies que toman demasiada agua del suelo - y otras que toman mucho menos, produciendo grados muy diferentes de abatimiento en los contenidos de agua superficiales. En sue- los arcillosos, seguramente pueden convenir más las primeras, al garantizar una corteza de suelo más resistente, pero en suelos are nosos un secado intenso en la superficie hace a los materiales más erosionables y ello no es conveniente.

La experiencia ha probado que es más efectivo para defender taludes la plantación continua de pastos y plantas herbáceas, en - vez de la plantación de matas o áreas aisladas. Como quiera que el costo de ambas soluciones también es diferente, la actitud del ingeniero debe quedar condicionada a la feracidad de la región, hay zonas en que la reforestación se produce en forma casi natural e - inevitable, otras en que es muy difícil el crecimiento vegetal. La plantación aislada incrementa mucho la posibilidad de infiltra - ción y escurrimiento. Por otra parte, en el caso de terraplenes - muy altos ha dado buen resultado la plantación de arbustos en hi- leras, para hacer perder velocidad al agua que escurra.

Es muy importante el efecto del pasto para evitar la formación

de grietas de contracción en los suelos que estarían expuestos de no existir tal cobertura.



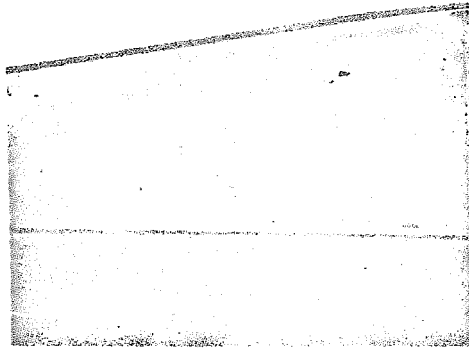
ESTABILIDAD DE UN TALUD DE TERRAPLEN CON  
VEGETACION. CARRETERA MEXICO - PACHUCA.

El riesgo de las plantaciones que se efectue cuando es abundante y prolongado, debe verse como indeseable desde el punto de vista doble de la economía y la conservación. Para evitarlo se ha recurrido a usar y colocar costras de arcilla y tierra vegetal sobre taludes construidos con suelos que no ofrecen de por sí soporte adecuado a la vida estas costras conservan la humedad en mayor grado, lo que favorece a la vegetación. Análogos fines se han perseguido en ocasiones al colocar sobre los taludes una delgada capa de riego asfáltico o con otras sustancias, al impedir la evaporación por lo menos inicialmente se propicia el crecimiento de una cobertura vegetal densa, que en los años venideros pueda defenderse por sí solo.

Los procesos constructivos para plantación de vegetación, son similares a los descritos en el drenaje superficial.

L) Utilización de Zampeados.- Muchas veces es necesaria la protección del talud por medio de un zampeado, para proteger los materiales del talud contra efectos de erosión e intemperismo, que bien pueden ser de piedra braza o lajeada, concreto hidráulico o suelo - cemento. Los procesos constructivos son similares a los descritos en el drenaje superficial (Revestimiento de Cunetas). Los zampeados cumplen una función análoga a la plantación de vegetación, generalmente se utilizan en obras muy importantes como son accesos a pasos a desnivel en sus taludes o taludes en corte que sean muy erosionables a tal grado que bloquean el paso del agua a través de las cunetas. Los más usados son de piedra y de concreto hidráulico.

Dentro de este grupo se tratarán también métodos de recubrimiento que incrementan la estabilidad del talud, mampostería seca, concretos lanzados, riegos asfálticos, etc. Merecen comentarios las soluciones a base de recubrimientos (asfálticos, concretos lanzados, etc.), que con frecuencia han fracasado por haberse hecho sin ninguna consideración del flujo de agua en el cuerpo del talud, si el agua se acumula tras la película que se coloca, se rompe la unidad entre esta y el material y la solución falla por desprendimiento. Cuando se sospeche la existencia del flujo interno, se deberán tomar las precauciones correspondientes de subdrenaje, por alguno de los métodos que se indican en el inciso alusivo.



TALUD DE UN ACCESO A UN PUEBLO, PROTEGIDO CON UN ZAPICADO  
DE CONCRETO HIDRAULICO. CARRETERA MEXICO - PACHUCA.



CARRETERA CONSTRUIDA EN UNA ZONA DE DERRUMBES Y  
CAIDAS. CARRETERA NAUCALPAN - TOLUCA.

Para problemas especiales tales como:

a) Derrumbes y Caídos.- En este caso los métodos correctivos suelen referirse a alguno de los siguientes criterios; relocalización, abatimiento de taludes, escalonamiento y drenaje superficial. En menor escala se han usado métodos de retención, no tanto con este fin propiamente dicho, sino con el fin de atacar materiales fácilmente atacables por el intemperismo, dentro de esta línea se construyen pantallas de mamposterías o placas delgadas de concreto. En derrumbes y caídos de escasa magnitud ha rendido magníficos resultados el recubrimiento con gunite, concretos lanzados, mallas de alambre, etc.

Los anclajes se usan cada día más para resolver este tipo de problemas.

En el caso de cortes en que los caídos y derrumbes se presentan en la zona de coronamiento puede ser una buena política la remoción periódica del material que se va juntando.

b) Deslizamientos de Tierras.- Los siguientes son los métodos que más comunmente se emplean en problemas conectados con deslizamientos de tierras, relocalización, abatimiento de taludes, empleo de bermas, remoción del material en la cabeza de la falla, drenaje superficial y sellado de grietas, modificación de rasante, empleo de contrapesos, muros de retención, pilotaje y uso de explosivos.

Los contrapesos, los muros y el empleo de explosivos deben circunscribirse a deslizamientos pequeños muy pocas veces han sido efectivos en grandes. Pedraplenes y muros se han usado para preve-

nir erosión, por ejemplo de corrientes de agua, aun en deslizamientos muy grandes.

El subdrenaje también constituye uno de los tipos de solución más efectivos y muchas veces más rápidos, económicos y elegantes para deslizamientos de tierras.

c) Flujos.- Los siguientes son los métodos que más comúnmente se utilizan en este tipo de fallas, relocalización abatimiento de taludes, escalonamiento de taludes, remoción parcial o total del material fallado, drenaje superficial, incluyendo sellado de grietas.

También en este caso el subdrenaje ofrece toda una gama de soluciones frecuentemente exitosas. Estas se deberán considerar siempre en problemas relacionados con flujos.

Las estructuras de retención solo se pueden emplear en flujos muy pequeños. El salvar la zona de una falla con un viaducto se ha utilizado en flujos más que en otros tipos de fallas, debido a que muchos suelen ser estrechos.



### 3.3 MUROS DE RETENCION EN CARRETERAS.

El uso de estructuras de retención es muy común para corregir deslizamientos después de que han ocurrido o para prevenir los en zonas en que sean de temer. De hecho, su principal campo de aplicación esta en la prevención.

El funcionamiento mecánico de esta solución es claro y probablemente no necesita mayor abundamiento sin embargo, los resultados de su empleo han sido decepcionantes en muchos casos, razón por la cual conviene comentar algunos aspectos de su uso.

En primer lugar debe comprenderse que la estructura de retención ha de contener a la superficie de falla formada o por formarse si esta contiene al muro, el efecto de este será nulo en la estabilidad general. Lo anterior lleva con frecuencia a muros muy altos, que han de enterrarse mucho en el terreno con la consiguiente elevación del costo de la solución.

Otra fuente común de mal funcionamiento ha sido el descuido del drenaje de la propia estructura de retención. Si este es siempre de fundamental importancia, resulta vital, por razones obvias, cuando el muro se relaciona con problemas de estabilidad de taludes.

Se debe tener en cuenta que una estructura de retención de costo razonable no incrementa demasiado la resistencia al deslizamiento del conjunto, si las fuerzas que tienden a producir la falla exceden poco a las fuerzas resistentes, la construcción del muro puede ser apropiada, pero si el desequilibrio es fuerte, lo más probable es que el muro no baste para crear la seguridad que se re-

quiere.

Las estructuras de retención se construyen por lo general al pie de los taludes de terraplenes no podrían ligarse conveniente - mente con el terreno de cimentación, sobre todo en laderas inclinadas.

También se construyen a pie de cortes para dar visibilidad o para (y este es quizá uno de sus usos más eficientes ) disminuir la - altura de cortes en materiales cuya resistencia sea predominante o puramente cohesiva, en los que la estabilidad es una función muy sensible a la altura.

Las estructuras de retención tienen la ventaja general de - exigir poco espacio para su erección. El volumen de la excavación para su cimentación depende mucho de la naturaleza del suelo existente en el lugar y esta es, por cierto una de las circunstancias que con más cuidado se deben sopesar antes de decidir la utiliza - ción de la solución que se comenta, pues un terreno de cimentación débil puede producir movimientos muy indeseables en el muro, lo - que en combinación con los propios de la falla pueden con facili - dad llegar a generar situaciones incontrolables.

Uno de los usos más comunes de los muros de retención para estabilizar taludes es el que se hace cuando no hay espacio suficien - te para pensar en el abatimiento, la cual es una situación no rara en terraplenes.

Otras veces los muros de retención se usan con éxito para confinar el pie de fallas en arcillas y lutitas, impidiendo la abertu - ra de grietas y fisuras por expansión libre.

En general los muros de retención altos y largos son muy caros de manera que es difícil que compitan con otras soluciones alternativas. Requieren de todo un conjunto de obras auxiliares, tales como subdrenaje, ademado, desagües, etc., que se han de atender cuidadosamente y que elevan en forma considerable el costo total.

Los muros en celosía pueden tener ventajas adicionales en relación a los muros de retención comunes, ligadas por lo general a la rapidez de su erección y a su facilidad para soportar asentamientos. Difícilmente soportan grandes empujes.

Los casos mas comunes de utilización de estructuras de retención, en el campo de las vías terrestres, son los siguientes:

1) Confinamiento de terraplenes, sea porque no se dispone de espacio para su derrame, como ocurre con frecuencia en zonas urbanas o porque tales derrames resultarían demasiado largos, angostos e inseguros y difíciles de construir, como suele suceder en secciones en balcon sobre laderas de pendiente fuerte.

2) Confinamiento de accesos a puentes, pasos a desnivel, alcantarillas y otras estructuras. Se trata de evitar taludes con derrame importante, sea por no haber espacio para ellas, para no invadir cauces y zonas inconvenientes o por ahorro en el movimiento de tierras.

3) Retención de masas de tierra inestables en si mismas, en este caso el elemento de retención se utiliza como solución al problema de inestabilidad.

En la fig. 37 que aparece a continuación se presentan esque-

máticamente los tipos mas comunes de muros de retención que se utilizan en las carreteras.

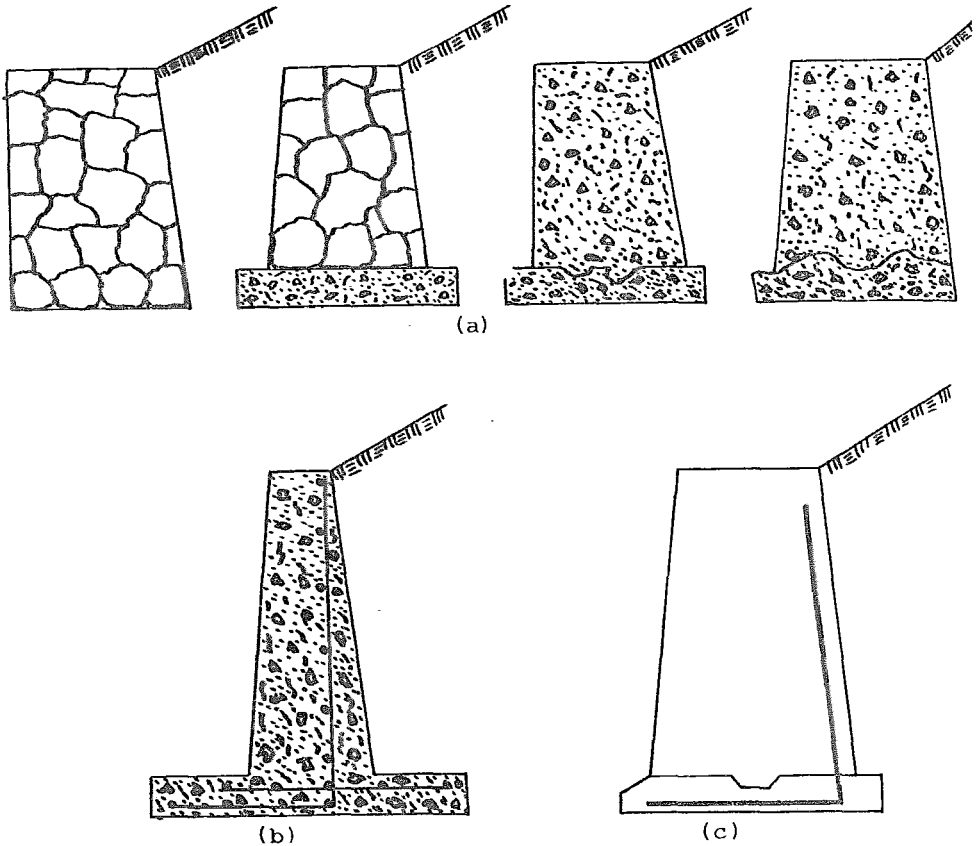
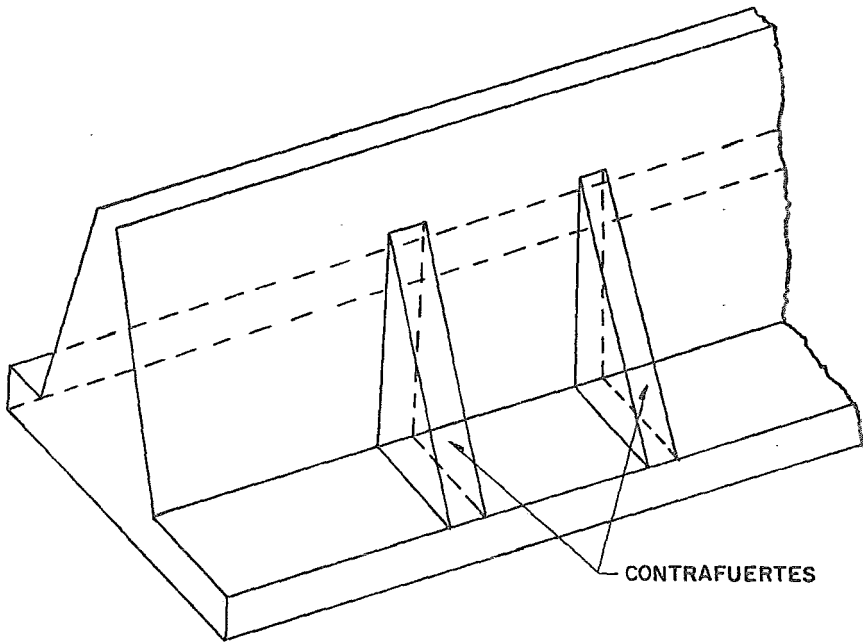
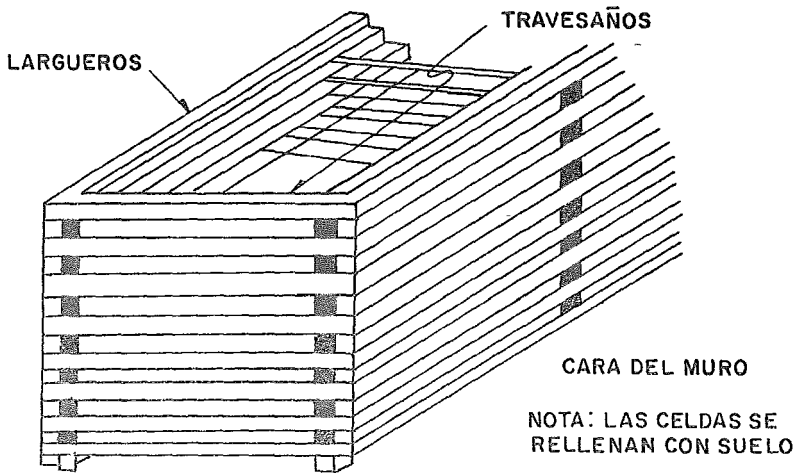


FIG. 37 TIPOS DE MUROS DE RETENCION. a) MUROS DE GRAVEDAD DE MAMPOSTERIA O CONCRETO SIMPLE. b) MUROS EN CANTILIVER. c) MURO DE SEMIGRAVEDAD (CON PEQUEÑA CANTIDAD DE ACERO DE REFUERZO).



a) MURO CON CONTRAFUERTE



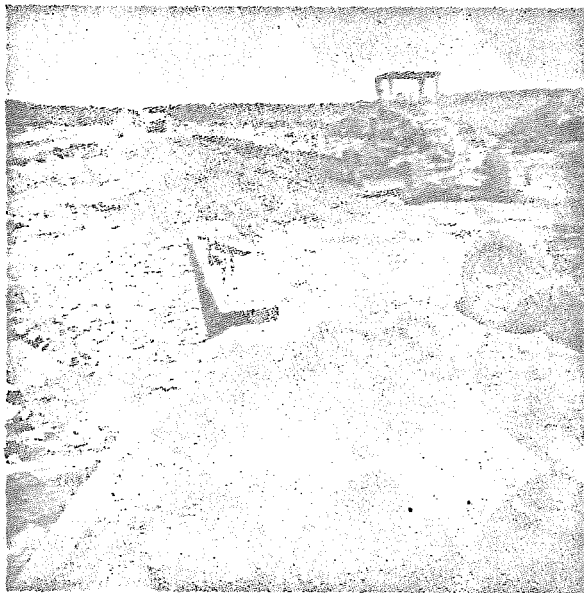
e) MURO DE CELOSIA

Los lineamientos principales generales en la construcción de los muros de gravedad (mampostería o concreto simple) son: para la mampostería, puede ser mampostería de segunda clase, mampostería de tercera clase o mampostería seca. Se seguirán los lineamientos indicados en la parte referente a la construcción de alcantarillas de cajón, para mampostería de 2da. clase, salvo que como se indicó la mampostería de tercera clase se junta con mortero de cal, que se elabora dosificando los materiales en volumen, tomando una parte de cal hidratada en polvo y tres partes de arena.

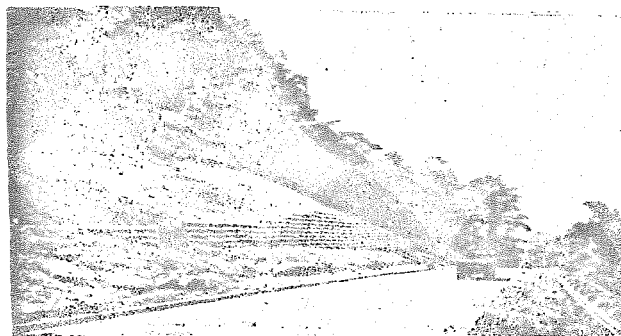
En la construcción de mampostería de tercera clase deberán seguirse los siguientes lineamientos, sobre el pavimento se colocarán las piedras de mayores dimensiones, cuidando que queden bien asentadas, las caras mejores de las piedras se aprovecharán para los paramentos. Si fuere necesario se rastrearán ligeramente. En los paramentos visibles no se permitirán salientes mayores de 4 cm. con relación al plano teórico.

Si las piedras son de origen sedimentario, se colocarán de manera que los lechos de estratificación queden normales a la dirección de la resultante de las fuerzas. Toda piedra, desplante y plantilla deberá humedecerse antes de recibir mortero. El mortero deberá llenar completamente los espacios que dejan las piedras contiguas, si son demasiado grandes los huecos se pueden usar lajas de piedra. Las piedras deberán cuatrarse para obtener el mejor amarre posible y desplazar las juntas verticales.

En la construcción de las mamposterías secas se seguirán los siguientes lineamientos. En el desplante se colocarán las piedras de mayores dimensiones. Si las piedras son de origen sedimentario se colocarán, preferentemente, de modo que los lechos de estratificación



MUROS DE CIBEZA DE UNA ALCANTARILLA DE CAJON A BA-  
SE DE CONCRETO HIDRAULICO Y MAMPOSTERIA, TRABAJAN-  
DO COMO MUROS DE RETENCION, CARRETERA TEOTIHUACAN-  
TULANCINGO.



MURO DE RETENCION METALICO, TRA-  
BAJANDO EN UN CAMINO DE MONTAÑA.

tificación queden normales a la dirección de la resultante de las fuerzas. Para proporcionar un buen asiento, las piedras se escogerán de manera que presenten caras planas y en lo posible de forma prismática. Para las esquinas y extremos de los muros se seleccionarán las piedras que mejor se adapten. En los paramentos se aprovecharán las piedras cuyas caras presenten un mínimo de irregularidades. Cada piedra deberá apoyarse sobre su sitio de asiento, cuando menos en 3 puntos. Para que estos sean firmes se acuñarán con lajas de las propias piedras, con lo que se procurará dejar la menor cantidad posible de vacíos. En el interior no deberán existir huecos con más de 10 cms y en los paramentos visibles serán menores que 5 cm. Las piedras se cuatrapearán para obtener el mayor amarre posible.

Por lo que respecta a los muros de concreto simple, cantiliver de semigravedad y con contrafuertes, se seguirán los mismos lineamientos establecidos en el inciso referente a la construcción de alcantarillas de cajón, cuidando especialmente a la resistencia que se le dará al concreto, el cimbrado, el cromado de acero de refuerzo (en su caso), colado y curado del mismo.

Por lo que se refiere a los muros en celosía, muros criba o muros en parrilla de gravedad se construyen con piezas prefabricadas de concreto cromado o especiales de acero. Las piezas se disponen formando celdas paralelepípedicas que posteriormente se rellenan con suelo.

Los muros en celosía tienen como principal virtud la de poder resistir considerables asentamientos diferenciales sin mayor daño también aceptan desplomes y desplazamientos horizontales en una escala que sería destructiva para otro tipo de estructuras. El

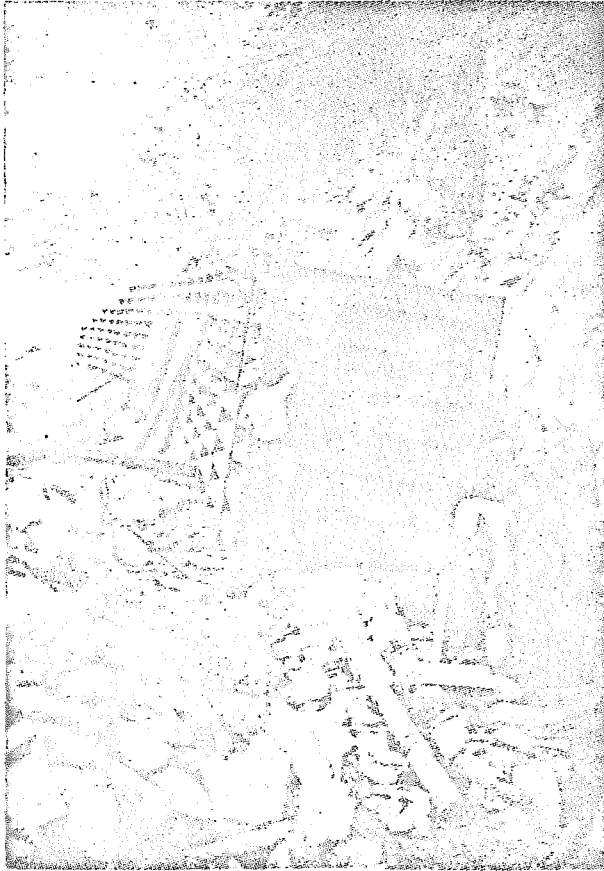


material que rellene las celdas del muro debe ser friccionante y permeable con esta última condición se logrará una magnífica contribución al drenaje general de relleno tras el muro.

Dentro de las celdas del muro el material se debe colocar con una compactación adecuada que impida su posterior reacomodo pues de otra manera se corre el riesgo de que se invierta el empuje de tierras, que normalmente debe actuar sobre el muro en dirección descendente y al actuar contra el muro de abajo hacia arriba (dirección ascendente produzca empujes mucho mayores).

DRENAJE DE MUROS DE RETENCION.- El drenaje de los muros de retención se debe considerar una precaución obligada, pues nunca resultará económico proyectar una estructura para resistir los empujes hidrostáticos además de resistir el empuje de las tierras.

La primera precaución de drenaje consistirá en proporcionar salidas al agua que se acumule en el relleno a través del muro. Estas consistirán en tubos que atraviesen la estructura de diámetro suficiente para garantizar que no queden accidentalmente obstruidos, suele usarse un diámetro del orden de los 10 cms. Los tubos se disponen en hileras paralelas en todo el frente del muro, el espaciamiento vertical de estas hileras no deberá exceder de 2 mts aún en aquellos casos en que en el relleno se dispongan las cosas de tal manera que parezca garantizarse la concentración del agua en la zona de la base del muro. Naturalmente que no bastará con facilitar la salida del agua a través de muro para garantizar



INSTALACION DE UN MURO DE RETENCION META-  
LICO DE CELOSIA. OBSERSESE EL TUBO DE DRE-  
NAJE INSTALADO EN LA PARTE INFERIOR DE DI-  
CHO MURO.

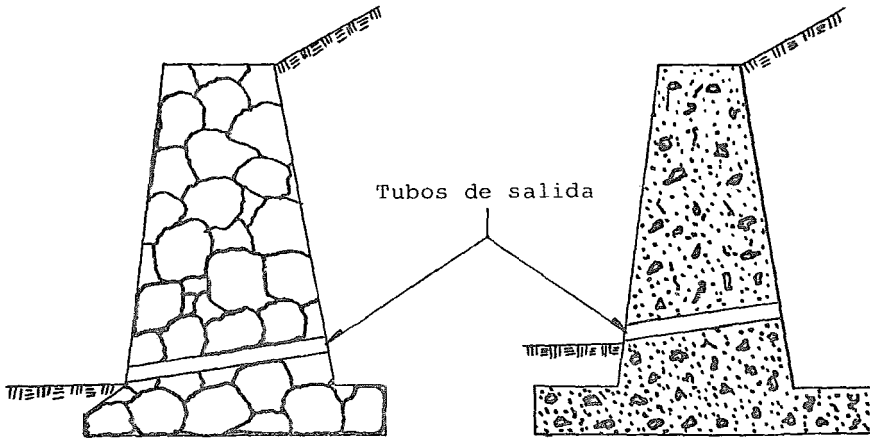
un buen drenaje del relleno con fines de eliminación de las presiones del agua solo en casos excepcionales con rellenos muy permeables formados por pedacera de roca o grava podría pensarse que la colocación de tubos a través del muro resultase suficiente. En general será preciso instalar material filtrante en el relleno, según mas adelante se describe piensese como caso extremo en un relleno arcilloso de muy baja permeabilidad en él, la saturación y el desarrollo de todos los efectos nocivos del agua ocurrirían sin que el flujo hacia los tubos de salida ejerciese efectos benéficos notables debido a la baja movilización del agua hacia los tubos, a causa de la poca permeabilidad del relleno.

El espaciamiento horizontal de los tubos de salida depende de las previsiones que se hagan para dirigir el flujo hacia dichos tubos. La capacidad por parte del ingeniero de influir en este hecho importante se circunscribe como es natural a los muros que se construyen en terraplén o en secciones en balcón, en los que el relleno se coloca después de construído el muro, lo que permite hacer una selección de materiales por lo menos dentro de ciertos límites impuestos por la economía, pero no en muros en corte, donde el relleno queda dispuesto por la naturaleza en toda su complejidad. Los tubos son generalmente de concreto y se colocan inclinados para facilitar la salida del agua.

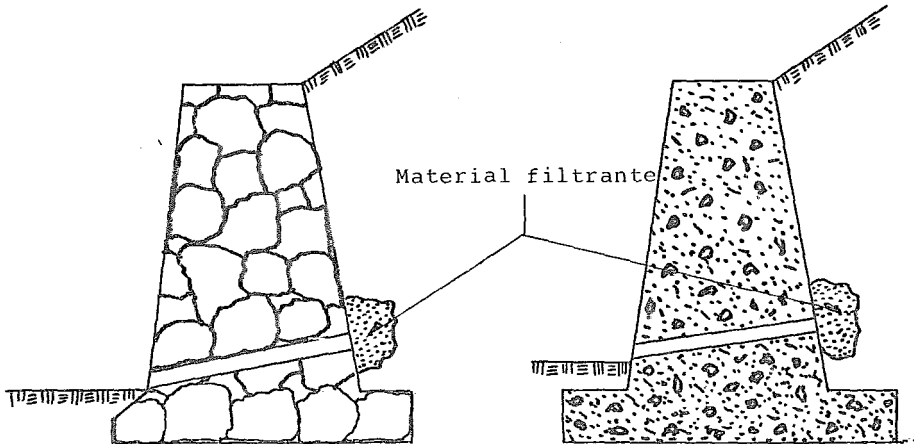
El sistema más barato, pero menos efectivo para disponer el drenaje del relleno sería simplemente colocar cierta cantidad de material granular muy permeable (alrededor de 50 kg) a la entrada de cada uno de los tubos que atraviesan el frente del muro en estas condiciones el espaciamiento horizontal de los tubos no deberá

ser mayor de 1.5 m. El sistema tiene el inconveniente de que los finos contenidos en el relleno pueden ser arrastrados hasta llenar los huecos del material muy permeable contaminándolo e inutilizándolo por lo que solo es posible usarlo cuando el relleno no presente tal riesgo. Además, el agua que virtieran los tubos de salida caería en la base del muro humedeciendo el suelo en una zona que obviamente conviene mantener en seco. Esta condición se puede corregir si una vez de cada una de las hileras de tubos de salida se colocan drenes corridos de material permeable que abarquen toda la longitud del muro, cuyas descargas se disponen hacia afuera del muro donde el agua no tenga efectos nocivos. Los sistemas mas elaborados de drenaje en el relleno incluyen capas continuas de material permeable que cubren todo el respaldo del muro o que incluso se construyeron en el interior del relleno, en disposiciones que logren dirigir el flujo de manera que el efecto de las fuerzas de filtración sea mínimo o desaparezca.

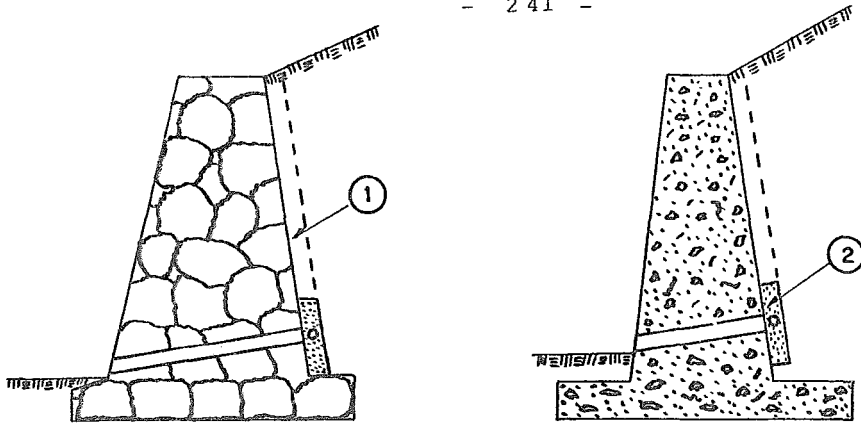
En la fig. que sigue se presentan esquemas de las diferentes posiciones de drenaje en grado ascendente de complicación hasta llegar a las disposiciones que modifican la forma de la red de flujo a través del relleno, nulificando el efecto de las fuerzas de filtración, según se describe en las dos referencias mencionadas en último lugar.



a) Unicamente tubos de salida

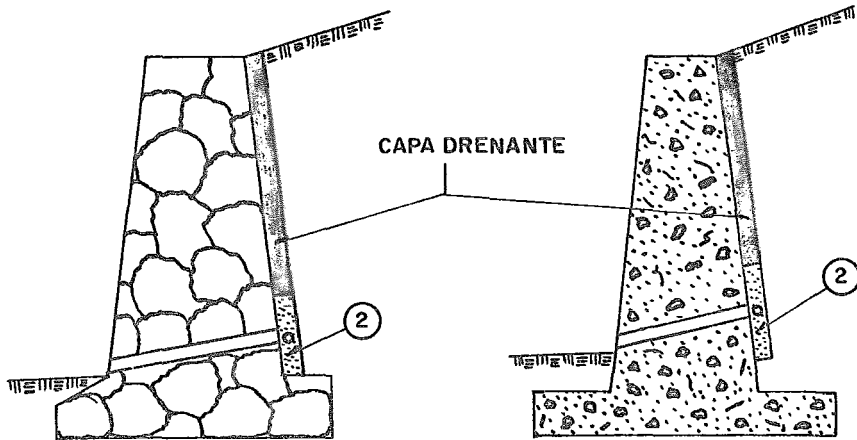


b) Tubos de salida con bolsones de material permeable.

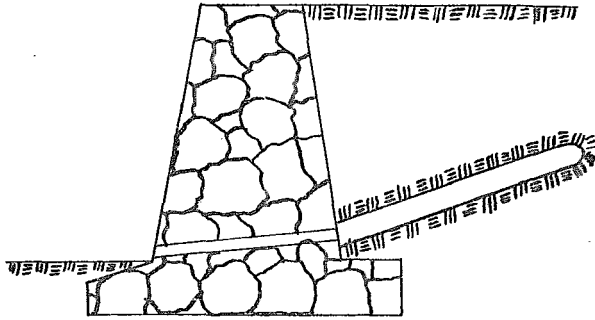


c) Drenes continuos

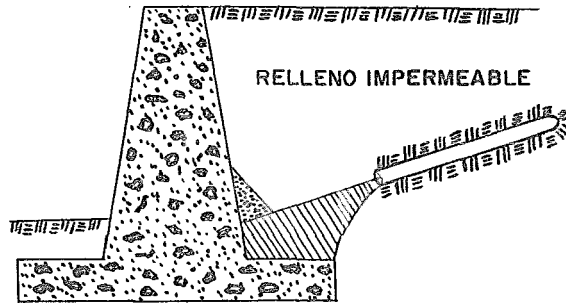
- 1 Dren continuo horizontal uniendo los tubos de salida con drenes verticales en el respaldo dispuestos entre los tubos.
- 2 Dren continuo horizontal con descarga lateral en vez de tubos de salida. Puede tener drenes verticales intermedios.



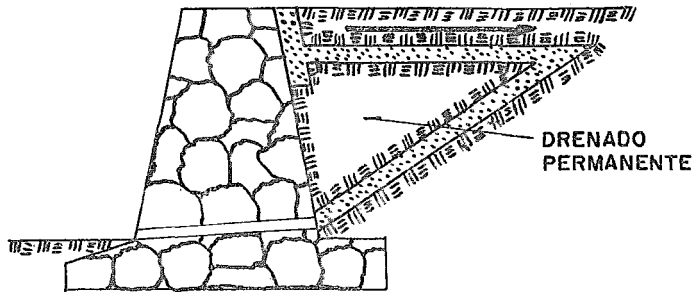
d) Capa continua



e) Dren inclinado



f) Disposición contra congelación.



g) Relleno expansivo.

FIG. 38

SISTEMAS DE DRENAJE EN EL RESPALDO DE UN MURO DE RETENCION Y EN SU RELLENO.

Como ya se dijo el dispositivo (a) solamente será util en rellenos formados por material granular sin finos, muy permeable. El dispositivo que se muestra en la parte (b) tampoco se podrá usar cuando el relleno tenga finos susceptibles de contaminar las bolsas de materiales permeables y en general, sólo será conveniente en rellenos de alta permeabilidad en que el agua pueda movilizarse con mucha facilidad hacia las bolsas de material permeable y hacia los tubos de salida. La parte (c) recoge la idea que ya se menciona del dren horizontal que une las entradas de los tubos de salida (o que sustituye a estos, cuando se eliminan) y que descargan lateralmente afuera del muro, a veces su efecto se complementa con un sistema discontinuo de drenes verticales o adosados al respaldo y colocados en posición intermedia respecto a los tubos de salida. La parte (d) de la figura muestra esquemáticamente la disposición más común y por lo general más conveniente de los drenes en el relleno de un muro de retención, estos se disponen en forma continua cubriendo todo el respaldo, preferentemente en una sola capa (esta preferencia se relaciona con las razones de facilidad de construcción y de costo) o en dos o tres capas, cuando ello sea necesario, de acuerdo con la discusión que mas adelante se hace.

Las partes (e) (f) y (g) de la figura muestran sistemas de drenaje mas complicados y por lo tanto más costosos, que se emplearan cuando sea imprescindible cambiar favorablemente la dirección del flujo o impedir que ciertas zonas del relleno puedan absorber agua.



Todos los sistemas anteriores se deben proyectar para impedir la -  
acumulación del agua detrás del muro y el desarrollo de presiones  
hidrostáticas solo los tres últimos tendrían un efecto benéfico  
en cuanto a la dirección y el efecto de las fuerzas de filtración.  
La disposición de los drenes también influye en la subpresión que  
debe ser tomada en cuenta para el cálculo del empuje en condición  
de flujo establecido en cada caso deberá analizarse dicha influen-  
cia para adoptar la disposición de drenes mas ventajosa.

El proyecto de un drenaje para un muro de retención como el  
de cualquier otro filtro ha de hacerse bajo requerimientos contra-  
dictorios. Se trata de colocar un material lo suficientemente per-  
meable como para que en él el agua circule libremente y se elimine  
con facilidad, sin acumularse pero un material con tales caracte-  
rísticas también será tan poroso como para que el agua que pene-  
tre a él pueda arrastrar el material fino que entre en suspensión  
cuando se atravesase el material que se vaya a proteger, desde este  
punto de vista convendría que el material drenante fuese cerrado y  
por tanto de baja permeabilidad. El requisito de permeabilidad y  
el filtro son tan contradictorios que difícilmente se logra satis-  
facerlos con una sola capa de material, es preciso recurrir a un -  
filtro de dos o tres capas, con requisitos granulométricos bastan-  
te rígidos, dispuestos en orden creciente de tamaños que vayan -  
del terreno al muro. La capa del dren próxima al muro ( que se su-  
pone contiene abundantes finos) ha de ser suficientemente fina -  
como para filtrar los arrastres que traiga el agua, entonces no se-  
rá lo bastante permeable como para garantizar un drenaje libre, -  
por lo que el agua pasará a una segunda capa de granos de mayor -  
tamaño, que será filtro de la anterior, pero quizá aún no suficien

temente permeable en este último caso será preciso una tercera capa y así sucesivamente.

Cuando el drenaje de un muro de retención se haga con un manto adosado al respaldo, el espesor del mismo será tal que se garantice su continuidad dentro del proceso constructivo, por lo general esto se logra con un espesor mínimo de 30 cm en muros bajos, pudiéndose aumentar la dimensión hasta 50 cm en muros mas altos. La descarga del manto drenante se puede hacer de preferencia con tubos de salida a través del muro o disponiendo un tubo colector perforado en la base del manto con fácil salida para el agua a ambos extremos del muro.

Por lo que se refiere al relleno de los muros de retención por supuesto que el relleno que desempeña un papel fundamental en el comportamiento del conjunto suelo-estructura, define el buen éxito que puede alcanzar con un muro de retención. Los principales factores que se deben considerar son la naturaleza de los materiales que se empleen, las condiciones en que se colocan los métodos de colocación, la intensidad y el procedimiento con que se compactan y los sistemas de drenaje que se instalan.

El tipo de material y el método de colocación del relleno afecta mucho a la presión de tierras y al asentamiento de la corona del propio relleno, lo cual también suele ser un problema de importancia en las vías terrestres.

El material ideal para el relleno es el que los constituyen arena y grava o piedra triturada, estos suelos tienen alta resistencia al esfuerzo cortante, son estables, no se asientan cuando se colocan en forma adecuada y sus buenas cualidades perma

necen ante el agua. El material que se llegue a colocar se debe aproximar lo mas posible a este modelo.

Se suele exigir que el relleno de un muro de retención que se coloque después de construído este (lo que constituye un caso frecuente) se disponga en capas horizontales o con ligera pendiente descendente a partir del muro y hacia el interior del relleno. Se considera aceptable un espesor de capa del orden de 20 0 30 cm (suelta), si bien pudiera ser necesario usar capas más delgadas (de unos 10 cm) en los casos en que se desee evitar un intenso trabajo de compactación. La compactación de los rellenos aumenta, en principio, la resistencia al esfuerzo cortante de los mismos, disminuye así la presión de tierra y hace disminuir también la posibilidad de asentamiento.

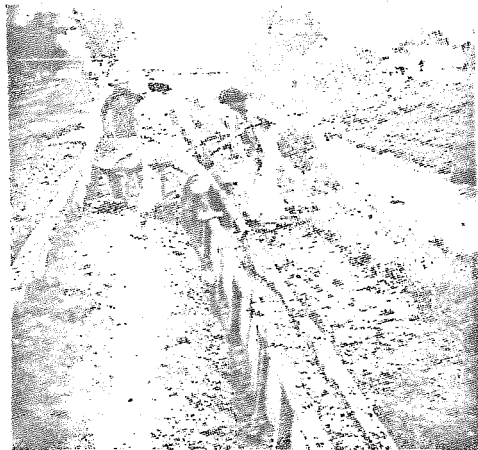
Por otra parte, hará descender la permeabilidad y este hecho pudiera tener efectos contradictorios. Un relleno no compactado se asentará tras el muro y esto como ya se comento, puede afectar la dirección y la magnitud del empuje de tierras, haciéndolo crecer extraordinariamente.

Por todo lo anterior se podría pensar que la compactación reporta únicamente ventajas al relleno. Por desgracia ese no es siempre el caso. Cuando el relleno se compacta en forma severa tras el muro , suelen producirse deformaciones excesivas en la estructura aún cuando se tome la precaución obvia de que el equipo pesado de compactación no circule muy próximo al respaldo.

Se puede decir que la compactación del relleno tras un muro de retención es un punto que se debe manejar con cuidadoso criterio -



CONSTRUCCION DE UNA GUARNICION DE CAMELLON  
CENTRAL. CARRETERA XALAPA - VERACRUZ.



CONSTRUCCION DE UNA GUARNICION DE CAMELONES LATE-  
RALES Y BANQUETAS. CARRETERA MEXICO - PACHUCA.



COMPACTACION DEL RELLENO DE UN  
MURO DE RETENCION METALICO DE  
CELOSIA.

rio. Tal vez sea necesaria la compactación suficiente para que el relleno no se asiente por su peso propio o cualquier otro efecto, pero se ha de dar teniendo siempre en mente el evitar que se desarrollen presiones laterales residuales que incrementen fuertemente los empujes de tierras.

Si el relleno se construye antes que el muro de retención, parece probable que las presiones residuales serán mucho menores que si el orden de construcción es el inverso, desde luego que esto depende del grado de confinamiento lateral con que se compacte el relleno.

#### 3.4.- OBRAS DE PROTECCION CONTRA INVASION DE ARENA PROVOCADA POR EL VIENTO.

Cuando se trata de dunas de las que se puede obtener un beneficio, se procura ~~detenerlas~~ o fijarlas para que no avancen y hasta conviene a veces acrecerlas, pero si ellas son perjudiciales es necesario detenerlas, fijándolas por medios mecánicos o mediante plantación de especies vegetales.

Los materiales que se usen en los trabajos de retención de dunas como la plantación de especies vegetales, tendrán las características y calidades fijadas en el proyecto y/o ordenados por la S.C. T. Se enlistan a continuación algunos materiales que no serán los únicos porque podrá haber necesidad de otros más que ahora no puedan precisarse, hasta que el proyecto lo indique.

- 1) Tierra de labor
- 2) Tierra vegetal

- 3) Insecticidas y fungicidas
- 4) Especies vegetales y semillas.
- 5) Agua
- 6) Limo
- 7) Fertilizantes
- 8) Madera
- 9) Plásticos
- 10) Alambres galvanizados o de cobre
- 11) Sustancias a base de petróleo
- 12) Yute.

Para la creación y el control de las dunas, el proyecto de - terminará las fechas de iniciación y terminación de los trabajos - preliminares, de los trabajos principales y de los procedimientos, considerando las estaciones del año y demás condiciones climáticas.

La creación y control de dunas comprenden las siguientes etapas:

- a) Determinación de los procedimientos de ejecución
- b) Plantación de especies vegetales.
- c) Riego
- d) Fertilización.
- e) Construcción de obras de retención de arenas y cercas.

Por lo que se refiere a la plantación de especies vegetales - para cubrir y retener la arena en las dunas se efectuará por dos - procedimientos:



ESTABILIZACION DE UNA DUNA POR MEDIO DE PLANTACION  
DE PASTOS Y PLANTAS CACTACEAS. CARRETERA VERACRUZ  
- ALVARADO.



PROTECCION DE UN CAMINO CONTRA INVASION DE ARENA PROVOCADA  
POR EL VIENTO, POR MEDIO DE ARBOLES. CARRETERA BATAQUES -  
MURGUIA. ( ESTADO DE BAJA CALIFORNIA ).



A) Siembra directa por semilla

B) Trasplante de viveros al lugar definitivo.

El proyecto determinara las especies empleadas para uno y otro procedimiento

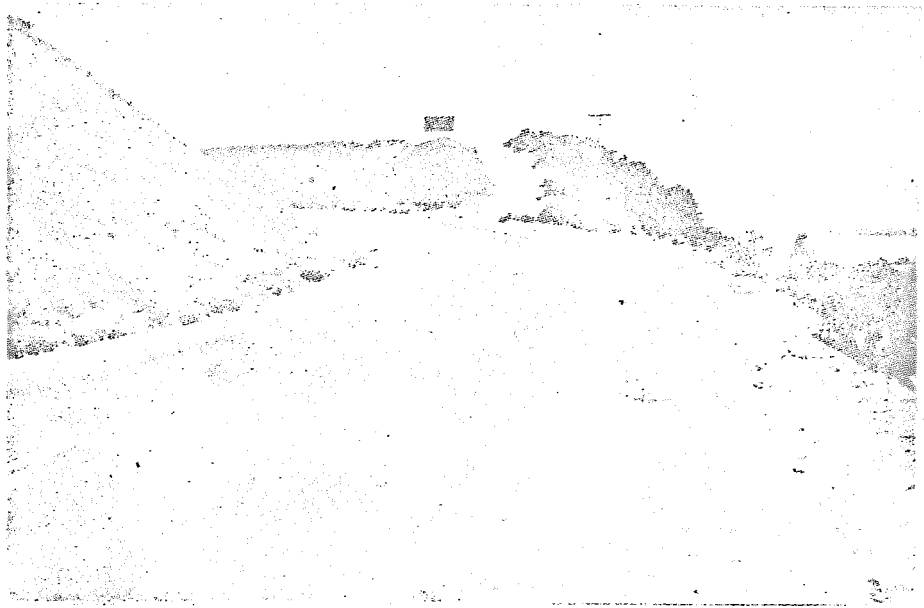
A) En general, la siembra directa se hará empleando se millas de gramíneas que se reproduzcan fácilmente por semilla, de las especies probadas para resistir el ambiente prevaleciente en las zonas de dunas.

B) Para trasplante se emplearán especies que se reproduzcan por estacas o estolones, las que se deberán criar en viveros.

Antes de iniciar la siembra directa por semilla o por trasplante, el ejecutor de la obra deberá contar con los elementos aprobados por la S.C.T., para riego y fertilización.

Si lo indica el proyecto en la preparación de la tierra y en su desinfección se observará, en términos generales lo siguiente: el terreno deberá de limpiarse de desperdicios de materiales de construcción, troncos o sustancias dañinas, salvo indicación en contrario, se agregarán los acondicionadores que sean necesarios para obtener una tierra que cumpla con los requisitos de ph, textura, estructura, etc., exigidas por las especies vegetales que se vayan a plantar de ser necesario, se harán las aplicaciones de fungicidas y/o insecticidas en las cantidades recomendadas por el fabricante del producto.

Salvo indicación en contrario, las especies vegetales tales como cactáceas y agaves se emplearán para el control de invasión del camino por movimiento de médanos o dunas.



CARRETERA CONSTRUIDA SOBRE DUNAS COSTERAS CONTRO-  
LADAS POR MEDIO DE PLANTACION DE VEGETACION (PAS-  
TOS Y CACTACEAS). CARRETERA VERACRUZ - ALVARADO.

Si se utiliza el método de siembra directa por semilla, después de la preparación del suelo se procederá a la colocación de la semilla y se tatará, se le proporcionará la humedad necesaria, además de su cuidado posterior hasta que se asegure su crecimiento.

En el caso de utilizar el método de trasplante de viveros al lugar definitivo, este trasplante se autorizará cuando las estacas o estolones esten bien enraizados.

Las cactáceas deberán plantarse según lo indique el proyecto de acuerdo con el tipo de cactácea, las características del suelo y las condiciones climáticas de la región.

Especialmente se utilizarán nopales para fijar suelos áridos no cohesivos, para lo cual se procederá en la forma siguiente, se seleccionarán las plantaciones de nopal apropiado para la región, se cortarán pencas y se dejarán crear hasta que cicatrice el corte, para lo cual se requieren ocho días como mínimo en los suelos por fijar que indique el proyecto se encajarán las pencas oreadas.

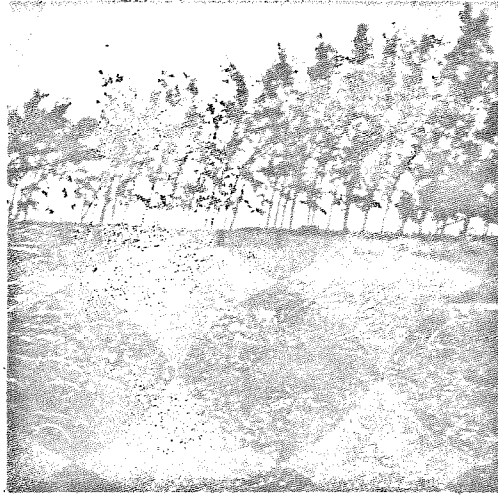
Los agaves deberán plantarse según ordene el proyecto, de acuerdo con el tipo de agave con las características del suelo y las condiciones climáticas de la región.

Para la plantación de árboles y arbustos sirven también para el control de dunas, se realizarán las siguientes operaciones en conjunto o parcialmente según lo indique el proyecto.

- a) Excavaciones de cepas, que puede ser manual o bien con máquina zanjadora, en las medidas que se estipulen en cada caso y con una anterioridad de 15 días a la plantación,

permitiendo que el suelo se meteorice.

- b) Transporte de las plantas con la rapidez y cuidados necesarios.
- c) Acarreo de la tierra fértil para el relleno de las cepas.
- d) Aniego de las cepas.
- e) Plantación relleno de las cepas con la tierra fértil y - construcción de los cajetes o bordes de tierra.
- f) Colocación de algun material de cobertura sobre el cajete para que se conserve la humedad.
- g) Riego de las plantas, cuando sea necesario y por el procedimiento adecuado.
- h) Fertilizaciones, fumigaciones y otras aplicaciones que - se indiquen.
- i) Protección de las plantaciones mediante tutores que permitan su crecimiento vertical o defensas con cercas contra ganado, cuando lo ordene la S.C.T.



PROTECCION DE UNA CARRETERA CONTRA INVASION DE ARENA PROVOCADA POR EL VIENTO ,  
POR MEDIO DE PLANTACION DE ARBOLES Y ARBUSTOS. NOTESE SU INCLINACION DEBIDA AL  
VIENTO.



CARRETERA: VERACRUZ - ALVARADO .

CAPITULO IV

USO Y CONSERVACION DE OBRAS DE PROTECCION PARA  
CARRETERAS

CAPITULO IV. USO Y CONSERVACION DE OBRAS DE PROTECCION PARA CARRETERAS.

En cualquier labor de conservación relacionada con el drenaje, la base para lograr un funcionamiento eficiente del mismo, será - disponer de un sistema de inspección establecido que permita una adecuada programación de los trabajos. Estas inspecciones y la - programación correspondiente deberán sujetarse a los siguientes li- neamientos generales.

A) Deberán efectuarse como mínimo dos inspecciones al año de todo el sistema de manera que una de ellas se lleve a cabo con la anticipación suficiente para programar las labores de limpieza y/o reparaciones urgentes y terminarlas antes de la temporada de - lluvias. Al término de dicha temporada deberá efectuarse otra -- inspección general, con objeto de apreciar los desperfectos que - las obras puedan haber sufrido y programar su reparación durante la temporada de secas.

B) Independientemente de las anteriores, deberán efectuarse inspecciones durante las lluvias fuertes o tormentas y después de ellas, ya que esta será la única manera efectiva de juzgar si las obras y su funcionamiento son adecuadas.

C) Durante la temporada de lluvias, deberá dársele atención preferentemente a las labores de limpieza, efectuándolas con la - periodicidad necesaria para que cumplan eficientemente su función.

D) Es necesario poner en relieve que en el caso de obras de - drenaje, las labores de conservación no deberán limitarse a mante-

ner en buenas condiciones las existentes, sino que debe estudiarse constantemente su funcionamiento para lograr corregir, mediante las obras adicionales, los defectos u omisiones de proyecto y/o construcción, que la experiencia en la conservación del camino indique como necesarias.

En lo referente a la conservación de alcantarillas, incluye su limpieza que consiste en la remoción de materiales ajenos, tales como tierra, piedras, hierbas, troncos y otras que obstruyeron la entrada, salida o el interior de la alcantarilla, impidiendo el libre escurrimiento del agua.

La limpieza de alcantarillas deberá efectuarse por lo menos dos veces al año, una antes de la temporada de lluvias y otra durante esta de acuerdo con los resultados de las inspecciones y tiene por objeto lograr que en ningún caso lleguen a tener azolve u otro obstáculo que obstruya mas del 20 % del área de la sección transversal o que en altura sobrepase la tercera parte del claro vertical de la alcantarilla. La limpieza de alcantarillas se hará de acuerdo con los lineamientos generales siguientes:

a) Deberá removerse toda la materia extraña como tierra, hierbas, piedras u otras, que hubiere en la alcantarilla, no solo en sus extremos, sino a todo lo largo de la misma.

b) El material extraído deberá depositarse dentro del derecho de vía donde no pueda ser arrastrado nuevamente hacia la misma obra, la corona del camino, cunetas o contracunetas. De preferencia no deberá ser depositado en la salida de la alcantarilla, salvo en caso que la pendiente asegure su arrastre por el agua, cuidando siem-



pre de colocarlo y extenderlo en forma tal que no pueda ser obstáculo al libre escurrimiento de la misma.

c) No deberá permitirse el crecimiento de hierbas o arbustos en la entrada y salida de las alcantarillas. En caso de haberlos deberán ser arrancados de raíz.

d) Cuando una alcantarilla se azolva con frecuencia deberá estudiarse y corregirse la causa, ya que pudiera ser necesario -- efectuar modificaciones a la existente o construir una nueva.

Son constantes las modificaciones que pueden y deben hacerse a las alcantarillas para obtener un funcionamiento más eficiente del sistema. Para lograr lo anterior, dada la indole de los trabajos deberá contarse con personal experimentado para ejecutarlos correctamente.

Esto a la larga resulta económico ya que un pequeño desperfecto corregido oportunamente por personal adiestrado y con experiencia evita grandes gastos y daños mayores.

Las reparaciones deberán sujetarse a los siguientes lineamientos generales.

1) Muros de cabeza y aleros. Deberá vigilarse con especial cuidado la zona de cimentación y corregir cualquier signo de erosión que pueda llegar a provocar socavación. La erosión puede corregirse mediante recubrimiento o zampeado de la zona afectada. En caso de socavaciones será indispensable rellenarlas previamente con mampostería o concreto y recubrir o zampear posteriormente la zona expuesta a la erosión.

Es también frecuente que el agua erosione las juntas de las mamposterías, especialmente en el caso de aguas salinas. En estos casos, al reconstruirlas deberá usarse un mortero con alto contenido de cemento y, en caso necesario, usar cemento tipo II o bien cemento tipo I con puzolanas o cemento puzolánico.

En caso de destrucción parcial o total de aleros o muros de cabeza ya sea por la acción del agua o de cualquier otro elemento, deberán reconstruirse, cuidando de que tanto en materiales como en procedimientos de construcción se cumpla las especificaciones correspondientes. Esta prohibido reparar con mampostería muros o aleros de concreto hidráulico.

2) Tubos de lámina corrugada. Las juntas de las diferentes secciones deberán calafatearse periódicamente con mastique asfáltico, para evitar filtraciones. Esto será particularmente importante en alcantarillas que conduzcan aguas de riego o que trabajen en forma permanente. Si se encuentran secciones deformadas, presentando abolladuras o corrosiones de metal y que por su magnitud lo ameriten, deberá programarse y efectuar a la mayor brevedad posible la sustitución de tales secciones.

3) Tubos de concreto. Las juntas entre secciones deberán calafatearse periódicamente con mastique asfáltico, para evitar filtraciones. Para impedir corrosión del fierro de refuerzo y/o filtraciones, habrá que corregir las grietas o quebraduras que puedan presentarse. Las de hasta 5 milímetros de ancho se corregirán rellenándolas con mastique asfáltico, si son de un ancho mayor, deberán corregirse con mortero de cemento, cuidando de obtener una superficie lisa y uniforme. Si la magnitud de la falla lo amerita,

deberá programarse y efectuarse a la mayor brevedad posible la sus  
titución de los tramos afectados.

4) Alcantarillas de Losa o Bóveda. En estos tipos de obras la plantilla esta generalmente constituída por un recubrimiento - de concreto o un zampeado que deberá inspeccionarse cuidadosamente para corregir cualquier grieta u oquedad que en él se encuentren. Con frecuencia será necesario colocar en el piso de la alcantari - lla una nueva capa, ya sea de zampeado o de concreto y en este ca - so deberá darse la pendiente adecuada y cumplir con las especifica - ciones respectivas.

Será necesario corregir a la brevedad posible cualquier des - perfecto o destrucción parcial o total de las quarniciones de la - losa, puesto que sirve de contención al colchón, proporcionándole estabilidad y evitando que haya obstrucciones por caída de material en la entrada o salida de la alcantarilla.

En caso de que haya drenes en los muros de la bóveda o alcan - tarilla o en la losa de esta última, deberán revisarse y limpiarse periódicamente para lograr su buen funcionamiento.

La conservación del bombeo de una carretera estará incluida en la de la superficie de rodamiento.

Por lo que respecta a la conservación de cunetas y contracunetas, incluye la remoción de materiales ajenos, tales como tierra, piedras, hierbas, troncos y otros que reduzcan las secciones de - las cunetas y contracunetas impidiendo el escurrimiento libre del agua. En ningún caso deberá permitirse que una cuneta o contracuneta tenga azolve u otro obstáculo que ocupe más de un tercio de su

profundidad.

La limpieza de cunetas se sujetara a los siguientes lineamientos.

1) Se removera perfectamente toda la materia extraña, tal como tierra, piedras, hierbas, troncos u otros que hubiera en la sección de la cuneta.

2) El material removido debera cargarse y depositarse dentro del derecho de via donde no pueda ser arrastrado por las aguas hacia la corona del camino, cunetas o alcantarillas. Si se tiene la cantidad adecuada, podrá usarse en recargues de taludes de terraplén, con la debida colocación para que no afecte la estabilidad del mismo. Queda prohibido usarlo en recargues de acotamiento o depositarlo en los taludes del corte o arriba de los mismos.

3) Si la cuneta está zampeada, al hacer su limpieza deberá cuidarse deteriorar el zampeado y este deberá revisarse cuidadosamente a efecto de corregir cualquier desperfecto que permita filtración del agua.

4) Si la cuneta no esta zampeada deberán extremarse los cuidados al efectuar su limpieza, para lograr al término de la misma una sección transversal y pendiente longitudinal que garantice el libre escurrimiento del agua.

En el caso de las contracunetas.

1) Deberá removerse el azolve y depositarse formando un borde de sección sensiblemente uniforme, paralelo a la contracuneta y del lado de aguas abajo de la ladera.

2) Deberá vigilarse que no haya obstáculos grandes como - piedras, troncos y otros que impidan el libre escurrimiento del agua. En caso de haberlos deberán removerse a la mayor brevedad - posible.

3) Debido a las fuertes pendientes, es frecuente que el es - currimiento del agua provoque erosiones. En estos casos deberán - hacerse escalones zampeados y, si esto no fuera suficiente, zam -- pear o recubrir con concreto hidráulico o mezcla asfáltica todas las zonas afectadas.

4) Cualquier socavación, oquedad o grieta en el piso o pare - des de una contracuneta que permita filtración del agua, es en ex - tremo peligrosa y puede afectar la estabilidad del talud del corte. En caso de haberlas deberán corregirse de inmediato con el procedi - miento que se considere mas adecuado, el cual puede consistir en rellenarlas con concreto hidráulico, mezcla asfáltica o mamposteria y recubrir o zampear la zona adyacente.

5) Cuando un corte no tenga contracunetas y se proyecte - construir las, será en extremo importante efectuar sondeos y estudios previos, ya que en muchos casos, si el terreno tiene grietas, fisu - ras o una estratificación inadecuada, el hacer la contracuneta ori - ginará filtraciones de agua que puedan provocar la inestabilidad - del talud. En tales casos de acuerdo con los resultados de los estu - dios y sondeos deberá definirse la solución mas conveniente.

En lo que se refiere a la conservación de los bordillos, se - vigilará que no hayan sido dañados y si así ocurriera se procederá a la reparación adecuada, se cuidará que funcionen adecuadamente.

Su conservación es costosa. En ocasiones llega a ser innecesaria, cuando los taludes se vegetan suficientemente con el tiempo, en tales casos los bordillos deberán eliminarse.

En el caso de los lavaderos, se limpiará su sección de toda clase de materiales ajenos, tales como tierra, piedras, hierbas, troncos u otros que obstruyan la entrada o salida del agua, impidiendo también su libre escurrimiento. Se revisará su anclaje por lo menos dos veces al año, también se inspeccionarán uniones con bordillos u otras obras de protección para identificar grietas que puedan resultar dañinas para toda la estructura.

Las labores de conservación en relación con los taludes, son de gran importancia, ya que pueden considerarse como preventivas para evitar derrumbes o deslaves y, por consiguiente todos los inconvenientes y peligros que ellas representan.

Los procedimientos generales de conservación de taludes son:

A) Cortes. En cortes en rocas deberá removerse de los taludes todas las piedras o materiales sueltos que presenten peligro de caer a la corona del camino. Si el tamaño de las piedras es tal que al removerlas puedan ocasionar desperfectos en la corona del camino, habrá que protegerla, colocando sobre ella una capa de arena. En cortes en tierra, deberá mantenerse el talud con una vegetación tal que permita el libre escurrimiento del agua y a la vez evite la erosión del material y que este sea acarreado a las cunetas.

La falta de estabilidad en taludes de cortes, en general está íntimamente ligada con la presencia del agua, por lo que debe

Su conservación es costosa. En ocasiones llega a ser innecesaria, cuando los taludes se vegetan suficientemente con el tiempo, en tales casos los bordillos deberán eliminarse.

En el caso de los lavaderos, se limpiará su sección de toda clase de materiales ajenos, tales como tierra, piedras, hierbas, troncos u otros que obstruyan la entrada o salida del agua, impidiendo también su libre escurrimiento. Se revisará su anclaje por lo menos dos veces al año, también se inspeccionarán uniones con bordillos u otras obras de protección para identificar grietas que puedan resultar dañinas para toda la estructura.

Las labores de conservación en relación con los taludes, son de gran importancia, ya que pueden considerarse como preventivas para evitar derrumbes o deslaves y, por consiguiente todos los inconvenientes y peligros que ellas representan.

Los procedimientos generales de conservación de taludes son:

A) Cortes. En cortes en rocas deberá removerse de los taludes todas las piedras o materiales sueltos que presenten peligro de caer a la corona del camino. Si el tamaño de las piedras es tal que al removerlas puedan ocasionar desperfectos en la corona del camino, habrá que protegerla, colocando sobre ella una capa de arena. En cortes en tierra, deberá mantenerse el talud con una vegetación tal que permita el libre escurrimiento del agua y a la vez evite la erosión del material y que este sea acarreado a las cunetas.

La falta de estabilidad en taludes de cortes, en general esta íntimamente ligada con la presencia del agua, por lo que debe

rá darse primordialmente importancia al mantenimiento de contracunetas.

B) Terraplenes. El afinamiento de los taludes del terraplén deberá considerarse una labor de rutina, con objeto de obtener una superficie uniforme que ayude a la estabilidad de los mismos, evitando asentamientos, erosiones o deslaves.

Deben evitarse en el pie del talud corriente de agua que afecten su estabilidad. Deberá ser objeto de especial cuidado y atención la estabilidad del terraplén en la línea de ceros, asegurándola con recargues de materiales o, en caso necesario con muros de mampostería.

Los taludes de los terraplenes deberán protegerse para evitar erosión, socavación o deslave del material por el agua que escurre de la corona del camino. Esta protección puede obtenerse mediante la siembra de pastos o de especies vegetales adecuados, según el material y clima de la región.

En caso que se justifique por tratarse de materiales erosionables o ser muy grande el volumen de agua, deberán construirse guarniciones en el acotamiento que encaucen el agua hacia los lavaderos por los que escurra sin producir erosión.

En lo que se refiere a un derrumbe que es un desprendimiento de material de las laderas naturales o del talud de un corte hacia la corona de un camino, puede o no ocasionar una situación de emergencia. En ambos casos el procedimiento para su remoción será el mismo, pero si se crea situación de emergencia, porque el derrumbe impida o dificulte considerablemente la circulación o bien



ofrezca algún peligro para el usuario deberá colocarse por el primer personal de la S.C.T. que tenga conocimiento de ello, las señales preventivas y restrictivas que corresponda, en tanto que el Ingeniero encargado del tramo deberá atender a los siguientes lineamientos:

A) El corregir una situación de emergencia siempre tendrá preferencia sobre las labores regulares de conservación.

B) Deberá trasladarse de inmediato al lugar del derrumbe.

C) Deberá inspeccionar la magnitud de los daños y proceder de inmediato a concentrar el personal y equipo necesario para la remoción. Al mismo tiempo, deberá ordenar la colocación de las señales necesarias de acuerdo con lo indicado en el "Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito", y en tanto estas quedan listas, deberá poner bandereros para regular la circulación y evitar colisiones.

Las labores de remoción de derrumbes deberán ante todo tender a lograr con la mayor brevedad posible, la reanudación de la circulación. Por lo mismo deberá atacarse primero la zona de la corona en que haya menos material, a fin de despejar por lo menos el ancho suficiente para permitir la circulación de un carril.

Si por la magnitud del derrumbe o el peligro que se prevea pueda presentarse durante su remoción, no es posible reanudar la circulación en un lapso razonable, deberá adaptarse una desviación cuya construcción tendrá prioridad respecto a los trabajos de remoción.

Una vez que se ha reanudado el tránsito en caso de que este

no se haya interrumpido deberá continuarse las labores de remoción, considerando los siguientes lineamientos.

1) Deberá usarse la maquinaria adecuada, tal como cargador frontal y camiones, evitando en lo posible las molestias al tránsito tomando las precauciones necesarias para evitar un accidente.

2) Cuando el derrumbe ocurra en un corte de roca y haya algunas piedras que por su tamaño requieran monearse para poder ser removidas, deberán tomarse las precauciones del caso y suspender la circulación con anticipación a la explosión y durante la misma, cuidando que no haya vehículos o personas por lo menos en los 150 metros aledaños a la zona.

3) El material producto de un derrumbe podrá usarse en recarguez de terraplen si tiene la calidad adecuada, cuidando de colocarlo debidamente extendido para que no pueda afectar la estabilidad del talud. En caso de que se deposite en las zonas laterales del derecho de vía, deberá hacerse donde no pueda ser acarreado por las aguas a algún canal, cuneta o alcantarilla.

4) Al terminar la remoción deberá procederse de inmediato a la reparación de los daños que el derrumbe haya ocasionado en la superficie de rodamiento, acotamiento, zampeados, señalamientos u otros. Así mismo deberá limpiarse debidamente la superficie de rodamiento.

Por otra parte, se llama deslave a la erosión y socavación del material del talud de un terraplén, producida por el escurrimiento del agua superficial. El deslave puede o no afectar la corona del camino.

Cuando un deslave afecte a la corona del camino o sea inminente que tal cosa suceda, deberá considerarse como situación de emergencia y por lo mismo se procederá a su arreglo considerándolo preferente a las labores regulares de conservación . En estos casos deberán colocarse inmediatamente las señales requeridas de acuerdo con el "Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito". Si el deslave afecta media corona o más y deja un ancho de circulación de 6 metros o menos, deberá regularse la circulación con bandereros.

Al ocurrir un deslave a más de su relleno en la forma que adelante se indica, deberán estudiarse las causas que lo originaron a efecto de proyectar y construir con la mayor brevedad posible las obras auxiliares, tales como guarniciones y lavaderos, ampliación o modificación de alcantarillas, muros de retención u otras que garanticen su corrección en forma permanente.

El relleno de deslaves deberá efectuarse de acuerdo con los siguientes lineamientos generales.

A) Deberá ampliarse la socavación existente hasta obtener paredes sensiblemente verticales y firmes.

B) Deberá usarse en el relleno material con calidad semejante al que originalmente existía o mejor principalmente en las capas de subrasante, sub-base y base, cuidando que cumplan las especificaciones correspondientes.

C) En términos generales, el relleno se efectuará en capas horizontales de espesor no mayor de 30 cm sueltos, dándole la misma compactación que tengan las capas adyacentes. Por las dificultades

tades inherentes esta compactación podrá efectuarse con rodillo ligero o pisón de mano.

D) Como excepción a lo anterior, cuando la altura del terraplén y/o las condiciones locales lo hagan necesario, podrá efectuarse a volteo el relleno de lo correspondiente al cuerpo del terraplén, usando siempre en tal caso fragmentos de roca y materiales granulares cuidando que más del 50 % en volumen sea de tamaños mayores de 254 mm.

E) La pendiente del talud formado por el relleno deberá ser la adecuada para evitar nuevos deslaves. En general si el deslave es producido por agua que escurra de la corona, el nuevo talud deberá ser más tendido que el que originalmente existía. Para lograrlo, se iniciará el relleno ampliándolo desde la línea de cerros.

F) Deberá evitarse en el relleno de deslaves los materiales arenosos o parcialmente erosionables, cuando por carencia de materiales sea necesario su uso, deberá protegerse adecuadamente el terraplén con la construcción de bordillos y lavaderos.

G) Una vez completado el relleno de la capa de base, esta deberá impregnarse con el producto asfáltico adecuado, Posteriormente deberá reponerse la carpeta.

H) Cuando se ha terminado el relleno del deslave, será muy conveniente plantar en el talud del terraplén pasto u otras especies vegetales, que a más de garantizar un buen escurrimiento del agua, ayuden a su estabilidad.

En la limpieza de taludes deberá considerarse los siguientes

lineamientos.

1) Deberán tomarse todas las precauciones para que los trabajadores puedan maniobrar sin peligro.

2) Los trabajos deberán iniciarse con la tala y la roza. No deberá en general efectuarse desenraice, por el peligro de que con ello se afloje el material superficial y pierda su estabilidad.

3) Una vez efectuadas la tala y roza, deberá procederse a la remoción de las piedras de materiales sueltos o poco estables que puedan provocar un derrumbe.

4) La remoción de los materiales deberá efectuarse en general con herramienta de mano.

5) Al terminar la remoción deberá retirarse de la corona - del camino y cunetas todo el material que hubiera caído. Estos materiales podrán utilizarse en recargues de terraplén, si tienen la calidad adecuada en caso contrario deberá depositarse en el derecho de via en un lugar tal que no estorben el funcionamiento del camino.

## C O N C L U S I O N E S

La red de caminos de México es uno de los sistemas de transporte mas importantes y por ello, su protección y conservación es una de los factores en el que el Ingeniero Civil debe poner una atención especial.

El construir obras de protección resulta, por lo regular, un incremento considerable en el costo de construcción de la carretera, pero se disminuye enormemente el costo de la conservación de la misma, ya que con estas obras la carretera tendrá un promedio de durabilidad mayor.

Algunas carreteras que tienen obras de protección son deficientes ya que; los taludes artificiales y terraplenes no tienen la estabilidad que se requiere, las obras para captar el flujo del subdrenaje no trabajan adecuadamente y las del drenaje superficial tampoco trabajan con un rendimiento normal. En el presente trabajo se muestran fotografías en las que se pueden observar estos detalles.

En este trabajo se trató de ver los problemas que existen y como solucionarlos, dando los procesos constructivos de cada una de las obras de protección, asi como su conservación para el mejor funcionamiento de la red carretera de México.

Se trató de hacer un análisis general de cada uno de los problemas y su posible solución, ya que en ocasiones se ve el problema y se plantea la solución y no se lleva a cabo por diferentes cosas; una de ellas es el problema económico presupuestal-

y otras veces es negligencia de los constructores.

Cada proceso constructivo está detallado y llevándolo a cabo de acuerdo a la necesidad, la obra trabajará normalmente y su vida útil será la real, la de proyecto.

Todas las obras de protección están relacionadas entre sí y se deberán construir donde sean necesarias y cumpliendo los objetivos planteados para que éstas trabajen de acuerdo a la necesidad y si es posible a su máxima eficiencia.

Con este estudio se trata de crear conciencia en el Ingeniero Civil para que se cometan los menos errores posibles o definitivamente no se cometan, y así nuestro sistema carretero será más eficiente y confiable.

Construyendo nuestros caminos con las obras de protección necesarias y dándoles el mantenimiento adecuado, el tiempo y por lo tanto el costo de traslado de bienes y personas será menor, que al final de cuentas es el objetivo fundamental para una nación de tantos recursos y necesidades como la nuestra.

## B I B L I O G R A F I A

- 1) LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES. ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO. EDITORIAL LIMUSA. MEXICO, 1982 TOMO I Y II.
- 2) MANUAL DE CAMINOS VECINALES. RENE ETCHARREN GUTIERREZ. COEDICION DE LA ASOCIACION MEXICANA DE CAMINOS Y DE REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA, S. A. MEXICO, D. F. 1969.
- 3) VIAS DE COMUNICACION, CAMINOS, FERROCARRILES, AEROPUERTOS, Puentes y Puertos. CARLOS CRESPO VILLAZ. EDITORIAL LIMUSA. MEXICO, 1979.
- 4) NORMAS DE CONSTRUCCION SCT TOMO III OBRAS DE DRENAJE, ESTRUCTURAS Y TRABAJOS DIVERSOS. SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. MEXICO, 1982.
- 5) ESTUDIOS SOCIOECONOMICOS PARA MEDIR LOS EFECTOS DE LA INVERSION EN LAS CARRETERAS. PONENCIA WOVENOL DE MEXICO.
- 6) MANUAL DE DRENAJE Y PRODUCTOS DE CONSTRUCCION. THE ARMCO INTERNATIONAL CORPORATION. MIDDLETOWN, OHIO, ESTADOS UNIDOS, 1958.
- 7) MECANICA DE SUELOS. EULALIO JUAREZ BADILLO Y ALFONSO RICO RODRIGUEZ. EDITORIAL LIMUSA. MEXICO, 1973. TOMO III.
- 8) HIDROLOGIA. ROLANDO SPRINGALL. U.N.A.M. MEXICO, 1970.
- 9) NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE CONSERVACION Y RECONSTRUCCION DE CARRETERAS. SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS. MEXICO, 1979.
- 10) DRENAJE EN CARRETERAS Y AEROPUERTOS. SOTELO G. PUBLICACION DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M. MEXICO, 1971.