

4356

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Drenaje Superficial para Ferrocarriles

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

JOSE GUILLERMO ALMEIDA REYNOSO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A MI PADRE

A MI ESPOSA

A MI HIJA

En atención especial a los Sres. Ingenieros

José Alonso Doberning Garrido

y

Manuel López Castillo

**Con profunda gratitud por la decisiva ayuda que me prestaron para el
desarrollo de este trabajo.**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
Depto. Exams. Profs.
Núm.40-
Exp.Núm.40/214.2/1.-

Al Pasante señor José Guillermo ALMEIDA REYNOSO
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el señor profesor ingeniero Alonso Dobernig G., para que lo desarrolle como tesis en su examen profesional de Ingeniero CIVIL.

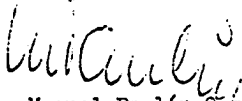
DRENAJE SUPERFICIAL PARA FERROCARRILES


- I. Descripción General de Importancia.
- II. Estudios Hidrológicos
- III. Drenaje Longitudinal
- IV. Drenaje Transversal
- V. Conservación del sistema de drenaje."

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable 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.

Muy atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F. 17 de Octubre. de 1969
EL DIRECTOR


Ing. Manuel Paulín Ortiz


MPO

CAPITULO I

DESCRIPCION GENERAL E IMPORTANCIA

Siendo el drenaje un factor de primordial importancia para el costo de la buena conservación de una obra vial, se hace necesario un estudio completo de las corrientes de agua que concurren a la obra en estudio, para que todos los elementos que deban contribuir a drenar esas corrientes, como alcantarillas, cunetas y contracunetas así como bordos y otras canalizaciones, sean proyectadas adecuadamente a la función que tienen que desempeñar.

La construcción nueva debe usar solamente los mejores suelos de que se disponga. El agua es el enemigo de la estabilidad de un suelo.

El exceso de humedad en el lecho de la vía causa los siguientes perjuicios:

1. - Reduce la resistencia a la sustentación de los suelos de todas clases, en algunos más que otros dando como resultado zonas blandas.
2. - En caso de heladas produce levantamientos.
3. - En caso de aumento o disminución del exceso de agua, se producen ensanchamientos y contracciones desiguales con desplazamientos irregulares de la vía.
4. - Frecuentemente se producen asentamientos y deslizamientos.

Sección Transversal de la Vía Férrea

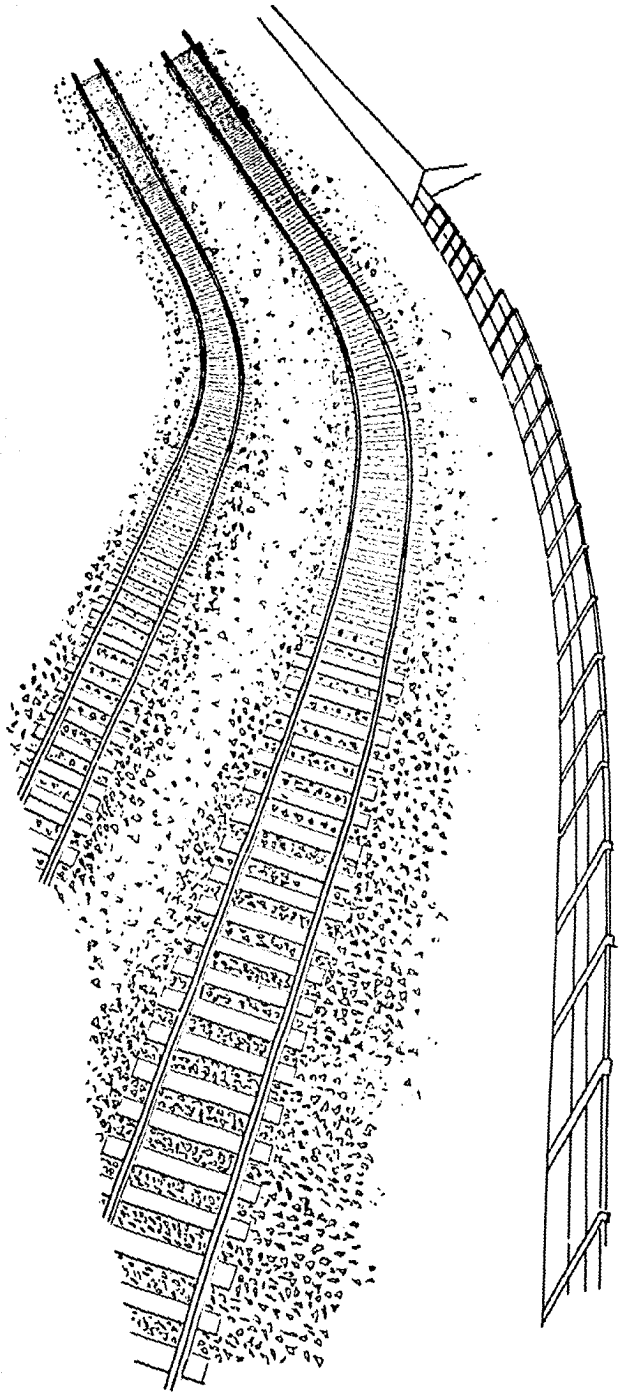
La sección transversal de una vía férrea se proyecta en forma que asegure la eliminación rápida de las aguas llovidas u otra clase de precipitación.

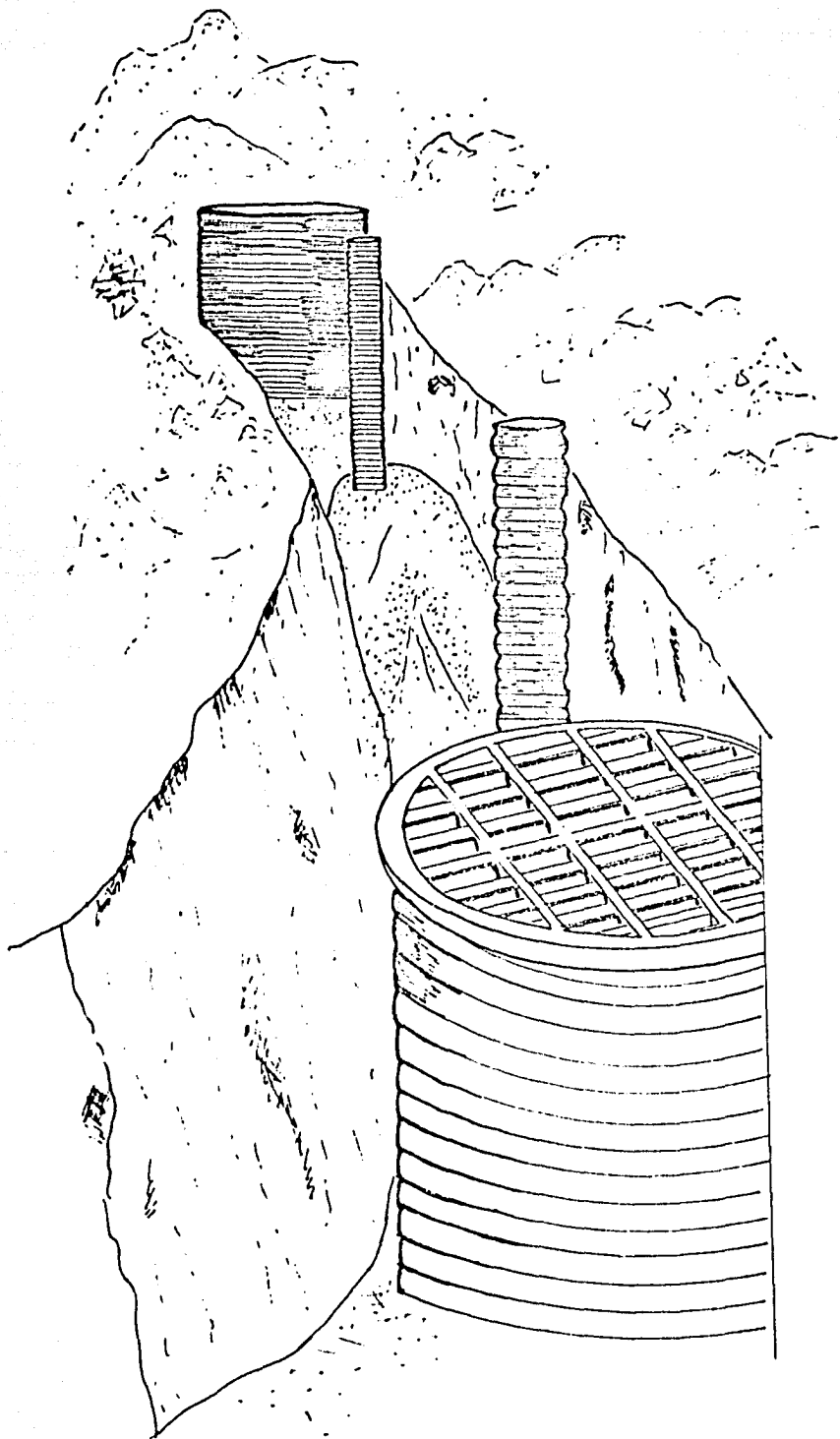
El agua que cae sobre el balasto se filtra a través de éste hasta la subrasante de tierra, propiamente combada, y luego se escurre hacia los costados de la vía. Si el balasto es de mala calidad, o si se ha hundido o penetrado dentro de la subrasante, el agua no puede escurrir y permanece en el lecho de la vía volviéndola blanda e inestable.

En las zonas de vías múltiples, patios y estaciones terminales, el agua superficial debe ser recogida en cunetas o zanjas poco profundas y conducidas hacia pozos de visita, alcantarillas o desagües pluviales, previniendo a toda costa que se infiltre dentro de la subrasante cuando el proyecto del drenaje es inadecuado.

Parte del agua llovida o la que proviene de la nieve se dirige hacia las zanjas o terreno natural; y una parte es absorbida por la subrasante, lo cual no es recomendable como se indicó anteriormente.

En los cortes, el lecho de la vía se protege del agua que





ha caído en las áreas laterales por medio de una zanja construida - en la parte inferior del corte, por una zanja interceptante de derivación ubicada en el terreno natural arriba del borde superior del talud, o por una berma intermedia.

También es necesario proteger los terraplenes o rellenos de las corrientes que fluyen por sus costados, construyendo zanjas interceptantes; estas zanjas deben estar alejadas del lecho de la vía para evitar erosiones.

Las zanjas laterales en los cortes de gran longitud deben ser de mayor capacidad con el fin de reducir hasta donde sea posible la erosión y los gastos de conservación; como alternativa, se puede proteger la zanja revistiéndola de piedra, ladrillo, concreto hidráulico, asfáltico, etc... Las zanjas bien proyectadas para la velocidad apropiada no requieren limpieza frecuente ni reparaciones por erosión y sirven también para depositar en ellas la nieve que se retira de la vía.

Para efectuar todos estos trabajos eficientemente se hace indispensable contar con la topografía, ya sea por levantamientos directos o por fotografías aéreas, de una faja longitudinal lo suficientemente ancha y localizada inmediatamente aguas arriba y --- aguas abajo de la obra vial, que permita la localización y dirección

de las diferentes corrientes, así como la delimitación y medición - de las cuencas que las originan.

Con este fin se puede recurrir al auxilio de planos generales, de mosaicos de fotografías aéreas así como también de pares estereoscópicos.

Para el primer caso en México se dispone de mapas geográficos realizados por la antigua comisión geográfica exploradora a escalas de 1: 1 000 000.

Esos viejos mapas han sido mejorados en los últimos - años por diversos organismos oficiales dirigidos por la Secretaría de la Defensa Nacional usando aerofoto de reconocimiento con control semipreciso que han producido nuestros mejores mapas a escala 1: 500 000 con curvas de nivel a cada 200 m. que representan la cartografía disponible para el 75% del área de la República.

Actualmente se trabaja a ritmo acelerado en las cartas geográficas a escala 1: 100 000 con equidistancia de 50 m. en los niveles, teniéndose mapas que cubren el 25% del territorio nacional y siendo factible obtener ampliaciones a escala 1: 25 000 que - permite resolver prácticamente los problemas topográficos de - cualquier F.C.

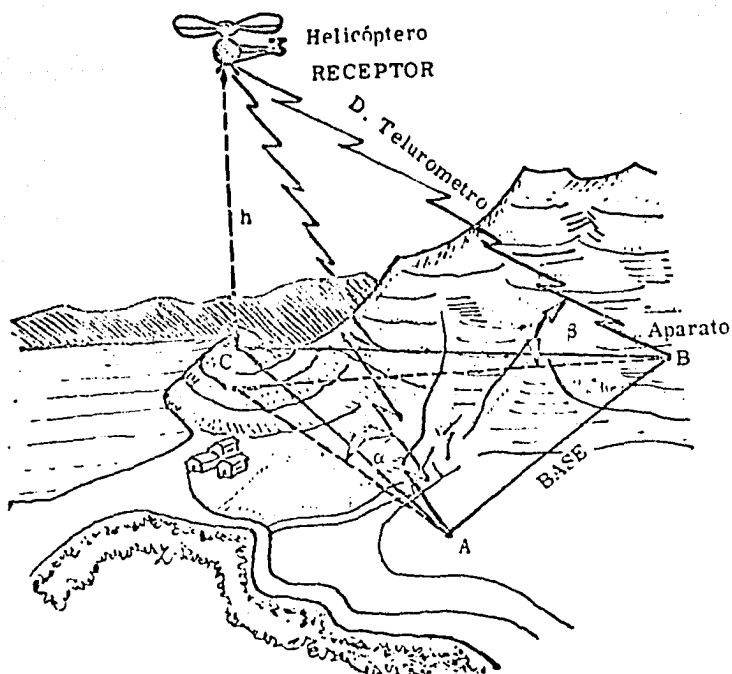
Para el segundo punto requeriremos un reconocimiento aéreo preliminar o aviones de 4 plazas con velocidades no mayores de 180 KPH son adecuados para la obtención de fotografías ligeramente inclinadas.

Se recomienda usar fotografía de 35 mm. diapositiva a color para una posterior interpretación geológica y de suelos de vegetación, ligada con las más recientes observaciones del recorrido por tierra.

El helicóptero permite reconocimientos más detallados y precisos que usar un avión Sesna o similares.

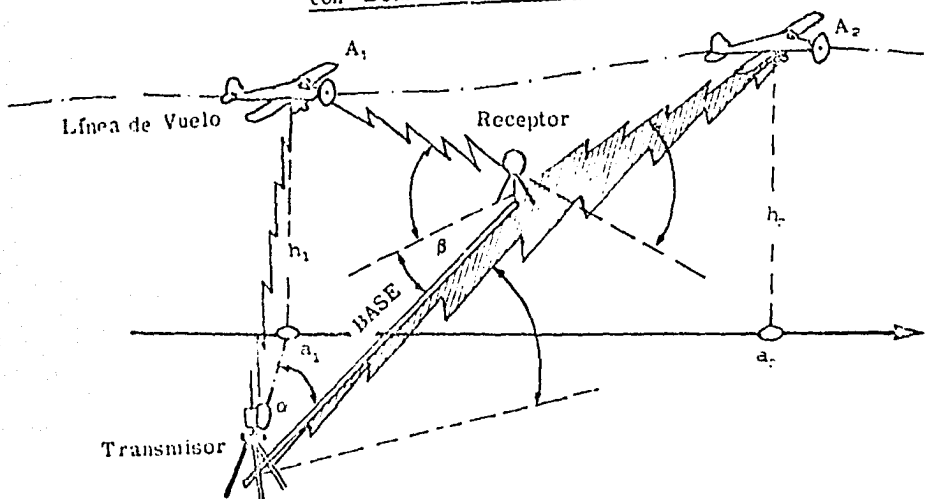
Actualmente se debe usar el helicóptero en conexión con mediciones electrónicas y topográficas que desde tierra nos permiten fijar su posición desde bases topográficas donde las distancias se pueden medir con geodímetros o telurómetros o se deducen por intersección además de medir los ángulos verticales con tránsito.

La figura anexa ilustra un helicóptero que se estaciona sobre la vertical del punto c, el cual puede marcarse en el campo con una bomba de pintura lanzada desde el aparato, el cual debe obtener fotos de la zona, además de medir su propia altitud y dejarse fijar por intersecciones con telémetros y tránsito colocados en



Triangulación con ayuda de Helicóptero y marcas con "Bombas" de Pintura "C"

Fig. 5-1



Fijación Línea Vuelo desde Control Terrestre

Fig. 5-2

los extremos A y B de una base topográfica terrestre con lo cual ya se puede iniciar una cadena de triángulos para el apoyo terrestre del mosaico.

Las fotos para el mosaico aéreo son de 22 a 23 cm. por lado y es recomendable tomarlas a una altura tal que produzcan la escala 1: 50 000, o sea obtener fotografías cuadradas que abarquen de 10 a 12 Km. de lado; las fotos se disparan cada 20 a 40 segundos de vuelo y deben traslaparse longitudinalmente $1/3$ con cada fotograma contiguo, de modo que el solapamiento sea del 60% dejando el 40% como área individual de cada placa fotográfica.

Una hilera de placas de fotos traslapadas entre sí debe ser obtenida mediante un vuelo a gran altura para lograr la escala aproximada de 1:50 000, la que será tanto más uniforme entre las diversas fotos cuanto mayor sea el paralelismo del vuelo con el terreno y que se logre verticalidad de los ejes de la cámara y suaves ángulos en la trayectoria del avión.

Las figuras anexas ilustran las posiciones sucesivas del avión al tomar fotos para una hilera y el mosaico que se obtiene al coincidir las hileras y traslaparlas o solapar transversalmente esas hileras con otros vuelos paralelos.

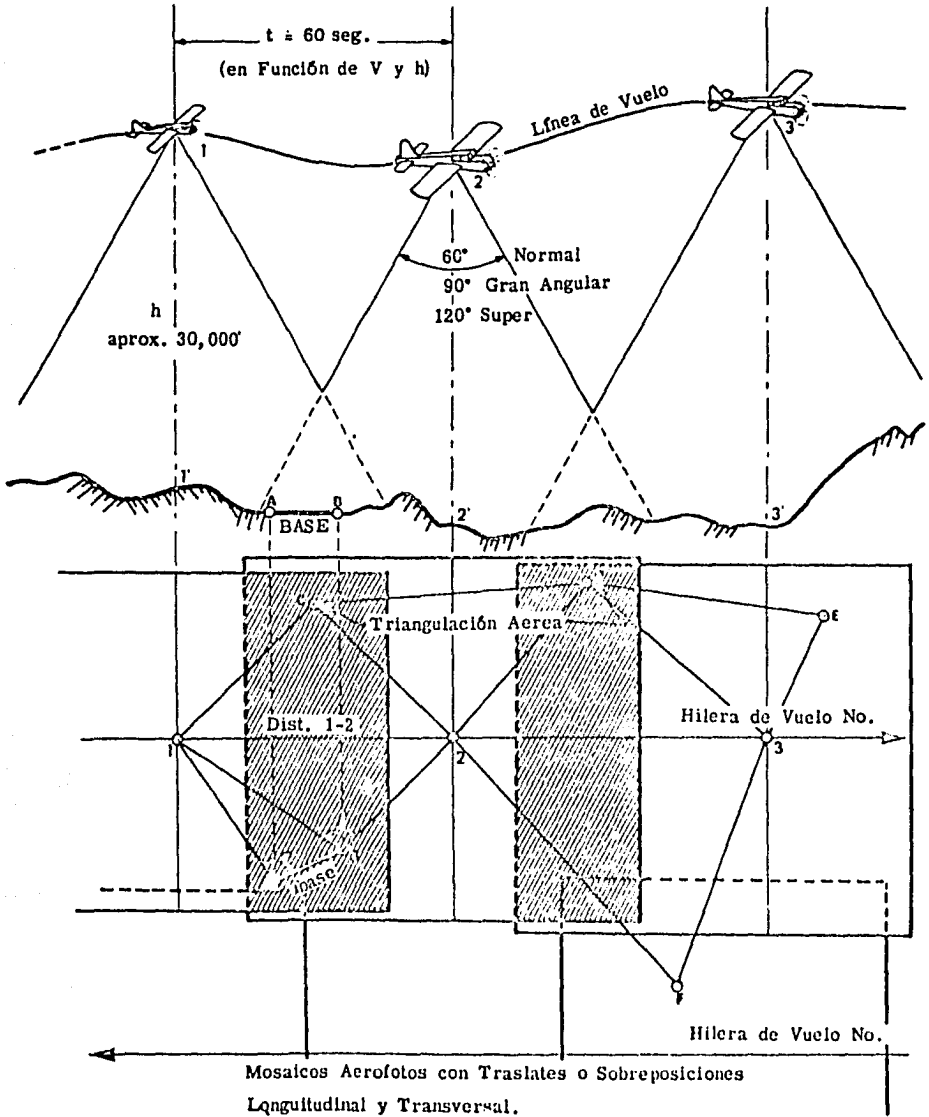


Fig. 5-3

Cada foto tiene 2 ejes normales de simetría y obtenemos un plano con escala desconocida con sólo la placa horizontal o sea - con el eje de la vista vertical.

Las distancias entre poblados, los caminos existentes o confluencia de ríos etc... de nuestro plano de reconocimiento terrestre inicial, nos servirán para ajustar ese mosaico de fotos tras lapadas, a las distancias del terreno-mapa de reconocimiento y poder obtener aproximadamente la escala de nuestro fotograma del mosaico al cual llamaremos también foto-índice.

Una vez logrado formar el mosaico y obtenida su escala aproximada por regiones, dispondremos de un plano aerofotográfico que será mucho más preciso que nuestro tosco plano de reconocimiento a escala 1: 100 000 original.

Sobre este mosaico y conociendo la altimetría de las confluencias, principales cerros y puertos, poblados etc... (según los datos recabados en el recorrido terrestre) estaremos en posibilidad de conocer nuestra cuenca.

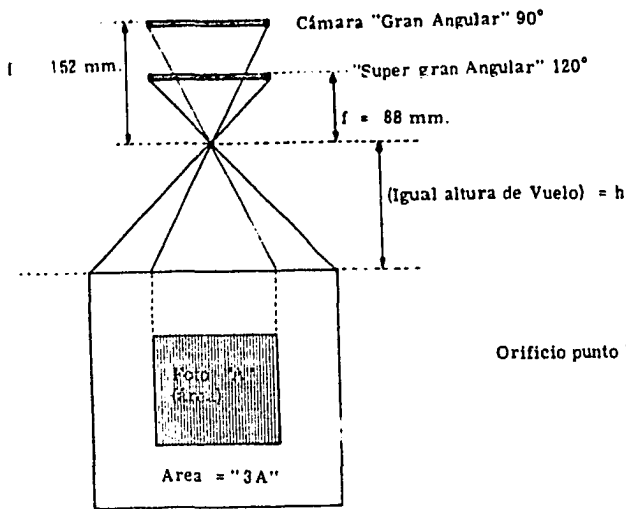
Con los pares estereoscópicos el relieve se obtiene por la visión binocular de 2 ojos separados 8 cm. visando el mismo -- punto.

En la estereoscopía, se puede incrementar la separación de esa base o sea la pequeña distancia entre ojos, con el empleo de 4 espejos a 45° (véase figura 5-7) así como el poder considerar como base a la separación del avión al tomar 2 fotos consecutivas, - con ejes verticales, donde aparece un área común en las 2 fotos, o sea la distancia real entre 2 fotogramas.

Los aparatos de restitución (independientemente de su - marca y características propias) se subdivide en 2 tipos generales: los que realizan estereoscopía a través de intersecciones y apreciación óptica de profundidad y los que proyectan placas y bicolores para crear la sensación de relieve.

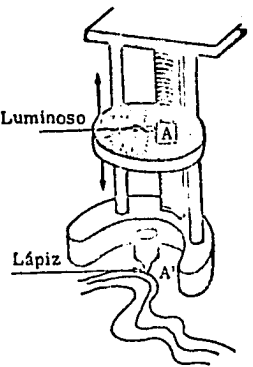
Si la placa impresa se reemplazase por la foto en transparencia y se proyecta sobre una mesa, (mediante un foco de luz - que reemplaza al ojo del observador), entonces tendremos una imagen que debería coincidir en la zona de traslape de dos fotos contiguas, siempre que proyectásemos la segunda foto (véase figura) si multáneo a la proyección de la anterior.

Desde 2 hasta 8 cámaras, pueden proyectar uno hasta 4 pares de fotos pudiendo ajustar verticalidad y escala ajustada al control terrestre existente.



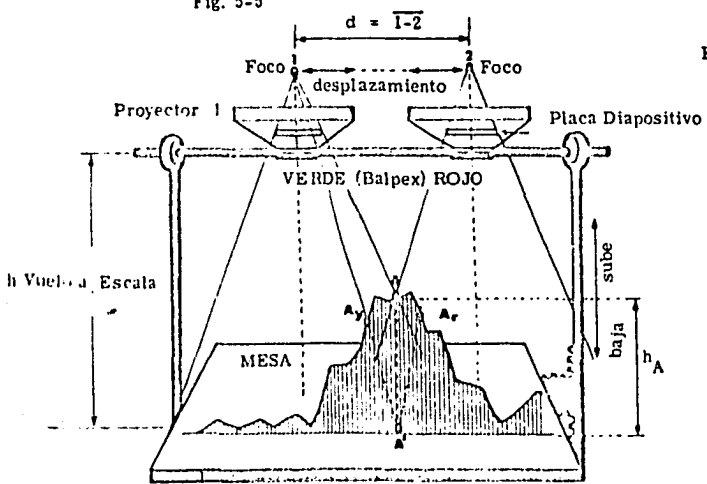
Diferentes Resultados en Area Cubierta, altura, Escala y Costos entre $f = 152$ y $f = 88 \text{ mm.}$

Fig. 5-5



Mesilla BALPLEX

Fig. 5-6



ESQUEMA de Aparatos Aerofoto "Kelsh", Balplek, etc.

Fig. 5-7

Con Movimiento de Subir o Bajar y Desplazamientos entre los proyectores, se restituye (a Escala) el Vuelo, haciendo posible la configuración Altimétrica (vease punto "A") que representa al P. Luminoso-Trazador de Curvas de Nivel.

Un aparato de restitución del vuelo, puede disponer de 2 a 3 proyectores (que representan las cámaras) montados sobre una barra corrediza (que representa la línea de vuelo) y al colocar las fotos diapositivas y encender los focos de luz, proyectamos sobre una mesa horizontal, (la cual podemos subir o bajar) hasta que los movimientos de los proyectores y de la mesa (horizontal y vertical) nos producen proyecciones que coinciden en la parte común de 2 fotos contiguas, o podemos observar mediante binoculares y ampliación de base óptica, directamente las fotografías del par estereoscópico; la mesilla (sobre la Mesa) resuelve los movimientos verticales para definir la Altimetría.

Ese momento representa la restitución del vuelo al tomar las fotos sobre el terreno, donde además de poderse marcar la posición (X - Y) resolveremos altimetría con el auxilio de un punto móvil luminoso que sube o baja y se desplaza en planta y parece tocar el terreno cuando existe la coincidencia tanto en coordenadas horizontales como en altimetría (véase figura) pudiéndose controlar curvas de nivel, mediante la escala contadora de la mesilla.

Los aparatos tipo Balpex, emplean la proyección bicolor análoga al viejo juguete óptico, para ver en relieve dos fotos (en verde y en rojo), cuando se usan anteojos de esos colores pa-

ra observar el par estereoscópico.

El "Kelsch" es un estereoautógrafo que restituye las posi ciones del vuelo y permite el control altimétrico y con el cual se - pueden obtener secciones o perfiles del terreno para cualquier línea longitudinal o transversal, así como curvas de nivel que se basan en el apoyo terrestre de la nivelación de campo, sobre los puntos de - control.

El proyecto Balpex, consiste en una gran mesa sobre la cual pueden simular vuelo hasta 8 proyectores y ajustarlos (subir y bajar la mesa - desplazamientos) hasta obtener el acomodo de va- rios pares de fotos, con lo que se controla y obtiene el mosaico a - escala, para una gran área alargada, que puede bastar por si sola para realizar un excelente anteproyecto de vía férrea (Mosaico Con trol Semipreciso). El Balpex emplea visión estereoscópica bicolor.

Esta topografía será de vital importancia para el proyecto y ubicación de las diferentes obras de drenaje y proporcionará al mismo tiempo los elementos de juicio necesarios para fijar el nivel máximo del tirante de agua que puede ser conveniente en una zona determinada.

Juntamente con el estudio topográfico, es de suma im-

portancia la obtención de los datos hidrológicos de la zona, para lo cual aparte de los estudios y observaciones que se hagan en cada caso particular, es conveniente que el organismo que construye gestione ante las diferentes instituciones de la UNAM y de las Secretarías de Recursos Hidráulicos y Agricultura, toda la información de datos hidrológicos correspondientes a la República Mexicana y se formule un registro de las precipitaciones por zonas, su duración y sus ciclos.

Como complemento de la topografía y datos hidrológicos, habrá que estudiar las condiciones del subsuelo para observar las filtraciones principalmente en los casos en que se hacen rectificaciones del cauce.

Esto tiene singular importancia en los tramos en que predomina la sección en zonas de barrancas profundas, donde es muy frecuente que las alcantarillas se construyan, acortándolas en longitud para que no resulten demasiado largas. En estos casos las filtraciones que ocurren en el cauce original, pueden saturar los materiales que forman el cuerpo del terraplén provocando pérdida de estabilidad y por consiguiente deslizamientos. Para evitarlo, en algunos casos es recomendable, que antes de iniciar las terracerías, se construyan sobre el fondo de los cauces, drenes de pie-

dra graduada y acomodada, que impidan el contacto del agua de filtración con las terracerías, lo cual permite además desalojar el agua que lleva en el nivel inferior de la alcantarilla y dentro de la barranca.

Con los estudios topográficos, hidrológicos y del subsuelo, puede proyectarse un drenaje adecuado, que garantice el buen estado de una obra vial, en su parte relativa.

En cuanto al criterio que debe seguirse para un determinado proyecto, se tendrá que tomar en cuenta que el factor hidráulico está sujeto a variaciones, ya que depende de la "Naturaleza" y por consiguiente varía la magnitud de las precipitaciones, el coeficiente de escurrimiento, etc.

Por otra parte, el costo de estas obras, representa en la mayoría de los casos un porcentaje relativamente bajo en comparación con el costo total de la obra vial.

Por lo tanto, conviene adoptar factores de seguridad que tiendan a ser generosos y mayores que los utilizados en terracerías.

Sin embargo, habrá que tener cuidado de no generalizar

este concepto; ya que habrá ocasiones, en que se tengan casos excepcionales en zonas desérticas en las cuales las precipitaciones aunque muy intensas, son esporádicas y con ciclos de frecuencia bastante prolongados. Para estas condiciones, previo estudio económico, puede ser apropiado considerar para el diseño de las obras de drenaje, las condiciones de precipitación hasta cierto punto normales y no las extraordinarias, pues es preferible desde el punto de vista económico, efectuar trabajos de reparación cada vez que se presenten estas precipitaciones eventuales o extraordinarias y no hacer grandes erogaciones iniciales durante la construcción.

Una vez que ha sido proyectado el drenaje para su ejecución, es conveniente que la Dirección de la Obra, sugiera oportunamente las modificaciones que se crean pertinentes, de acuerdo con las revisiones que se efectúen directamente en el campo, haciéndose necesaria una revisión general pues una rectificación a tiempo de una condición inadvertida en el proyecto, puede evitar trabajos costosos de mantenimiento, y de reconstrucciones frecuentes.

Finalmente, por lo que respecta a la conservación de las obras de drenaje, es recomendable que el personal encargado de dicha conservación efectúe inspecciones cuidadosas con suficiente anticipación a la temporada de lluvias, con el objeto de limpiar

los azolves y quitar todas las obstrucciones que pudieran obstaculizar el funcionamiento del drenaje.

Una vez pasada la temporada de lluvias se hace indispensable otra revisión para corregir los desperfectos ocasionados por las corrientes y para observar ciertas condiciones imperantes en la zona, cuyos datos pueden ser de interés para futuros proyectos en regiones similares.

CAPITULO II

HIDROLOGIA

Estudios Hidrológicos

Preámbulo.

La hidrología estudia todo lo concerniente con el agua incluyendo la precipitación, el escurrimiento, las filtraciones, retenciones, diferentes distribuciones, etc. La hidráulica estudia el equilibrio estático y la dinámica de los flúidos incluyendo el agua.

Debido a los muchos factores que influyen sobre el escurrimiento de las aguas pluviales, el diseño del tamaño adecuado de las estructuras es sólo aproximado.

Antes de proceder a diseñar un conducto, el ingeniero tiene que conocer el volumen de agua, su velocidad y con qué frecuencia llega el agua a la estructura.

Además de las mediciones de práctica corriente y registro de los fenómenos meteorológicos, se estudia el escurrimiento de áreas pequeñas; hidráulica de las cunetas, bocas de entrada y rejās; hidráulica de las alcantarillas y sus extremos de entrada y salida de las corrientes; canalizaciones abiertas; erosión y sedimentación; y muchos otros factores afines hidrológicos e hidráulicos.

La agricultura, la estadística y la teoría de las probabilidades se utilizan cada vez más en hidráulica.

Descripción de algunos Métodos para Dimensionar las Estructuras de Drenaje.

Para determinar el tamaño necesario de una estructura de drenaje existen varios métodos generales, a saber:

1. - Si existe una estructura en el lugar u otro cercano, se hace un estudio de su eficiencia durante un período de 10 a 50 años; cuantos más años mejor. Un examen de las estructuras ubicadas aguas arriba y aguas abajo será provechoso; en este caso el proyecto se hace por semejanza.

2. - Basándose en registros de precipitaciones pluviales anteriores de la cuenca y de una frecuencia determinada, usando una fórmula empírica o racional que determine el gasto máximo del escurrimiento y de la velocidad con la que llega al lugar elegido para la estructura.

Algunas fórmulas empíricas dan directamente el área de la sección transversal de la alcantarilla; otras determinan el

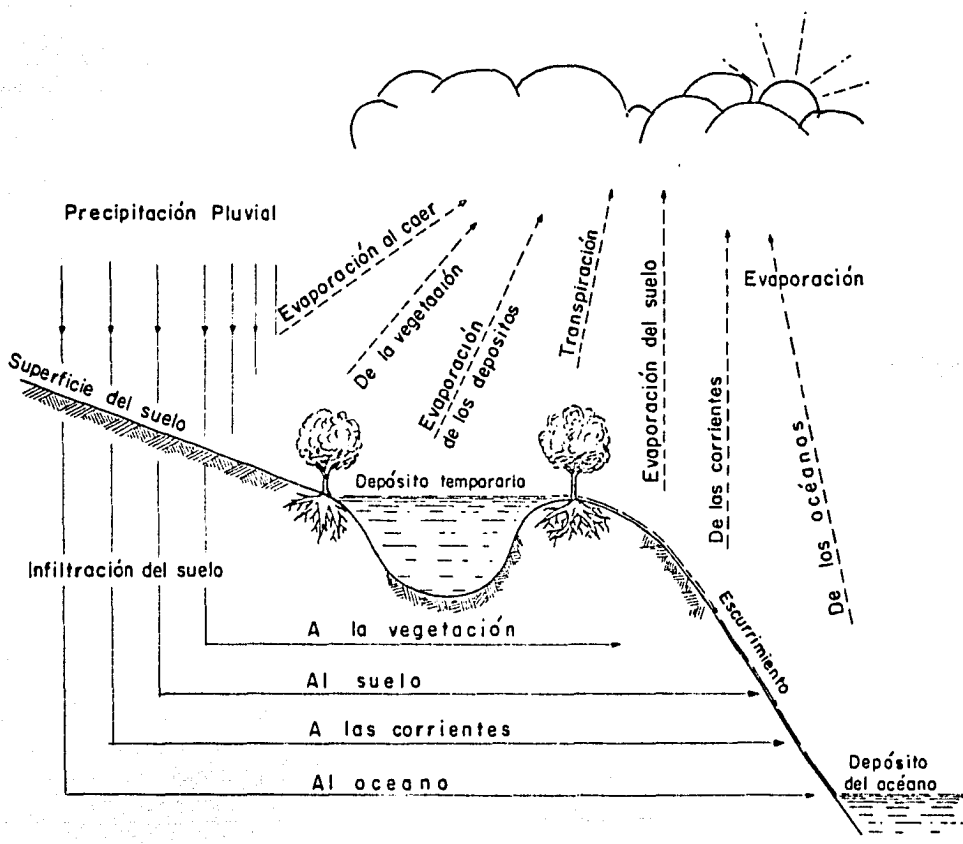
volumen de agua en función del área hidráulica determinada por las huellas de máximo nivel y la pendiente, o por medio de la superficie de la cuenca de captación, la calidad del terreno y los datos de precipitación.

"Distribución del Agua Pluvial"

Las precipitaciones pluviales son causadas por fenómenos atmosféricos. La precipitación se mide por la altura en milímetros de agua caída durante una lluvia, o durante un período de tiempo determinado, o bien por la intensidad en milímetros por hora durante un aguacero.

Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico muestra de donde proviene el agua y hacia donde se dirige.



MAYORES PRECIPITACIONES OBSERVADAS EN EL
MUNDO

(Datos tomados del manual de drenaje ARMCO)

Duración Horas-Minutos	Precipitación en milímetros	Punto de observación	Fecha	
1	17	Opid's Camp, Calif.	5 abril/1926	
5	63	Porto Bello, Panamá	29 Nov/1911	
8	126	Fussen, Bavaria	25 May/1920	
14	100	Galvestor, Texas	4 Jun/1871	
15	198	Plumb Point, Jamaica	12 May/1916	
20	206	Curtea de Argés, Rumanía	7 Jul/1889	
40	235	Guinea, Virginea	24 Ago/1906	
42	205	Holt, Missouri	22 Jun/1947	
1	254	Cats Kill, New York	26 Jul/1819	
1	292	Campo, California	21 Ago/1891	
2	10	483	Rockport, West Virginia	18 Jul/1889
2	45	559	D'Hanis, Texas	31 May/1935
3		406	Concord, Pensylvania	5 Ago/1843
4		584	Bassetere, Indias Occ.	12 Ene/1880
4	30	782	Smethport, Pensylvania	18 Jul/1942
12		675	Baquio, Islas Filipinas	15 Jul/1911
15		876	Smethport, Pensylvania	17 Jul/1942
18		925	Thrall, Texas	9 Sep/1921

PRECIPITACIONES OBSERVADAS EN ALGUNOS
LUGARES DE LA REPUBLICA MEXICANA

(Datos proporcionados por el Observatorio Meteorológico. Central
de Tacubaya, D.F.)

Estado: Población	Períodos de obser- vaciones no inte- rrumpidas	Altura max. de precipita- ción en 24 hs. registrada- en el tiempo total de obser- vación
AGUASCALIENTES:		
Chicalote	1928-36	132.0 mm.
Aguascalientes	1921-31, 33-37	78.0 mm.
Rincón de Romos	1926-31	69.0 mm.
BAJA CALIFORNIA:		
Ensenada	1925-37	272.0 mm.
El Boleo	1921-37	192.2 mm.
Tijuana	1921-36	85.0 mm.
La Rumorosa	1932-37	50.0 mm.
CAMPECHE:		
Cd. del Carmen	1923-25, 1927-37	419.5 mm.
Campeche	1921-23, 1925-31, 34, 37	140.0 mm.
Faro de Triángulo	1930-35	110.0 mm.
COAHUILA:		
Múzquiz	1923-37	202.5 mm.
Piedras Negras	1922-32, 1936-37	194.0 mm.
Matamoros	1924-30	40.0 mm.
COLIMA:		
Manzanillo	1921-30, 1935-37	333.0 mm.
Coquimatlán	1921-31	230.0 mm.
Buena Vista	1921-31	152.5 mm.
CHIA PAS:		
Tonalá	1921-26, 1929-37	301.0 mm.
Finca El Triunfo	1929-37	281.2 mm.
Motozintla	1922-37	61.3 mm.

Estado: Población	Períodos de obser- vaciones no inte- rrumpidas	Altura máx. de precipita- ción en 24 hs. registrada en el tiempo total de obser- vación
CHIHUAHUA:		
Maclovio Herrera	1923-28	225.0 mm.
Chinipas	1927-37	130.0 mm.
Nuevo Casas Grandes	1931-37	40.5 mm.
DISTRITO FEDERAL:		
Anzaldo (Coyoacán)	1932-37	120 mm.
Colonia Alcahuac	1925-33	115 mm.
Km. No. 4 (Gran Canal)	1929-30, 1932-37	42.5 mm.
DURANGO:		
Tepehuanes	1922-37	172.0 mm.
Las Truchas	1930-36	123.5 mm.
Santa Lucía	1926-33	40.0 mm.
GUANAJUATO:		
Iramuco	1930-36	114.0 mm.
León	1921-37	100.1 mm.
Valle de Santiago	1923-30	39.0 mm.
GUERRERO:		
La Unión	1925-36	271.2 mm.
Petatlán	1927-33	250.0 mm.
Xochipala	1927-37	49.0 mm.
JALISCO:		
Autlán	1927-37	268.0 mm.
Tomatlán	1927-37	235.0 mm.
San Antonio	1928-33	55.2 mm.
ESTADO DE MEXICO:		
Aculco	1927-37	140.0 mm.
Zacualpan	1928-33	140.0 mm.
El Oro	1923-32	45.0 mm.

Estado: Población	Períodos de obser- vaciones no inte- rrumpidas	Altura máx. de precipita- ción en 24 hs. registrada en el tiempo total de obser- vación
MICHOACAN:		
Apatzingán	1923-37	129.7 mm.
Uruapan	1922-37	127.5 mm.
Alvaro Obregón	1932-37	43.0 mm.
MORELOS:		
Tlayacepan	1926-31	216.0 mm.
Atlatlahuacán	1925-37	94.7 mm.
Apapasco	1928-37	70.3 mm.
NAYARIT:		
Isla María Madre	1922-30, 1934-36	302.0 mm.
Tepic	1922-37	204.8 mm.
Roseta	1931-37	108.0 mm.
NUEVO LEON:		
Las Enramadas	1927-37	244.5 mm.
Zaragoza	1927-37	244.0 mm.
Galeana	1924-32	61.2 mm.
OAXACA:		
Puerto Angel	1926-37	277.0 mm.
Salina Cruz	1921-37	221.8 mm.
Ejutla	1926-32	65.5 mm.
PUEBLA:		
Teziutlán	1921-37	268.0 mm.
Nexapa	1930-37	257.4 mm.
San Martín Texmelucan	1927-32	40.0 mm.
QUERETARO:		
Amealco	1927-37	200.0 mm.
El Doctor	1927-37	118.0 mm.
Cadereyta de Montes	1927-32	42.0 mm.

Estado: Población	Períodos de obser- vaciones no inte- rrumpidas	Altura máx. de precipita- ción en 24 hs. registrada en el tiempo total de obser- vación
T. DE QUINTANA ROO:		
Cd. Chetumal	1921-23, 1925-31, 1933-37	228.0 mm.
Cozumel	1932-37	182.0 mm.
SAN LUIS POTOSÍ:		
Peñitas Atascador	1927-37	320.0 mm.
Sta. Mónica Xilitla	1922-28, 1931-33	301.2 mm.
San Luis Potosí	1923-28, 1931-32, 1934-37	51.6 mm.
SINALOA:		
Guamúchil	1921-37	247.9 mm.
Mazatlán	1921-37	213.7 mm.
Choix	1921-37	110.0 mm.
SONORA:		
Carbó	1924-30, 1936-37	197.3 mm.
Minas Nuevas	1927-37	164.0 mm.
San Luis	1927-37	40.0 mm.
TABASCO:		
Comalcalco	1927-37	296.5 mm.
Villahermosa	1926-35	275.0 mm.
Cd. Obregón	1923-25, 1927-37	180.0 mm.
TAMAULIPAS:		
Hda. Sta. Elena	1923-37	375.0 mm.
Burgos	1927-37	280.0 mm.
San Vicente	1922-33	112.5 mm.
TLAXCALA:		
Nanacamilpa	1927-37	198.9 mm.
Apizaco	1926-31	150.0 mm.
San Luis Teolochalco	1927-33	44.5 mm.

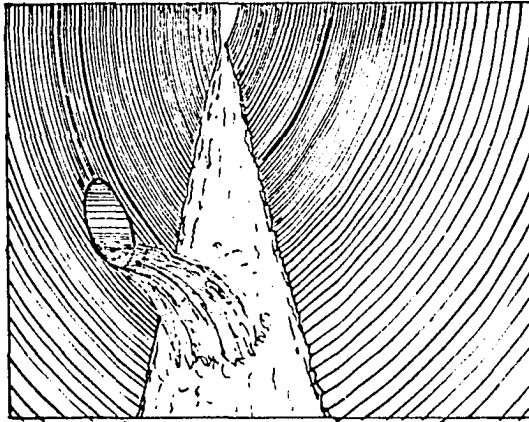
Estado: Población	Períodos de obser- vaciones no inte- rrumpidas	Altura máx. de precipita- ción en 24 hs. registrada en el tiempo total de obser- vación
VERACRUZ:		
Minatitlán	1922-28, 1931-37	890.0 mm.
Puerto México	1921, 1923-37	599.2 mm.
Alta Luz	1928-36	60.0 mm.
YUCATAN:		
Valladolid	1921-37	195.0 mm.
Oxkutzcab	1929-37	168.0 mm.
Cayo Arenas	1931-37	83.0 mm.
ZACATECAS:		
Sánchez Román	1931-37	90.0 mm.
Río Grande	1923-32, 1934-35	80.0 mm.
Cd. García	1927-37	28.4 mm.

NOTA: Únicamente se hace intervenir 3 poblaciones de cada Estado; siendo las 2 primeras, las de mayor precipitación pluvial y la última la menor registrada en dicho Estado.

La frecuencia y la intensidad de precipitación varían mu-
cho de mes a mes, y de año en año, y aún dentro de una zona afec-
tada por una misma tormenta; si sólo se leen algunos pluviómetros
distribuidos dentro del área, puede incurrirse en errores. Para -
mostrar idénticas intensidades se trazan mapas semejantes a los -
que se levantan para indicar las curvas de nivel (isoyetas).

Un ingeniero que proyecta puentes u obras de defensa -

contra las inundaciones, tiene que conocer la intensidad de las lluvias que cubren grandes extensiones y tienen duración de horas y días. Por otra parte, si proyecta alcantarillas o desagües pluviales, se interesará más en los aguaceros de alta intensidad y poca duración (de 5 minutos a 2 hs.), o sea lo necesario para alcanzar el punto de máxima creciente.



Se llama "tiempo de concentración" al tiempo necesario para que una gota de agua llegue a una alcantarilla o desagüe pluvial desde el punto más remoto de la cuenca.

Será necesario conocer ese tiempo si se basa el proyecto en el método llamado racional; se determina soltando un pedazo de papel en la parte más lejana de la vertiente durante el período

de un aguacero. Como alternativa puede efectuarse un reconocimiento de nivelación para determinar la velocidad de la corriente en las diferentes secciones de desagües naturales de la cuenca.

La siguiente tabla da los valores de tiempos de concentración de las precipitaciones para cuencas de zonas agrícolas típicas en terrenos ondulados.

TIEMPOS DE CONCENTRACION DE LAS PRECIPITACIONES
PARA CUENCAS DE ZONAS AGRICOLAS TIPICAS, EN
TERRENO ONDULADO

Tamaño de la Cuenca (Hr)	Tiempo mín. de concentración (Min)	Tamaño de la Cuenca (Hr)	Tiempo mín. de concentración (Min)
0.405	1.4	40.5	17
1.22	3.0	81	23
2.03	3.5	121.5	29
4.05	4.0	162	35
8.10	4.8	243	47
12.15	8.0	324	60
20.25	12.0	405	75

(Datos tomados del Manual de Drenaje ARMCO).

Aplicable a cuencas con 5% de pendiente, cuyo largo es 2 veces el promedio de su ancho.

El tiempo de concentración en áreas pavimentadas o zonas lisas, en donde ocurre el escurrimiento "despejado en láminas

de agua", lo mismo que en zanjas y cunetas, es menor que en tierras cultivadas.

"Frecuencia de las Precipitaciones"

Al ingeniero le interesa conocer tanto el escurrimiento máximo como su frecuencia; por economía, tal vez no se justificaría proyectar una obra para una intensidad de lluvia que ocurriera sólo una vez en 50 ó 100 años; mientras mayor sea la intensidad de una precipitación, menor será su frecuencia. La reconstrucción esporádica de las obras de drenaje, y las terracerías resulta económica comparada con el costo de una obra gigante.

Escurrimiento; Características de las Cuencas

Una vez determinada la probabilidad de precipitación, se debe estimar qué proporción afecta su diseño.

Características de las cuencas que gobiernan la cantidad y velocidad del escurrimiento:

1. - Clase y extensión de la vegetación o cultivo.
2. - Condiciones del suelo: seco, saturado, helado, permeable o impermeable.
3. - Declive y longitud de las laderas tributarias.
4. - Area y forma de la cuenca.

5.- Cantidad, disposición, pendiente y estado de los arroyos que desaguan la cuenca.

En la siguiente tabla, se ven los valores de impermeabilidad relativa.

Tipo de superficie	Factor I
Suelos impermeables	0.40 a 0.65
Suelos impermeables con césped	0.30 a 0.55
Suelos ligeramente impermeables	0.15 a 0.40
Suelos impermeables ligeramente, con césped	0.10 a 0.30
Suelos moderadamente permeables	0.05 a 0.20
Suelos moderadamente permeables, con césped	0.0 a 0.10

*Para pendientes de 1 a 2%

NOTA: Los cambios que ocurran en el uso del suelo durante la vida de una estructura de drenaje pueden aumentar el coeficiente de impermeabilidad desde un 50 hasta 100%. Las características de escurrimiento pueden ser muy diferentes aún en cuencas próximas unas a otras.

Diseño de Canales Abiertos

Es de suma importancia, el diseño de las zanjas, cunetas y otras obras, en las cuales se colocan los conductos de drenaje.

La siguiente fórmula fue desarrollada por Chezy para -
calcular el gasto Q, en canales abiertos:

$$V = c \sqrt{RS} ; Q = AV \text{ por lo tanto } Q = Ac \sqrt{RS} \quad \text{---} \quad 1$$

en donde:

Q = descarga en metros cúbicos en segundo

A = área de la sección de la corriente en m²

V = promedio de la velocidad del agua en m/s

C = coeficiente de rugosidad, cuyo valor depende del carácter de
la superficie sobre la que corre el agua.

R = radio hidráulico en m

$$R = \frac{\text{área de la sección}}{\text{perímetro mojado}} \left| \frac{\text{m}^2}{\text{m}} \right| = \text{m}$$

S = pendiente hidráulica

NOTA: La fórmula 1 se usa como base en la mayoría de las ecuaciones para calcular el gasto Q.

Fórmula de Manning

La fórmula de Manning, fue publicada en 1890. Da el valor "C", la que se usa en la fórmula de Chezy, de la siguiente forma:

$$C = \frac{R^{1/6}}{N}$$

Siendo la fórmula completa:

$$V = \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad \text{y por consiguiente} \quad Q = A \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

en donde:

S = pendiente en m/m (Adimensional)

R = radio hidráulico en m

n = coeficiente de rugosidad.

A continuación se presenta una tabla 1/ en donde se obtienen distintos valores de n según el tipo de recubrimiento; para zanjas anchas.

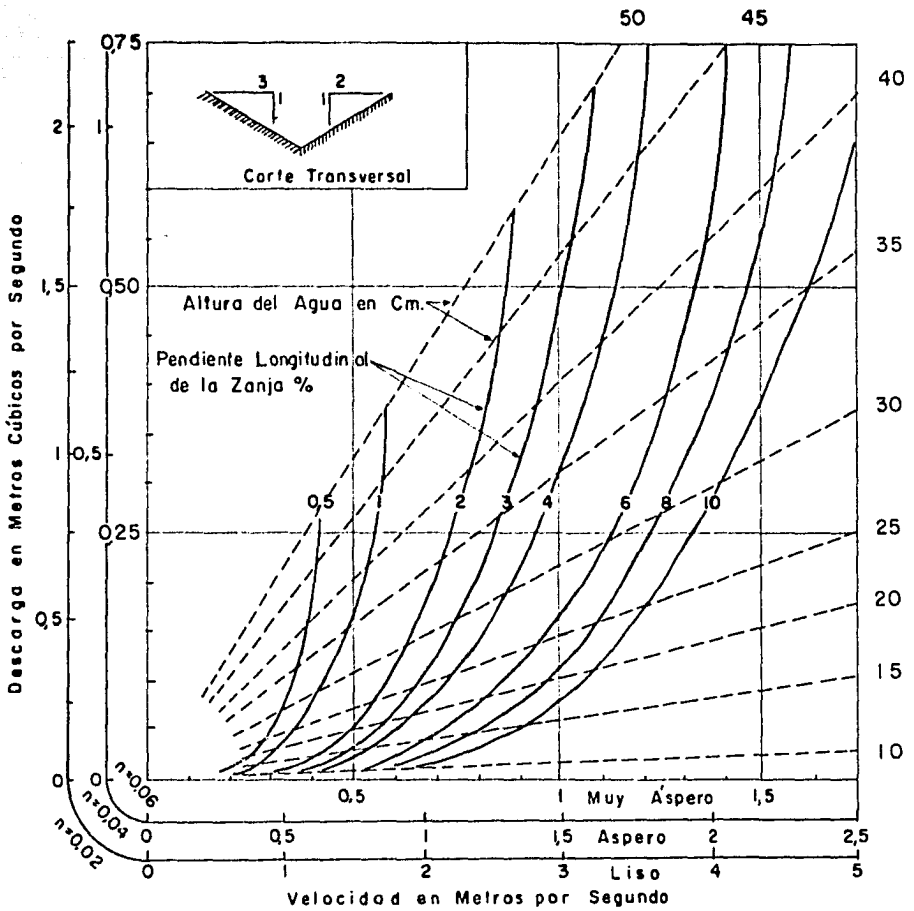
Tabla 1/

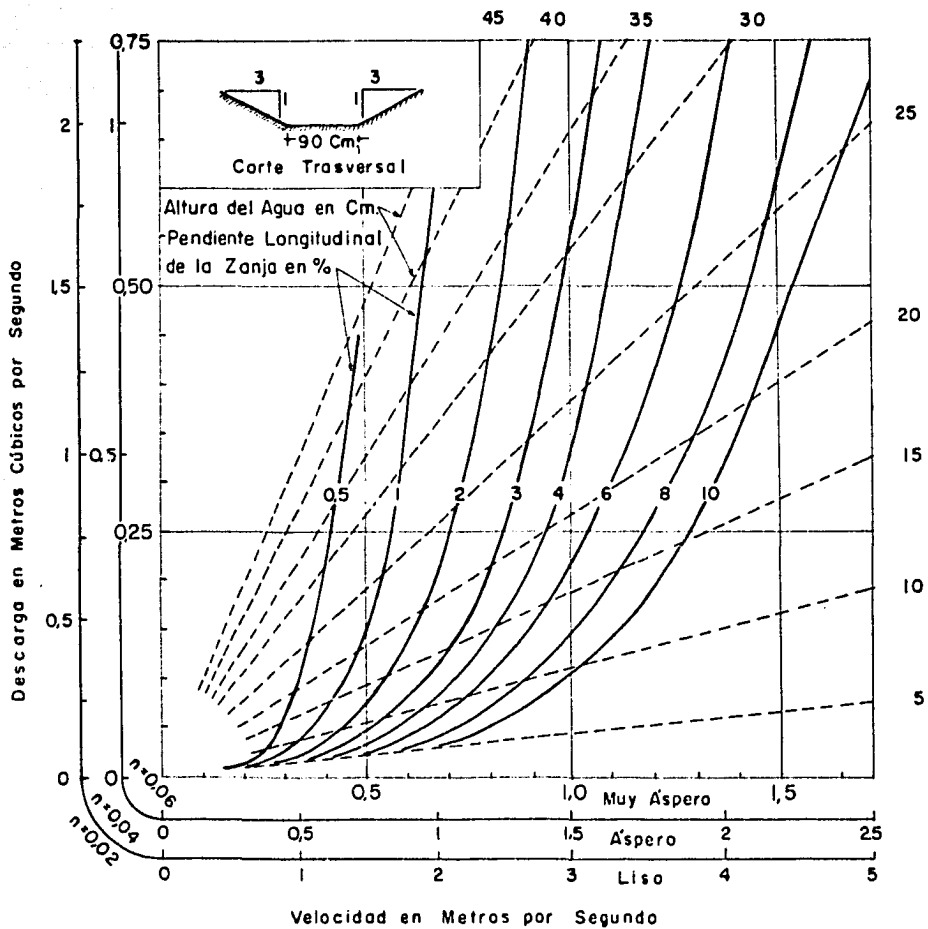
VALORES DE N PARA ZANJAS ANCHAS

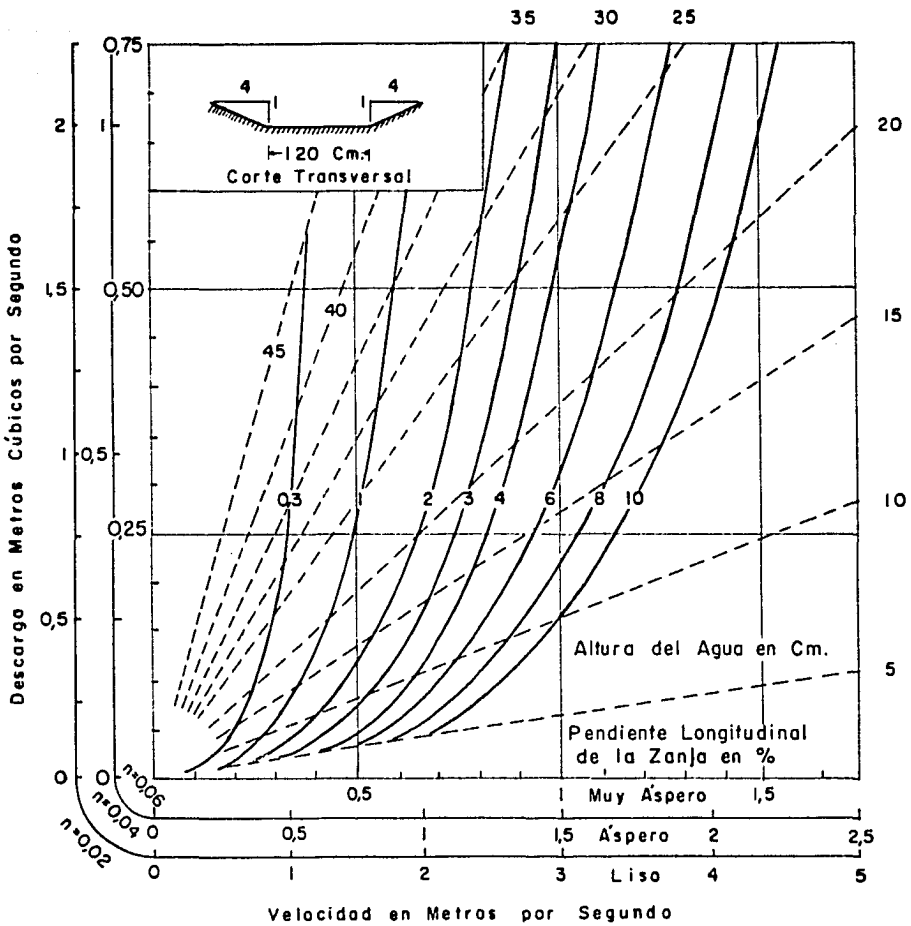
Tipo de Recubrimiento	" N " (Manning)
Tierra bien cernida y lisa.	0.020
Césped con más de 15 cm. de profundidad de agua.	0.040
Césped con menos de 15 cm. de profundidad de agua.	0.060
Revestimiento rugoso de piedra.	0.040
Cunetas pavimentadas de hormigón.	0.016

De: Ohio Hydraulic Treatise, 1947.

Los siguientes diagramas (1), (2), (3), dan el gasto, la







profundidad y la velocidad para varios anchos de fondo y diferentes pendientes de talud.

Para valores intermedios pueden obtenerse de las tablas de descarga en el "Handbook of Hydraulics" de King, también del "U.S. Bureau of Reclamation and Excavation Tables"; así como del "Hydraulic Elements of Trapezoidal Channels" de J. B. Brown, o, - simple y llanamente interpolando.

Las velocidades admisibles se dan en la tabla (2) para lechos de canales que han tenido bastante tiempo de uso.

La velocidad ideal será aquella que no cause ni erosión - ni obstrucción.

Fortier y Scobey llega a la conclusión de que la diferencia es mínima; pero supone cierta distinción entre los tipos de lechos de canales ya gastados y otras clases de superficies.

Nótese que las corrientes que llevan arenas, gravas así como fragmento de roca causan más erosión que el agua limpia, o aquella que lleve limo coloidal. (ARMCO).

Tabla 2/

**VELOCIDADES MAXIMAS Y ESFUERZO DE TRACCION
EN DISEÑOS DE CANALES ESTABLES**

Canales con Alineamiento Recto después de Años de Servicio
y con 90 cm. de profundidad

Material	n	Agua Limpia		Agua con líneas coloidales	
		Velocidad $\frac{m}{s}$	Esfzo. de *Tracción * Kg/m ²	Velocidad $\frac{m}{s}$	Esfzo de *Tracción * Kg/m ²
Arena fina coloidal	0.020	0.46	0.132	0.76	0.366
Marga arenosa no coloidal	0.020	0.53	0.181	0.76	0.366
Marga limosa no coloidal	0.020	0.61	0.234	0.91	0.537
Limo aluvial no coloidal	0.020	0.61	0.234	0.107	0.732
Marga firme ordinaria	0.020	0.76	0.366	0.107	0.732
Ceniza volcánica	0.020	0.76	0.366	0.107	0.732
Arcilla fuerte muy coloidal	0.025	0.114	1.269	0.152	2.246
Marga aluvial coloidal	0.025	0.114	1.269	0.152	2.246
Esquistos y arcilla compacta	0.025	0.183	3.271	0.183	3.271
Arena fina	0.020	0.76	0.366	0.152	1.562
Marga graduada a piedra redonda	0.030	0.114	1.855	0.152	3.222
Limo graduado a piedra	0.030	0.122	2.099	0.168	3.906
Grava gruesa no coloidal	0.025	0.122	1.465	0.183	3.271
Piedras y Lajas	0.035	0.152	4.443	0.168	5.370

(ARMCO)

* El esfuerzo de tracción o fuerza de corte es la que ejerce el agua en la periferia de un canal debido al movimiento del líquido. Las fuerzas indicadas en la tabla fueron calculadas de las velocidades dadas por S. Fortier y Fred C. Scobey para los valores indicados de "n".

Los esfuerzos de tracción sirven para los materiales indicados, y para cualquier profundidad de canal; para profundidades de más de 90 cm. pueden permitirse velocidades mayores que las indicadas aunque el esfuerzo de tracción es el mismo.

Diseño de Cunetas o Zanjas Laterales

Las zanjas colocadas a cada lado de un camino o FF.CC. sirven para interceptar el agua superficial que proviene del mismo, y de los taludes cuando existen cortes. En ciertos lugares, las cunetas sirven para almacenar la nieve que cae, o que se acumula al limpiar la vía.

Cuando las cunetas no sean satisfactorias o que sean peligrosas para el tránsito, convendrá pavimentarlas, entubarlas, o aislarlas colocando una defensa; generalmente son de sección abierta en forma de "V" o trapecial.

La forma en "V" puede ser construida y conservada, con una cuchilla niveladora, y aunque esto pueda resultar satisfactorio en FF.CC. de poca importancia, las medidas adecuadas de prevención de la erosión y el revestimiento del fondo de la zanja con césped impiden hacer uso de esa máquina.

La zanja de sección trapecial representa un cauce más

natural teniendo como consecuencia una mayor capacidad de descarga.

La profundidad de las pequeñas cunetas laterales fluctúa entre 30 a 60 cm. en algunos casos un poco mayores.

La capacidad de una cuneta puede aumentarse, ensanchándola en vez de profundizarla; de tal manera que se disminuya la velocidad y por ende, la erosión; aunque hay que considerar el aumento del costo. Se deberá tomar en cuenta, que el diseño de una cuneta lateral es aproximado y por consiguiente se tomarán las precauciones necesarias para compensar la falta de uniformidad de la sección transversal, la pendiente, las obstrucciones, y otros factores que puedan hacer variar el tiempo de vida útil considerado para el corte.

METODO PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE UNA ALCANTARILLA

Consideraciones Generales:

El diseño del tamaño y la forma de las alcantarillas se hace siguiendo métodos de aceptación general, los cuales varían mucho de acuerdo a los antecedentes y las prácticas de la localidad.

Una alcantarilla es un conducto que lleva agua a través de

un terraplén.

La diferencia entre una alcantarilla y un puente, consiste en que la parte superior de una alcantarilla generalmente no forma parte de la vía del ferrocarril, por el contrario, un puente es un "eslabón" de la vía.

Se ha considerado también, a una alcantarilla como una estructura cuya distancia entre estribos sea menor de 6 m.

Importancia de la Alcantarilla con relación al Costo

En primer lugar se tratará de evitar gastos ocasionados por diseños exagerados; aproximadamente el 10% más o menos del costo total de la obra se destina para pequeñas estructuras de drenaje (alcantarillas).

Consideraciones de Hidráulica

El agua superficial debe alejarse de un terraplén tan pronto como sea posible.

Para determinar si una alcantarilla o dren transversal es adecuado, son de importancia los factores siguientes:

- a) El alineamiento.
- b) La pendiente y los métodos de instalación.

Si una alcantarilla se obstruye, se disloca o se socava, es señal de que no tiene capacidad adecuada, ni presta el servicio que se esperaba de ella.

Generalmente una alcantarilla reduce el cauce de la corriente, ocasionando un embalse a la entrada y un aumento de velocidad por dentro y a la salida en donde se puede necesitar alguna protección contra la socavación y la erosión.

Las alcantarillas no deben diseñarse para que funcionen llenas, o con la boca de entrada sumergida.

En las raras ocasiones en que la boca de entrada quede sumergida, las aguas nunca deberán rebosar la vía férrea.

Existe una relación económica entre los siguientes factores:

- a) Conducto suficientemente amplio.
- b) Reparar la vía férrea en caso de rebose.
- c) Mantenimiento de las alcantarillas y zanjas laterales.
- d) Interrupción de tránsito.
- e) Seguridad de tránsito.

Estudio del Drenaje

El tamaño de una alcantarilla necesita un estudio que -

incluye lo siguiente:

a) Información sobre las características del escurrimiento de la cuenca (forma, pendiente, uso presente y futuro del terreno, etc.).

b) Area de la cuenca. El uso de planos topográficos es satisfactorio; si la cuenca es pequeña y visible, bastará una estimación aproximada.

c) Perfil del canal existente a la entrada y a la salida.

d) Sección transversal del canal de salida.

e) Sección transversal del terraplén en donde se colocará la alcantarilla.

f) Cotas de nivel a la entrada de la cuenca hasta el nivel más alto de las aguas, para determinar la capacidad de embalse.

g) Elevación máxima del agua en la llanura aguas abajo de la alcantarilla, sujeta a inundaciones causadas por cualquier corriente de agua.

h) Estudio de la resistencia a la erosión del lecho de los canales.

i) Posibilidad de cambio de cauce de las corrientes.

Los levantamientos aerotopográficos y las fotografías, - si se pueden obtener, son satisfactorios y pueden resultar menos

costosos que las nivelaciones para la determinación de varios de los puntos indicados con anterioridad.

Solo los puentes y las alcantarillas grandes son las únicas estructuras que justifican un alto costo de nivelación.

Hecha esta breve descripción, entremos a los métodos para la determinación del tamaño de una alcantarilla.

Métodos para determinar el tamaño de una Alcantarilla

De los métodos para determinar el tamaño de una alcantarilla citaremos los siguientes como más usuales.

1. - Inspección de estructuras viejas existentes aguas arriba o aguas abajo.
2. - Uso de fórmulas empíricas para determinar directamente el tamaño de la abertura requerida.
3. - Uso de fórmulas para hallar la cantidad de agua que llega a la alcantarilla, empleando luego una segunda fórmula para determinar el tamaño adecuado para descargar dicho caudal.

Veamos el primer procedimiento:

Determinación del tamaño por Inspección de las Estructuras Existentes.

El método más práctico para determinar el tamaño de una alcantarilla es investigar la estructura o estructuras viejas - existentes (aguas arriba o aguas abajo), aunque su tamaño haya si do determinado por cualquier método.

Nótese el tamaño, forma y la condición del canal, aguas arriba y aguas abajo, debiéndose investigar si la alcantarilla es - adecuada para dar paso al escurrimiento en tiempos de crecientes ocurridas en un período de 25 años o más.

Los vecinos viejos de la zona, o los encargados de su - conservación pueden suministrar datos sobre los niveles máximos de las crecientes y de la capacidad de la alcantarilla. Las estructuras construidas en época de sequía puede que no sean adecuadas, y los residentes cercanos tal vez estén interesados en que las aberturas de desagüe sean amplias, dando por resultado, que nos podrían dar datos exagerados al respecto.

SEGUNDO METODO:

Fórmula de Talbot

Debido a la simplicidad con que da directamente el tamaño de una alcantarilla, la fórmula de Talbot sigue gozando de popularidad.

Esta fórmula es empírica, basada en un gran número de observaciones efectuadas en el Medio Oeste de los Estados Unidos; y no toma en cuenta la intensidad de la lluvia (mm/hs), ni la velocidad del escurrimiento, ni otros factores racionales. No se conoce a ciencia cierta la intensidad máxima observada, pero se supone que fue de 100 mm. por hora.

La velocidad del escurrimiento fue variable, aproximadamente menos de 3 m. por segundo.

La fórmula de Talbot da directamente el área de la alcantarilla requerida:

$$A = 0.183 \times C \times \sqrt[4]{M^3}$$

en donde:

A: área libre del tubo en m²

M: área que se desea drenar en hectáreas

C: coeficiente que depende del contorno del terreno drenado; para diversas condiciones de topografía se recomiendan los siguientes valores:

C = 1, para terrenos con suelo rocoso y pendientes abruptas.

C = $\frac{2}{3}$, para terrenos quebrados con pendientes moderadas.

C = $\frac{1}{2}$, para valles irregulares, muy anchos en comparación de su largo.

$C = \frac{1}{3}$, para terrenos agrícolas ondulados, en los que el largo -
del valle es de 3 a 4 veces el ancho.

$C = \frac{1}{5}$, para zonas a nivel, no afectadas por acumulación de nieve
o inundaciones fuertes.

Para condiciones más favorables, o terrenos con drena
je subterráneo, se disminuye C en un 50%; pero aumentese C para
laderas con pendientes pronunciadas, o cuando la parte alta del va-
lle tenga un declive muy superior al del canal de la alcantarilla.

A continuación se anexa un gráfico para la solución de la
fórmula de Talbot; así como una tabla de Hectáreas Drenadas por -
Tubos de Varios Diámetros.

HECTAREAS DRENADAS POR TUBOS DE VARIOS DIAMETROS

(Fórmula de Talbot)

Diámetro en Centímetro	Area en Me tros cuadra dos	Clase de Terreno		
		Montañoso C = 1	Ondulado C = 1/3	Llano C = 1/5
30	0.073	0.3	1.2	2.4
38	0.114	0.4	2.4	4.4
46	0.164	0.8	3.6	7.3
53	0.223	1.2	5.7	11.3
61	0.292	2.0	8.1	15.8
76	0.456	3.2	14.6	28.7
91	0.658	5.7	23.9	46.5
107	0.894	8.1	36.0	70.8
122	1.171	11.7	50.6	101.2
137	1.477	16.2	70.8	139.6
152	1.821	22.3	93.1	184.1
168	2.211	28.3	119.4	236.7
183	2.629	34.4	151.8	297.4
198	3.084	42.5	186.2	368.3
213	3.577	52.6	226.6	449.2
229	4.106	64.7	275.2	542.3
244	4.673	76.9	323.7	643.4
259	5.268	89.0	380.4	752.7
274	5.909	101.2	445.1	878.2
290	6.587	117.4	513.9	1015.8
305	7.293	137.6	586.8	1161.4
320	8.045	153.8	671.8	1323.3
335	8.826	174.0	760.8	1501.4
351	9.652	198.3	853.9	1691.6
366	10.507	222.6	959.1	1893.9
381	11.399	246.9	1068.4	2108.4
396	12.328	275.2	1185.7	2339.1
412	13.294	303.5	1311.2	2590.0
427	14.298	331.8	1444.7	2853.0
442	15.338	368.3	1586.4	3132.3
457	16.416	400.6	1736.1	3431.7

A continuación exponemos un ejemplo para resolver un problema empleando la gráfica de la fórmula de Talbot.

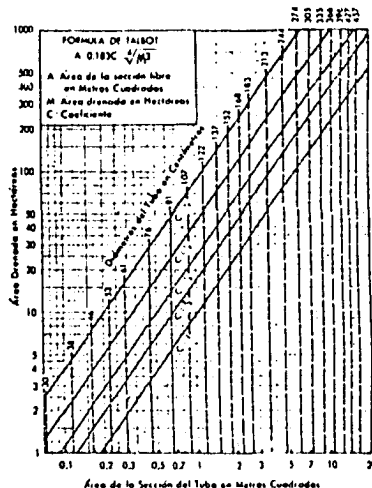
Se requiere drenar 50 hectáreas de terreno llano; supón_gase para $C = \frac{1}{5}$.

Deseamos pues, encontrar la sección adecuada de la alcantarilla.

Solución:

Hállese la intersección de la línea de 50 hectáreas con - la curva $C = 1/5$ de la gráfica; de la intersección bájese a la abscisa en donde se lee 0.70 m^2 . Ahora bien en la tabla de "Áreas Drenadas por Tubos", se busca la abertura más próxima a 0.70 m^2 ; - dándonos en nuestro caso particular 0.658 m^2 que corresponde a una alcantarilla de 91 cm. de diámetro, que es el más aproximado a los que se fabrican.

DISEÑO DEL TAMAÑO Y FORMA DE LAS ALCANTARILLAS Y DREMS TRANSVERSALES 243



A continuación exponemos un ejemplo para resolver un problema empleando la gráfica de la fórmula de Talbot.

Se requiere drenar 50 hectáreas de terreno llano; supón gase para $C = \frac{1}{5}$.

Deseamos pues, encontrar la sección adecuada de la alcantarilla.

Solución:

Hállese la intersección de la línea de 50 hectáreas con la curva $C = 1/5$ de la gráfica; de la intersección bájese a la abscisa en donde se lee 0.70 m^2 . Ahora bien en la tabla de "Áreas Drenadas por Tubos", se busca la abertura más próxima a 0.70 m^2 ; - dándonos en nuestro caso particular 0.658 m^2 que corresponde a una alcantarilla de 91 cm. de diámetro, que es el más aproximado a los que se fabrican.

DISÑO DEL TAMAÑO Y FORMA DE LAS ALCANTARILLAS Y DRENAJES TRANSVERSALES 743

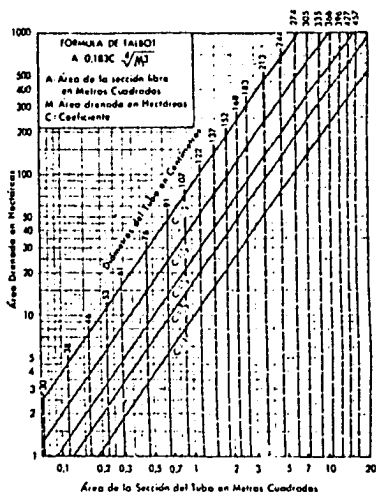


Fig. 162 - Gráfica para la solución de la fórmula de Talbot

CAPITULO III

DRENAJE LONGITUDINAL

DRENAJE LONGITUDINAL

Contracunetas

Definición:

Son zanjas que se hacen en lugares convenientes con el fin de evitar que llegue a las cunetas más agua que aquella para la cual estén proyectadas.

El objeto principal de las contracunetas, es controlar, - encauzar y desviar las aguas que escurren aguas arriba del F.C.

Las contracunetas, antiguamente se hacían observando una Sección Convencional a pocos metros del cero del corte y rara vez se protegían contra la erosión del agua. Esto ocasionaba en la mayoría de los casos que:

- a) Se produjera (en cierta clase de materiales) el des-
conchamiento, debido a filtraciones.
- b) Permitían filtraciones que podían originar (en la tem-
porada de lluvias) fallas en los cortes.
- c) En frecuentes casos, la erosión fue de tal importan-
cia que se profundizó hasta llegar a separar cierta masa de mate-
rial que con el tiempo había que removerse por amenazar invadir

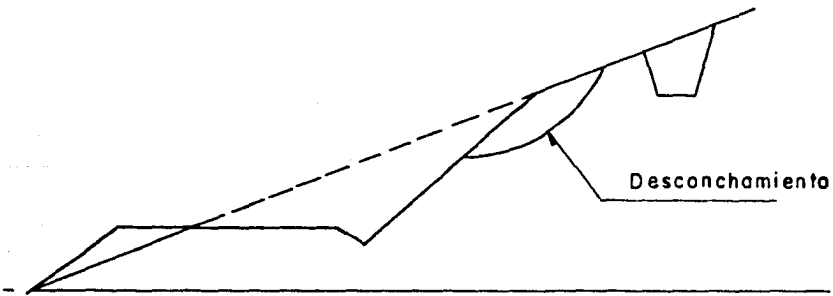
el camino en un momento dado.

d) Consecuentemente con el inciso c), llega a la boca o toma de la alcantarilla, cierta cantidad de material que puede tapar la obra. Este taponamiento provoca un embalse que es origen, casi siempre, de asentamientos fuertes o fallas en los terraplenes; - como se muestran en las figuras.

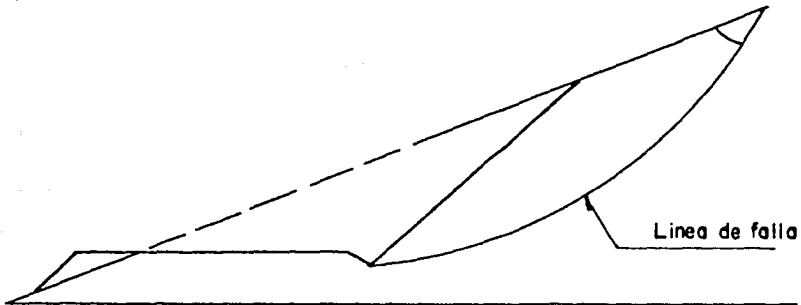
a) Desconchamientos

Desconchamiento

Fallas frecuentes originadas por las contracunetas sin -- proteger o impermeabilizar.

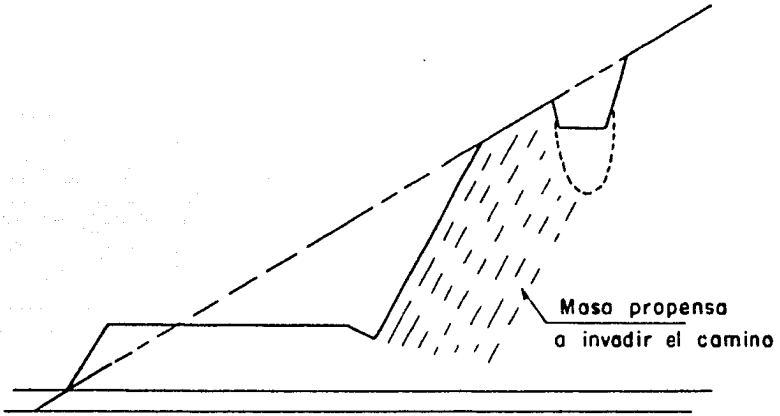


b) Falla en el corte

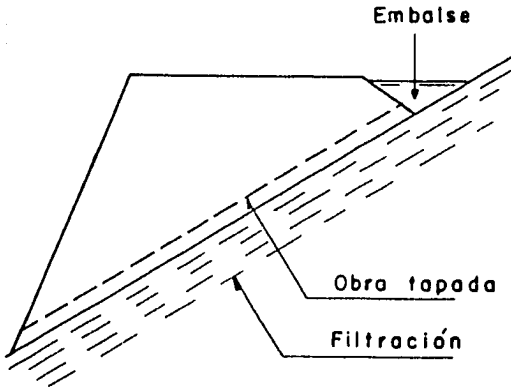


línea de falla

c) Profundización de contracuneta por erosión



d) Asentamientos o falla del terraplén por obra tapada



Las fallas anteriores, se deben principalmente a:

1. - Falta de una buena impermeabilización que impidiera las filtraciones.

2. - No se tomaba en cuenta la clase de material en donde se hacía la excavación de la obra.

3. - La cercanía al cero del corte.

4. - Que nunca se tomó en cuenta la clase de los materiales. La velocidad controlada, de acuerdo con ciertas pendientes, - podía haberse evitado la erosión del fondo de la contracuneta (el caso "C").

5. - Una defectuosa mano de obra al construir el zampeado de la contracuneta careciendo además en la mayoría de los casos de una obra adecuada para recibir el agua interceptada, en la parte baja antes de entrar a la alcantarilla.

Bordo de Arcilla Compactada como Obra de Substitución de la Contracuneta

Esta obra está basada en las experiencias ancestrales - (desde tiempos prehispánicos a la fecha) sobre el terraceo de terrenos con pendientes, que permiten detener el movimiento o traslación de partículas de suelo. Estos bordos interceptan los escurrimientos que bajan por la línea de máxima pendiente y haciéndolo

los cambiar de dirección, reduce considerablemente la energía adquirida (velocidad) en el agua, provocando un escurrimiento lento.

Estos bordos siguen prácticamente una línea de nivel.

El adaptamiento de estos bordos como substitutos de las contracunetas se estima efectivo y económico, pues la construcción de estos se obtiene a muy bajo costo.

* El bordo no debe ser construído con material de excavación; sino debe ser construído con material del corte o en su defecto, de material prestado o acarreado, y sobrepuesto en el lugar indicado, según proyecto previamente elaborado.

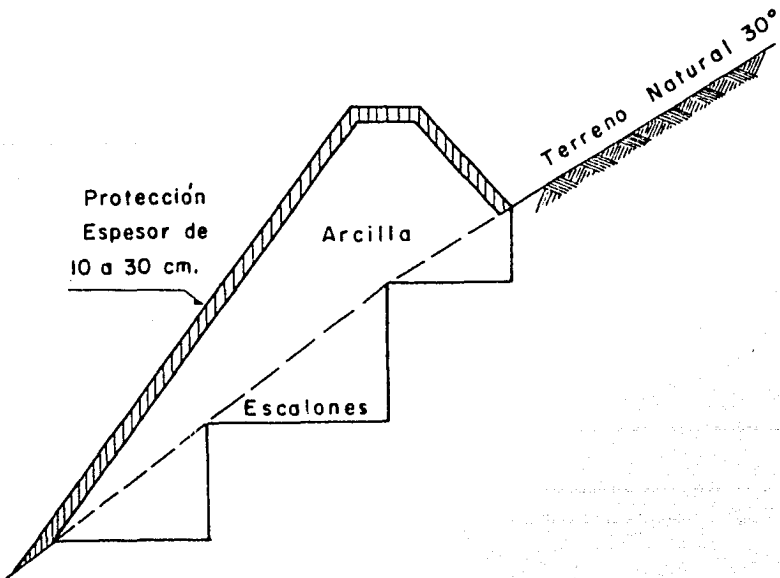
* (Recomendación de la Oficina de Estudios de Puentes y Obras Menores del Depto. de Vías Terrestres).

Se hace hincapié en este punto, para hacer notar que ya se tomaba en cuenta que la excavación aguas arriba del bordo, podría originar las temidas filtraciones, al descubrir el material, quitándole la protección natural de la hierba o pasto. Esta recomendación podría ser nula en el caso de suelos impermeables en donde cabe formar el bordo con material de excavación.

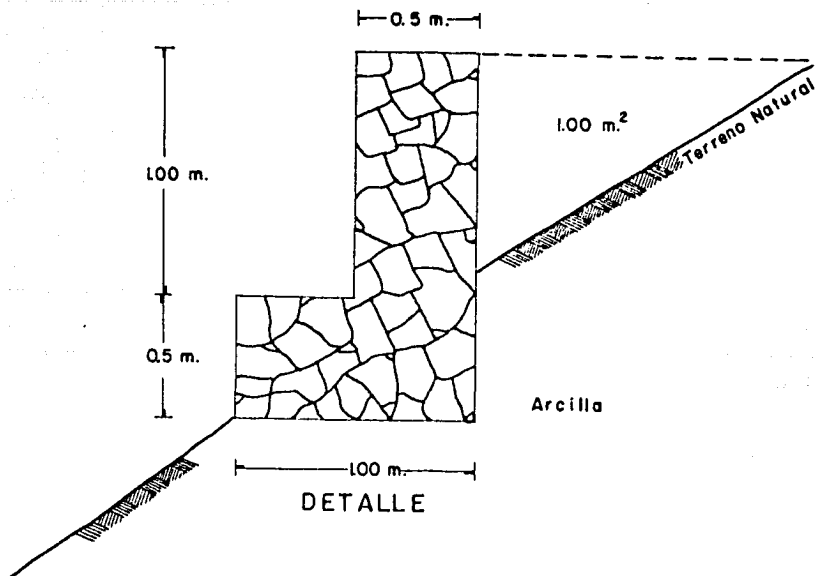
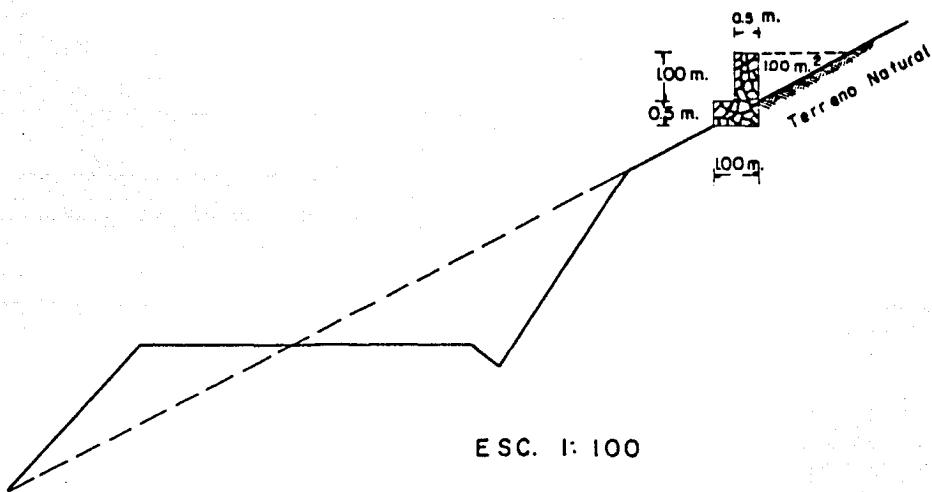
Los bordos se protegen en las puntas (en la parte final),

ya sea con zampeado seco, zampeado normal o mezcla asfáltica, - además de escalonar los interceptores; para evitar que el bordo se aleje bastante del camino, debido a la baja pendiente con que se -- proyecta hacer escurrir el agua interceptada.

DETALLE DEL REMATE DE BORDOS CON PROTECCION QUE PUEDE SER DE MEZCLA ASFALTICA, CONCRETO (10 a 15 cm.) ó PIEDRA (ZAMPEADO DE 30 cm.)



GAVIONES



ESC. 1: 20

Gaviones

Son obras capaz de substituir en su funcionamiento a las contracunetas.

El uso de gaviones es frecuente para defender de la acción erosiva del agua, terrenos que son atacados por ésta.

En México se han utilizado en las torrenteras de La Malinche y en defensa de las márgenes de los grandes arroyos que se forman en el Valle de Tlaxcala, a la altura de la población de Santa Ana Chautempan.

En Europa, su uso se extiende a la construcción de caminos, substituyendo muros rígidos de contención, obras de sub-drenaje y cunetas así como contracunetas.

Contracunetas Zampeadas

Indudablemente que la solución a la mayoría de los problemas que presenta la construcción de contracunetas, es la de revestirlas con piedra, pudiéndose anotar las siguientes ventajas:

a) Posibilidad de obras cortas por permitir fuertes pendientes.

b) Garantía de un fuerte porcentaje de casos, de que se evitarán filtraciones.

c) Debido a las fuertes pendientes que se pueden admitir, la obstrucción de área de la sección es casi nula pues las fuertes velocidades que adquiere el agua al trabajar la obra no permite una sedimentación importante. El costo de sedimentación es muy bajo.

d) El efecto de zampeado en la contracuneta es el de una impermeabilización bastante buena que permite acercarla a unos cuantos metros del cero del corte del camino. Esta cercanía al borde del talud del corte permite que la alteración de humedad en la cuña de material entre la contracuneta y el talud del camino, sea de poca importancia por lo que los desconchamientos que puedan producirse, son consecuentemente de poca importancia.

Veamos ahora qué desventajas tienen.

Desventajas:

a) El costo.

Debido a que esta obra representa un número de metros lineales muy elevado, el costo por este concepto es sumamente importante.

b) Dificultad para conseguir la piedra. En casos como en el Sureste de nuestro país se tenía que acarrear desde muchos kilómetros de distancia al camino del Circuito del Golfo, en el tramo de Coatzacoalcos-Campeche; motivo por el cual en estos tramos no se hicieron contracunetas originalmente.

c) Dificil control de la mano de obra pues el acuañamiento o acomodamiento de las piedras entre sí para que formen una masa que pueda considerarse monolítica, es difícil de censurar y solamente cuando el agua (sobre todo en la parte baja en donde terminan las contracunetas) levanta alguna piedra, con lo cual empieza la destrucción total de la obra, se ve que el trabajo de mano de obra es defectuosa.

d) En los casos en que el suelo es arcilloso no es recomendable la contracuneta zampeada, porque se ha visto a través de la experiencia que el comportamiento del material arcilloso en presencia del agua así como en ausencia de ésta, pone en peligro cualquier obra rígida. Las dilataciones y contracciones del material, empiezan por fracturar las juntas entre piedra y piedra, produciéndose grietas por donde se introduce el agua, la que reblandeciendo el material arcilloso, ocasiona el desacomodamiento de las piedras. El siguiente paso lo hace la velocidad del agua al escurrir

por la contracuneta, dañando parcialmente, sino totalmente, la protección de piedra.

Bordo de Arcilla.

Ventajas:

- a) Bajo costo
- b) Fácil y rápida construcción
- c) Propicia el crecimiento de hierba y es fuente hasta - cierto punto, de humedad controlada.
- d) Facilidad de encontrar material pues no necesita de un material específico para su construcción. Se pueden hacer de - material heterogéneo. Los mismos escurrimientos sellan con el material de arrastre, la porosidad del bordo.

Desventajas:

- a) Posible destrucción parcial por animales como topos, ratas, etc...
- b) Alargamiento de la obra por no resistir pendientes - fuertes.

Gaviones

Ventajas:

- a) Obra de costo barata.
- b) Tiene como característica principal que siendo una obra bastante elástica se acomoda a las sinuosidades del terreno y no existe posibilidad de falla por socavación en la base, así como la conservación por los deterioros que puedan sufrir en el trabajo, (después de una temporada de lluvias o avenidas) es casi nula.
- c) Fácil construcción.
- d) Rápida construcción.

Desventajas:

- a) Obra limitada a las zonas en donde se encuentre piedra en abundancia.
- b) Dificultad en encontrar en el mercado las mallas de alambre recomendadas por las Especificaciones de Gaviones.
- c) Obra expuesta a la destrucción por el hombre. La malla de alambre es en el campo, sin duda, motivo de tentación al robo con las consecuencias ya expuestas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA CONTRACUNETAS PROTEGIDAS CON ZAMPEADO, GAVIONES Y BORDOS

Recomendaciones Necesarias al Diseño

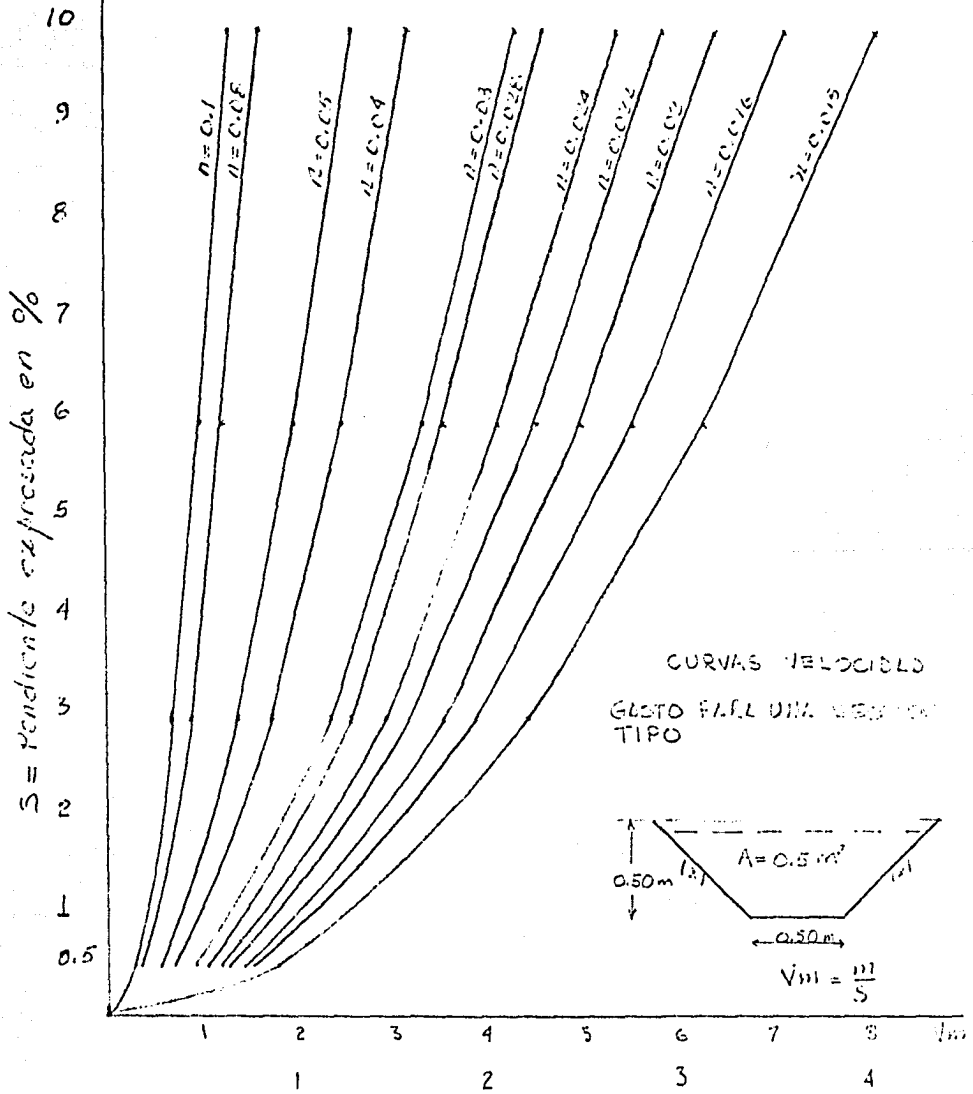
1.- Conviene estudiar un perfil especial para que el escurrimiento del agua no dañe la pata o terminación del zampeado. También para ciertos casos, será necesario diseñar obras adicionales como desarenadores, que eviten la obstrucción de la alcantarilla del camino.

2.- Desde luego, se sobre entiende que las contracunetas zampeadas se construirán en aquellos lugares en donde se pueda conseguir piedra fácilmente. Esta decisión anula por completo la protección con gaviones.

3.- Para aquellos lugares en donde la piedra sea difícil de conseguir, sí conviene tener como alternativa la construcción de los bordos en lugar de contracunetas zampeadas.

4.- Las excavaciones sólo se harán en suelos impermeables. Existe también la posibilidad de diseñar contracunetas sin protección de piedra. Estas se proyectarán en lugares donde el material insitu sea arcilloso y por lo tanto impermeable. El diseño de una contracuneta como la que se indica requiere de cierto conocimiento de los materiales y aplicar así tanto la gráfica de velocidades que se adjunta, como la tabla de "Velocidades Críticas"; a

GRÁFICO DE VELOCIDADES PARA DIFERENTES VALORES DE n EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE EXPRESADA EN %



$$Q = \frac{m^3}{s}$$

fin de darle las pendientes máximas que puedan resistir los materiales que formen los bordos o que se encuentren al hacer la excavación de las contracunetas, con objeto de hacer la obra lo más corta y económica posible.

VELOCIDADES MAXIMAS DE FONDO QUE NO EROSIONAN

Clase de Material	Vm $\frac{m}{s}$
Tierra arenosa muy fina o limo suelto	0.15
Arena	0.30
Tierra arenosa ligera, 15% de arcilla	0.37
Barro arenoso ligero, 40% de arcilla	0.55 a 0.61
Arena gruesa	0.46 a 0.61
Tierra suelta con grava	0.76
Barro	0.76
Tierra o barro compacto, 65% de arcilla	0.92
Barro arcilloso estable	1.22
Arcilla con grava, compactas	1.52 a 2.14
Arena compacta, jaboncillo	1.83
Conglomerados esquistos, pizarras	1.98
Rocas estratificadas	2.44
Guijarros, cantos rodados chicos	2.44 a 4.57
Roca dura	4.07
Concreto	4.57 a 6.10

CUNETAS

Las cunetas son elemento fundamental del drenaje de un F.C. con cualquier tipo de balasto. Están constituidas por canales que en el límite de la corona del terraplén, en los cortes, recogen el agua que cae sobre la superficie, así como la que cae en los taludes y la alejan lo más pronto posible de la zona del corte.

Toda cuneta debe cumplir en todo tiempo la acción para - la que fue construída eliminando rápidamente el agua que recoja, pa - ra ello ha de tener la sección y la pendiente precisas; el agua debe - escurrir a la velocidad conveniente para que no se produzcan depósi - tos ni se erosionen los taludes de la misma.

La naturaleza del suelo en el cual esté alojada la cuneta, marcará el límite máximo para evitar la erosión pudiendo conside - rar para ello las siguientes velocidades:

Arenas y limos	0.50 a 0.75 m/s
Arcillas	0.75 a 1.00 m/s
Grava con limos	1.00 a 1.50 m/s
Pizarras, rocas, etc.	1.50 a 2.0 m/s

Cuando la pendiente del camino imponga velocidades ma - yores, que no pueden ser soportadas por los suelos, según la tabla anterior, se tendrá que revestir las cunetas o adoptar construccio - nes especiales, tales como rápidas, espolones, etc...

La velocidad mínima tiene menos importancia, pues los depósitos que se forman en la cuneta podrán ser limpiados ya sea a mano, o bien a máquina, una máquina limpiadora de cuneta ope - rada eficientemente puede hacer este trabajo, eficientemente. Pos

teriormente el material sacado de la cuneta se carga en vagonetas o armones y se despeja la superficie del F.C.

En los terraplenes, para evitar la erosión, se procurará proteger la terracería con guarniciones de tierra, mampostería, concreto hidráulico, concreto asfáltico. Una sección que da buenos resultados y además es económica tiene de base 50 cm., de corona 20 cm. y altura 30 cm.; debiendo construirse por capas, dándoles una compactación, para que sea estable. Con el tiempo, esta guarnición se llenará de hierba, la que le dará mayor resistencia.

Taludes

Los taludes en un terraplén próximos a la vertical se erosionan fácilmente, en especial en tipo de suelos blandos o deleznales, siendo esto muy peligroso para el tránsito, pues taludes al principio estables pueden dejar de serlo por motivos de la erosión, siendo la corrección muy costosa.

De ahí que es preferible darle a los terraplenes en zonas lluviosas taludes de 3 a 1 o más, si es necesario, naturalmente que el aspecto económico regularizará el límite máximo que debe darse a los taludes, ya que entre más tendido sea un talud, mayor será el movimiento de tierras que habrá de efectuarse.

Los taludes tendidos son más estables y menos erosionables por la acción de las lluvias, más económica la conservación y más seguros para el tránsito en caso de accidentes.

Para que una terracería no sea perjudicada por las lluvias, la pendiente transversal de la corona, deberá tener cierta pendiente con objeto de que el agua escurra fácilmente y no penetre en la terracería y además que no sea erosionada la superficie. Esta pendiente transversal llamada bombeo es suficiente con el 2%.

La razón de estas pendientes del eje a los lados de la vía, es la necesidad de eliminar rápidamente el agua de lluvia haciendo que corra a la cuneta.

Por ningún motivo deberá deshierbar el acotamiento de las terracerías de un F.C. con cuchilla cortadora, perjudicaría ésta la estabilidad del mismo y el agua penetra fácilmente en el cuerpo de la terracería.

Cuando existe pendiente longitudinal no debe anularse la transversal, porque entonces el agua seguiría la dirección del eje del camino, adquiriendo grandes velocidades y esto perjudicaría la superficie de la terracería, la pendiente longitudinal tampoco debe ser nula por la misma razón.

La cuneta no debe tener sus taludes muy pendientes, pues puede resultar peligroso para la estabilidad de la estructura, por ello el talud interior debe tener una inclinación de 3 a 1 (horizontal-vertical) que la experiencia ha demostrado que es la más conveniente y la profundidad de 0.33 m. el talud exterior puede variar según sea el material del corte.

Efectos del Agua con una Terracería

Al aumentar la porción del agua contenida en un terraplén por el aumento del agua de lluvia que penetra, cambian las características mecánicas del suelo, especialmente su resistencia al esfuerzo cortante, produciéndose deformaciones en la terracería que a veces producen deslizamientos de los taludes que antes eran estables.

En algunos casos, en ciertos suelos arcillosos, el aumento de la proporción de agua da lugar a fenómenos de aumento de volumen.

Como el agua puede llegar al F.C. al caer directamente el agua de lluvia sobre él o bien a través de él, las obras de defensa se clasifican en drenaje superficial y drenaje subterráneo.

A veces el agua superficial queda detenida por el terraplén que forma el F.C., puede correr a lo largo de él erosionando

su base, y si no fuese así, al quedar embalsada satura al terraplén en la parte más peligrosa pudiendo llegar a deslizarse. Por tal motivo en los talwegs se rellenará la zona que queda entre el terreno natural del talweg y el terraplén del camino quedando una explanada que pueda ser fácilmente drenada.

La construcción de las contracunetas deberá hacerse simultáneamente al ataque de los cortes.

Humedad del Suelo

Los estudios hechos en las subrasantes de un F.C. han hecho resaltar el hecho de que el acceso de humedad es en la mayor parte de los casos, la causa de una cimentación defectuosa y la destrucción de la superficie de las terracerías trayendo como consecuencia el alto costo de la reparación de la vía. El agua llega a la subrasante por filtración, escurrimiento, manantiales, mantos -- freáticos, capilaridad, etc...

Clases de Humedad del Suelo

La humedad del suelo proviene de 3 orígenes:

1. - Acción de la gravedad.
2. - Capilar.
3. - Higroscópica.

1. - El agua que corre por gravedad se encuentra libre para moverse por la acción de dicha fuerza. Es la única que puede extraerse por medio de drenaje.

2. - El agua capilar se adhiere por tensión superficial a las partículas del suelo, llegando a dichas partículas ya sea cuando el agua libre pasa a través del suelo o por atracción capilar desde un estrato mojado a otro más seco.

La gravedad no tiene influencia sobre esta agua que puede moverse hacia arriba o en cualquier otra dirección, y aún cuando no puede extraerse por medio del drenaje, si puede controlarse haciendo bajar el manto freático

3. - La humedad higroscópica es la que se condensa de la atmósfera sobre la superficie de las partículas del suelo y se combina con él. No puede extraerse en su totalidad excepto mediante calor excesivo. Esta agua tiene poca o ninguna importancia para el ingeniero encargado de un F.C., excepto en aquellos casos en los cuales esta propiedad hidrófila del material se produce con fuerte cambio volumétrico en las terracerías, en cuyo caso la única solución es la substitución.

Agua Capilar

Cuando las partículas de un suelo son suficientemente fi

1. - El agua que corre por gravedad se encuentra libre para moverse por la acción de dicha fuerza. Es la única que puede extraerse por medio de drenaje.

2. - El agua capilar se adhiere por tensión superficial a las partículas del suelo, llegando a dichas partículas ya sea cuando el agua libre pasa a través del suelo o por atracción capilar desde un estrato mojado a otro más seco.

La gravedad no tiene influencia sobre esta agua que puede moverse hacia arriba o en cualquier otra dirección, y aún cuando no puede extraerse por medio del drenaje, si puede controlarse haciendo bajar el manto freático.

3. - La humedad higroscópica es la que se condensa de la atmósfera sobre la superficie de las partículas del suelo y se combina con él. No puede extraerse en su totalidad excepto mediante calor excesivo. Esta agua tiene poca o ninguna importancia para el ingeniero encargado de un F.C., excepto en aquellos casos en los cuales esta propiedad hidrófila del material se produce con fuerte cambio volumétrico en las terracerías, en cuyo caso la única solución es la substitución.

Agua Capilar

Cuando las partículas de un suelo son suficientemente fi

nas los conductos capilares son tan pequeños que la capilaridad es más poderosa que la gravedad. El subdrenaje no extrae el agua capilar directamente, pero sí limita la altura a que pueda subir; para este caso, el subalasto le sirve de capa cortante del efecto capilar.

Subdrenaje de F.C.

El subdrenaje de un F.C. es sumamente importante, ya que todas las superficies del camino dependen para su apoyo de la capa de tierra que se encuentra debajo. Si dicho apoyo es débil, o si no tiene uniformidad es incapaz de desempeñar esta función. Mas aún, si se construyen superficies mejoradas sobre suelos que durante ciertas estaciones se encuentren sujetas a grandes cambios de volumen, no solamente faltará el apoyo, sino que pueden desarrollarse ciertos esfuerzos destructores contrarios que darán como resultado levantamientos considerables, fallas excesivas u otros perjuicios similares.

Para la condición de manto freático a nivel, puede abatirse el nivel de dicho manto más allá del límite capilar efectivo por medio de tubos para subdrenaje, instalados en zanja rellena por material permeable, o por medio de las capas filtrantes.

Es evidente que el proyecto del F.C. debe comenzar con la subrasante y que las medidas preventivas eficaces durante las etapas iniciales de la construcción, se reflejarán en una mayor economía en la conservación y mayor velocidad de operación.

Las investigaciones del suelo para localizar el agua libre, muestran algunas de las condiciones siguientes:

- a) Filtración en ladera
- b) Manto freático a nivel
- c) Escurrimientos superficiales

Dependiendo de la clase de suelo, el agua capilar puede subir cuando se presentan las primeras dos condiciones agravando los perjuicios en la subrasante.

Las filtraciones en ladera deben ser interceptadas antes que el agua entre al área del F.C.

Protección de los Taludes de los Cortes contra la Erosión

Los daños que pueda causar el agua que escurre sobre los taludes de los cortes, depende del tipo de material, de la velocidad del agua, del gasto, de la duración, aún cuando también tiene influencia la altura del corte.

La cantidad de agua a su vez depende del área de la cuenca, la cual generalmente no es grande ya que está limitada, aguas arriba por la contracuneta, a menos que no se haya construido ésta.

Cuando se presenta esta condición, combinada con cortes sobre materiales de baja resistencia a la erosión, tales como arenas limosas (SM) o limos arenosos (ML), se tienen los mayores problemas de erosión.

Para resolver estos problemas, debe tenderse a proyectar un talud lo más vertical que sea posible, a fin de presentar la menor superficie expuesta a la precipitación pluvial directa. Al parecer, en materiales como los descritos anteriormente solo será posible llegar a taludes del orden 1:1, sin embargo, hay algunos casos en los que la humedad de estos materiales durante todo el año es tal, que por acción capilar, les proporciona una cohesión aparente, pero permanente, que les permite soportar taludes prácticamente verticales.

Por otra parte, se debe tratar de reducir en lo posible la velocidad del agua que escurre, lo cual se ha logrado propiciando la vegetación sobre la superficie de escurrimiento, especificando que el desmonte del derecho de vía se limite a cortar árboles grandes cercanos a los cerros del corte que puedan provocar derrumbes

y sembrando pasto o vegetación propia de la región sobre el talud del corte abierto. En casos de cortes sobre arenas muy poco limosas o caolines sobre todo si se encuentran en zonas de alta precipitación pluvial se debe llegar al extremo de tener que recubrir con tepes la superficie del corte inmediatamente después de que éste es abierto.

"Lavaderos sobre los Taludes de los Cortes"

Un caso especial de escurrimiento sobre taludes de cortes es el que se tiene cuando el corte involucra un pequeño cauce, que aunque siempre su corriente debe ser captada y desalojada antes de llegar a los cerros del corte, logra captar agua suficiente para provocar fuertes erosiones y en ocasiones derrumbes. Para evitar lo anterior es conveniente construir un lavadero ya sea de mampostería o de 1/2 sección de tubo metálico. En el caso de tener un gasto fuerte puede llegar a necesitarse un tubo de sección completa que controle el agua.

Estos lavaderos deben descargar en una caja de concreto capaz de disipar la energía acumulada y encauzar la corriente hacia su salida ya sea sobre la cuneta que debe tener una sección adecuada para el gasto esperado o bien directamente hacia una alcantarilla. Los trabajos de conservación deben mantener estas cajas -

perfectamente limpias.

En zonas de curvas en donde la sección transversal tiene pendiente hacia el interior de la curva por el proyecto de la sobre-elevación el agua escurre hacia el centro de ésta. La protección - contra la acción del escurrimiento de esa agua superficial se efectúa por medio de cunetas en los cortes con capacidad adecuada.

CAPITULO IV

DRENAJE TRANSVERSAL

1. - ASPECTO HIDRAULICO.

**2. - NORMAS PRACTICAS PARA DETERMINAR
LA SECCION.**

3. - GENERALIDADES SOBRE EL PROYECTO.

**4. - DIFERENTES TIPOS DE OBRAS Y CUANDO
SON RECOMENDABLES.**

ASPECTO HIDRAULICO

1. - En el Capítulo II se hizo exposición de los procedimientos que se siguen para determinar el área hidráulica de una obra de drenaje transversal; lo cual en términos generales resume que este valor depende de la superficie de la cuenca de captación, del tipo de terreno, sus filtraciones, retenciones probables y las precipitaciones máximas registradas en la región con su correspondiente duración.

2. - Normas prácticas para determinar la sección.

Para aquellos casos en que no es posible contar con los datos consignados en el párrafo anterior se recurre a la identificación de los niveles de aguas máximas en las secciones que se estudie en los arroyos por lo menos dos observaciones aguas arriba y dos aguas abajo. Directamente se puede medir en estas secciones el área hidráulica y con la aplicación de la fórmula de Manning se puede determinar la velocidad y gasto.

Este último procedimiento es el que se usa para determinar el tamaño adecuado de los puentes cuando se trata de obras mayores de 6 m.

Se aclara que las especificaciones AASHO define como al cantarillas aquellas que tienen un colchón de terracería y que por lo mismo en algunas condiciones extremas pueden llegar a trabajar como tubos ahogados; en tanto que los puentes apoya el balasto directamente en la superestructura y además se deja siempre un espacio libre entre el nivel máximo de las aguas y el inferior de la superestructura para dar paso a troncos de árbol o cualquier otro elemento que pueda poner en peligro la obra.

Para determinar la sobreelevación del agua o más bien - para calcular el máximo estrangulamiento que se le pueda dar al arroyo (a menor claro menor costo) se procede en la siguiente forma: se determina el área bajo el puente tomando como nivel máximo, el registrado en las aguas extraordinarias con lo cual se tiene el siguiente dato.

$$V_2 = \frac{Q}{A_2}$$

V_2 : velocidad bajo el puente

Q : gasto calculado con la fórmula de Manning

A_2 : área bajo el puente

Por otra parte se conoce la velocidad media (V_1) del agua que escurre en el arroyo con la aplicación de la fórmula de Manning

y se le designa con la literal V_1 .

La sobreelevación se obtiene con la fórmula:

$$Se = \sqrt{\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}}$$

en donde:

V_1 : velocidad de entrada

V_2 : velocidad de salida

Indudablemente que mientras más se estrangule el cauce es mayor la velocidad de escurrimiento bajo el puente y por consiguiente mucho mayor el poder erosivo y de peligro en la estabilidad de la obra habiéndose de agregar a esto que un fuerte cambio en la velocidad del agua, se convierte en régimen turbulento trayendo consigo los problemas inherentes.

Normalmente se ha estimado como conveniente esta Se entre los 20 y 30 cm.

Para condiciones de trabajo con presupuestos reducidos durante mucho tiempo se acostumbró usar la siguiente regla:

Proyectar como longitud mínima de la obra el ancho del lecho del arroyo y como altura mínima el doble de la que se pueda

observar como nivel de aguas máximas tomando en cuenta cualquier error que se pueda cometer en la observación de este nivel de agua máxima; esta regla prácticamente ha sido abandonada en la actualidad.

3.- Generalidades sobre el proyecto.

En términos generales existen dos tipos de obras de drenaje transversal:

Las provisionales y las definitivas.

Las obras provisionales generalmente son construídas por caballetes de madera cimentados sobre pilotes y también su perestructuras del mismo material. En el origen de la construcción de la red ferroviaria de nuestro sistema nacional fueron otorgadas concesiones de explotación por varios años a las empresas constructoras de nacionalidad extranjera; la limitación de la concesión y la falta de estudios técnicos los obligó a este tipo de obras, siendo un peligro pues concedía facilidad a los que atentaban en contra de las vías de comunicación ya que estas obras pueden incendiarse con facilidad. Sin embargo estas obras permitieron a través de los años efectuar observaciones y reconocimientos que han permitido su substitución por obras definitivas adecuadas a la

cantidad de agua que como máximo se ha registrado considerando la debida seguridad.

En cuanto a las obras definitivas que se han estado construyendo, a continuación se hace una descripción de las mismas:

4. - Diferentes tipos de obras y cuándo son recomenda-bles.

Tubería de lámina acanalada galvanizada la cual en ocasiones se usa con una capa interior y exterior de productos asfálticos para evitar su corrosión, su sección puede ser circular, ovoidal o abovedada y se acostumbra utilizar este tipo de alcantarilla en los lugares donde la resistencia del terreno es mínima y se cuenta con suficiente colchón de tierra.

Como ventaja debe mencionarse que estas obras son desarmables, de poco peso y los fletes, maniobras y mano de obra de instalación resultan económicos.

Como desventajas debe mencionarse que aún cuando estas tuberías se fabrican en México se paga al extranjero los derechos del uso de las patentes.

En lugares húmedos o pantanosos su duración es rela

tivamente corta como ejemplo, en el F. C. del Sureste obras que fueron construídas en el año de 1950 ha sido necesario cambiarlas a partir del año de 1965.

Tubería de Concreto Reforzado. - Generalmente del tipo de macho y campana y con armaduras de acero que son proyectadas según especificaciones; este tipo de obra se usa en condiciones semejantes a las del caso anterior; como ventaja se menciona que en los lugares en donde se cuenta con grava y arena adecuada se puede instalar una fábrica de tubos a bajo costo y con resultados económicos. Su desventaja está en el peso de estos tubos que generalmente se construyen de 1 a 1.2 m. de longitud y para disminuir su peso se proyectan espesores mínimos que permitan el procedimiento de construcción del tubo. Esto motiva que con frecuencia los resultados sean de mala calidad y por consiguiente es necesario desechar los tubos defectuosos, también la maniobra de colocación, carga y descarga resulta costosa por su peso.

No debe pasar desapercibido que aún cuando la necesidad hidráulica determine un diámetro reducido es conveniente que como mínimo se utilice el de 90 cm. para dar facilidades a su limpieza en caso de azolves.

Bóvedas de Mampostería de Piedra. - Este tipo de al-

cantarillas es conveniente cuando son muy altos los espesores de los terraplenes y resultan económicos cuando la explotación de la piedra se encuentra a corta distancia.

El aspecto de estas obras es agradable y rara vez se han producido fallas en este tipo de alcantarilla siempre y cuando la cimentación haya sido la adecuada.

Este tipo de alcantarilla resulta antieconómico, cuando los bancos de material se localizan a grandes distancias.

Bóvedas de Concreto Simple. - Durante el tiempo de la Segunda Guerra Mundial cuando hubo escasez de acero de refuerzo este tipo de obra se usó con bastante éxito en el extranjero, en México resulta antieconómico si se compara el costo con las Bóvedas de mampostería.

Losas Planas de Concreto Reforzado sobre Muros de -
Mampostería. - Es el tipo de alcantarilla más usual y económico para lo cual se requiere la resistencia del terreno adecuada a las dimensiones de los muros o estribos de mampostería.

Normalmente se protege con zampeado de piedra o losas de concreto la parte del lecho del arroyo que queda comprendida -
entre los dos muros de piedra.

Cajones de Concreto armado de una o de varias Celdas. -

Este tipo de obra no siempre es económica pero tiene muchas ventajas para condiciones especiales como por ejemplo en - aquellos casos en que existe muy poco espesor en el terraplén y también son convenientes en aquellos lugares en los cuales la resistencia del terreno es bastante baja y el peso de la estructura se re- parte en una superficie amplia.

Cuando los problemas de cimentación se agudizan son indispensables proyectos especiales en los que se deba hacer uso de los diferentes métodos de piloteado o bien el hincado de cilindros, este capítulo de la ingeniería de cimentaciones es una materia es- pecial sobre la cual hay amplios estudios, los cuales ya no resul- tan motivo de la presente tesis.

El cálculo estructural de estas obras se efectúa de acuerdo con las especificaciones de las diferentes instituciones; de las extranjeras se puede mencionar el AREA, las AASHO y ACI.

De las nacionales existen especificaciones propias en la SOP y en la SCT.

·Por tratarse de obras de uso común la SOP ha calculado y tabulado este tipo de obras para diferentes dimensiones y fatigas

**de terreno y cuenta con el Manual de Proyectos de Drenaje para -
obras pequeñas y proyectos tipo de puentes para obras mayores.**

CAPITULO V

CONSERVACION DEL SISTEMA DE DRENAJE

Elementos Esenciales en Conservación de Vía

La conservación de vía en su sentido más amplio puede definirse como todo el conjunto de trabajos que se ejecutan tanto en la estructura de la vía como en la cama de las terracerías para tener una vía buena sobre la cual los trenes podrán correr a las máximas velocidades programadas y con un máximo de seguridad.

De los requisitos básicos que no deben descuidarse para tener una buena vía es la conservación de un buen drenaje el que nos importa en este trabajo; pudiendo considerarse como trabajos auxiliares para obtenerlo el diseño apropiado de la cama, de la vía y limpieza del balasto; así como el personal y sistema de trabajo apropiado para mantener el alineamiento y nivelación.

Nunca será de más repetir que el drenaje efectivo de la estructura de la vía y de la cama del camino es de primordial importancia ayudando mucho a obtener esto una subrasante bien diseñada y una cama de balasto limpia y bien compactada de la terracería a las cunetas. Para lograrlo es necesario que el balasto se conserve limpio de tierra, material vegetal, cenizas o cualquier otro material que impida el paso del agua.

Cunetas

El medio para drenar el lecho de la vía serán las cunetas laterales en los cortes cuyo fondo estará a un mínimo de 30 cm. bajo la subrasante.

Se construirán en tal forma que se puedan limpiar con facilidad y tendrán una pendiente mínima de 0.3%. Aunque generalmente llevan la misma pendiente de la vía. Estas cunetas se conservarán limpias no sólo para drenar la cama de la terracería únicamente y protegerla al cortar y llevarse el agua superficial que baje por los taludes a causa de lluvia o filtraciones, sino para desviar de la vía el agua rápidamente. Por esta razón se prohíbe dejar el material que se limpia de las cunetas en la superficie de la subrasante o del balasto, a los extremos de los durmientes.

Drenaje de Derecho de Vía y la Vía.

El manejo de trenes a altas velocidades depende primordialmente de una buena vía. Es evidente que ésta depende directamente de la estabilidad de las terracerías, reduciendo al mínimo la cantidad de humedad contenida en las terracerías se asegura su estabilidad y para ésto es indispensable un drenaje adecuado y la conservación funcional del mismo.

Secciones de la Cama de Vía

Con objeto de drenar rápidamente la terracería, a la subrasante se le dá una inclinación transversal desde el eje de la vía hacia los lados del 2%. Es decir en corona de 6.60 m. se le dá una inclinación para cada lado desde el centro de 66 mm.

Sobre la capa subrasante se colocará el subalasto y el balasto, el cual tendrá el espesor que el ferrocarril señale en sus secciones tipo tomando en cuenta que una vía para tránsito pesado y frecuente deberá tener un mínimo de 30 cm. bajo el durmiente (subalasto). Esto permitirá el rápido drenaje conservando así los durmientes en mejores condiciones al dejar escurrir el agua por entre el balasto y subalasto y luego de la subrasante donde puede represarse el agua que escurre de la vía lo cual debe evitarse. In variablemente los extremos de las cunetas se desviarán hacia - afuera con objeto de que la corriente de agua que lleven no erosio ne el terraplén. Nunca serán efectivos una terracería bien dise ñada ni cunetas limpias a menos que el balasto se mantenga tam bién limpio.

Limpia de Cunetas

El trabajo de limpia de cunetas se debe programar con

bastante anticipación a la temporada de lluvias a fin de tener éstas en perfectas condiciones.

Hay diversos sistemas para la limpieza de las cunetas dependiendo éstos de la cantidad de material por moverse; desde el sistema de carretillas para distancias de 5 a 60 m. o bien cuando el ancho del corte lo permite vagonetas que ruedan ya sea de propulsión humana o motor propio sobre vía.

El uso de un tren de trabajo para limpiar cunetas es usual cuando el volumen es muy grande y cuando hay largos acarreos que hacer con el material extraído. Para ello es necesario emplear el personal suficiente para aprovechar el tren de trabajo al máximo.

El uso de un tren de trabajo combinado con trabajo manual es generalmente antieconómico. Antes de usar un tren de trabajo se debe hacer un análisis cuidadoso para ver si la limpieza de cunetas o derrumbes puede hacerse satisfactoriamente con métodos que no afecten los movimientos de trenes.

Tomando en cuenta que constantemente hay renovaciones de método y equipo que pueden aplicarse ventajosamente a la limpieza de cunetas, se deberán analizar las ventajas de usar: es

crepas, dragas y palas mecánicas, o cualquier maquinaria que pueda hacer el trabajo con menor costo, con mayor rapidez, y sobre todo sin poner en peligro el libre tránsito de trenes a su mayor velocidad.

Bolsas de Agua

Con el aumento de tráfico y el equipo más pesado se ha notado más la existencia de lugares en que la terracería se afloja o suaviza (aguachirnado) y de bolsas de agua (water pockets). Estas son generalmente fallas que vienen desde la construcción de las terracerías tanto en los cortes como en los terraplenes en los que existe material arcilloso que tenga afinidad con el agua. Cuando hay un material inestable, el subalasto y balasto son incrustados en el terraplén ya aflojado por el agua a causa del paso de trenes pesados. Al irse colocando más balasto en la vía y continuar el proceso se va creando una bolsa interior con el material de la terracería que es desplazado lateralmente y algunas veces hacia arriba, formando paredes que impiden que el agua se drene. Invariablemente se forman en estos lugares bolsas de agua. Los métodos usuales de nivelar y calzado de la vía no surten efecto permanente constituyendo así la bolsa de agua un peligro para los trenes pesados y de gran velocidad. Por lo expuesto anteriormente en la cons

trucción de ferrocarriles modernos tiene mucha importancia la elección de los materiales y el espesor de la capa subrasante en ferrocarriles antiguos que no tienen capas subrasantes.

Esto se corrige excavando drenes laterales paralelos a la vía y a profundidades variables del centro de la misma. En los casos de tener que drenar bolsas de agua en terraplenes el dren se excava a 3 m. de la base del talud. El dren se hará de la suficiente longitud para cubrir el sitio donde están las bolsas de agua y a no menos de 0.65 m. más abajo del fondo de la bolsa más honda. Se coloca en la base del dren un tubo perforado de un diámetro no menor de 6" dejando las perforaciones hacia abajo y con una pendiente uniforme no menor de 0.2% y la longitud suficiente para sacar el agua o corte del terraplén. Este dren puede tener de 0.45 a 0.60 m. de ancho, se llenará con material permeable que sirva de filtro y de un tamaño que no se vaya con el agua dentro del tubo perforado; el balasto de piedra triturada o grava lava da grande pueden servir para llenar el dren. Tratándose de una longitud considerable se debe aumentar progresivamente el diámetro del tubo para que soporte el aumento de agua que lleva.

La salida de este tubo se localizará de manera que el material que se venga con el agua no lo tape y que además no se -

deslave el material de las paredes de excavación. Si a la salida, el tubo no queda apoyado en material rocoso, se le debe construir un lavadero y ponerle una rejilla a la salida.

En caso de no ser suficiente estos drenes paralelos se construirán líneas auxiliares transversales que pasen por abajo de la vía y que se unan a los drenes principales separados de 3 a 12 m. según el tamaño y cantidad de las bolsas de agua y material que se va a drenar. Tendrán una pendiente mínima del 4% usándose de preferencia un 8% para evitar sedimentos, sin embargo pendientes mayores del 16% no se usarán por existir el peligro de que empujen la línea del tubo principal al que van unidas. Estos drenes auxiliares se colocarán a una profundidad de 30 cm. bajo el fondo de las bolsas de agua.

Al construir las zanjas laterales en las que se colocarán los tubos principales, las paredes se excavarán verticales, - haciéndose un corte en la cama de la vía, que venga desde la base del extremo del durmiente en un ángulo de 45° hasta la pared de la zanja más cerca de la vía. El material excavado no se usará en ninguna forma para llenar la zanja o tajarla después que se le haya colocado el tubo ni dejado allí cerca, sino que deberá ser retirado del sitio. Como se dijo antes, las zanjas se llenarán con

balasto de piedra triturada hasta que quede unido al balasto de la vía y formando parte de la misma. Es conveniente llevar un registro de estos sistemas de drenaje que incluya una descripción de la clase de trabajo, tamaño de tubo, kilometraje, profundidad etc... a modo de poder localizarlo cuando sea necesario y ver su funcionamiento.

El tubo que se usa para los drenes principales y los laterales conectados a éstos debe tener las siguientes condiciones:

1. - Suficiente resistencia para soportar la carga y el impacto.
2. - Proporcionar y conservar una alta capacidad para drenar y que ésta no se vea menoscabada porque alguno de sus tramos se separe o porque le entre tierra o piedras.
3. - Tener la suficiente durabilidad que asegure una larga vida en servicio con la consiguiente economía.

Hay varios materiales que pueden usarse; como tubo de barro vitrificado, tubo de lámina galvanizada y corrugada y tubo de concreto. Para determinar cual debe usarse hay que tomar en cuenta las condiciones locales y el costo relativo.

A este sistema de drenaje compuesto por la excava-

ción, colocación de tubos y relleno de material filtrante también - se le llama drenes ciegos y no solamente drenan el agua de las bol - sas sino que también sirven para cortar y encauzar los flujos de - agua subterránea.

Además de este sistema se han desarrollado otros mé - todos para estabilizar suelos suaves y bolsas de agua, como enca - jar durmientes, sacos de arena, inyecciones de mortero de cemen - to, etc... Cada caso debe estudiarse para ver qué método es el - más económico y de mejores resultados.

Cuando hay que tener constante atención en algún pun - to de la terracería para conservar la nivelación, la causa es casi siempre una bolsa de agua. En los terraplenes que se suavizan - (aguachirnan) por bolsas de agua, debe tenerse muy presente la se - guridad al tránsito, así como la economía en la conservación. Des - p - pués de lluvias fuertes se pueden presentar deslizamientos de te - rraplenes con el consiguiente peligro, atraso y mayor costo en el movimiento de trenes. El mover trenes en vía colocada sobre te - rraplenes nuevos sin balasto, tiende a comprimir el sitio bajo ca - da durmiente, formando depresiones que más tarde se convierten en bolsas de agua. Esos movimientos de trenes se deben evitar lo más posible procurando colocar siempre el suficiente espesor de

balasto y subbalasto para asegurar una distribución uniforme de la carga en la cama de la vía.

En ocasiones se acostumbra para resolver los problemas anteriores excavar una zanja con un ancho de 1.20 a 1.50 m. y a una profundidad mínima de 1.50 de la base del riel. Debe admarse cuidadosamente para evitar derrumbes. Se le dará una pendiente no menor del 5% desde su salida en la base del talud del terraplén hasta su extremo cerrado que puede quedar bajo la cabeza del durmiente. El extremo cerrado puede tener un talud de 1:4. Se llena con piedra de hombre (menor de 50 Kg.) usándose piedra triturada para llenar los huecos colocando también este material en los lados y la parte superior, con lo que se evita que el material del terraplén tape los huecos y obstruya el paso del agua. Este tipo de drenes generalmente son construidos con el personal de las cuadrillas con un costo muy bajo, puede secar terraplenes - aguachirrados con la consiguiente mejoría del nivelado de la vía - y por el mismo mejoramiento evidente de las condiciones esenciales para el paso de los trenes a grandes velocidades con entera seguridad.

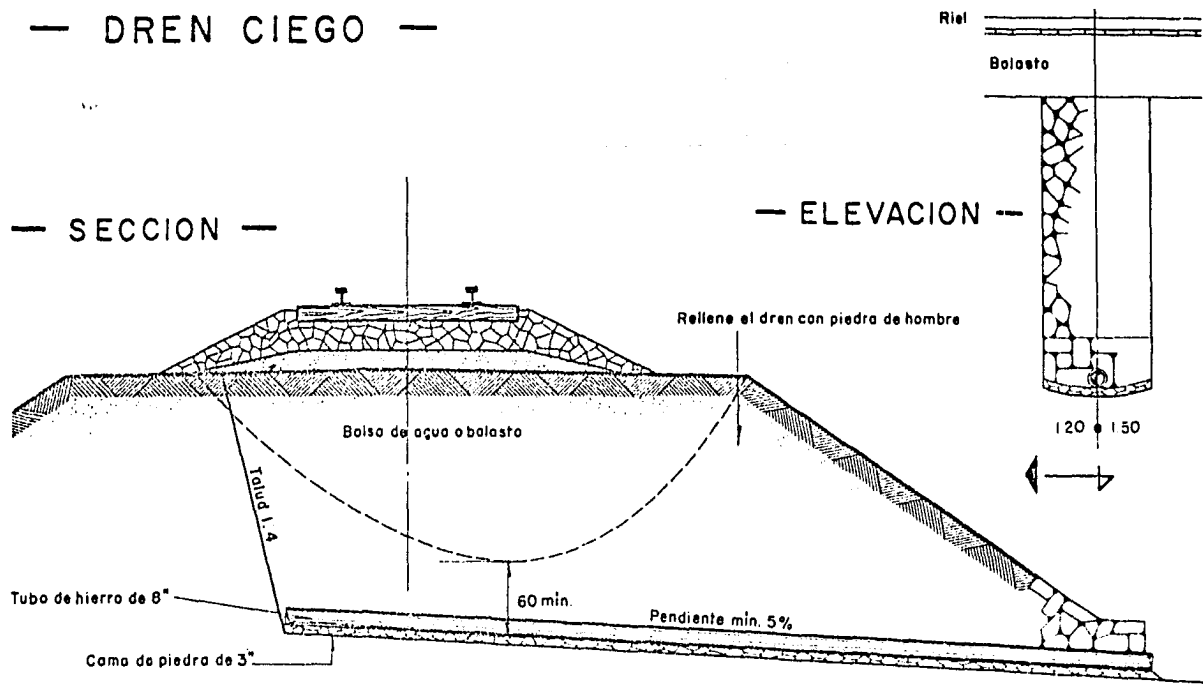
Levante de Vía

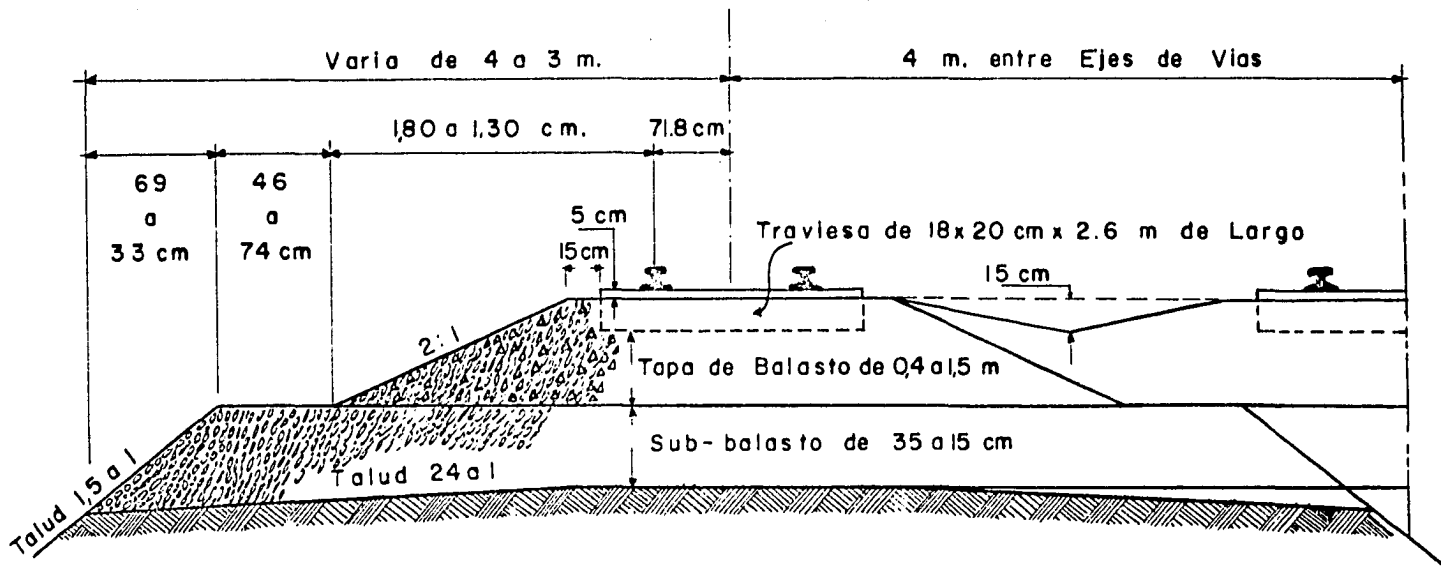
Para obtener el mayor beneficio de un drenaje adecu

— DREN CIEGO —

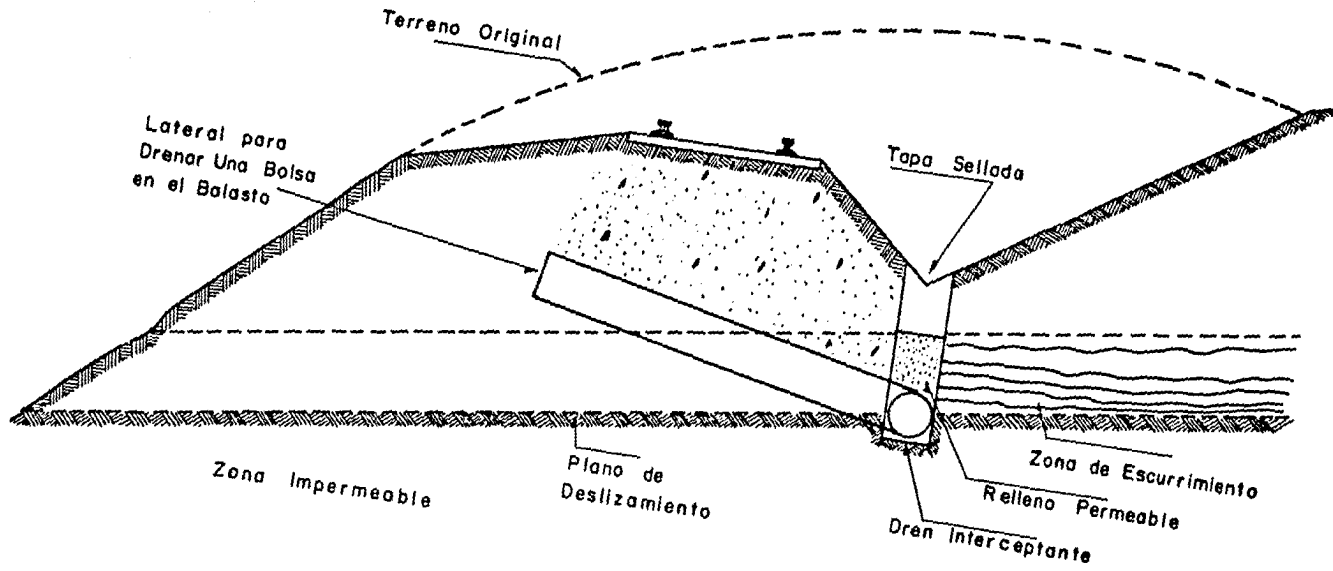
— SECCION —

— ELEVACION —





SECCION TRANSVERSAL DEL BALASTO



Terreno Original

Lateral para Drenar Una Bolsa en el Balasto

Tapa Sellada

Zona Impermeable

Plano de Deslizamiento

Dren Interceptante

Zona de Escurrimiento

Relleno Permeable

do y de la limpieza del balasto, debe hacerse un ligero levante de vía periódico, aplicando balasto nuevo bajo los durmientes. Este levante periódico puede considerarse indispensable en las vías troncales porque las conserva en magnífica condición.

En vías de mucho movimiento con tránsito pesado, el levante debe ser anual. Para vías bien conservadas dedicadas a tránsito de pasajeros basta un levante cada 4 años entre estos límites y de acuerdo con la frecuencia el peso de trenes, el estado de las terracerías y la clase de balasto se decide la frecuencia de los levantes de vía.

Cuando una vía se ve bien alineada y colocándole el nivel se encuentra bien nivelada, y sin embargo los trenes no corren con perfecta estabilidad, sino que se sienten fuertes movimientos laterales, lo más probable es que el balasto esté apretado en el centro del durmiente (centerbount) condición generalmente llamada en "Banda" y un levante es indispensable. Esta condición viene de que la vía se ha asentado ya en el balasto y éste se aprieta en la parte central del durmiente perdiendo así cierta flexibilidad. Para evitar esto los reglamentos de conservación de vía - prescriben que el calzado no se lleve a más de 12" después de cada riel en durmientes de 8'; 15" después de cada riel en durmien

tes de 8.5' y 18" en durmientes de 9'. El calzado del durmiente debe hacerse desde el extremo, no olvidando calzar los extremos exteriores de las cabezas y trabajando en posiciones opuestas dos calzadores. El centro de los durmientes debe llenarse solamente (embodegarse) de balasto con un biello.

Generalmente, es más económico, hacer un vaciado de vía, limpiando el balasto, cambio de durmientes y luego rebalastar y levantar la vía de $1\frac{1}{2}$ " a 2", este levante puede hacerse con la barra y no requiere abanderamiento. Este levante mejora la vía tanto como un levante mayor y es económico en cantidad de balasto usado y en costo de mano de obra.

El levante debe hacerse en ambos rieles al mismo tiempo, dejando un tramo suficiente de rampa o remate entre el nuevo nivel adquirido y el viejo.

En general la conservación del drenaje es fundamental en la estabilidad y seguridad en la operación de los trenes por lo cual antes de que se inicie la temporada de lluvias deberá efectuarse una cuidadosa inspección en las cunetas, contracunetas, canales y alcantarillado para que en el caso de que éstos se encuentren tapados u obstruídos por derrumbes o azolves se limpien oportunamente.

Tampoco debe pasar desapercibido que las socavaciones también son peligrosas y que pueden ocasionar daños de alto valor si no se corrigen en el momento oportuno.