

SECRET
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES

SECRET
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES



TRANSPORTATION
NATIONAL

COMITE DE INICIATIVAS DEL PROYECTO

KERMIT L. BERGSTRALH, *Bergstralh Associates, Inc., presidente*
G.A. EDMONDS, *International Labor Office (coordinador del ILO)*
CLELL G. HARRAL, *International Bank for Reconstruction and Development (Coordinador del BIRF)*
WILLIAM G. HARRINGTON, *Maricopa County Highway Department, Arizona*
R.G. HICKS, *Oregon State University*
W. RONALD HUDSON, *University of Texas, en Austin*
LYNNE H. IRWIN, *Cornell University*
WILLIAM C. LaBAUGH, JR., *Daniel, Mann, Johnson and Mendenhall*
MELVIN B. LARSEN, *Illinois Department of Transportation*
VOYCE J. MACK, *U.S. Department of Transportation (coordinador del DOT)*
RAY MILLARD, *International Bank for Reconstruction and Development (coordinador del PIARC)*
WILBUR J. MORIN, *Lyon Associates, Inc.*
CLARKSON H. OGLESBY, *Stanford, California*
ADRIAN PELZNER, *U.S. Forest Service*
GEORGE W. RING III, *Federal Highway Administration (coordinador del FHWA)*
EDWARD C. SULLIVAN, *Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley*
PETER H. THORMANN, *U.S. Agency for International Development (coordinador de la AID)*
W.G. WILSON, *International Road Federation (coordinador de la IRF)*
ELDON J. YODER, *Purdue University*
JOHN P. ZEDALIS, *U.S. Agency for International Development (coordinador de la AID)*

PERSONAL EJECUTIVO Y COORDINADOR DEL PROYECTO

PAUL E. IRICK, *Sub-Director para Actividades Técnicas Especiales, TRB*
LLOYD R. CROWTHER, *Ingeniero de Proyecto, TRB*
H. STANLEY SCHOFER, *Gerente, Desarrollo y Operaciones de Sistemas de Información, TRB*
JOHN W. GUINNEE, *Ingeniero de Suelos, Geología y Fundaciones, TRB (coordinador de la División A)*
THOMAS L. COPAS, *Ingeniero de Proyecto, TRB (coordinador del NCHRP)*
VICTOR RABINOWITCH, *Comisión de Relaciones Internacionales, National Research Council (coordinador del NRC)*
MARY SECOY, *Asistente Administrativa, TRB*
JUDITH L. FAULS, *Secretaria del Proyecto, TRB*
JO UNCAPHER, *Editora (versión en inglés)*
LUIS VERA-BARANDIARAN, *Traductor (versión en español)*

CONSULTOR DE LA SINTESIS

ERNEST A. DAVIDSON, *Dover, Delaware*

El Transportation Research Board (TRB) es una agencia del National Research Council, que sirve a la National Academy of Sciences y a la National Academy of Engineering. El propósito del TRB es estimular la investigación relacionada con la naturaleza y funcionamiento de los sistemas de transporte, disseminar la información producida por la investigación y alentar la aplicación de los resultados pertinentes de la investigación. El programa del TRB es desarrollado por más de 150 comités y equipos de trabajo compuestos por más de 1800 administradores, ingenieros, expertos en ciencias sociales y educadores que sirven sin retribución económica. El programa está patrocinado por los organismos estatales de transportes y carreteras, por el U.S. Department of Transportation y por otros organismos interesados en el desarrollo del transporte.

El Transportation Research Board opera dentro de la Commission on Sociotechnical Systems del National Research Council (NRC). El NRC fué organizado en 1916 a solicitud del Presidente Woodrow Wilson, como una agencia de la National Academy of Sciences (NAS) para permitir que la extensa comunidad de científicos e ingenieros aúne sus esfuerzos con los de los miembros de la NAS. Los miembros del NRC son nombrados por el presidente de la NAS y seleccionados dentro de las organizaciones académicas, industriales y gubernamentales de todos los Estados Unidos de N.A.

La National Academy of Sciences fué establecida mediante un decreto de constitución del Congreso, firmado por el Presidente Abraham Lincoln el 3 de Mayo de 1863, para fomentar la ciencia y su uso para el bienestar general, reuniendo a las personas más calificadas para tratar problemas científicos y tecnológicos de importancia general. Es una organización privada y honorífica formada por más de 1000 científicos elegidos sobre la base de contribuciones relevantes al conocimiento y está financiada con fondos privados y públicos. Bajo los términos de la carta constitucional del Congreso, la NAS tiene la obligación de actuar como asesor oficial—aunque independiente—del gobierno federal, en cualquier aspecto relacionado con la ciencia y la tecnología, aunque no es un organismo gubernamental y sus actividades no están limitadas a actuar en respaldo del gobierno.

Para compartir su tarea de desarrollar la ciencia y la técnica y asesorar al gobierno federal, se estableció el 5 de Diciembre de 1964 la National Academy of Engineering, dentro de los alcances del decreto de organización de la National Academy of Sciences. Sus actividades asesoras están íntimamente coordinadas con las de la National Academy of Sciences, pero es independiente y autónoma en su organización y en la elección de sus miembros.

OSP-29871

APOYO DE TECNOLOGIA DE TRANSPORTE
PARA PAISES EN DESARROLLO

SINTESIS 2

Construcción por etapas

preparado bajo el contrato AID/OTR-C-1591
proyecto 931-1116
U.S. Agency for International Development

Transportation Research Board
Commission on Sociotechnical Systems
National Research Council

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

WASHINGTON, D.C.

1979

/

Catalogado en la Biblioteca del Congreso bajo las referencias de publicación:

National Research Council. Transportation Research Board
Construcción por etapas

(Apoyo de tecnología de transporte para países en desarrollo; síntesis 2)

"Preparado bajo el contrato AID/OTR-C-1591".
Bibliografía: p.

1. Underdeveloped areas — Road design — Addresses, essays, lectures. 2. Underdeveloped areas — Road construction — Addresses, essays, lectures. I. Title. II. Series.

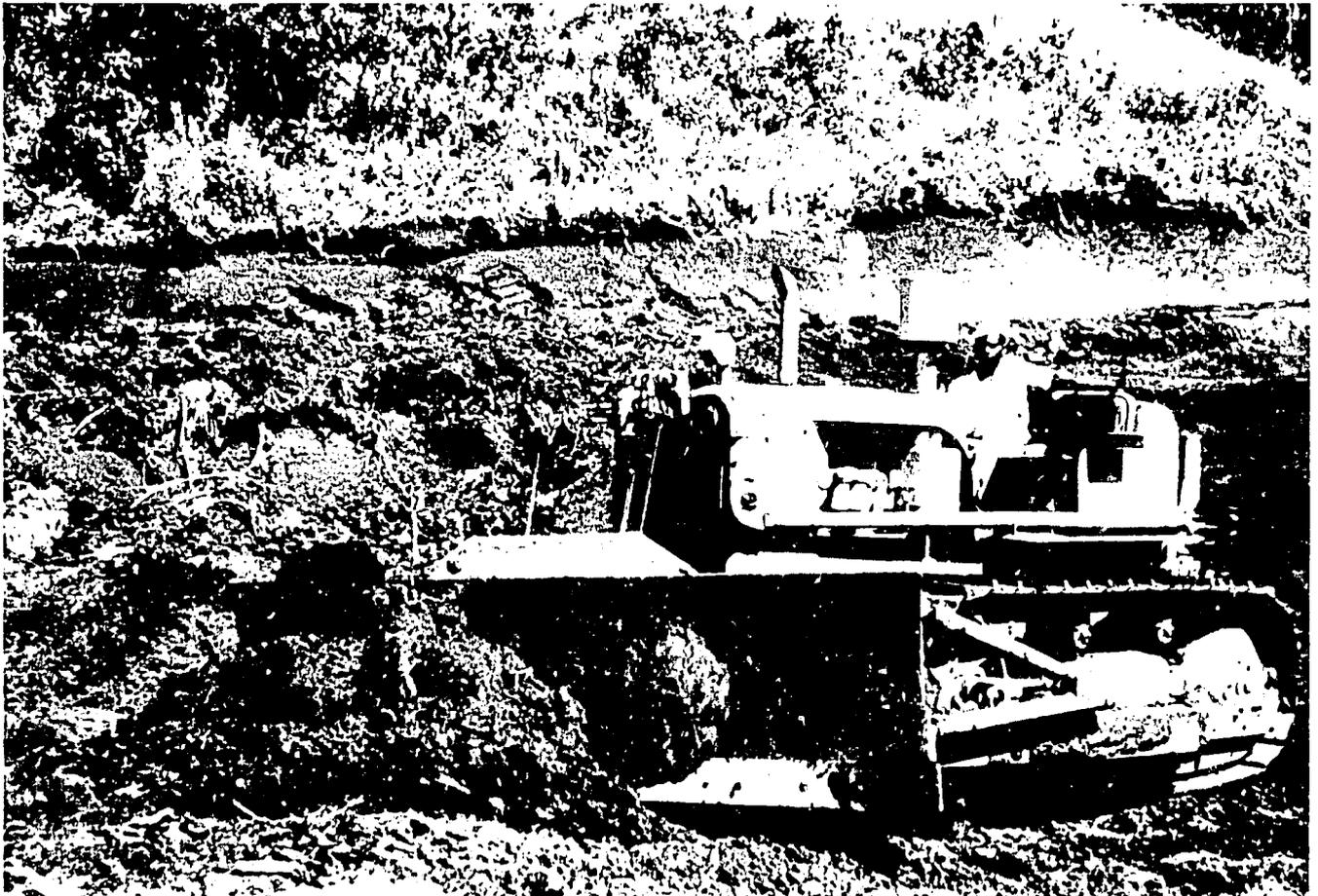
TE 175.N32 1979 625.7'25'091724 79-29664
ISBN 0-309-02977-5

Nota

El proyecto a que se refiere este informe fué aprobado por el Consejo Directivo del National Research Council, cuyos miembros fueron seleccionados entre los consejeros de la National Academy of Sciences, la National Academy of Engineering y el Institute of Medicine. Los miembros del comité responsable del informe fueron escogidos en base a su extraordinaria capacidad y observando un equilibrio adecuado.

El informe ha sido revisado por un grupo aparte de los autores, de acuerdo a procedimientos aprobados por un Comité de Revisión del Informe, compuesto por miembros de la National Academy of Sciences, la National Academy of Engineering y el Institute of Medicine.

Foto de la carátula: Empleo de un tractor con empujador para una nivelación preliminar de un camino en el sur de Etiopía.



Índice

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	v
PREFACIO Y AGRADECIMIENTOS	vi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
Situación general	
Construcción por etapas	
CAPÍTULO II. PLANEAMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS	2
Generalidades	
Alineamiento	
Volumen de tráfico	
Escurrimiento y drenaje	
Suelos y materiales	
Métodos de construcción — Basados en mano de obra o equipo	
Método de ejecución — Por contrato o con personal del gobierno	
Programación del proyecto	
CAPÍTULO III. DISEÑO PARA CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS	6
Generalidades	
Trazado	
Planos lineales	
Normas de diseño	
Secciones típicas	
Drenaje	
Superficies	
Alcantarillas	
Materiales para alcantarillas	
Cruces de agua	
Puentes	
Erosión	
Consideraciones ambientales	
Especificaciones	
CAPÍTULO IV. CONSTRUYENDO EL PROYECTO	18
Mobilización	
Herramientas y equipo	
Preparación del sitio y desbroce	
Suelos	
Movimiento de tierras	
Excavación en roca	
Superficies	
Alcantarillas de tubo	
Cruces de aguas bajas	
Puentes de concreto reforzado	
Concreto ciclópeo	
Muros de contención de piedra seca	
Gabiones	
Conservación	
REFERENCIAS	41

Descripción del proyecto

El desarrollo de la agricultura, la distribución de alimentos, la provisión de servicios de sanidad y el acceso a la información por medio de servicios educacionales y otras formas de comunicación en las regiones rurales de países en desarrollo, dependen en gran parte de los servicios de transporte. Aunque los servicios ferroviarios y acuáticos hacen un rol importante en ciertas áreas, existe una necesidad dominante y universal por sistemas de transporte que proporcionen un medio seguro y relativamente económico para el movimiento de personas y productos. Gran parte de esta necesidad se relaciona con los caminos de bajo volumen, que son recorridos generalmente por unos 5 a 10 vehículos diarios y que muy pocas veces llegan a 400 vehículos por día.

El planeamiento, diseño, construcción y conservación de caminos de bajo volumen para regiones rurales de países en desarrollo, pueden mejorar sustancialmente con respecto a su economía, calidad y rendimiento, mediante el uso de la tecnología existente sobre caminos de bajo volumen, que se encuentra disponible en muchas partes del mundo.

En Octubre de 1977, el Transportation Research Board (TRB) inició este proyecto especial que durará unos tres años, bajo el patrocinio de la U.S. Agency for International Development (AID), para mejorar el transporte rural en los países en desarrollo, proporcionando un mayor acceso a la información existente sobre planeamiento, diseño, construcción y conservación de caminos de bajo volumen. Con el consejo y guía de un comité de iniciativas del proyecto, el TRB define, produce y transmite los productos informativos a través de una red de corresponsales que residen en los países en desarrollo. Las metas generales que se intentarán lograr como impacto final del trabajo, consisten en promover el empleo efectivo de la información existente, en el desarrollo económico de la infraestructura de transporte y, de esta forma, mejorar otros aspectos del desarrollo rural en todo el mundo.

Además de la preparación y distribución de la información técnica, se consigue una interrelación con los usuarios a través de visitas a los países, conferencias en los Estados Unidos de Norte América y en el extranjero, y otras formas de comunicación.

COMITE DE INICIATIVAS

El Comité de Iniciativas se compone de expertos que tienen conocimiento de las características físicas y sociales de los países en desarrollo, de sus necesidades de transporte, de la tecnología actual de transporte así como experiencia en su empleo.

Las principales funciones del Comité de Iniciativas son ayudar a determinar los usuarios y sus necesidades, definir

los tipos de informaciones que reflejen las necesidades de dichos usuarios, e identificar los recursos informativos y humanos para el desarrollo de los productos informativos. El Comité proporciona a través de sus miembros, vínculos con actividades relacionadas con el proyecto y sirve de guía para establecer relaciones recíprocas con los usuarios. En general, el Comité de Iniciativas proporciona asesoría y dirección general en todos los aspectos del trabajo.

El personal ejecutivo del proyecto es responsable de la preparación y distribución de los materiales de información, del desarrollo de una red de corresponsales a través de la comunidad de usuarios y de las relaciones recíprocas con los usuarios.

MATERIALES DE INFORMACION

Los dos productos más importantes de este programa son los compendios de informaciones publicadas anteriormente sobre tópicos relativamente limitados y las síntesis que cubren la teoría y práctica sobre tópicos más generales. El personal del proyecto prepara un promedio de 6 compendios por año, y se emplean consultores para preparar las síntesis a razón de 2 por año. Además, se preparan por lo menos 2 informes de conferencias internacionales sobre caminos de bajo volumen, que se transmiten a los corresponsales que participan en el proyecto. En resumen, este proyecto pretende producir y distribuir entre 20 y 30 publicaciones que cubren gran parte de lo que se conoce sobre la tecnología de caminos de bajo volumen.

La revista bimensual "Transportation Research News", publica noticias sobre el proyecto y sus copias se distribuyen entre los corresponsales.

INTERRELACION CON LOS USUARIOS

Se emplean una serie de mecanismos para mantener una interrelación entre el proyecto y los usuarios de los materiales informativos. Para que los que reciben esta información tengan la oportunidad de opinar sobre sus beneficios y sobre las formas de mejorarla, se incluye en cada publicación un formulario de revisión. A través de visitas a países en desarrollo, el personal ejecutivo del proyecto obtiene directamente de las fuentes de origen, sugerencias a aplicar en el desarrollo del trabajo. Las conferencias internacionales en que participa el proyecto representan oportunidades adicionales de interrelación con los usuarios. Se efectúan además reuniones informales con estudiantes de países en desarrollo, que asisten a universidades norteamericanas y que participan en las reuniones anuales del TRB.

Previous Page Blank

Prefacio y agradecimientos

Esta publicación es la segunda de una serie de síntesis producidas por este proyecto del Transportation Research Board, sobre Apoyo de Tecnología de Transporte para Países en Desarrollo. En el interior de la carátula posterior, aparece una lista de todas las publicaciones del proyecto terminadas a la fecha.

Se proyecta publicar primero cada síntesis en inglés y, poco después, las versiones separadas en francés y en español, a medida que se vayan terminando las respectivas traducciones.

El objetivo del libro es proporcionar una información útil y práctica para los funcionarios de países en desarrollo, que tienen la responsabilidad de la construcción por etapas de caminos sin pavimentar. Se solicitará a los corresponsales que informen sobre los resultados del proyecto, para emplearlos en la evaluación del nivel alcanzado hacia este objetivo, e influenciar en el contenido de las síntesis posteriores.

Se expresa agradecimiento a la firma Tippetts-Abbet-

McCarthy-Stratton, Ingenieros y Arquitectos, New York, por conceder permiso para incluir las figuras que fueron seleccionadas de la Referencia 17 y reproducidas en esta publicación.

También se agradece a las bibliotecas y servicios de informaciones que proporcionaron el material de referencia consultado durante la preparación del texto. Se expresa un reconocimiento especial a la Library Division del U.S. Department of Transportation y al Library and Information Service del U.K. Transport and Road Research Laboratory.

Finalmente, el Transportation Research Board agradece los valiosos consejos y dirección dados por el Comité de Iniciativas del proyecto, especialmente a William G. Harrington, Maricopa County Highway Department, Arizona, Melvin B. Larsen, Illinois Department of Transportation, y Edward C. Sullivan, Institute for Transportation Studies, University of California, Berkeley, quienes brindaron su especial colaboración durante el desarrollo de esta síntesis.

Introducción

Situación general

En el pasado, muchos programas de ayuda para países en desarrollo han estado orientados a proyectos de desarrollo integral o proyectos individuales de gran envergadura; actualmente, hay mayor énfasis a la ayuda de áreas rurales pobres. Las vías de acceso y el transporte son prerequisites necesarios para integrar las poblaciones rurales con las economías urbanas. El acceso vial es una demanda popular de las comunidades rurales, debido en parte a los beneficios efectivos y a que se considera que los caminos anticipan la llegada de otros servicios. Los caminos proporcionan mayor amplitud y flexibilidad a un área que las vías férreas o fluviales y se acomodan mejor para servir a las dispersas poblaciones rurales.

El acceso rural en países en desarrollo es frecuentemente limitado. Las poblaciones están conectadas por senderos o simples huellas de tierra, que han servido durante años para satisfacer las necesidades del tráfico peatonal y de animales, pero que generalmente no son adaptables para vehículos automotores. Desafortunadamente, pocos países en desarrollo tienen suficientes recursos financieros para proporcionar caminos en áreas rurales que sirvan a bajos volúmenes de tráfico. Sin embargo, para poder proporcionar el máximo kilometraje que permitan los limitados recursos, existe un método denominado construcción por etapas que se puede emplear en el desarrollo y construcción de caminos de bajo volumen y de bajo costo. La construcción por etapas enfatiza los aspectos prácticos de construcción de los caminos más económicos, que pueden adecuarse para satisfacer las necesidades actuales y las de un futuro inmediato. A medida que progresa el desarrollo rural y aumentan los volúmenes de tráfico, puede irse elevando la categoría o mejorando el camino por etapas, para satisfacer las mayores demandas.

CONSTRUCCION POR ETAPAS

Se emplea el término construcción por etapas para describir el mejoramiento por etapas de un camino, mediante cambios que se ejecutan paso a paso, generalmente para satisfacer las necesidades existentes. Estas mejoras ocurren en períodos prolongados, a medida que el volumen de tráfico u otras consideraciones indiquen su necesidad. Pueden efectuarse las diversas etapas de construcción durante un reducido período de años, para obtener mejoras de importancia local o limitada, o se podrán necesitar muchos años para obtener mejoras sustanciales. Estos tipos de cambios o de elevación de categoría, vienen más a representar trabajos de mejoramiento que una simple conservación rutinaria.

La construcción de caminos por etapas resulta adecuada para cualquiera de las siguientes circunstancias:

(a) Que ya no sea adecuado el sendero o la trocha, debido al incremento de la demanda, que podría o no haber sido previsto por las autoridades responsables. También sería

apropiada la construcción por etapas, para una trocha que ya hubiera recibido algún tipo de mejora. Puede haberse determinado que la trocha resulte inadecuada por su tipo de superficie, su ancho, sus cruces de corrientes de agua, o por otros motivos.

(b) Que se diseñe un camino pero que resulte muy costoso construirlo de una sola vez, de modo que tendrá que construirse por etapas. Inicialmente, sólo se construye lo que sea necesario para satisfacer las actuales necesidades de transporte. En este caso, se planea y construye cada etapa de modo que se la pueda incorporar como una parte del proyecto final, tanto como sea posible. De los dos casos anteriores, el primero es el que ocurre con más frecuencia.

Habrán ocasionalmente la necesidad de construir un camino donde no existe ningún sendero, huella, ni camino. Sin embargo el requisito normal es mejorar una ruta de acceso existente. Debe entonces decidirse el tipo de especificaciones que se emplearán para construir el nuevo camino y hasta qué punto el alineamiento existente debe utilizarse. Típicamente ocurren las siguientes etapas de construcción. En la etapa inicial se limpia, nivela y drena un sendero o huella existente, para proporcionar un camino que pueda ser utilizado por los vehículos en época seca. Luego se agrega una superficie de grava o estabilizada, para facilitar el desplazamiento vehicular y reducir el tiempo en que su uso esté limitado por efecto de las lluvias. Las etapas posteriores pueden incluir el pavimentado de badenes o la construcción de puentes sobre corrientes de agua. La etapa final sería el ensanche de la vía para acomodar el creciente tráfico, o la colocación de una superficie bituminosa que reduzca la necesidad de conservación.

Las mejoras locales o de puntos aislados de un camino existente, son también etapas de construcción, como lo son el mejorar curvas restrictivas o peligrosas, o reemplazar badenes con alcantarillas o puentes. La construcción por etapas, también puede incluir combinaciones o variaciones de las etapas indicadas anteriormente.

No deben dejar de considerarse dos aspectos. Primero, cada etapa debe proporcionar un servicio que pueda utilizarse. También debe estar protegida de un deterioro excesivo causado por el clima o por el uso. Por ejemplo, en la misma etapa de construcción del camino, puente o badén que desea protegerse, deben construirse medios de protección contra la erosión en lugar de dejarlos para una etapa posterior. Segundo, cuando se planea o construya cualquier etapa de un proyecto, debe tomarse en consideración que cada etapa sea utilizada en forma lógica o incorporada a un mejoramiento futuro. Esto se aplica especialmente al alineamiento y a las estructuras más costosas y permanentes.

Hay otras condiciones además de la disponibilidad de fondos, que pueden justificar algunas veces la construcción por etapas:

(a) Otros programas gubernamentales pueden reducir la disponibilidad de personal técnico o supervisor calificado.

(b) El equipo que se requiere para construir un proyecto entero puede estar empleándose en otro lugar. La construcción por etapas, especialmente en las etapas iniciales, requiere menos recursos.

(c) Las mismas condiciones de construcción pueden recomendar algunas veces la construcción por etapas. Se puede lograr a menudo secar áreas húmedas o estabilizar terraplenes y fundaciones, sea dejándolas más tiempo o siguiendo procesos de construcción más complejos.

(d) También es una práctica común demorar la colocación de recubrimientos permanentes, a fin de identificar y corregir áreas blandas o inestables. De ese modo se podrá demorar la colocación de la capa superficial durante varios

años, lo que puede ser ejecutado en una etapa separada.

Esta síntesis considera el planeamiento, diseño y construcción de caminos de bajo volumen, dando énfasis a la construcción por etapas. Aunque se reconoce la necesidad de considerar las normas o niveles de construcción que se obtendrán en la obra, se da mayor énfasis a la práctica y procedimientos de construcción y a los diversos factores que intervienen en un proyecto de calidad pero de bajo costo. La síntesis no intenta incluir los numerosos procesos técnicos y detallados, que se describen adecuadamente en la lista de referencias incluida después del Capítulo IV. En los siguientes capítulos, se indican las referencias con números entre paréntesis. Así, una palabra seguida por (14), significa que la referencia 14 contiene más información sobre el tema en discusión.

CAPITULO II

Planeamiento para la construcción por etapas

GENERALIDADES

Esta síntesis considerará dos clases de caminos: Clase 1, con meros de 50 vehículos diarios (TPD); y Clase 2, con un TPD entre 50 y 400. Comúnmente se les conoce como caminos de acceso o terciarios, o por sus denominaciones locales tales como caminos agrícolas, caminos tealeros, algodoneeros o cafetaleros. Los caminos de Clase 1 y 2 transportan bajos volúmenes de tráfico e incluyen normalmente, tanto vehículos motorizados o tirados por animales, como bicicletas y peatones. Tienen típicamente de 5 a 15 kilómetros de longitud, pero pueden incluir caminos de penetración o de desarrollo que algunas veces llegan a tener más de cien kilómetros.

Cuando se toma la decisión de proporcionar un camino, debe también decidirse el nivel de servicio que se desea dar. Esa decisión establece la etapa a la que debe construirse el camino. Los factores que ayudan a definir el nivel de servicio, incluyen la cantidad y clase de tráfico, la máxima tolerancia de demora en el movimiento de tráfico que puede aceptarse y las restricciones y limitaciones de fondos.

Muy pocas veces se puede justificar una etapa superior a una superficie de tierra natural para la mayoría de los caminos de Clase 1, mientras que los de Clase 2 llevan generalmente superficies granulares, tales como grava, suelo estabilizado o piedra triturada. Para los mayores volúmenes de tráfico de los caminos de Clase 2, pueden impermeabilizarse las superficies con materiales bituminosos. Excepciones a estas ideas generales pueden justificarse fácilmente por las condiciones topográficas, climáticas o de conservación. Por ejemplo, por lo menos un estudio realizado en una pradera en el África, indica que la transición de un camino de tierra sin mejorar a un camino mejorado de grava puede ser justificada en base a los costos, cuando el promedio de tráfico llega a aproximadamente 40 TPD. En forma similar, la transición de

un camino sin mejorar a un camino bituminoso se puede justificar con 120 TPD; y de un camino mejorado de grava a un camino bituminoso, con 170 TPD (1). Estos valores también justifican una política de construcción por etapas y aseguran que los costos totales de transporte y el desembolso de capital requerido serán reducidos al mínimo.

Comúnmente se emplean dos términos para describir aún más el nivel de servicio que proporcionarán los caminos de bajo volumen. Superficie de todo tiempo describe un camino que puede ser usado durante todas las estaciones del año. Se pueden cruzar los arroyos y ríos durante condiciones normales de clima, pero pueden ser impasables por periodos indeterminados durante tormentas o aguas altas. Durante esos periodos, el camino podría estar cerrado, por lo menos en algunos tramos. Camino de todo tiempo describe un camino que no solamente puede ser usado en todas las estaciones, sino que además permite el cruce de arroyos y ríos durante e inmediatamente después de las tormentas.

Generalmente es adecuado tener un solo carril para los caminos de Clase 1 y para los de Clase 2 con bajos volúmenes de tráfico (2). Deben proporcionarse zonas ampliadas para descansos y cruces a fin de aumentar la utilidad de los caminos de un solo carril con un ancho de plataforma de menos de 5.5 metros (3). Esto les permitirá transportar mayores volúmenes de tráfico sin ocasionar demoras indebidas. Cuando los volúmenes de tráfico se acercan al límite de 200 TPD (3,4) se considera esencial tener caminos de dos carriles. El número de carriles depende de las características del tráfico, del número de vehículos de tracción animal y de las regulaciones nacionales.

Los caminos de bajo volumen, rara vez justifican grandes costos y amplio uso de mano de obra durante la etapa formal de planeamiento. Sin embargo, es esencial proporcionar

cierta información básica a los responsables del producto final. El conocimiento de las condiciones y problemas peculiares al proyecto específico, puede evitar costosos errores y permitir la ejecución ordenada del trabajo. Es conveniente visitar el lugar de la obra y familiarizarse con las condiciones del terreno. Puede obtenerse una valiosa información con un conocimiento directo de las condiciones topográficas y climáticas particulares. Si desea mejorarse un camino existente, los residentes locales o los responsables de la conservación del camino actual, conocerán a menudo los problemas extraordinarios en la zona. También pueden obtenerse de estas fuentes informes sobre inundaciones locales, materiales útiles para construcción y disponibilidad de mano de obra.

ALINEAMIENTO

Si el proyecto es la transición de una huella de tierra a un camino mejorado, no es difícil por lo general decidir hasta qué punto el alineamiento existente debe ser utilizado. Generalmente, el trazo de un camino de tierra seguirá las curvas naturales del terreno, contorneándolo para evitar pendientes pronunciadas y otros obstáculos locales. Podría seguir viejas trochas peatonales. Excepto en terreno fácil, el trazo que sigue una huella existente no es generalmente el más adecuado para el tráfico automotor. En consecuencia, el primer paso para mejorar un camino, es mejorar su alineamiento horizontal y vertical, haciéndolos armonizables con las normas de diseño seleccionadas (Tabla 1). A menudo se se-

Tabla 1. Normas de diseño sugeridas.

Variable	Caminos Clase 1			Caminos Clase 2		
TPD al abrir la vía (Tráfico mixto)	menos de 50			50-400		
Terreno	plano	ondulado	accidentado	plano	ondulado	accidentado
Velocidad de diseño (Km/h)	60	40	30	80	65	40
Gradiente máxima (%)	6,0*	8,0*	10,0*	6,0	7,0	9,0
Ancho de la plataforma (m)	4,0 a 5,0 dependiendo de la velocidad de diseño			5,5 a 6,2 dependiendo de la velocidad de diseño		
Ancho de una berma (m)	1,0			1,5		
Ancho total del camino (m)	6,0 a 7,0			8,5 a 9,2		
Ancho de puentes (m)	3,5 a 4,0 (un solo carril)			L < 20 8,5 a 9,2 L > 20 7,0 a 7,7		
Luz vertical (m)	5,0			5,0		
Carga móvil de diseño (AASHO o equivalente)	H15-44			HS20-44		
Carga por eje para diseño del pavimento (límite legal) (t)	---			9		
Ancho del derecho de vía (m)	25			35		
Tipo de superficie (asumiendo una base granular)	granular			granular, tratamiento superficial simple o doble		

*Algunas autoridades recomiendan gradientes máximas de 7,0, 10,0 y 12,0% respectivamente, más un incremento adicional para distancias cortas.

guirá la dirección general de la vieja huella, desviándose de ella sólo cuando se encuentre un nuevo alineamiento que sea más práctico para acortar distancias. Se requerirá algunas veces de un trazo diferente, para evitar obstáculos importantes o para cruzar corrientes de agua.

Cuando se está considerando colocar una superficie permanente, hay algunas decisiones difíciles que tomar en esa etapa. Una superficie permanente normalmente fija el alineamiento para muchos años, de modo que resulta apropiado revisar en esa etapa toda la ruta para determinar la necesidad de desvíos importantes. Podrá haber alguna justificación para reubicar el camino más cerca a las fuentes de materiales, proporcionar mejores accesos o quizás, eliminar algunos problemas difíciles de conservación.

VOLUMEN DE TRAFICO

Es necesario conocer algún estimado del volumen de tráfico. Si sólo existe una huella o una trocha peatonal, probablemente sea suficiente construir un camino bien nivelado, naturalmente como etapa inicial. Sin embargo, debe haber alguna estimación de las actividades del transporte en las zonas aledañas, tanto en la actualidad como en un futuro cercano. Los movimientos de los productos a los centros de mercadeo locales, o los movimientos hacia y desde los mercados de los pueblos vecinos, representan la mayor parte de la actividad. Otras actividades, tales como el incremento de los servicios gubernamentales, también podrían generarse como resultado de la construcción del camino. Un camino mejorado puede alentar el desarrollo y el transporte de algunos recursos naturales locales, tales como madera y ganado. Si los productos y artículos no se movilizan actualmente en vehículo, se podrán hacer algunos estimados de volumen razonables, en base a la carga transportada por animales o por personas. Cuando se reuna toda esta información, se podrá fijar algún criterio sobre los requerimientos que deben satisfacerse.

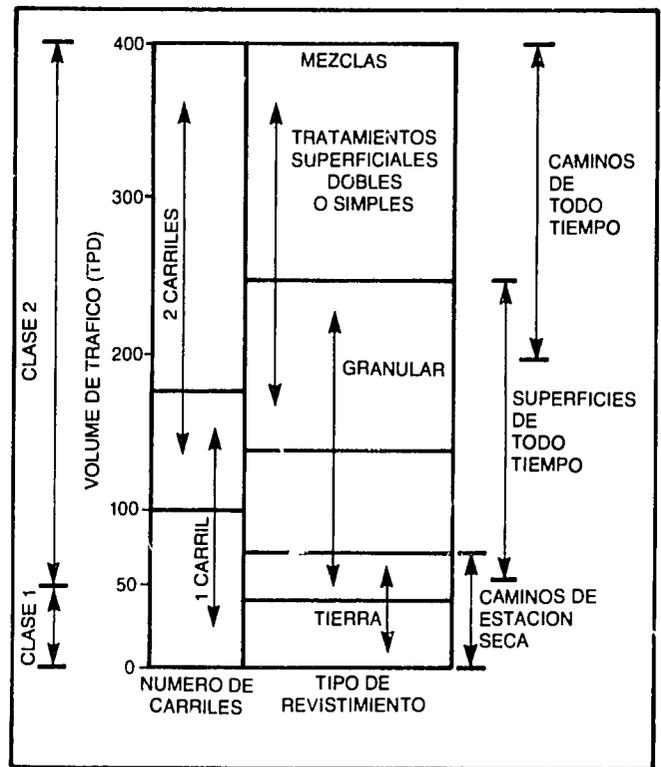
Donde ya existan caminos para vehículos motorizados, se podrán hacer conteos de tráfico y algunas estimaciones del crecimiento vehicular. En muchos países, los ministerios responsables del desarrollo económico o agrícola mantienen informaciones relacionadas con el desarrollo potencial local. Debe considerarse esta información cuando se estime el crecimiento del tráfico.

Una vez que se ha recolectado la información de tráfico, puede comparársela con las guías dadas en la Figura 1 para la etapa por desarrollar.

ESCURRIMIENTO Y DRENAJE

Es difícil obtener información confiable de lluvias y escurrimiento. Sin embargo, debido a sus efectos destructivos, el escurrimiento representa un papel importante en el planeamiento y costo de un proyecto. La falta de información de las áreas inmediatas involucradas, puede ser una causa principal de fallas prematuras e inoportunas de muchos caminos de bajo volumen, que de otro modo habrían sido adecuados. Es posible economizar en algunas fases de la construcción o conservación de caminos, pero las economías que no toman en cuenta adecuadamente el agua de escurrimiento, dan por resultado a menudo, fallas que pueden impedir completamente el uso del camino durante largos períodos de tiempo.

Figura 1. Guía para determinar el número de carriles de circulación y los tipos de revestimiento relacionados con los volúmenes de tráfico.



El problema consiste en obtener datos confiables sobre la cantidad y duración de las lluvias, las áreas de desagüe, las características de escurrimiento del terreno y los niveles máximos de inundación en las áreas inmediatas involucradas. Se puede obtener frecuentemente información valiosa sobre el nivel de las aguas máximas, mediante un examen minucioso de los árboles y arbustos ubicados a lo largo de las corrientes y de los depósitos en las planicies de inundación. También resulta útil la información que proporcionan los habitantes de la localidad. Luego debe analizarse toda la información, para estimar los tamaños adecuados de las estructuras de drenaje.

Al considerarse la construcción por etapas de las estructuras de drenaje, debe recordarse que la cantidad de agua de escurrimiento será la misma, sean cuales fueren los volúmenes de tráfico que circulen en la vía. En consecuencia, las estructuras de drenaje no se adecúan al sistema de construcción por etapas, con excepción de la longitud de las alcantarillas y del ancho de los puentes. El tamaño de la abertura libre para el agua debe satisfacer las necesidades del escurrimiento, sin tomar en cuenta el nivel de construcción por etapas que se esté considerando. En zonas áridas donde se producen tormentas con poca frecuencia aunque en forma intensa, se justifican muy pocas veces las estructuras de drenaje. Deben tomarse medidas para colocar badeños cada vez que se produzcan erosiones por escurrimiento. A fin de reducir los costos durante la primera etapa de construcción, puede permitirse que el agua fluya sobre la superficie en algunos sitios, en lugar de colocar alcantarillas. A menudo, esto resulta práctico cuando se encuentran superficies estables, el flujo está limitado al escurrimiento pluvial y la erosión no es un problema (6,7,8,9,13).

SUELOS Y MATERIALES

Suelos

La mayoría de los proyectos de construcción por etapas incluyen el manejo del suelo, sea para construir terraplenes, conformar el lecho de la vía, o proporcionar drenaje. Es importante al planificar el trabajo, tener conocimiento de cómo se comportará el suelo al manejarlo. Generalmente se extrae el suelo inmediatamente adyacente al camino para formar las cunetas laterales, colocándolo sobre el camino para formar la plataforma. Sin embargo, si el suelo es arcilla pesada, si es húmedo o excesivamente pegajoso o duro, no resulta fácil trabajarlo y en casos extremos podría no ser utilizable.

Es muy conveniente y quizás esencial, hacer una revisión de las condiciones del suelo para determinar su trabajabilidad y adaptabilidad. Un personal experimentado puede determinar usualmente en el campo, la adaptabilidad del suelo sin necesidad de hacer una investigación formal. Personal menos experimentado, puede requerir de la ayuda de pruebas que se ejecutan en el laboratorio central.

Para caminos de Clase 1, resulta generalmente adecuado efectuar estudios mínimos de suelos, si no se evidenciaran problemas difíciles. Sin embargo, si los suelos son pobres o los volúmenes de tráfico indican la necesidad de una etapa más avanzada de construcción, se requerirán más investigaciones y análisis formales (6,10,11,12). En el Capítulo IV de esta síntesis, se discutirá en mayor detalle el uso y tratamiento de los suelos.

Otros materiales

Antes de completar el planeamiento, deberá determinarse la disponibilidad de otros materiales que requiera el proyecto, para asegurar que se dispondrá de ellos en la obra y en el momento en que se les necesite. Con el interés de reducir costos, se deberán usar materiales locales donde resulte práctico hacerlo (10). A menudo puede encontrarse grava o materiales granulares en o cerca de los bordes del camino o en lechos de corrientes cercanas y terrazas de inundación (11). Los residentes de la zona, conocen a menudo otras fuentes de materiales que se utilizan para cubrir diversas necesidades locales. También resulta útil el empleo de fotografías aéreas y mapas geológicos para ubicar probables fuentes de materiales (16).

Cuando no se encuentre grava, arena u otros materiales granulares dentro de una distancia razonable de transporte, puede utilizarse cemento, cal o asfalto de estar disponibles, para mezclarlos con los suelos del lugar y mejorar su calidad (12).

Las rocas locales tienen una variedad de usos para la construcción de alcantarillas, control de la erosión, muros de contención y para cruzar corrientes. También tienen la ventaja de adaptarse fácilmente a los métodos de construcción basados en el uso de mano de obra. Sin embargo, debe tenerse cuidado de usar solamente roca dura y durable. Debe evitarse la roca sometida mucho a la acción del intemperismo o que se deteriore rápidamente cuando sea expuesta a la intemperie. Si no se dispusiera de roca para la construcción de alcantarillas, se podrá emplear concreto o metal corrugado. Generalmente el metal corrugado es un producto importado, mientras que puede obtenerse cemento

con facilidad, siendo a menudo producido dentro del país. Por lo general, el concreto resulta menos costoso para las alcantarillas más pequeñas, pero para alcantarillas grandes, las tuberías de metal corrugado empernaadas y prefabricadas, pueden resultar económicamente más ventajosas que los puentes pequeños. Deberá investigarse el costo de cada opción. Cuando se emplean alcantarillas de tubos de concreto, ellos pueden fabricarse en la misma área del proyecto o en un lugar central, transportándolos después al proyecto. Las ventajas y desventajas de cada método de construcción deben ser analizadas cuidadosamente, antes de decidir cual emplear (7). Si fuera difícil el acceso a la zona de trabajo, podría resultar menos costoso transportar el cemento y los encofrados de alcantarillas, que transportar las alcantarillas terminadas. Sin embargo, esto asume que se disponga localmente de arena, piedra y agua. Es importante recordar que la producción en la obra se ejecuta generalmente bajo condiciones adversas, requiere de algún equipo adicional y emplea personal sin experiencia. Se necesita de una supervisión y control intensos. Por otra parte, la producción en un lugar central, permite un mayor control a cargo de personal más experimentado y puede obtenerse un producto de mayor calidad. Los costos de producción podrían ser menores en un lugar central, pero el costo de transporte al proyecto podría ser mayor, aún cuando la zona de trabajo sea fácilmente accesible. La producción en el lugar de la obra, tiene la desventaja de estar limitada a producir sólo los tamaños de alcantarillas cuyos encofrados estuvieran disponibles.

La madera local seleccionada puede emplearse para una variedad de propósitos, incluyendo estructuras, pilotaje y encofrados para concreto. En las áreas donde sea corriente encontrar termitas (hormigas blancas), debe limitarse a usar la madera en carácter temporal, a menos que esté tratada. Podría ser que los costos de tratamiento puedan eliminar las otras ventajas económicas que favorecen el uso de la madera.

MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN — BASADOS EN MANO DE OBRA O EQUIPO (15)

La política establecida por el gobierno, puede ser la que decidirá si se ejecutará el trabajo con métodos basados en el empleo de mano de obra o en el uso máximo de equipo. De otro modo, la decisión dependerá del análisis económico de los dos métodos. Aunque depende de la naturaleza de cada proyecto, es probable que una solución práctica considere una combinación de los dos métodos.

Debe determinarse la disponibilidad de mano de obra, así como la existencia de equipo y la capacidad para mantenerlo en buen estado. También debe apreciarse la naturaleza de los materiales y de los problemas de construcción involucrados. Por lo general, los métodos basados en el uso de mano de obra resultan más favorables, si (a) el terreno es plano u ondulado, (b) los suelos son ligeros y pueden ser fácilmente trabajados con herramientas manuales, (c) el volumen de movimiento de tierras es pequeño, y (d) las estructuras de drenaje son simples. Generalmente un terreno montañoso o muy accidentado, requiere del uso de más equipo. Si los terraplenes son grandes y hay abundancia de roca dura, o si los suelos son duros, altamente plásticos, pedregosos y no pueden ser manejados con herramientas manuales, se requerirá de más equipo mecánico. Puede lograrse un balance

práctico entre mano de obra y equipo cuando, por ejemplo, se requiere desplazar terraplenes o materiales superficiales para el camino, a una distancia de varios kilómetros. Se puede emplear un camión volquete que es cargado por obreros, se desplaza hasta la obra para descargarlo y se esparce el material empleando nuevamente mano de obra.

No debe desestimarse la posibilidad de usar equipo local o vehículos tirados por animales para algunos tramos de la obra. Se pueden emplear tractores agrícolas acondicionados con cuchillas niveladoras para trabajos ligeros de nivelación, empleándose los vehículos tirados por animales para transportar cargas ligeras.

El uso máximo de los recursos disponibles localmente, requiere de mayor supervisión en el nivel técnico medio. Sin embargo, hay numerosas combinaciones de mano de obra, equipo de construcción vial y equipo disponible localmente, que pueden emplearse para construir un proyecto a un costo mínimo.

METODO DE EJECUCION — POR CONTRATO O CON PERSONAL DEL GOBIERNO

Pueden variar las necesidades del planeamiento para un proyecto construido por contrato y otro construido con personal del gobierno, especialmente cuando se trata de construcción por etapas.

Si se tiene que contratar el trabajo, será necesario preparar alguna forma de especificación técnica debidamente documentada y suscribir acuerdos formales, sin tomar en cuenta lo simple o complicado que sea el trabajo. Estos documentos deben incluir como mínimo, una descripción del trabajo a realizar, la calidad del producto resultante y el tiempo de terminación. Se requiere de diversos grados de detalle, dependiendo de la amplitud y complejidad del trabajo. El propósito será preparar especificaciones simples, breves y prácticas, manteniendo al mismo tiempo la calidad del trabajo deseado. Se deben especificar los procedimientos para determinar la cantidad que se pagará al contratista por el trabajo que realice. Dicha cantidad será determinada en forma precisa y exacta, pero de manera simple y práctica.

Si el trabajo estuviera a cargo de personal público, se puede limitar la documentación a bosquejos e instrucciones generales. Se puede dejar al criterio del capataz o supervisor de campo, muchas de las decisiones sobre los métodos de construcción, dependiendo de su capacidad y experiencia. Si se tratara de una etapa de mejoramiento sin mayores complicaciones, podría resultar suficiente dar instrucciones verbales. Por ejemplo, podría indicarse simplemente "colocar 15 cm de grava de 4 m de ancho, entre A y B". Sin embargo, debe proporcionarse algún tipo de control para asegurar que se respeten las normas establecidas y que el proyecto se mantenga dentro de las limitaciones del presupuesto.

PROGRAMACION DEL PROYECTO

Se requiere de tiempo para reunir en la obra todos los materiales, mano de obra, herramientas y equipos necesarios, y para programar que las entregas se hagan tomando en cuenta la estación más adecuada para la construcción. Las estaciones lluviosas, que son generalmente dañinas e inconvenientes, pueden emplearse en forma ventajosa para el proyecto si se programara el trabajo de manera adecuada. Cuando se ejecutan apropiadamente los terraplenes y las obras de drenaje, las lluvias pueden materialmente ayudar a conseguir el asentamiento necesario de los terraplenes y la compactación de la superficie.

Si se contratara el proyecto, es conveniente que las especificaciones consideren ciertas actividades que deben ejecutarse dentro de límites de tiempo y en fechas claramente determinadas. Es también esencial que se permita al contratista iniciar el trabajo en el momento en que pueda serle posible programar adecuadamente sus operaciones.

Si el gobierno ejecutara directamente el trabajo, el supervisor asume la responsabilidad directa de muchas de las actividades programadas, que de otra forma habrían sido asignadas al contratista. Es necesario entonces, que el supervisor tenga autoridad para proceder de acuerdo a las actividades programadas, dándose el tiempo suficiente para iniciar el trabajo dentro de la fecha de inicio proyectada. Esto viene a resultar crítico, cuando las estaciones lluviosas son realmente intensas.

CAPITULO III

Diseño para construcción por etapas

GENERALIDADES

Las siguientes observaciones hechas como resumen en una conferencia importante sobre caminos de bajo volumen, ilustran las consideraciones de diseño.

Un pensamiento común determinado en los trabajos y discusiones, fué que los ingenieros deben diseñar los caminos de bajo volumen desde un punto de vista diferente a los utilizados en el diseño de los caminos de alto volumen. Una preocupación principal fué que las técnicas deben desarrollarse para diseñar vías de bajo

volumen con un mínimo de esfuerzo, y ciertamente en la mayoría de los casos, con el empleo de escasa información

Durante las sesiones reapareció constantemente el concepto de diseño mediante el uso de técnicas simplificadas pero razonables. Consideraciones de carácter económico y ambiental, hacen imperativo que el ingeniero asuma restricciones en el diseño acordes con dichas consideraciones. El principio de diseñar

empleando lo que se sabe que va a funcionar bien, sin tomar en cuenta su costo, no se aplica a los caminos de bajo volumen. Para parafrasear al Mikado, debemos hacer un diseño que se acomode a la obra (16).

Existe la preocupación de saber cuando debe sobrediseñarse o construir con exceso algunos componentes de la vía, con el propósito de anticiparse a necesidades futuras de mejoramiento. Es una práctica común construir para 20 años en el futuro, cuando existen informaciones seguras que permitan prever las futuras necesidades. Pero cuando no sea posible hacer pronósticos dignos de confianza o cuando no pueda preverse la necesidad de mejoramiento en los próximos 20 años, el empleo de un desarrollo por etapas parece ser la mejor forma de utilizar los fondos disponibles.

Algunas veces, los fondos destinados para un proyecto específico pueden no estar disponibles para efectuar mejoras en una fecha posterior y, en ese caso, podría ser conveniente emplearlos para construir con más amplitud de criterio, los componentes más críticos, tales como dar un mayor ancho de vía o construir cruces de corrientes de agua. Si se previeran dificultades en la conservación después de terminada la vía, podría resultar mejor construir inicialmente más del mínimo requerido, para asegurarse de que el servicio funcionará adecuadamente. La decisión sobre la cantidad que se construirá en exceso al diseño mínimo requerido, será motivada tanto por consideraciones prácticas como por motivos técnicos.

TRAZADO

La magnitud y clase del alineamiento requerido, como la magnitud del diseño, dependen de las condiciones de campo y de lo que se vaya a construir. Si el camino estuviera en una ubicación nueva o si siguiera una huella peatonal o una trocha, el trazado convencional seguirá normalmente la dirección general de la huella o trocha. Se medirán las distancias y se establecerán las estaciones. Se determinarán las alturas en los puntos de estación, o de manera más frecuente si el terreno fuera irregular o muy inclinado. Después de dibujar a escala esta información se podrá establecer el alineamiento y la pendiente del eje central.

Si el trabajo consistiera en mejorar un camino existente y bien definido, podría ser innecesario hacer un trazado de toda su longitud. Si sólo se van a hacer mejoras localizadas de rasantes, de curvas o del drenaje, podría resultar adecuado proporcionar información de trazo sólo para esas ubicaciones.

La cantidad de secciones transversales depende de la naturaleza del terreno. Un terreno montañoso requiere generalmente de secciones transversales más frecuentes y de mayor ancho que un terreno plano, donde hay pocos cambios entre estaciones. Las secciones transversales deben extenderse siempre más allá de los puntos probables de intersección de los taludes con el terreno natural. Deben tomarse en cuenta secciones en intervalos regulares suficientemente cercanos, de modo de poder determinar las áreas y volúmenes con precisión razonable. Se requerirán secciones adicionales, cada vez que se presenten cambios abruptos en el terreno. Donde se intersecten cursos de agua, deben extenderse los perfiles lo suficiente en ambas direcciones, para proporcionar la información requerida por el diseñador del sistema de drenaje.

El desarrollo por etapas de un camino existente donde ya están establecidos el alineamiento y las pendientes, requiere

por lo general menos trazado, que cuando se desarrolla un proyecto desde sus inicios.

PLANOS LINEALES

Estos tipos de planos pueden ser adecuados cuando se trata de mejorar un camino ya establecido. Tienen mayor aplicación cuando no se prevén cambios significativos en la rasante o en el alineamiento, o cuando las velocidades de diseño o los volúmenes de tráfico son bajos. Generalmente se limita el trabajo al mejoramiento de cunetas, cambios menores de pendientes y mejoramiento del sistema de drenaje, o al revestimiento de la superficie. Requieren de un trazado y diseño mínimos y pueden utilizarse para determinar cantidades de obra y para construir el proyecto. Los planos lineales pueden prepararse de la siguiente manera.

En lugar de un trazo detallado, el ingeniero o el diseñador recorre en un vehículo el camino por mejorar. Se anotan las distancias desde el punto inicial, controlándolas con el odómetro del vehículo. Para propósitos de control se pueden relacionar las distancias con puntos importantes del camino, observados durante el recorrido. El ingeniero anota el trabajo por ejecutar y la lectura correspondiente del odómetro, estimada al décimo de kilómetro. Por ejemplo, si se requiere de una alcantarilla o se desea ampliar una alcantarilla existente, se anota la lectura del odómetro y el trabajo a ejecutar; se sigue el mismo proceso cuando se trata de mejorar rasantes, hacer pequeños cambios de alineamiento y trabajos especiales de cunetas. En base a estas anotaciones, se prepara el plano lineal que muestra las lecturas del odómetro con la información necesaria para ejecutar el trabajo correspondiente. No se indica ni el alineamiento ni la rasante (Figura 2).

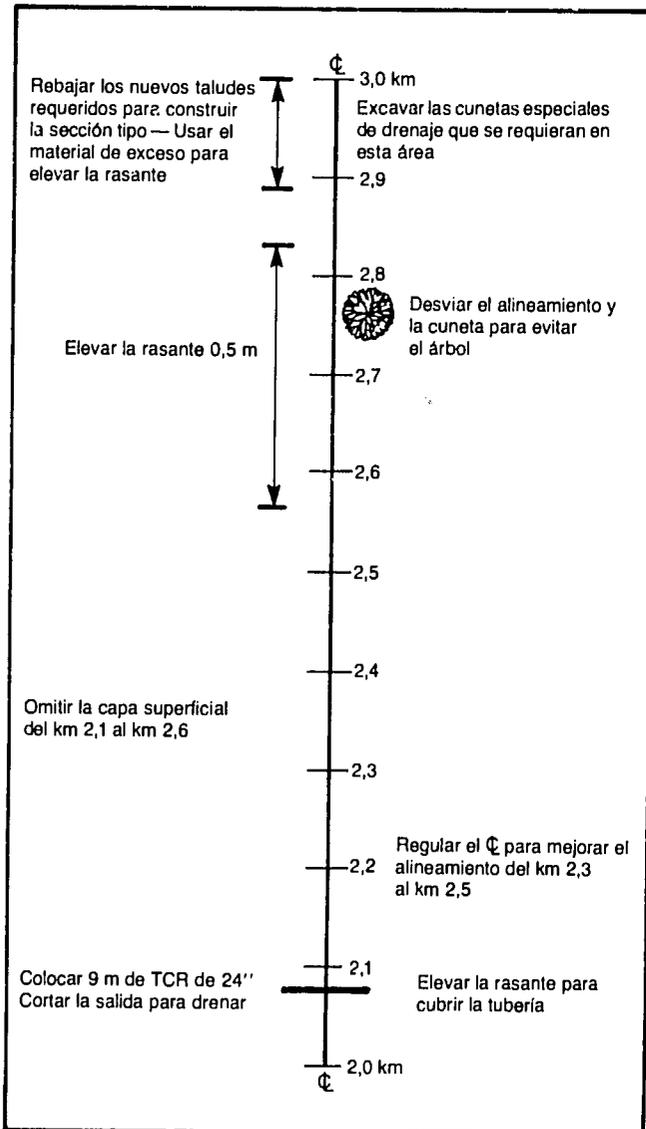
El plano es utilizado conjuntamente con una sección típica. El material obtenido de la construcción normal de cunetas es empleado como capa nivelante de la carretera, sin cambiar la rasante en forma significativa. Si el plano especificara un cambio notable de rasante, se anotarán los límites y cambios de altura. Dependiendo de la magnitud del cambio, quizás sea necesario determinar mediante trazado, la nueva rasante. Cuando ocurran problemas especiales, podría ser necesario considerar un diseño más completo.

Para mejorar por etapas un camino existente, este proceso proporciona la información necesaria a un costo mínimo. Se puede emplear en la construcción con equipo o con mano de obra y se presta tanto a la construcción con personal del gobierno o con contratistas. Debe observarse que en este procedimiento se necesita de un supervisor de campo, que pueda emplear más criterio que el que requeriría si se le proporcionaran planos diseñados con más detenimiento y mayor técnica. Pero como las velocidades de diseño son bajas, pueden hacerse "al ojo" algunos cambios menores de rasante o mejora de curvas, sin que se presenten mayores problemas. Durante la construcción, se podrán necesitar brigadas de trazo para ejecutar un trabajo más exacto. De otra manera, las principales herramientas con que cuenta el supervisor son niveles de mano, reglas, marcadores y cordel.

NORMAS DE DISEÑO

Las normas utilizadas para el desarrollo de caminos de bajo volumen deben permitir costos de construcción relativamente bajos. Deben proporcionar una vía que mediante el desarrollo por etapas, sería capaz de soportar un volumen de tráfico potencialmente más alto, a menos que las condicio-

Figura 2. Plano lineal.



nes sean tales que no parezca que se presente un crecimiento futuro de tráfico en el área. También deben consignar los problemas topográficos y las necesidades de los usuarios.

Las superficies de grava, los vehículos tirados por animales y otros controles, impedirán probablemente que se puedan recorrer estos caminos a altas velocidades. La mayoría de los países en desarrollo usan para estos caminos una velocidad de diseño de 60 km/h en terreno plano, reduciéndola a 30 km/h en terreno montañoso. Se consideran estos valores adecuados para limitar las condiciones de operación, aunque grandes tramos de la mayoría de estas vías permiten velocidades de operación más altas.

La Tabla 1 muestra unas normas representativas usadas por los países en desarrollo y tiene el propósito de servir de guía (5). Debe observarse que esta guía se aplica a las etapas finales de desarrollo de caminos de Clase 1 y Clase 2. A fin de reducir los costos iniciales, podría ser conveniente construir bajo normas más bajas en las primeras etapas de desarrollo. A medida que aumenta el tráfico, se pueden mejorar los lugares construidos con normas más bajas, para tener todo el camino al mismo nivel de normas deseado.

SECCIONES TÍPICAS

El propósito de una sección típica, es proporcionar al contratista un claro entendimiento sobre la forma, dimensiones y componentes del camino por construir.

Algunas consideraciones claves en el diseño de las secciones típicas son (a) ancho suficiente de la superficie de rodamiento para acomodar el número de vehículos, (b) suficiente resistencia en los materiales superficiales y subyacentes, para soportar las cargas de las ruedas, y (c) drenaje adecuado para evitar que la superficie o la plataforma se erosionen o se debilite, por una prolongada exposición al agua superficial o subterránea.

El ancho requerido de la superficie de rodamiento, depende del volumen de tráfico. Aunque los métodos varían en todos los países en desarrollo, se considera generalmente adecuado un ancho de 4 m para una superficie de rodamiento de un solo carril para volúmenes hasta de 150-200 vehículos por día, si se proporcionan zonas de cruce a intervalos frecuentes (400 m como máximo) (3). Para caminos de Clase 2, es común encontrar anchos de 6-6.65 m. La capacidad de la superficie para soportar las cargas, depende de las características del material de revestimiento, de la cantidad y clase de tráfico y de la amplitud con que el suelo de la plataforma del camino retiene su estabilidad, a medida que cambia el contenido de humedad. Dependiendo de estos factores, la sección típica debe especificar el tipo y cantidad de material que debe colocarse sobre la superficie. Se consigue el drenaje, dándole pendiente a la superficie del camino y proporcionando cunetas a lo largo de la vía, para mantener el agua fuera de la superficie y alejarla de la plataforma construida.

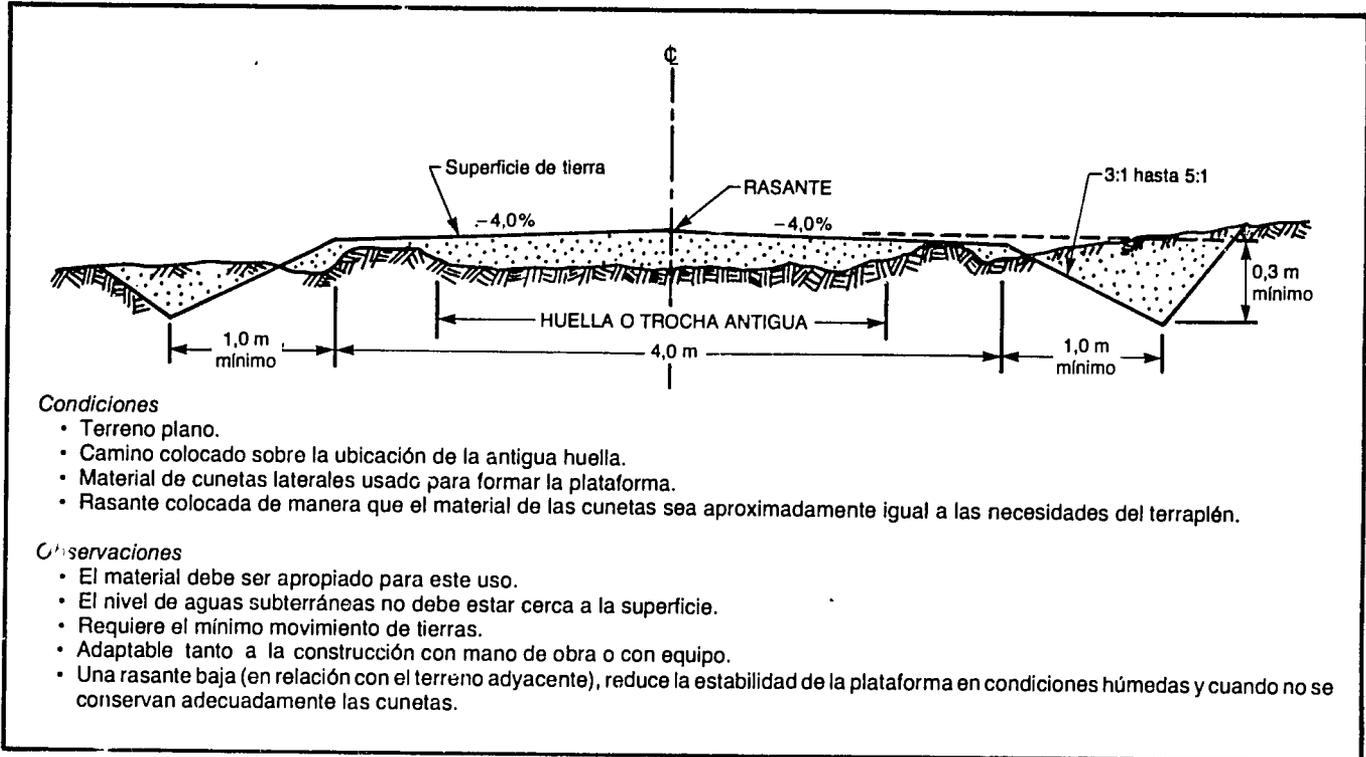
Las Figuras 3 al 8, muestran las secciones típicas comúnmente usadas para los caminos de Clase 1 y Clase 2, e indican la forma como pueden aplicarse para el desarrollo de caminos por etapas bajo diversas condiciones. Los diagramas muestran caminos de una sola vía con una superficie de 4 m y sin bermas, representando lo que se considera generalmente como un ancho práctico mínimo para volúmenes muy limitados de tráfico.

Algunas autoridades propugnan ampliar el ancho de la plataforma para permitir bermas de 0,5 a 1,0 m a cada lado. Esto incrementa relativamente poco el costo, proporciona más estabilidad a los bordes de la vía y permite una limitada posibilidad para el paso de vehículos. También hay los que propugnan, con cierta justificación, que se coloquen las cunetas inicialmente para acomodar una futura superficie de rodamiento de 5-6 metros con bermas a ambos lados. Para bajos volúmenes de tráfico, se debe construir inicialmente una superficie de rodamiento de 4 m, en forma tal que pueda ser ampliada en una etapa posterior de desarrollo de la vía, cuando se le considere necesario. Esto incrementa el costo inicial de construcción, pero proporciona un espacio para el cruce o paso de vehículos y simplifica la subsiguiente etapa de desarrollo que brindará una vía de dos carriles de circulación. Siempre debe considerarse la probabilidad de desarrollar eventualmente el segundo carril de circulación.

Las siguientes guías para fijar las secciones típicas que corresponden al terreno, pueden ayudar a alargar la vida del camino y reducir las necesidades de conservación:

1. Una línea de rasante que esté a mayor altura que el terreno adyacente es muy conveniente. Una rasante más alta proporciona una plataforma más seca y por

Figura 3. Construcción por etapas sobre una huella antigua.



consiguiente más fuerte. Una plataforma más fuerte da por resultado menos baches y deformaciones de la superficie. En zonas áridas; las arenas transportadas por el viento no se acumulan generalmente sobre la superficie, pero sí en el lado del terraplén opuesto a la dirección del viento.

2. Las cunetas más profundas tienden a reducir el contenido de humedad de la plataforma y proporcionan mayor capacidad para el escurrimiento. Estas podrían resultar inadecuadas cuando se encuentran rasantes planas. En este caso, elevar la línea de rasante podría ser una alternativa adecuada.

3. Es conveniente proporcionar pendientes transversales de 3 a 5 por ciento a la superficie de la vía. Pendientes menores del 3 por ciento, permiten la formación de charcos de agua sobre la superficie, que se convierten en baches con la acción del tráfico. Pendientes mayores del 5 por ciento tienden a provocar corrugaciones en los bordes del camino. Una pendiente del 3 por ciento resulta adecuada para superficies bituminosas, mientras que la de 5 por ciento es recomendable en revestimientos de grava suelta.

4. En áreas de corte, deberán recortarse los taludes laterales tan cerca como sea posible a su ángulo natural de

Figura 4. Etapa de desarrollo de una superficie de todo tiempo.

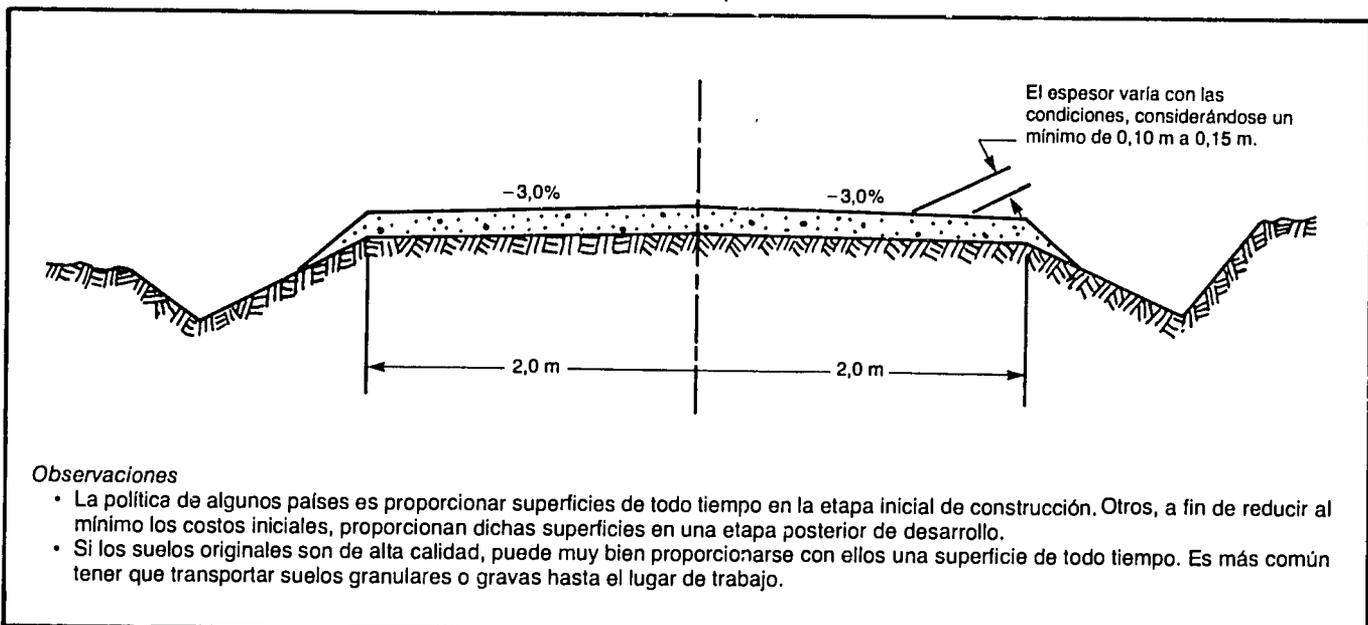
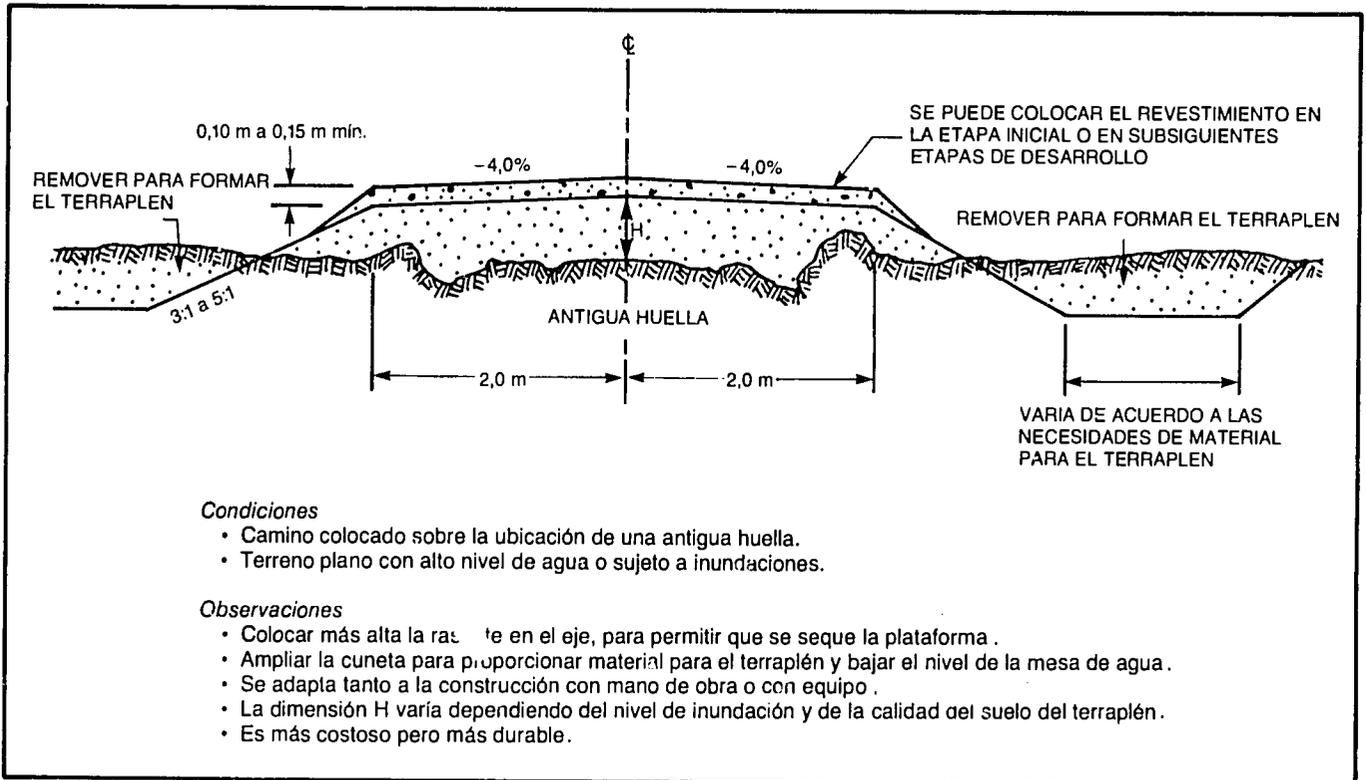


Figure 5. Tramo de terraplén sobre una antigua huella.



reposito. Este ángulo puede ser determinado por lo general, mediante observación directa de los taludes naturales en las zonas vecinas. Taludes más planos exigen una excavación innecesaria y no son necesariamente más estables. Los taludes se erosionan fácilmente si se les corta demasiado empinados. La erosión causa sedimentaciones que obstruyen el drenaje y ori-

gina una conservación excesiva. Los taludes pronunciados causan también en época de lluvias, deslizamientos de tierra y acumulación de material.

5. En desarrollo por etapas, se debe sacar ventaja de los caminos o trochas existentes, cuando se esté tratando de situar la sección típica. Por ejemplo, podría utilizarse una trocha existente y hundida por asentamientos,

Figura 6. Sección típica en corte.

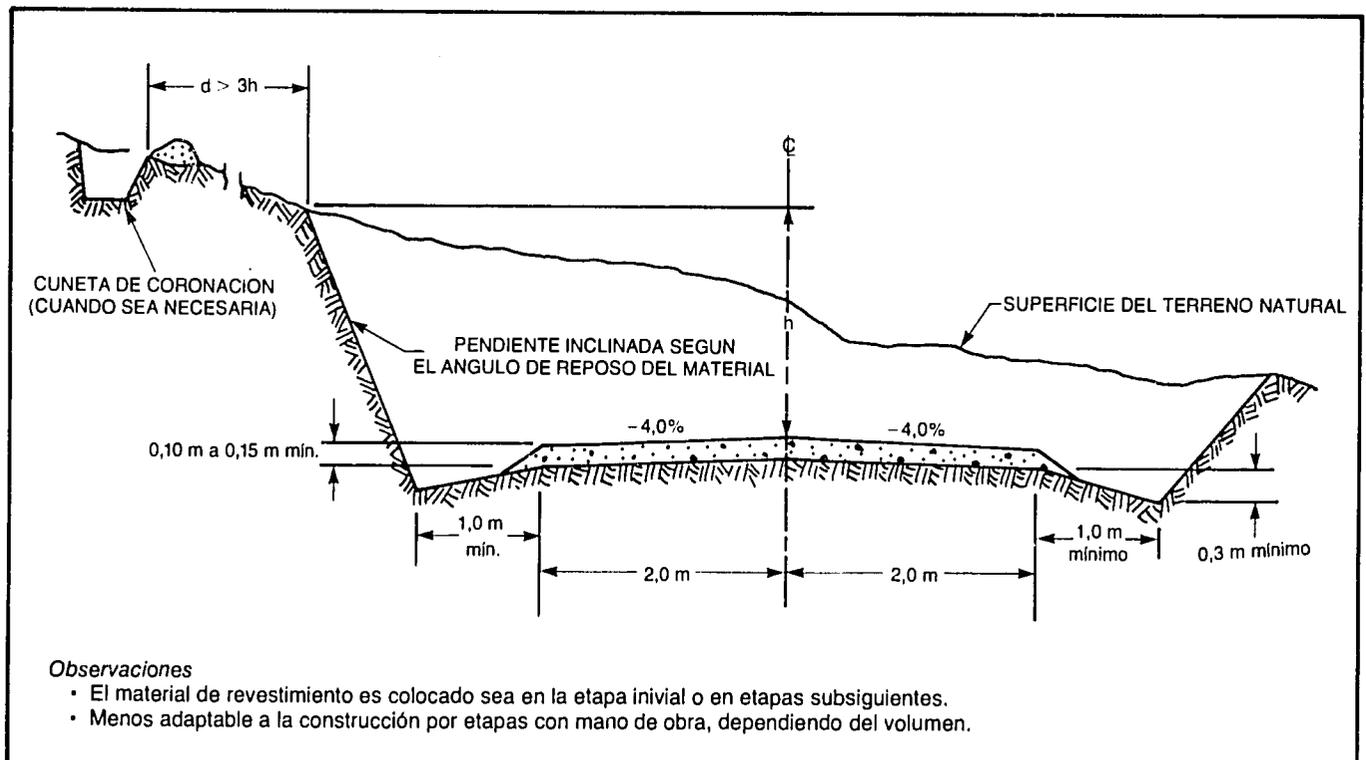


Figura 7. Cuneta tipo canal en curvas (rasante prolongada hasta el borde).

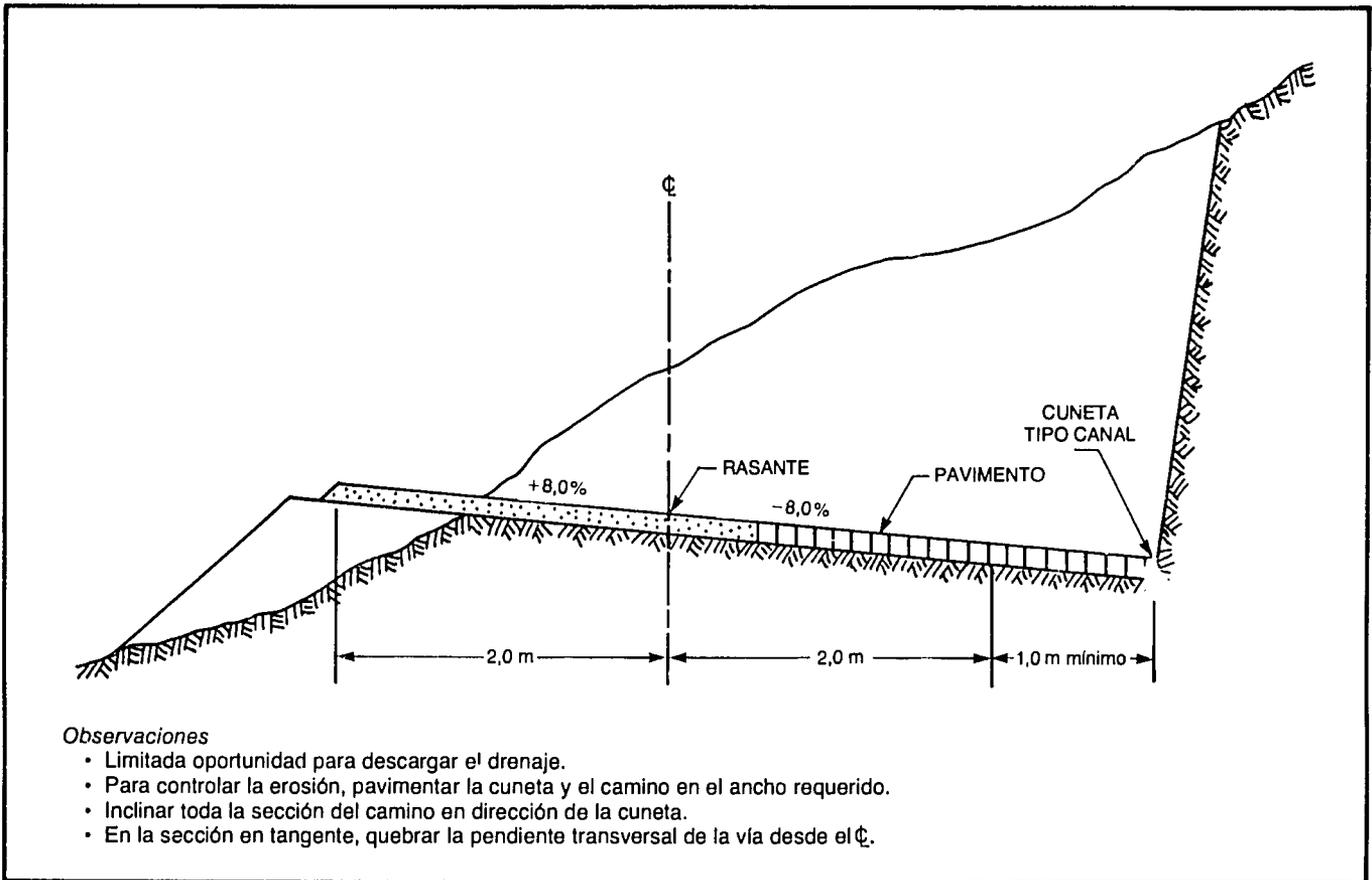
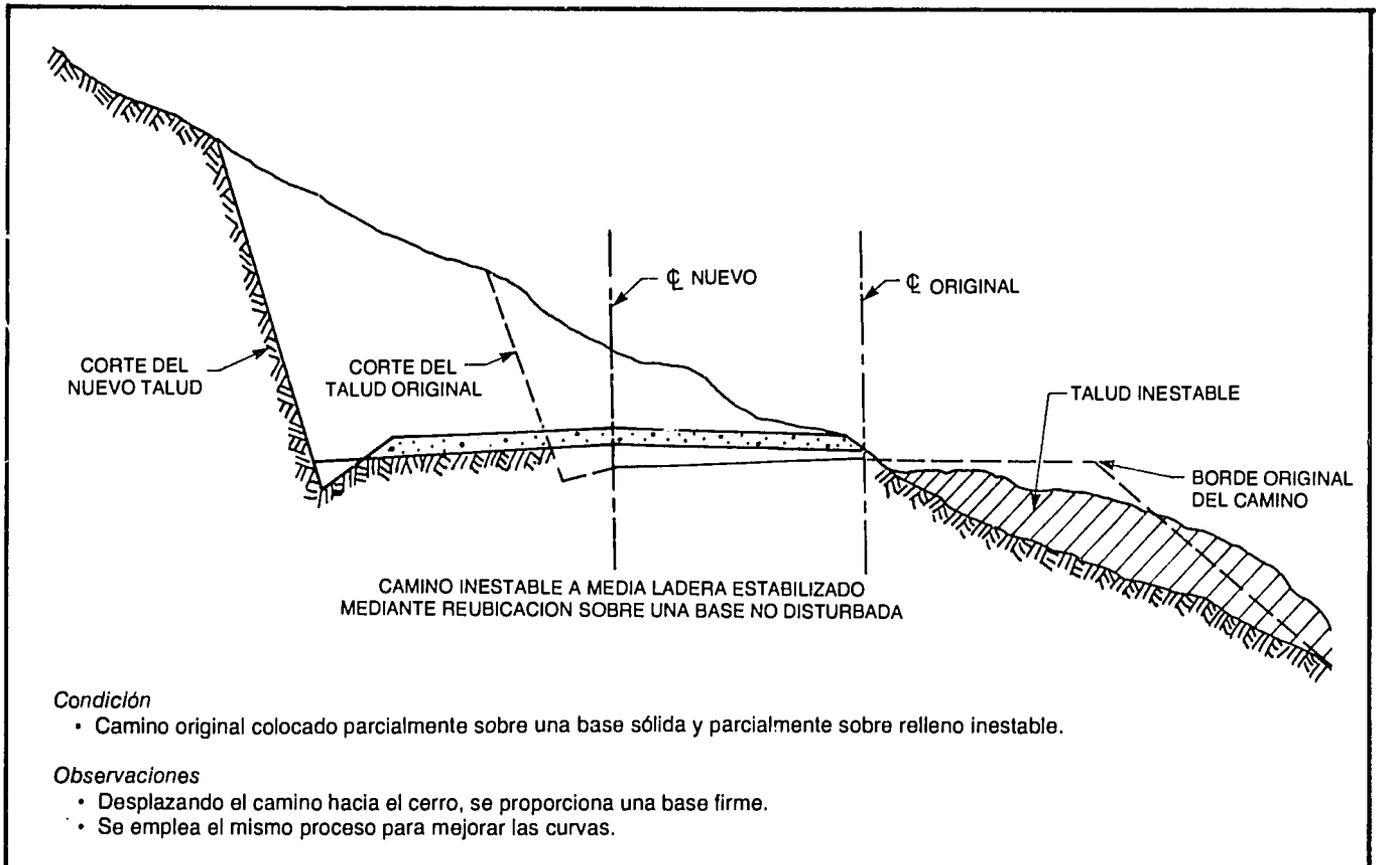


Figure 8. Etapa típica de mejoramiento en terreno accidentado.



como cuneta de drenaje a uno de los lados del camino nuevo (Figura 9). Una plataforma compactada existente podría servir como base del nuevo camino, siempre que no se sacrifique el criterio de conseguir un buen sistema de drenaje.

6. Es preferible ampliar sólo un lado del terraplén de un camino existente. Cuando ocurre la consolidación del nuevo material, se limitará a un camellón en la superficie. También se reduce el número de conexiones de la alcantarilla (Figura 10).

DRENAJE

La falta de atención al drenaje ha sido el motivo de falla de numerosos caminos de bajo costo. Muchos caminos pobres pueden convertirse en caminos adecuados, con sólo aplicar sistemas buenos de drenaje. El drenaje empieza proporcionando suficiente bombeo o pendiente transversal (3 a 5 por ciento) a la superficie de la vía, para permitir un rápido escurrimiento, antes de que se formen cauces o se erosione el material superficial.

El flujo de agua es conducido desde la superficie a las cunetas o por los lados del terraplén alejándose del camino. Las cunetas deben mantener una rasante que permita un flujo estable y evite que la vía se humedezca y debilite. Deben descargar en los puntos más bajos del terreno, cada vez que sea posible, haciendo que el agua se aleje de los terrenos laterales (Figura 11). No debe permitir que se acumule el agua a lo largo del camino.

En el caso de tramos largos de camino con pendientes fuertes, el agua de las cunetas se desborda algunas veces sobre la superficie de la vía y puede correr sobre la vía por las depresiones causadas por las huellas del tráfico. A menudo, se abren grandes surcos y el camino se torna impasable. Las siguientes son algunas de las maneras de corregir este problema:

1. Pavimentar con piedra la sección afectada;
2. Interceptar con mayor frecuencia la cuneta con alcantarillas transversales;
3. Construir pequeñas hendiduras o camellones, diagonalmente al eje del camino, para desviar el agua hacia las cunetas (aquéllos deberán tener una pendiente suave de modo de no interferir con el tráfico);
4. Construir cunetas más grandes; y
5. Construir canales angostos transversalmente al camino para recolectar el agua y desviarla. Los canales deben tener un recubrimiento suficientemente fuerte para soportar el tráfico, y el ancho necesario para recolectar el agua sin que se obstruyan con los desperdicios que se acumulan sobre la superficie. Las hendiduras pavimentadas, tienen la ventaja de ser fáciles de construir y de conservar.

Se evitan los problemas en los caminos nuevos, regulando el alineamiento vertical para descargar más frecuentemente el agua acumulada, o proporcionando mayor capacidad en las cunetas mediante el uso de cunetas tipo canal pavimentadas, según se muestra en la sección típica de la Figura 7.

Figura 9. Cuneta de drenaje en una trocha hundida por asentamientos.

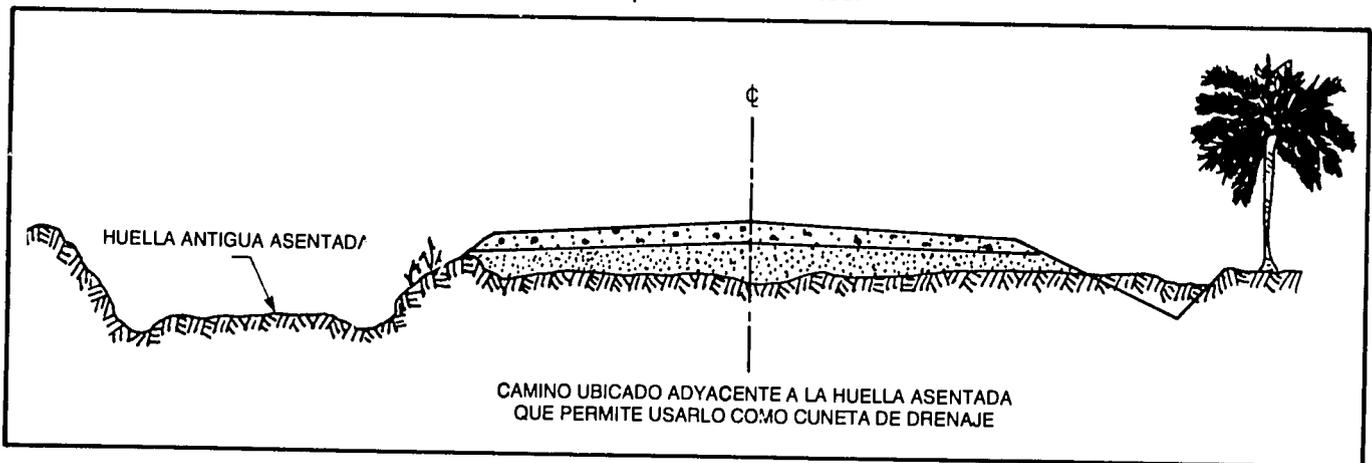


Figura 10. Ampliando un lado de un camino existente.

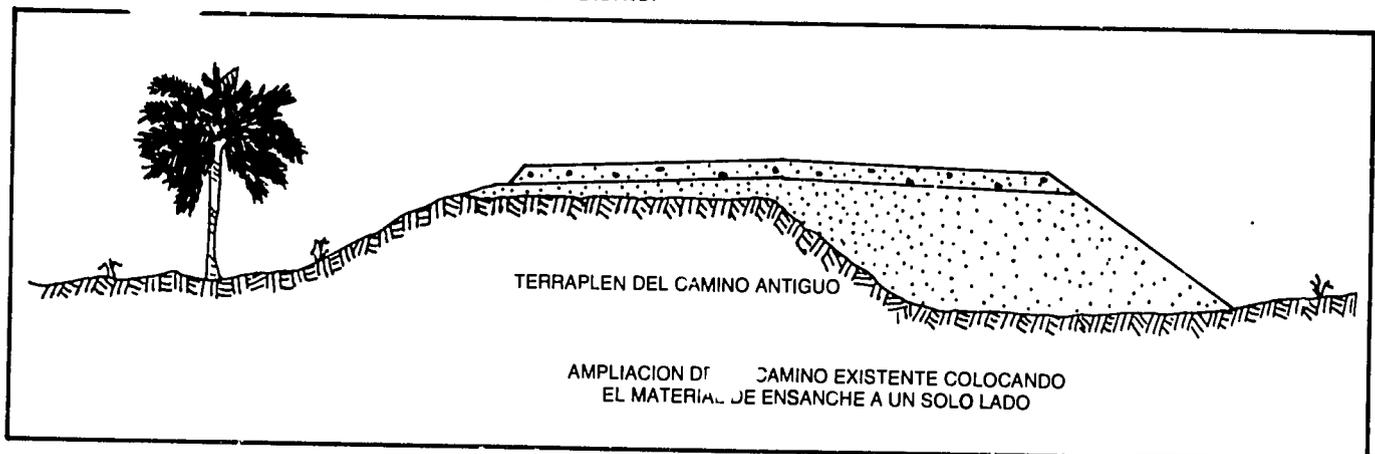
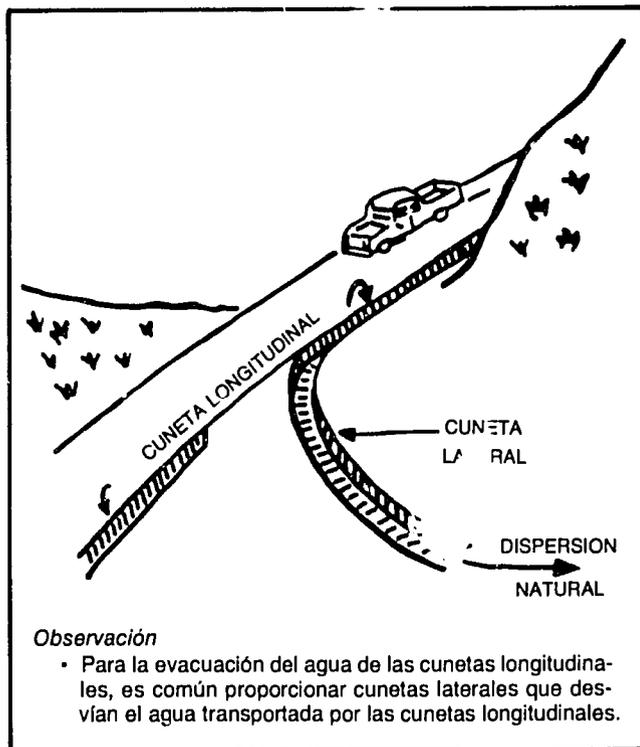


Figura 11. Cuneta lateral.



Se pueden construir cunetas de diversas formas. Las más comunes son las de forma en V, pero también pueden usarse las de forma trapezoidal para proporcionar mayor capacidad. Puede usarse una cuneta de fondo plano (Figura 5), que proporciona una fuente fácil de material de préstamo para construir la plataforma. Las características de erosión de los diferentes suelos pueden favorecer un diseño sobre otro (9).

Durante el diseño de la cuneta, deben identificarse los métodos que se emplearán para conservarla. Algunos diseños pueden adaptarse para ser conservados con mano de obra o con equipo, pero no con ambos. Por otra parte, una cuneta en forma de V, puede conservarse tanto con mano de obra como con maquinaria.

Se deben evitar cunetas muy extensas, construyendo sistemas de drenaje transversal cada vez que sea posible descargar el agua acumulada. Si la cantidad de agua fuera demasiado grande para la cuneta tipo mostrada en la sección típica, deberá ampliarse la cuneta. Este procedimiento está limitado por su costo, comparado con el costo del drenaje transversal. En general, será más económico construir cruces de drenaje transversal, que ampliar y alargar las cunetas.

Cuando la pendiente es muy pronunciada, se pueden erosionar las cunetas. La erosión depende de la velocidad del agua y del tipo de material (13). Cuando el material es propenso a ser erosionado, debe protegerse. La protección más económica es el césped o cubierta vegetativa. La colocación de una cubierta de césped nativo tipo rastrero y de crecimiento rápido, es generalmente efectiva. Debe evitarse la vegetación pesada tipo enredadera, porque puede obstruir la cuneta y obstaculizar el flujo. Cuando la vegetación no es adecuada, deberá pavimentarse las cunetas con roca y juntas de mortero. Si la roca no estuviera disponible, se podrá usar concreto o recubrirlo con suelo estabilizado con cemento.

La Tabla 2 muestra las pendientes críticas en las que ocurre erosión en diversos tipos de materiales. Mientras que esta tabla puede servir de guía para determinar la necesidad de protección contra la erosión, se podrá obtener mayor información mediante observación directa de las condiciones del terreno, sobre todo cuando el trabajo se trata de una etapa más adelantada de desarrollo. Si fuera evidente la presencia de cauces y de erosión, se deberán tomar medidas adecuadas para evitar que vuelvan a ocurrir después de terminar más construcción.

Siempre que sea posible, deberán mantenerse las cunetas sin cambios bruscos de dirección. Las cunetas son particularmente susceptibles de erosionarse en los extremos de cortes de gran longitud, donde descargan a cursos naturales de agua. Algunas veces resulta necesario pavimentar las áreas de salida de las cunetas, a fin de evitar daños a los terraplenes vecinos. Si mucha cantidad de agua fluyera hacia la carretera desde los taludes laterales de los cerros, deberá desviársela construyendo una cuneta de coronación o de intersección (Figura 6). Deberá proporcionarse a la cuneta una pendiente tan suave como sea posible, con cambios mínimos de dirección. Si las pendientes suaves no resultaran prácticas, deberán pavimentarse las cunetas y tomar medidas para dispersar la fuerza del agua con bloques de desviación o represas de control. Si la estratificación natural del terreno estuviera inclinada hacia el camino, las cunetas de coronación pueden contribuir fácilmente a provocar un deslizamiento de tierras. No debe construirse estas cunetas sin hacer antes una investigación adecuada.

SUPERFICIES

El tipo de revestimiento menos costoso para caminos de bajo volumen, consiste en tierra natural debidamente nivelada. La calidad de este tipo de revestimiento, depende de la calidad del suelo. La mayoría de los suelos proporcionan una superficie adecuada sólo cuando están secos o ligeramente húmedos, aunque estando secos pueden producir también demasiado polvo. Bajo condiciones de excesiva humedad, casi todos los suelos con excepción de arenas y gravas, llegan a resultar impasables. Se pueden mejorar las superficies de tierra mediante un drenaje adecuado. Estando debidamente graduadas y drenadas, estas superficies se consideran adecuadas para caminos de Clase 1. Se pueden mejorar estos caminos de tierra y transformarlos en superficies de todo tiempo, agregándoles materiales que sean

Tabla 2. Erosión de cunetas.

Tipo de material	Gradientes críticos (%)
Arenoso	1-3
Arcilla	2-5
Grava fina	4-6
Pizarra suave	5 y más de 5

menos afectados por el agua. Puede hacerse esto durante la construcción inicial o como una etapa de mejoramiento de un camino existente.

El método más común para proporcionar una superficie de todo tiempo, consiste en colocar sobre el camino un espesor adecuado de grava o material granular. A menudo se encuentran materiales adecuados en los lechos de cursos de agua, en terrazas aluviales, o en otros depósitos naturales (6, 11). El material debe contener una suficiente cantidad de suelos aglutinantes de grano fino, como limo y arcilla, para ligar el material al compactarse la superficie del camino. Cuando contiene poco material ligante, se produce una superficie muy suelta; demasiado aglutinante produce al humedecerse, una superficie muy suave. Para proporcionar una buena superficie de rodamiento, el tamaño máximo de piedras que contenga el material, no debe exceder de 20 mm (3/4 de pulgada). El espesor del material necesario para proporcionar una superficie de todo tiempo, varía de acuerdo con la calidad del material y con las cargas del tráfico que soporte. Para caminos de bajo volumen, un espesor de 10 a 20 cm, es muy común.

Si no se pudiera encontrar material que cumpla con estos requisitos, es posible obtener resultados satisfactorios, mezclando materiales de dos o tres lugares. Podría encontrarse grava o arena en un lugar, pero deficiente cantidad de material de liga; y en otro lugar, un material ligante adecuado. En ese caso, se transportarán ambos materiales a la obra y se mezclarán sobre el camino, manteniendo las proporciones correctas. Hay que tener cuidado de asegurarse que el material ligante seleccionado, se mezcle adecuadamente bajo condiciones normales de trabajo. Cuando no se pueda encontrar adecuados materiales granulares o de revestimiento, se mezclan algunas veces los suelos del lugar con cal, cemento o asfalto, para obtener estabilidad (12).

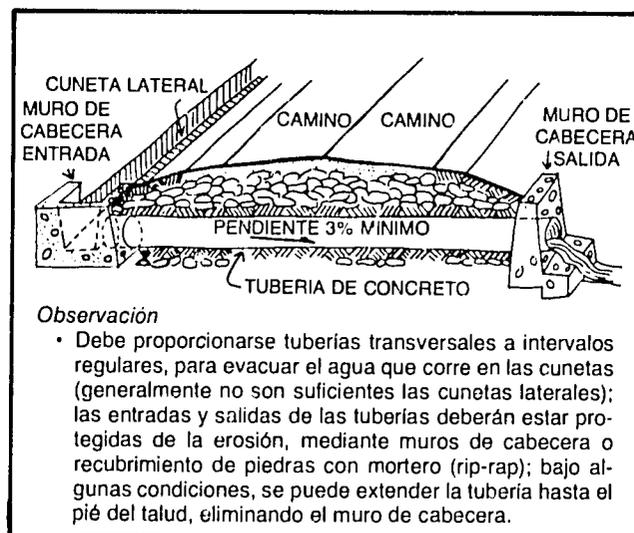
A menudo se usan capas impermeables de cemento asfáltico, cuando los volúmenes de tráfico alcanzan entre 140 y 170 TPD, pero el volumen en que se justifica este tratamiento depende de las condiciones locales. Algunas veces se colocan sellos en caminos con muy poco tráfico, porque eliminan la necesidad de reemplazar y repavimentar periódicamente los materiales superficiales. Los sellos también previenen el desgaste superficial de los suelos estabilizados, reducen los costos de mantenimiento de los vehículos y eliminan el polvo. Un revestimiento de una capa de sello, puede consistir en una aplicación simple de cemento asfáltico para impermeabilizar la superficie y para controlar el polvo. Con más frecuencia, consiste en una o más aplicaciones de cemento asfáltico y piedra chancada, que proporcionan una superficie de rodamiento más fuerte y más durable. No debe asumirse que los sellos eliminan la conservación futura, dado que se requerirá reparar la superficie cada vez que ocurran fallas localizadas. Podría incluso necesitar de un completo revestimiento cada cierto número de años, dependiendo de los volúmenes de tráfico y de las condiciones locales.

ALCANTARILLAS

En esta síntesis, el término **alcantarilla** se aplica a pequeñas estructuras de drenaje por las que cruza el agua transversalmente y por debajo del camino. El término se aplica a los diversos tamaños de tubos para alcantarillas más frecuentemente usados, o a sus equivalentes.

Mientras que muchos componentes del camino pueden mejorarse en forma económica como parte de una etapa de

Figura 12. Tuberías transversales.



mejoramiento, no puede hacerse lo mismo con las dimensiones de una alcantarilla. Debe calcularse e instalarse correctamente la alcantarilla desde la primera etapa de desarrollo del camino. Las dimensiones deberán prever cambios futuros en el uso de la tierra que pudieran afectar el volumen del escurrimiento. En las publicaciones técnicas se encuentran diversos métodos para determinar los tamaños más apropiados de alcantarillas, pero aún no se ha desarrollado un método que pueda considerarse el mejor de todos (7).

Mientras que podría resultar innecesario hacer estudios completos de drenaje para caminos de bajo volumen, deberá hacerse el máximo esfuerzo para proporcionar una dimensión adecuada de alcantarilla y al mismo tiempo económica. Puede obtenerse con frecuencia información práctica en el terreno, observando los lugares seleccionados para colocar las alcantarillas. El ancho y la profundidad del curso de agua, la erosión o la evidencia de aguas altas, son buenos indicadores para determinar el tamaño de una alcantarilla. Cuando se trata de mejorar un camino existente, las condiciones que rodean las alcantarillas en actual uso, pueden confirmar si sus dimensiones son las más convenientes.

Generalmente se necesita colocar alcantarillas en los puntos bajos del terreno, cada vez que el camino obstruye el flujo de agua. Entre las excepciones, se incluye la decisión deliberada de proporcionar un badén o un tramo deprimido para facilitar el cruce, interceptar pequeños flujos de agua, o desviar el agua por las cunetas conduciéndola hasta el siguiente punto de cruce. Esto último resulta conveniente, sólo cuando las cunetas son adecuadas para dar cabida al flujo y las distancias de recorrido son cortas. Generalmente resulta más económico colocar alcantarillas con más frecuencia, que alargar o ensanchar las cunetas (Figura 12) (17).

Se puede determinar los puntos bajos, en los planos que muestran la rasante y el perfil del trazo. Debe comprobarse cuidadosamente en el terreno, la presencia de flujos de agua a través del camino, para poder determinar las necesidades reales.

MATERIALES PARA ALCANTARILLAS

Donde hubiera suficiente cantidad de madera y no son indígenas las termitas o hormigas blancas, se pueden construir alcantarillas de troncos de árboles o de madera labrada con

hacha. Las alcantarillas de madera pueden construirse rápidamente, acelerando así la construcción y utilización del camino. En una etapa subsiguiente, se podrán reemplazar las alcantarillas de madera por otras más permanentes. Sólo debe considerarse una construcción de esta clase si los terraplenes son bajos, porque resultaría antieconómico retirar y reemplazar terraplenes muy pesados.

A menudo se usa piedra del lugar para la construcción de alcantarillas, cuando el suelo de fundación es bueno y la rasante del camino suficientemente alta, como para proporcionar la superficie requerida para repartir las cargas de las ruedas. Por lo general se construyen alcantarillas de piedra con el fondo pavimentado, las paredes verticales, y la parte superior formando una bóveda rebajada. Cuando la alcantarilla es estrecha se pueden colocar losas de concreto prefabricado sobre las paredes de roca, como una alternativa a las bóvedas rebajadas. Se puede inclusive usar las losas como superficie de rodadura. Requieren de un menor espesor de relleno sobre la alcantarilla y pueden fácilmente vaciarse en el sitio y con las dimensiones deseadas. Los dos tipos de alcantarilla descritos, hacen un máximo uso de materiales y mano de obra locales.

Cuando no se dispone de materiales locales, se pueden emplear alcantarillas de tubos de concreto o de metal corrugado. Pueden usárselas como alcantarillas individuales o en serie, cuando el tamaño de una sola tubería resulte insuficiente. La tubería de concreto puede ser construida en el sitio o en alguna ubicación central, y transportada luego a la obra. Deberán analizarse las condiciones económicas y de fabricación, antes de decidir el método a emplear. A menudo la tubería de metal corrugado es un producto importado, pero tiene la ventaja de ser suficientemente liviana y puede ser transportada a la obra con mayor facilidad. Se la puede usar sobre cimentaciones menos estables que las requeridas por las tuberías de concreto y son fácilmente armadas por obreros locales.

Puede aumentarse la longitud de las alcantarillas existentes empleando materiales de las mismas dimensiones, sin cambiar la pendiente de la línea de flujo. Al conectar dos alcantarillas de dimensiones o formas diferentes, pueden originarse turbulencias o cambios de velocidad del agua en los puntos de unión. Cualquier reducción de gradiente, permitirá la acumulación de limo o de desperdicios.

Generalmente, las alcantarillas estrechan el flujo de la corriente de agua y aumentan la velocidad, originando un mayor potencial erosivo en el punto de descarga. En muchos casos, la erosión y formación de surcos en estos puntos, dañan el terraplén del camino, la alcantarilla misma y el canal aguas abajo. Deberá disiparse la energía originada por el flujo de alta velocidad en la salida, para evitar estas socavaciones. Se puede lograr esto, colocando un zampeado o recubrimiento de piedras con mortero de cal o de cemento (rip-rap). Si no se dispusiera de rocas, los sacos de suelo cemento son buenos substitutos.

CRUCES DE AGUA

A menudo, los caminos de bajo volumen cruzan los lechos de corrientes secas o de aguas bajas, a través de vados, áreas depresionadas y badenes pavimentados. Estos se emplean normalmente como una primera fase en la construcción por etapas de un camino, con el propósito de reducir su costo inicial. Cuando el incremento de tráfico o los inconvenientes de las demoras causadas por las aguas altas lo justifican, se

podrán mejorar los cruces originales mediante la construcción de puentes o alcantarillas.

En realidad, los cruces originalmente construidos se usan durante largos períodos de tiempo. En consecuencia, el ingeniero debe diseñarlos y construirlos para que soporten una larga vida y no sean destruidos por las lluvias intensas.

La clase más simple de cruce, es cuando se emplea como parte del camino el lecho estable de una corriente. Se deberán proporcionar accesos con pendientes suaves que no excedan del 5 ó 6 por ciento. Se recubrirán los accesos con grava u otros materiales granulares, que no sean afectados por la humedad que produce el tráfico.

A menudo pueden convertirse en transitables algunos cauces menos estables de corrientes, colocando rocas en el cauce mismo para proporcionar una base firme con una superficie de rodamiento relativamente suave. La corriente tendrá la tendencia de depositar limo aguas arriba de los materiales colocados como base, y a erosionar el lado opuesto. Por ello, es conveniente ensanchar el área de cruce aguas abajo de la zona reforzada, para reducir a un mínimo la erosión en el área de cruce. Los vados deben acomodarse tanto como sea posible al fondo del cauce, para no alterar el flujo de la corriente.

Con frecuencia se pavimentan los cruces de cursos grandes de agua o de corrientes rápidas y aguas profundas. Para ello, se colocan rocas aproximadamente hasta la altura del nivel normal del agua. Se vierte concreto sobre ellas, incluyendo los accesos al cauce, para proporcionar una superficie de cruce pavimentada, disturbando en un mínimo el flujo de agua. En cauces de corrientes donde suelen ocurrir erosiones, se deben construir muros interceptores. También deben colocarse rocas aguas abajo del cruce, para disipar la fuerza del flujo de agua que se desplaza sobre su superficie.

La sección transversal de un vado pavimentado no debe mantener el coronamiento normal del resto de la vía, sino que debe dársele la inclinación natural del cauce siguiendo la dirección de la corriente. La rasante en el área de cruce deberá permitir el paso sobre ella de un flujo delgado de agua durante gran parte de su recorrido a través del cauce, cuando el agua está en su nivel normal.

Para el caso de corrientes de flujo permanente y ríos de poca profundidad, existe un tipo de cruce que proporciona un mejor servicio, aunque a mayor costo. Es el vado tipo alcantarilla que tiene una serie de tuberías paralelas, de tal manera que el flujo normal pasa íntegramente a través de ellas. Una superficie pavimentada se coloca sobre las tuberías. En épocas de crecientes en que el agua se eleva a mayor altura que la alcanzada por el vado tipo alcantarilla, fluye sobre el camino sin causarle daño (8).

En todos estos tipos de cruces, es esencial mantener rasantes suaves de acceso y tomar toda clase de precauciones para reducir al mínimo la erosión. Para ayudar al conductor durante períodos de crecientes, se deberán colocar marcadores que muestren los bordes del área de cruce. También debe colocarse un marcador en el punto más bajo de la superficie de cruce, para mostrar la profundidad del agua.

PUENTES

Es frecuente reemplazar los vados con puentes o alcantarillas, como un segundo paso en la construcción por etapas de caminos de bajo volumen. Se toma esta decisión cuando el tráfico ha aumentado lo suficiente, como para justificar la

eliminación de las demoras causadas por las crecientes de agua, o porque éstas son tan violentas que es imposible mantener cruces de menor nivel. Para satisfacer estas necesidades, también es posible ensanchar o reforzar los puentes.

Por lo general se ubicará el puente en o cerca de un cruce existente. Es importante, sin embargo, seleccionar el mejor lugar posible. Deberán considerarse los siguientes factores:

1. El eje central longitudinal del puente debe estar en ángulo recto con la dirección del flujo del río.
2. La parte inferior del puente deberá estar a una altura mayor que los máximos niveles conocidos de crecientes.
3. Los estribos y pilares no deben impedir ni interferir el flujo de la corriente. Si no pudiera evitarse esta interferencia, se deberá proporcionar protección contra socavaciones y contra la recolección y acumulación de desperdicios.
4. Las cimentaciones deben estar sobre base firme, preferentemente fuera del alcance de las aguas en época de crecientes. Si el puente estuviera sobre pilotes, éstos deberán cimentarse a mayor profundidad que el espesor de socavación y estar protegidos de la acumulación de desperdicios.
5. Si los accesos al puente cruzaran una planicie de inundación y se requiriera de un terraplén, deberá construirse en el perfil del terraplén cunetas de poca profundidad, hasta una altura menor que la del fondo de los largueros o vigas del puente. Esto servirá como aliviadero para el desborde de las aguas de inundación que se acerquen al nivel del tablero del puente. Si se destruyera el terraplén por acción de las aguas, puede reemplazarse más rápidamente y a menor costo que el puente. A fin de reducir al mínimo la posibilidad de que se destruya este aliviadero, podrá pavimentarse o reforzar con piedras con mortero, incluso aguas abajo del terraplén (13).

Los materiales menos costosos que se emplean en la construcción, son generalmente los que se encuentran localmente. Cuando hay disponibilidad de madera y no son indígenas las hormigas, los puentes de madera de luces pequeñas, resultan económicos y pueden servir adecuadamente durante muchos años. Se pueden construir con relativa facilidad, usando mano de obra local. Se debe tratar la madera con preservativos, para evitar que se pudra. A fin de alargar la vida del puente, se podrán construir las zapatas, estribos y pilares con mampostería de piedra, usando madera para las vigas y tableros. Los puentes cubiertos han tenido éxito para reducir la descomposición de las estructuras de madera. Siempre que se use madera para los tableros, se deberán colocar hileras de tablonos como huellas de rodadura de los vehículos, protegiendo y preservando los tableros del puente. Los arcos de mampostería de concreto o los pilares y estribos de albañilería con vigas de acero o concreto son más permanentes, pero resultan más costosos y requieren de un mayor nivel de mano de obra especializada. Algunas veces por razones económicas o de ubicación, puede preferirse la colocación de estructuras de concreto reforzado. Estas requieren diseños de ingeniería y mano de obra experta para su construcción. Muy pocas veces se puede justificar su costo en las etapas iniciales de un camino de bajo costo, y a menudo se las construye en etapas posteriores para reemplazar vados o badenes pavimentados.

Debe tenerse cuidado, cuando se trata de ampliar puentes existentes. Como la ampliación permitirá cargas adicionales, debe asegurarse que la subestructura y las cimentaciones sean capaces de soportar estas nuevas cargas. Se harán inspecciones para determinar si se requiere reforzar o agregar pilares de apoyo, antes de ensanchar el puente. A menudo es más práctico construir un puente adicional paralelo al actual, o reemplazar el original con un nuevo puente que tenga el ancho deseado.

Se ha comprobado que bajo ciertas condiciones, es más económico colocar alcantarillas de arco con planchas de metal corrugado, que construir puentes pequeños. Estas láminas corvas prefabricadas, están diseñadas para ensamblarse en el lugar de la obra. Pueden ser transportadas fácilmente y empernadas en el sitio, empleando mano de obra local. Tienen la desventaja de tener que pedírselas con mucha anticipación a su instalación, y además deben estar aseguradas a un estribo de concreto. Generalmente se adaptan mejor a quebradas profundas o a lugares donde los terraplenes son relativamente altos.

EROSION

La erosión es uno de los mayores contribuyentes al deterioro de los caminos, especialmente de los recientemente construidos. Se presenta frecuentemente en los caminos de bajo volumen donde el terreno no está estabilizado, pudiendo ser consecuencia de las condiciones económicas que mandan el diseño y construcción de bajo costo, o porque las fuerzas de la naturaleza y los efectos resultantes no han sido totalmente previstos por el diseñador o por el constructor.

Es necesario tener conocimiento del proceso de erosión que sirva de base para tomar medidas adecuadas de control, tanto cuando se ubique y diseñe la vía como en el período de construcción.

La erosión del suelo se origina por efectos de la lluvia que desplaza las partículas del suelo en áreas protegidas inadecuadamente. Al desplazarse el agua sobre la superficie, se llevará algunas partículas del suelo. El grado de remoción de partículas se relaciona con la intensidad y duración de la lluvia, con el volumen del flujo de agua y con las características de las partículas del suelo.

En algunas áreas, es el viento el que causa la erosión. Ocurren sedimentaciones de materiales transportados por el agua o el viento cuando se reduce la velocidad, y la capacidad de transporte resulta insuficiente para desplazar toda la carga de sedimento.

Se puede presentar un incremento repentino en la erosión, cuando el terreno ha sido disturbado por alguna construcción. Este tipo de erosión acelerada, es el que debe controlarse durante la construcción del camino y después de terminada la construcción.

Las causas de erosión sugieren algunos principios básicos para lograr controlar la erosión y los sedimentos (7). Algunos de los principios más importantes que se aplican a la construcción o mejoramiento de caminos de bajo volumen, son los siguientes:

1. Construir los taludes de acuerdo con las limitaciones del suelo;
2. Reducir el área de exposición del suelo sin protección;
3. Reducir la duración de exposición del suelo sin protección, especialmente durante las estaciones lluviosas;

4. Proteger el suelo con cubierta vegetativa, hojas o material resistente a la erosión
5. Controlar la concentración de agua de escurrimiento;
6. Retardar el escurrimiento con trabajos técnicos debidamente planeados; y
7. Detener el sedimento con barreras temporales o permanentes, represas u otras medidas.

Siempre que sea posible, deben construirse los cruces en tramos estables del cauce, para evitar meandros que están propensos a cambios de rumbo. Para armonizar con otros requisitos, deberá incorporarse el alineamiento y la pendiente al paisaje natural, para reducir al mínimo los cortes y rellenos, reducir la erosión y evitar un alto costo de conservación. Se deberán ubicar las alcantarillas de modo que requieran cambios mínimos en el canal. Debe tenerse cuidado de proteger de erosiones severas, las salidas de alcantarillas y los canales. Generalmente las capas de piedra con mortero (rip-rap), ofrecen una protección suficiente.

El agua subterránea es la causa frecuente de deslizamientos y de otras áreas disturbadas que se agregan al problema de erosión, cada vez que el agua superficial fluye sobre estas áreas. Algunas veces puede interceptarse el agua subterránea mediante zanjas rellenas de grava y arena, para aliviar dichas condiciones inestables y reducir al mínimo la erosión potencial.

Se puede colocar pequeñas represas dentro del cauce para formar reservorios o estanques, que sirvan para detener el agua y atrapar el sedimento causado por la erosión. Estas represas pueden tener carácter temporal o permanente, según sea necesario.

Las operaciones de nivelación serán ejecutadas de tal manera que el área de suelo sin protección quede reducida al mínimo. Se deberá mantener bien drenada el área de trabajo, evitando la concentración de agua.

En la mayoría de los climas tropicales y subtropicales donde el nivel de lluvias es adecuado, el crecimiento de césped natural en una sola estación proporcionará suficiente protección a la erosión para los terraplenes promedio. Cuando se requiere de mayor protección, se plantan a menudo ramas de césped rastrero indígena. Estas deben colocarse lo suficientemente cerca entre ellas, para asegurar que cubran el área en una sola estación de cultivo.

Cuando las arenas inestables presenten problemas por cubrir u obstruir un camino, se las puede controlar colocando cortavientos en el lado del camino expuesto al viento. Cualquier reducción de la velocidad del viento, hará que deposite su carga en los cortavientos. Debe cuidarse de colocarlos lo suficientemente lejos de la vía, para evitar que la arena se deposite sobre el camino, pero no tanto que resulten inefectivos. Los cortavientos son generalmente efectivos para una distancia equivalente a 10 ó 15 veces su altura.

Pueden consistir de cualquier material que corte la fuerza del viento, tales como cercas de madera, árboles, matorrales u otros desechos que puedan anclarse en el lugar.

CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Aunque la construcción o mejoramiento de caminos de bajo volumen, parece no tener un efecto adverso apreciable sobre el medio ambiente, hay algunas costumbres que debe adoptar el ingeniero de caminos para asegurar una alteración mínima en el área de trabajo.

La erosión y la consiguiente sedimentación, son dos de las formas más palpables de daños producidos al medio ambiente. Métodos de construcción adecuados, tales como la

colocación del material de desecho en forma tal que no afecte la vertiente y el control del escurrimiento de la manera descrita previamente, pueden reducir los daños al mínimo. Es importante tener presente que los daños pueden extenderse más allá de lo que sea visible. Por ejemplo, una corriente con contenido limoso, puede afectar adversamente a todo aquello que depende de ella como una forma de vida.

Tanto como sea posible, deben evitarse todos los objetos que tengan algún significado histórico, religioso o cultural. Podría ser recomendable algunas veces, modificar algo el trazo para conservar cementerios, templetos o árboles que tengan algún significado local especial. Debe alterarse lo menos que sea posible las fuentes de agua potable o los lugares para el lavado de ropa o para bañarse. Incluso, es posible a menudo mejorar estos lugares o hacerlos más accesibles, sin incurrir en costos apreciables.

No debe quedar ninguna marca permanente como resultado de la construcción. Deberán nivelarse los lugares excavados y todo aquello que hubiese alterado la superficie, para confundirse con el terreno adyacente, debiendo fomentarse el crecimiento de vegetación natural.

ESPECIFICACIONES

La mayoría de los países han preparado especificaciones para la construcción de sus caminos principales. Estas especificaciones exigen generalmente una calidad de construcción superior a lo que se considera económico o necesario para caminos de bajo volumen, y si se cumple estrictamente con ellas, se tendría que aumentar el costo de los caminos de bajo volumen más allá de los beneficios recibidos. Es preferible usar como guía, las especificaciones que están preparadas para la construcción de caminos de bajo volumen.

Si la construcción estuviera a cargo de personal del gobierno, es normal utilizar alguna forma de publicación oficial como guía para control y supervisión de construcción, especialmente cuando se usan programas de construcción basados en el empleo de mano de obra. Sin embargo, si el gobierno utiliza a un contratista, debe existir algún tipo de acuerdo formal, en base al cual el contratista puede determinar lo que tiene que hacer y se fija el método de pago a utilizar. Normalmente estos acuerdos incluyen planos de ingeniería y especificaciones relacionadas con la calidad de trabajo a ejecutar. Ellos deben establecer criterios sobre los plazos y la ejecución del trabajo, además de una declaración firme sobre cualquier penalidad a aplicar por incumplimiento. En la construcción por etapas, puede resultar difícil definir o medir las unidades de trabajo. Una alternativa consiste en reembolsar al contratista en base al tiempo empleado y los materiales requeridos, en lugar de la práctica más común de basar el pago en las unidades de trabajo terminadas. Esto, sin embargo, requiere de una contabilidad muy precisa y detallada para asegurar un reintegro apropiado por los servicios prestados.

Las especificaciones para caminos de bajo volumen no deben ser altamente técnicas, porque la construcción tampoco lo es. Sin embargo, deben proporcionar suficiente información para no dejar dudas sobre la calidad del trabajo deseado. En algunos casos, se deberán especificar los diversos pasos a seguir para alcanzar los resultados deseados, pero no debe restringirse la iniciativa del constructor tendiente a utilizar alternativas aceptables. Las especificaciones deben incluir también medidas para controlar la calidad de los materiales.

Construyendo el proyecto

MOVILIZACION

Materiales

Antes de empezar la construcción, deben hacerse los arreglos necesarios para la entrega de materiales, herramientas y equipo, y para la movilización de la mano de obra. El supervisor debe tener todos los materiales disponibles y bajo su control, antes de que se necesiten en la obra. Las demoras en la entrega de equipo, pueden causar interrupciones en el trabajo, que llegan a superar en exceso el tiempo de las demoras mismas.

Debe seleccionarse un lugar conveniente en el proyecto para ensamblar los materiales y suministros. Debe drenarse el área adecuadamente y ser suficientemente grande para permitir un espacio adecuado de almacenamiento y una buena circulación de tráfico, así como accesos buenos. Es preferible que el lugar esté ubicado en el punto medio del proyecto y que sea fácilmente accesible. Si el proyecto fuera muy extenso, podría requerirse más de un lugar. En ese caso, se pueden almacenar los diferentes materiales en diversos lugares. Debe trasladarse con suficiente anticipación el equipo de construcción hasta el lugar de trabajo, para comprobar su adaptabilidad y utilidad, antes de emplearlo en el trabajo. Debe proporcionarse también un almacenaje adecuado para combustibles y lubricantes.

Generalmente se proporciona una oficina de campo para el supervisor, que le sirve de base de operaciones y donde puede guardar sus documentos. También debe proporcionarse un lugar bajo llave por seguridad y para guardar equipos pequeños, tales como herramientas manuales.

El cemento debe almacenarse sin que toque el suelo y debe estar protegido de la intemperie. Después de que se moje, ya no será posible utilizarlo (Figura 13). En cada lugar debe haber la cantidad necesaria de cemento para completar los trabajos en el sector. Si se requiriera de más cantidad que no pueda ser protegida adecuadamente, se tomarán medidas para efectuar entregas parciales. También se protegerán los agregados y la arena para que no se contaminen con materiales extraños. Cuando se manejen o almacenen agregados, debe colocarse el material por capas en lugar de hacerlo en pilas cónicas. Los conos hacen que las partículas rueden y se separen en segmentos gruesos y finos. Un agregado segregado, origina un concreto pobre.

El acero reforzado también debe almacenarse sin tocar el suelo, y si no se le va a utilizar durante varios meses, deberá protegerse de la intemperie para reducir su oxidación.

Si se requirieran explosivos, se tomará en consideración su protección, proporcionando un almacenaje seguro y alejado de otros trabajos. La cantidad almacenada deberá ser la mínima requerida para no interrumpir el trabajo. Los explosivos y los elementos de detonación, deben ser manejados separadamente y nunca deberán almacenarse ni transportarse juntos. Si se trata de cantidades apreciables de explosivos, el lugar de almacenamiento deberá estar rodeado de

montículos de tierra, o estar ubicado de manera tal que una explosión accidental no puede dañar al personal que trabaja en el área.

Programación

El supervisor debe revisar su proyecto para determinar la secuencia lógica de construcción. Debe tomar en cuenta la forma como las estaciones y el clima pueden afectar el avance de la obra, y prever las necesidades de mano de obra. Por ejemplo, si el proyecto está basado en el uso de mano de obra, debe considerar la disponibilidad estacional de obreros y el tiempo de entrenamiento requerido. Las mismas consideraciones se aplican al uso de equipo disponible localmente.

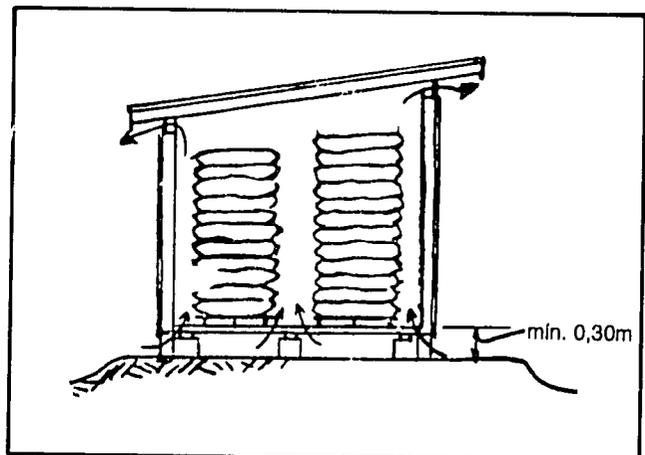
HERRAMIENTAS Y EQUIPO

Generalidades

El número y tipo de herramientas y equipos requeridos para un programa de construcción de un camino dependerá de varios factores, incluyendo la política gubernamental que puede exigir un empleo máximo de mano de obra, la naturaleza del trabajo, las condiciones económicas, la disponibilidad de equipo y la disponibilidad de mano de obra local. Podría encontrarse probablemente, que resulte más práctico una combinación de los métodos con mano de obra y los que recomiendan el empleo de equipo.

La mano de obra es más productiva cuando los suelos son fácilmente trabajables, los volúmenes son pequeños y las distancias de transporte cortas. Se requiere más equipo, a medida que los suelos llegan a ser más difíciles de trabajar y aumentan los volúmenes. Las distancias largas de transporte

Figura 13. Almacenamiento de cemento.



de material y la remoción de roca y piedras pesadas, requieren de equipo más pesado. Generalmente, un terreno plano o ligeramente ondulado se acondiciona a los métodos de construcción con mano de obra, mientras que un terreno montañoso y accidentado renuere de métodos basados en el uso de equipo.

Herramientas

La construcción con mano de obra requiere de una variedad de herramientas manuales. Estas incluyen palas, picos, zapapicos, rastrillos, paletas de emparejar, carretillas, hachas, serruchos y machetes. También se necesitan mangos para herramientas, limas para afilar y otros artículos diversos, para mantener en buenas condiciones las herramientas. Deben haber herramientas adicionales para emplearlas cuando alguna se dañe o cuando se rompan los mangos. Generalmente pueden encontrarse mangos de herramientas en las tiendas de la localidad, y es mejor que una persona que esté familiarizada con el trabajo se encargue de reemplazarlos, en lugar de que lo haga el que utiliza la herramienta.

En algunas áreas, los obreros locales pueden estar acostumbrados a las herramientas que se usan localmente y que no son de uso universal. El supervisor debe entonces decidir cual es la herramienta más adecuada. Podría ser necesario dar un entrenamiento sobre el uso de herramientas que no sean muy conocidas.

Equipo

Algunas veces se pueden obtener ahorros sustanciales si se emplea equipo local, en lugar de equipos convencionales de construcción de carreteras, importados y más costosos. Por ejemplo, pueden utilizarse carretas o vagones tirados por animales para transportar materiales, cuando las distancias son cortas; tractores agrícolas acondicionados con cuchillas, para extender los materiales sueltos; y los suelos que serán extraídos manualmente, pueden ser alojados previamente con tractores o arados tirados por animales.

Cuando el trabajo se ejecuta básicamente con equipo, se emplea normalmente lo siguiente:

1. Camiones de volteo o volquetes — Muy útiles para transportar materiales sueltos a distancias mayores que las consideradas adecuadas para transportarlos con carretillas. El número de camiones necesarios, dependerá de las distancias de transporte, el método de carguío y el número de actividades normales. Debe emplearse el número de camiones que asegure que tanto éstos como el equipo empleado para cargarlos, sean utilizados constantemente.
2. Motoniveladora — Muy versátil, utilizada para mover pequeñas cantidades de materiales a distancias cortas. Extiende, nivela y perfila el terreno y los materiales, para conformar los terraplenes y otras superficies. Se le emplea para formar cunetas y cortar y perfilar taludes. Cuando se agrega un escarificador, puede servir para aflojar suelos duros. Su gran distancia entre ejes la hace ideal para el perfilado final de la superficie del camino, dándole el talud transversal y la rasante apropiados. Normalmente, una niveladora es adecuada para atender unos 10 km del proyecto.
3. Rodillo — Usado para compactar suelos y otras superficies. Se emplean diversos tipos de rodillos, siendo los

más populares los de ruedas de acero, los de pata de cabra y los neumáticos. Pueden ser tirados por otro elemento o autopropulsados. Estos tipos diferentes son más o menos efectivos, dependiendo del tipo de suelos. El mejor para uso general, es el rodillo neumático. Algunas veces puede usarse como sustituto algún otro tipo de equipo, pero se considera que el rodillo es esencial para lograr una buena construcción, aún en proyectos basados en el uso de mano de obra.

4. Explanadora o bulldozer — Usado para mover grandes volúmenes de tierra a distancias cortas. Su gran poder es particularmente útil para trabajos pesados. Puede usarse para nivelaciones preliminares, perfilados, limpieza de cepas de árboles, y para mover grandes cantos rodados. Puede resultar difícil justificar su empleo para caminos de bajo costo con suelos ligeros y con bajos volúmenes de movimiento de tierras. Para la construcción de caminos de bajo costo, la necesidad de emplear la explanadora es mayor en terrenos montañosos y accidentados, que en terrenos planos. No pueden usarse tractores de oruga para propósitos de compactación, porque el peso unitario de la oruga es demasiado bajo. Un tractor caterpillar D9 que pesa 47,5 toneladas (95.000 libras), tiene una presión en su base de menos de 15 libras por pulgada cuadrada (1,06 kilos por centímetro cuadrado), mientras que un rodillo de tres llantas de 10 toneladas (20.000 libras) tiene una compresión bajo sus ruedas motrices de 275 libras por pulgada de ancho del rodillo (49 kilogramos por centímetro de ancho) o aún más.
5. Cargador frontal — Muy útil para cargar camiones y desplazar grandes volúmenes de tierra a distancias cortas y sin el empleo de camiones. A menudo es utilizado en las construcciones de bajo costo, principalmente para cargar camiones en las canteras de préstamo. Sin embargo, también puede emplearse para efectuar cortes. Normalmente no se le usa en construcciones con empleo de mano de obra.

Pueden necesitarse otros equipos diversos, dependiendo de la naturaleza de la construcción y del grado de empleo de mano de obra. Si se encuentra roca en cantidad, podría ser necesario usar compresores de aire y perforadoras. Si se trata de pequeñas cantidades de perforación, se pueden hacer con obreros. La colocación de pilotes y la construcción de puentes, podrían también requerir de equipo más pesado, pero se deben hacer esfuerzos razonables para substituirlos por métodos de construcción menos costosos, cada vez que ello sea posible.

PREPARACION DEL SITIO Y DESBROCE

Preparación del sitio

Tan pronto como sea posible, se deberá revisar todo el proyecto en busca de aguas estancadas y suelos húmedos. Se pueden prevenir problemas posteriores de construcción, si se drena bien el lugar o se le expone al sol y al viento. También deben ubicarse las canteras de préstamo o de grava, preparándolas para explotarlas cuando sea necesario. Podrían necesitarse caminos de acceso o limpiar y retirar la capa superficial del suelo.

Estacado del proyecto

Debe estacarse el proyecto para poder controlar el trabajo. La cantidad y detalles del estacado dependen del trabajo a ejecutar. Los caminos nuevos requerirán del estacado para ubicar el eje central, las cotas del eje, la parte superior de los taludes y el pié de los terraplenes. La información de base del estacado, se obtiene de los planos de ingeniería y de la sección típica. Generalmente, una brigada de trazo coloca el eje en el área por mejorar. El capataz de la obra recibe un juego de planos de secciones transversales y del perfil, que le permiten colocar la rasante cuando sea necesario. Luego se colocarán cordeles extendidos entre estacas para asegurar que el material sea excavado o depositado y extendido, de acuerdo con la rasante y sección transversal adecuados. Será necesario colocar más cordeles para fijar las rasantes de las cunetas de drenaje, sobre todo en terrenos planos.

Desbroce

El desbroce consiste en retirar la vegetación existente durante la preparación de la excavación y de la formación de terraplenes. También podrá necesitarse desbrozar las áreas donde deben excavarse cunetas o preparar canteras de préstamo. Como mínimo debe limpiarse cerca de 1 metro fuera de los bordes de corte y del pié de los terraplenes. Debe limpiarse un ancho adicional, en las intersecciones de caminos y en las curvas que obstruyan la línea de visión de los conductores. Cuando se desbroza en un ancho mayor que el del camino en zonas de vegetación espesa o en áreas húmedas, se expone el terreno a la acción desecante del sol y del viento, que resultan beneficiosos para la construcción. Se puede reducir al mínimo las obstrucciones en el camino por la caída de árboles, si se extiende el desbroce 1½ a 2 veces la altura de los árboles. En caminos con orientación norte-sur ubicados en zonas tropicales, podría ser conveniente desbrozar anchos mayores.

El desbroce consiste en una o en la combinación de las siguientes operaciones, dependiendo del tipo del proyecto y de las características de la vegetación:

1. Tala de árboles y corte de arbustos—Si los árboles son de tamaño y calidad adecuados para su mercadeo, pueden cortárseles al tamaño apropiado para transportarlos. Si no lo son, se les cortará a un tamaño que sea conveniente para regalarlos a los pobladores de la zona. No deben dejarse los árboles que estén muy cerca a la cumbre de los taludes, porque la continua alteración por acción del intemperismo, es causa de que se caigan a menudo por sí solos.
2. Eliminación de vegetación—eliminar malezas, césped y hierbas malas.
3. Roce—remoción de cepas y raíces de árboles. Donde no existan termitas u hormigas blancas, se pueden dejar las cepas en el sitio, cubriéndolas con un relleno de 1,5 m o más.
4. Limpieza y quema—Limpieza de desperdicios en toda el área del camino y quema del material desbrozado, o eliminación en alguna otra forma de todo aquello que no pueda utilizarse. Los productos útiles se colocarán en forma tal que no obstruyan la operación del drenaje ni interfieran con el tráfico ni con las actividades de construcción. Naturalmente, deben tomarse precauciones para evitar los incendios incontrolables. Invariablemente, el desbroce se hace a mano. Las herramientas

empleadas para la operación de desmonte, son hachas, sierras manuales y machetes; y para el desbroce y desraizado, palas, zapapicos y azadones. Se emplean palas para sacar las cepas de los árboles y podría ser necesario dinamitar para remover las cepas más grandes.

Invariablemente el desbroce se hace a mano. Las herramientas empleadas para el desmonte son hachas, sierras manuales y machetes; y para el desbroce y desraizado, palas, zapapicos y azadones. Se emplean palas para sacar las cepas de los árboles y podría necesitarse dinamita para remover las cepas grandes.

El desbroce se presta bien para la construcción por etapas. Se puede hacer con mucha anticipación a la obra misma e independientemente de otras actividades de construcción. Por ejemplo, es posible hacer algunas economías en mano de obra y equipo, si se permite que los pobladores locales corten la madera que necesita eliminarse, para su propio beneficio. Debido a la necesidad de ejercer algún tipo de control sobre el corte y la eliminación, deberán identificarse los árboles que se deben cortar y conceder por adelantado la autorización para su remoción.

Dicho programa puede ser ejecutado como una etapa separada de la obra, que podría empezar mucho antes de las actividades reales de construcción, e igualmente podría ser incluida como parte de trabajos locales de mejoramiento o de proyectos importantes.

SUELOS

Generalidades

Después de retirar la capa superior del suelo, puede iniciarse la excavación y la formación de terraplenes. Cuando se conocen y comprenden bien los suelos, es posible construir las mejores plataformas y terraplenes.

Para caminos de bajo volumen, el suelo es el material más común de construcción; podría llegar a ser el único material existente. Algunos suelos resultan perfectos para ese propósito, y la mayoría de ellos pueden ser mejorados empleando técnicas adecuadas. Aunque las propiedades de los suelos varían ampliamente, pueden ser clasificados en grupos de características similares.

Los suelos están formados por cuatro componentes físicos: grava, arena, limo y arcilla. Los suelos naturales pueden estar compuestos íntegramente de un solo componente, aunque generalmente lo están de dos o más. La principal característica física empleada para identificar un suelo, es el tamaño de las partículas. Se definen a la grava y a la arena, como los componentes de grano grueso; mientras que el limo y la arcilla, son los de grano fino. Cualquiera de ellos puede contener diversas cantidades de material orgánico, que algunas veces se le define como el quinto componente. La grava, el componente más grande, varía en tamaño desde el equivalente al tamaño del puño de la mano hasta el de un pequeño guisante o frijol. Es corrientemente conocido, fácilmente reconocible y se le encuentra a menudo en los cauces de los ríos y relativamente libre de los otros componentes. La arena, el siguiente en tamaño, varía desde un pequeño guisante o frijol, hasta el tamaño más pequeño que el ojo humano puede distinguir. Se le encuentra comúnmente junto con la grava y se presenta en la mayoría de los suelos, en diversas cantidades. Los limos y arcillas, son demasiado

pequeños para poder observarse visualmente las partículas individuales. Si se retira la grava y la arena de un suelo, quedan el limo y la arcilla. La porción de arcilla es plástica y en forma de masilla. La parte de limo no es plástica y se comporta más como una arena extremadamente fina.

Se puede clasificar la arcilla como de baja o alta plasticidad. Los suelos de grano fino (limos y arcillas) que al humedecerse pueden formar listones al enrollarlos con la mano, se les describe como arcillas, aunque podrían contener algo de limo. Cuanto más grande sea el listón que se forme, mayor será su plasticidad. Si los listones se quebraran formando pequeños segmentos, indicará que la arcilla es menos plástica y que contiene más limo. Si el suelo está seco y forma terrones, cuanto mayor esfuerzo se requiera para romper los terrones, más plástico será el suelo y mayor su contenido de arcilla.

Con una simple prueba se podrá determinar las cantidades aproximadas de cada componente del suelo. Debe colocarse una muestra del suelo en una vasija de vidrio, llenándola hasta su tercera parte. Agregar agua hasta aproximadamente los dos tercios de la vasija y sacudirla vigorosamente. Dejar que el material se asiente hasta que el agua esté clara o casi clara. Se observará que la arena se irá al fondo y podrá distinguirla del limo, porque éste se asentará sobre la arena. Encima del limo se ubicará la arcilla, que también se distingue fácilmente del limo. El espesor de cada capa indicará su porcentaje respectivo.

El material ideal para la construcción de un camino, es aquel compuesto mayormente de grava y arena, con la suficiente cantidad de limo y arcilla para que cementen los componentes. Las partículas de grava y arena varían de gruesas a finas, de manera que se entrelacen entre ellas. Este material no se pondrá blando al humedecerse, ni suelto y polvoriento al secarse. Cuanto más se acerque el suelo a esta especificación, será mucho mejor para emplearlo en construcción de caminos.

Las gravas y arenas sin limo ni arcilla, proporcionan un buen terraplén si es que van a estar confinadas, esto es si los materiales estarán cubiertos por otros suelos que los mantendrán en su lugar. Es aún mejor si los materiales que se emplean contienen algunas partículas finas para llenar los vacíos que existen entre las partículas gruesas y para cementar el conjunto. El contenido de limo y arcilla puede aumentar sin ocasionar una pérdida de calidad, si el suelo permanece relativamente seco. Pero a medida que aumenta el contenido de limo y arcilla y el contenido de humedad llega a ser excesivo, el suelo pierde estabilidad.

Lo mismo puede decirse de las gravas y arenas empleadas para revestimientos. Las gravas y arenas limpias (aquellas que no contienen limo ni arcilla), proporcionan un buen soporte a la carga por rueda cuando están confinadas; pero si no tienen ligantes, son desplazadas por las cargas de las ruedas con mucha facilidad. Si contuvieran la proporción adecuada de ligante, las gravas y arenas resultan estables y proporcionan una buena base, sin provocar desplazamientos del material. Si hubiera demasiado ligante, los suelos se vuelven suaves al mojarse y se tornan polvorientos cuando se secan.

Los suelos que están compuestos en su mayor parte de limo y arcilla, forman generalmente terraplenes satisfactorios si se les controla. Si el contenido de humedad al momento de colocar el material no estuviera dentro de ciertos límites, estos suelos llegan a ser difíciles de manejar. Cuando están

demasiado secos, se forman terrones muy duros de excavar; pero si están demasiado húmedos, se tornan resbalosos y pueden convertirse en barro haciendo impasable en época de lluvias la superficie de la mayoría de las trochas o caminos sin revestir. Por ello es importante proporcionar un drenaje adecuado a lo largo de los caminos y asegurar que el drenaje funcione adecuadamente. Estos suelos de limo y arcilla con grandes cantidades de arena y grava, son los mejores y se colocan en los caminos para obtener superficies de todo tiempo.

Suelos que se encuentran a corta distancia entre ellos, pueden variar considerablemente en su composición, así como variar los diferentes estratos de un suelo de un mismo lugar. Cuando se presentan estas variaciones y se deban utilizar los suelos en la construcción de los terraplenes, se colocarán los más pobres en las capas inferiores y los mejores en las capas superiores. La presión sobre el suelo de una rueda, disminuye con la profundidad, de modo que si los peores suelos están en el fondo, estarán sujetos a menor presión y habrá menor posibilidad de que se deformen por acción de las cargas. En forma inversa, los mejores suelos de la parte superior son más capaces de soportar las cargas concentradas sin deformarse (Figura 14).

Debido a consideraciones económicas, muy pocas veces el ingeniero tiene la oportunidad de seleccionar el suelo que empleará en la construcción de caminos de bajo volumen. Deberá seleccionar el mejor de los que estuvieran disponibles y hacer el mejor uso posible de los suelos pobres.

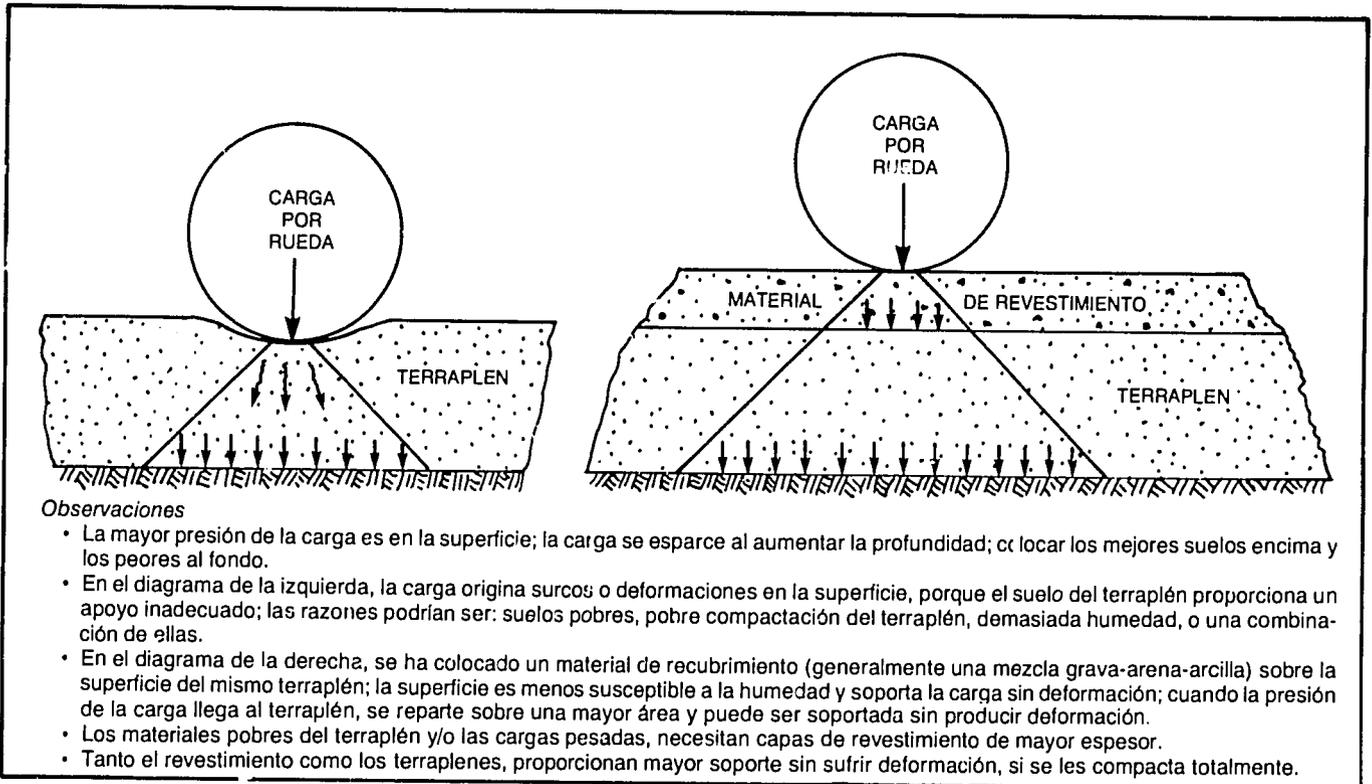
Compactación de suelos

Además de la calidad del suelo, el comportamiento de los suelos como materiales de construcción de caminos depende de la forma como son colocados. No hay un solo factor que produzca tanta estabilidad en la conformación de un camino, como una adecuada compactación. El costo de la compactación es moderado, los medios de realizarla son variados y generalmente accesibles, y los beneficios son substanciales.

La compactación del suelo es un proceso mecánico por el que se logra mayor densidad en el suelo, generalmente mediante rodillado. La compactación hace que el suelo sea más hermético, más denso y más fuerte; lo mantiene más seco y reduce al mínimo el esponjamiento, la contracción y el asentamiento. La superficie de un camino bien compactado es más durable, menos apta a la formación de huellas de las ruedas y menos costosa de conservar que una superficie pobremente compactada o sin compactar. En la compactación intervienen cinco factores: (1) tipo de suelo, (2) equipo, (3) espesor de la capa, (4) número de pasadas del equipo, y (5) contenido de humedad.

Ciertos suelos son compactados con más facilidad por un tipo de rodillo que por otro (6), pero el constructor de caminos de bajo costo no tiene prácticamente selección de suelos y rara vez puede seleccionar el tipo de rodillo. En general, el rodillo de ruedas neumáticas es el más efectivo en la mayoría de los suelos. Los rodillos de ruedas de acero pueden ser más fácilmente disponibles, pero son menos efectivos para un uso general. Pueden utilizarse si las capas por compactar son de poco espesor, pero en un terreno irregular, tienden a "salvar el obstáculo" y compactan en forma desigual. Su mejor uso es para el acabado superficial. Se puede emplear un camión cargado como sustituto de un rodillo neumático,

Figura 14. Distribución de la carga en el suelo.



y en muchos casos, puede compactar mejor que otros tipos de rodillos. Si se empleara un camión, debe tenerse cuidado de que las huellas de las llantas estén bien distribuidas sobre todo el ancho del terraplén. Los rodillos pata de cabra compactan los suelos arcillosos, pero son rara vez satisfactorios para limos y arenas finas.

Los suelos deben ser colocados en capas que no excedan de 15 a 20 cm de espesor, medidos aproximadamente. Capas más gruesas, son más difíciles de compactar. El equipo de compactación se desplace longitudinalmente con el terraplén, empezando por los bordes y avanzando hacia el centro. Debe haber una superposición de aproximadamente la mitad del ancho del rodillo entre cada pasada, para asegurar una compactación uniforme.

El número de pasadas requerido variará con el tipo de suelo, su contenido de humedad, la clase de equipo y el espesor de la capa de suelo. El promedio es de 4 a 6 pasadas. Los suelos secos requieren de mayor número de pasadas. En los suelos excesivamente húmedos, debe dejarse pasar un tiempo para que se sequen antes de compactarlos, porque si se les compacta húmedos se pondrán esponjosos e impedirán que las capas siguientes se compacten adecuadamente.

Para cada suelo, hay un contenido de humedad que se adapta mejor para compactar ese tipo particular de suelo. En ese estado, denominado contenido óptimo de humedad, se puede obtener la más alta densidad con el menor número de pasadas de equipo. La determinación precisa del contenido óptimo de humedad involucra una prueba de laboratorio bastante detallada. Sin embargo, se puede lograr un valor aproximado, que resulta adecuado para construcción de caminos de bajo costo, mediante la siguiente simple prueba de campo.

Los suelos de grano fino y las gravas y arenas con finos, deben ser humedecidos totalmente; no deben estar ni demasiado mojados y pegajosos, ni demasiado secos y polvorientos. Deberán estar suficientemente húmedos para que al formar una pelota con el suelo, se adhiera a sí misma cuando se le comprima en la mano, pero que no se quede pegada en la mano. Como comprobación, deje caer la pelota sobre una superficie dura desde una altura de 45 a 50 cm. Deberá estar lo suficientemente húmeda como para que se parta, pero sin hacerse pedazos al golpear contra la superficie. Si el suelo en la zona de trabajo se pega a los zapatos o al equipo, significa que está demasiado mojado; pero cuando es muy polvoriento, es que está demasiado seco.

Sacando ventaja de las condiciones naturales, se puede reducir el costo de compactación del suelo. En climas secos, el suelo estará generalmente en su más alto contenido de humedad cuando recién se excava el terreno. Deberá entonces distribuirse y compactar el suelo antes de que se seque. Podrá aumentarse la humedad rociando el suelo con agua, pero este proceso es costoso y no siempre se dispone de agua. El suelo que esté demasiado mojado, deberá permitírsele que se seque con el sol y el viento. Se podrá acelerar el secado, aflojando el suelo para aumentar la evaporación. Sin embargo, debe tenerse cuidado en época de lluvias de evitar que el suelo se moje aún más. Es posible reducir la humedad al mínimo cuando amenaza una tormenta, conformando la superficie para facilitar el drenaje y rodillándola ligeramente para proporcionar un mayor escurrimiento.

Suelos inadecuados

Algunas veces los caminos deben pasar a través de áreas donde no pueden utilizarse los suelos para la construcción

de caminos. Se podrán obtener a menudo resultados satisfactorios, mezclando estos suelos con diversas cantidades de limo, cemento o polvo de arcilla para mejorar su estabilidad (12).

En climas tropicales y subtropicales, se encuentran con frecuencia suelos denominados de algodón negro. Este es un suelo altamente plástico, cuyo volumen cambia enormemente a medida que varía el contenido de humedad. Pueden controlarse los efectos negativos de los cambios de volumen, aislando al terraplén de ese tipo de suelo con una capa de arena. Unos 15 a 20 cm de arena, estabilizarán el contenido de humedad del suelo subyacente y reducirán al mínimo los cambios de volumen. También pueden aislarse con capas de arena las alcantarillas y otras estructuras pequeñas, para evitar que los cambios de volumen interrumpan los perfiles del flujo de agua.

Cuando no se pueda encontrar materiales aceptables para revestimiento, es posible combinar algunas veces, suelos de dos o más fuentes para producir uno que sea aceptable. Por ejemplo, si se dispone de un material granular de una cantera y un material cohesivo de otra, y ninguno de ellos es satisfactorio por sí mismo, pueden transportarse ambos hasta el sitio y mezclarlos en las proporciones adecuadas. Es una buena idea construir algunos tramos de prueba que empleen diferentes cantidades de cada material, para determinar las mejores proporciones.

El tratar los suelos con aditivos tales como cemento o cal, o mezclar dos o más suelos, resulta costoso. Debe evitarse este procedimiento, a menos que no hubieran otras alternativas prácticas.

MOVIMIENTO DE TIERRAS

Remoción del suelo superficial

El suelo superficial varía de 10 a 30 cm de espesor, dependiendo de muchas condiciones de crecimiento, de los suelos y del clima. Puede estar ausente en zonas áridas, rocosas o erosionadas. Se le reconoce fácilmente por su color más oscuro comparado con el suelo subyacente, y generalmente no es adecuado para terraplenes.

El suelo superficial se puede colocar a un lado del camino para usarlo posteriormente en el proyecto, o se le puede descartar para su uso. Contiene elementos nutritivos que pueden ser útiles en los taludes para estimular el crecimiento de plantas y reducir al mínimo la erosión. También se le puede utilizar para reducir la inclinación del talud de los terraplenes. Si se le usa como parte de la obra, se le ubicará en su posición final después de construir y perfilar los cortes y rellenos. No debe almacenarse ni aún temporalmente, donde pueda contribuir a obstruir con sus sedimentos los sistemas de drenaje.

A menudo, las huellas de antiguos caminos tienen diversos espesores de barro u otros sedimentos sobre su superficie o en sus bordes. Estos son materiales demasiado pobres para emplearlos en la construcción de caminos. Si el nuevo camino estuviera sobre un terraplén de poco espesor y se le tuviera que construir sobre el sedimento, éste deberá removerse y eliminarse previamente. Si el terraplén estuviera 0,5 m más alto que el sedimento, podrá nivelarse el sedimento y dejarlo en su lugar, siempre que no tenga mucho espesor o que sea tan suave que dé lugar a un terraplén inestable.

Si se estuvieran ampliando los terraplenes existentes, se podrá eliminar la vegetación y el suelo superficial de los taludes, antes de colocar material adicional. Esto permitirá mayor ligazón entre el material antiguo y el nuevo.

Si el proyecto empleara básicamente mano de obra, se eliminará el suelo superficial con palas y picos. Se colocará el material al borde del derecho de vía donde se le almacenará, alejado de los límites de los cortes, rellenos o cunetas. Luego podrá ser retirado con carretillas y colocado en los taludes o terraplenes.

Si se empleara equipo para remover el suelo superficial, es preferible utilizar una motoniveladora. Se inclinará la cuchilla para formar un camellón con el suelo superficial. Luego, empleando un cargador frontal, se puede transportar el material de los camellones hasta el área de almacenamiento, o cargarlo y transportarlo en camiones fuera del área de trabajo.

Es conveniente tratar de conseguir un balance entre el empleo de equipo y el de mano de obra. La niveladora estaría a cargo del trabajo más difícil, que consiste en cortar o escarificar el suelo superficial. Luego se podrá usar la mano de obra para llevar el material suelto hasta la zona de almacenamiento, sea con camiones o con carretillas. Si no se dispusiera de una motoniveladora, se podrá emplear una explanadora, que incluso sería más conveniente bajo algunas condiciones. También es posible emplear un cargador frontal, aunque resulta menos versátil para este propósito.

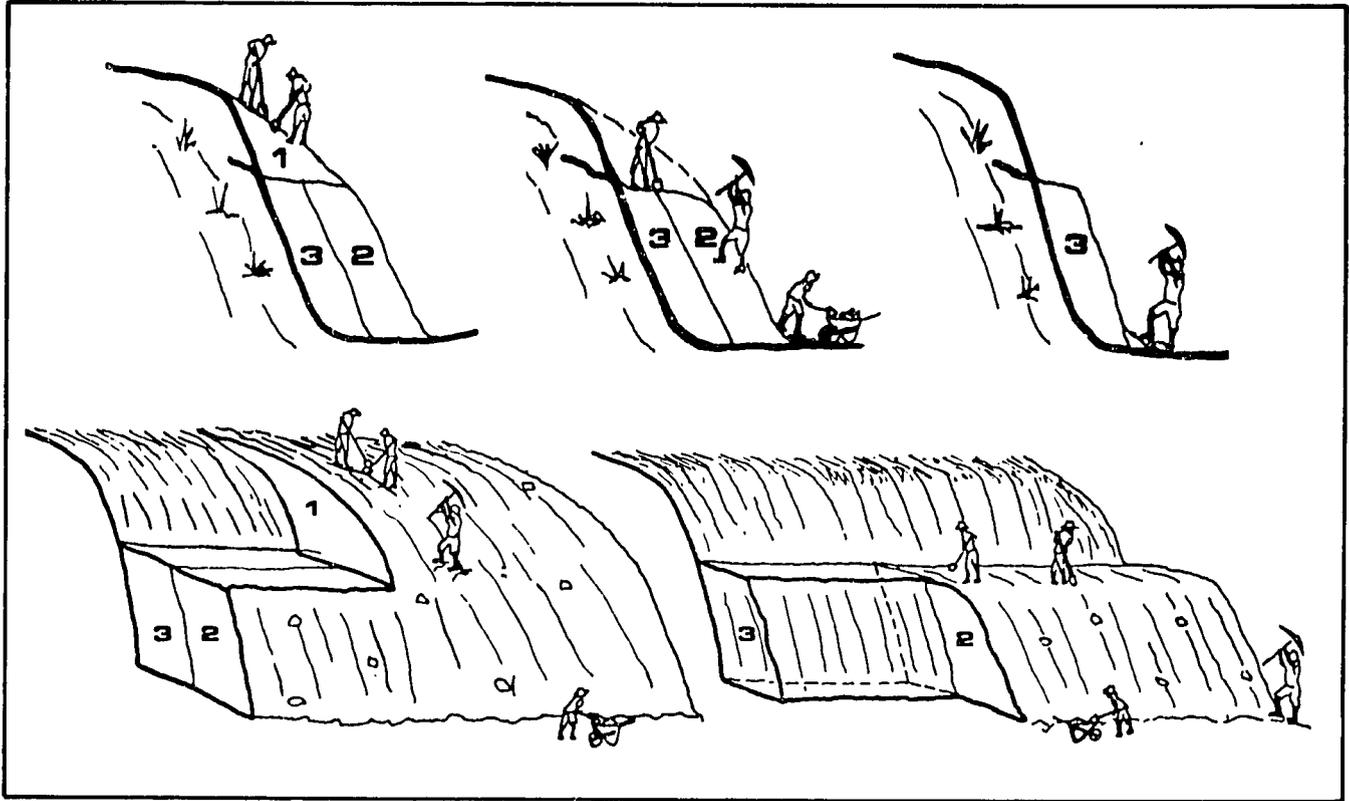
Excavación

Después de retirar la capa superficial de suelo, se puede formar la plataforma del camino cortando las zonas altas, relleno de las zonas bajas y perfilando el camino. En las áreas planas, la conformación puede consistir íntegramente en cortar las cunetas y colocar el material excavado entre las cunetas, para formar la plataforma.

Cuando el trabajo se ejecuta con mano de obra, se hará la excavación con picos y palas, llevando el material hasta el mismo terraplén. Deberá espaciarse lo suficiente a los obreros, para asegurar que no se golpeen accidentalmente entre ellos con las herramientas. La excavación no debe ocasionar deslizamientos de tierra que pongan en peligro a los trabajadores (Figura 15). Si la distancia de transporte fuera corta (menos de 100 m), se puede transportar el material en carretillas. Por lo general se requiere de vehículos cuando las distancias son mayores. Se puede mantener la distancia de transporte al mínimo, balanceando los cortes con los rellenos.

Si el proyecto propiciara el uso intenso de equipo, la excavación dependerá de la clase de equipo disponible y de la naturaleza de la construcción. El cargador frontal es el más versátil y puede usarse para excavar todo tipo de materiales, exceptuando los más duros, y para cargar el material. Se puede usar una explanadora o bulldozer, para aflojar el material más duro y desplazarlo a cortas distancias. No se le puede emplear eficazmente para cargar, a menos que se emplee un tobogán u otro tipo de dispositivo por donde pueda caer el material directamente al camión (10). También se puede aflojar y mover el material a cortas distancias con una niveladora, pero su producción es menor en esa labor que la que se logra con una explanadora. Sin embargo, es una pieza de equipo extremadamente versátil para cortar

Figura 15. Secuencia de excavación con mano de obra.



cunetas, perfilar taludes y para otros trabajos refinados de nivelación (7).

Debe planificarse el trabajo para sacar ventajas a la acción de la gravedad, en lugar de oponerse a ella. Los obreros deben cargar por el lado más bajo del equipo de acarreo y empujar el material pendiente abajo en lugar de hacerlo contra la pendiente. Debe ejecutarse la excavación de modo que el centro de corte permanezca lo suficientemente alto, como para asegurar un buen drenaje hacia los bordes.

La excavación continuará hasta alcanzar la altura proyectada en el eje. Luego se perfilará cuidadosamente el camino, hasta obtener la sección transversal requerida. Puede controlarse la sección, extendiendo un cordel a través del camino, a una determinada altura sobre la rasante terminada del eje. Se miden entonces las ordenadas correctas, hasta los puntos que delimitan el camino. El eje, el borde del camino y las partes superior e inferior de las cunetas, son los puntos claves a medir.

Generalmente se hace a mano el acabado y perfilado de los taludes de corte, usando picos y palas, aunque también pueden hacerse con una niveladora. Obteniendo el talud apropiado, eliminando el exceso de material y compactando las áreas sueltas, se reducirá al mínimo la posibilidad de que se deslicen los taludes y obstruyan el sistema de drenaje (Figuras 16 y 17).

Si se necesitaran contracunetas para prevenir la excesiva erosión de los taludes, deberán excavárselas antes de hacer el perfilado de taludes. Las contracunetas se colocarán mucho más atrás de la cumbre del talud, a fin de reducir la posibilidad de deslizamientos.

Terraplenes:

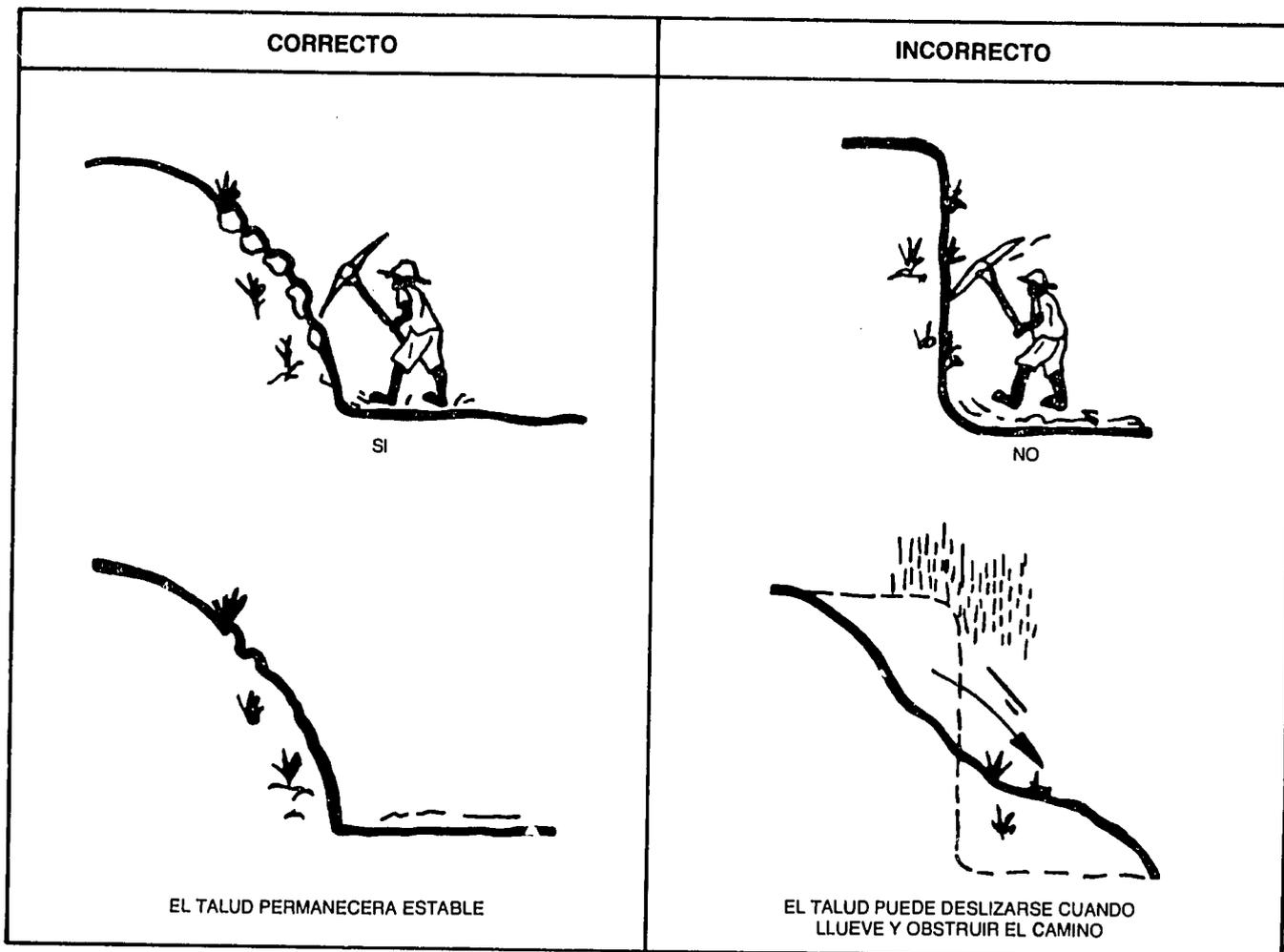
Generalidades. Los caminos de bajo costo y bajo volumen de tráfico, tienen por lo general terraplenes de baja altura, quizás de menos de un metro sobre el nivel del terreno adyacente. Pueden haber excepciones, tanto en las alcantarillas que cruzan la carretera, como en las áreas bajas sujetas a inundación y en terrenos más accidentados. Deben aplicarse los siguientes principios de ingeniería durante la construcción de terraplenes, para diferenciar un camino bueno de uno pobre:

1. Empezar con una base firme;
2. Colocar el material de relleno en capas de espesor moderado y uniforme (15 a 20 cm);
3. Compactar íntegramente cada capa; y
4. Controlar el drenaje para reducir al mínimo los suelos húmedos, tanto durante como después de la construcción.

Base firme. Cualquier área húmeda o floja que se encuentre en el trazo, deberá ser mejorada mediante obras de drenaje, o exponiéndola a la intemperie desde el inicio del proyecto.

Para el momento en que se empieza con el terraplén, la base deberá estar firme. La construcción incluye a menudo el mejoramiento de huellas o de caminos de tierra sin afirmar, ubicando el camino mejorado sobre el antiguo camino de tierra. Con frecuencia, estas huellas o caminos antiguos están hundidos hasta un nivel muy inferior al del terreno natural y se han formado en ellos surcos profundos. El material descartado forma frecuentemente camellones a ambos

Figura 16. Excavación de taludes estables.



lados de la vía. Antes de colocar cualquier material, deberá nivelarse el camino antiguo hasta un nivel razonable, sea con herramientas manuales o con maquinaria, tal como una niveladora o una explanadora. Si existieran huecos o depresiones profundas, deben rellenárselos y compactarlos antes de empezar a colocar las capas del terraplén.

Condiciones especiales de la base. Algunas veces deben colocarse los terraplenes a través de pantanos, ciénagas u otros suelos inestables, que son demasiado suaves para soportarlos. Si el material flojo fuera de poco espesor (menos de 0,5 m), sería conveniente sacarlo y reemplazarlo con material de relleno. El peso de terraplenes más altos puede desplazar simplemente los materiales superficiales suaves, dando por resultado un asentamiento continuo e irregular. El asentamiento puede o no resultar inconveniente, pero simplemente tendrá que nivelarse periódicamente la superficie del camino a medida que se vaya asentando.

Si el material fuera de gran espesor y demasiado suave para soportar un terraplén, se podrá cruzar el área siguiendo los siguientes pasos:

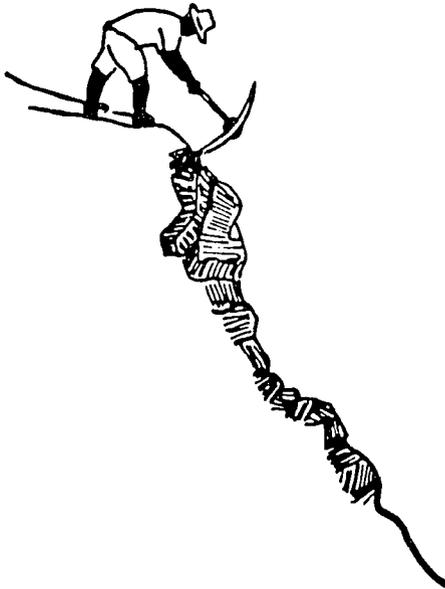
1. Colocar una carpeta compacta de matorrales, maleza, hojas o ramas pequeñas, de aproximadamente 1 a 2 metros de espesor, cubriendo toda el área a cruzar. El ancho de la carpeta, deberá ser el doble del ancho del

fondo del terraplén a colocar. Se puede alterar el espesor y el ancho de la carpeta, en función de la plasticidad y ductilidad del pantano.

2. Colocar sobre la carpeta el espesor mínimo del material del terraplén requerido para proporcionar una plataforma adecuada.
3. Después de unos días, colocar una capa de material de terraplén no mayor de 0,3 m y observar el asentamiento producido en las dos semanas siguientes, aproximadamente.
4. Si el asentamiento pareciera ser uniformemente razonable y no ocurrieran desplazamientos laterales, agregar otra capa delgada del material del terraplén. No se requiere compactar ninguna de las capas. Seguir agregando capas delgadas de material a intervalos de tiempo cada vez mayores, hasta alcanzar la altura mínima requerida. Si ocurrieran desplazamientos, debe detenerse toda la carga en el área desplazada, durante un período de tiempo, y debe reducirse el programa de cargas en el resto del tramo.

Nunca debe construirse un terraplén a mayor altura que la mínima requerida. A medida que ocurran los asentamientos, se puede elevar la altura periódicamente, pero siempre en capas delgadas. Si se cargara muy rápidamente y ocurrieran desplazamientos, podría ser que no se encuentre ningún método correctivo que sea económicamente factible.

Figura 17. Excavación segura del talud.

CORRECTO	INCORRECTO	
 <p data-bbox="402 1098 427 1120">SI</p>	 <p data-bbox="881 1098 914 1120">NO</p>	 <p data-bbox="1247 1098 1279 1120">NO</p>
INCORRECTO		
 <p data-bbox="548 1972 581 1993">NO</p>	 <p data-bbox="857 1993 1172 2059">EL TALUD PUEDE DERRUMBARSE DURANTE LA CONSTRUCCION Y LESIONAR AL TRABAJADOR</p>	

Conformando la plataforma con mano de obra. Después de retirar el suelo superficial y nivelar las irregularidades principales, se conformará el camino excavando las cunetas y depositando el material sobre el área de la vía (Figura 18). Este trabajo se hace con picos, palas y carretillas. Debe colocarse el material en capas no mayores de 15 cm de espesor, a todo lo ancho del terraplén. Se puede controlar la profundidad de la excavación, colocando cordeles tensos a partir de los cuales pueden medirse las profundidades o alturas; para facilitar el control de parte de los obreros, se pueden recortar estacas en la longitud adecuada o colocar marcas en los mangos de las herramientas de excavación.

Por los motivos analizados anteriormente, debe compactarse cada capa colocada en el terraplén. Si no se dispusiera de un rodillo, pueden improvisarse otros medios. Una alternativa posible, sería emplear un camión cargado.

El material obtenido de la excavación de las cunetas, podría no ser suficiente para construir el terraplén a la altura deseada. Se podría entonces obtener material adicional, excavando una cuneta de mayor ancho y de fondo plano. Esto se hace a menudo de manera intencional, para proporcionar mayores volúmenes de tierra, para elevar la rasante y para obtener mejores cunetas de drenaje. Tiende también a bajar los niveles de aguas subterráneas y a mantener más secos los terraplenes. Se puede obtener material adicional de terraplén, de los cortes y de las excavaciones laterales. Cuando no pueden ubicarse canteras cercanas, se deberán usar camiones y otros equipos de carguío, para llevar el material hasta el lugar de la obra.

Conformando la plataforma con equipo. A menos que hubieran terraplenes considerables, el trabajo inicial con equipo consiste en excavar las cunetas con una niveladora. Se fija la cuchilla en el ángulo deseado y se procede a cortar la cuneta a lo largo del alineamiento, a la distancia proyectada desde el eje. Se dirige el material hacia el centro a medida que se hacen los repetidos cortes. En todo momento se mantendrá más alto el centro del camino, para facilitar el drenaje. Continúa este proceso hasta que todas las cunetas estén en su profundidad final y el camino se encuentre debidamente perfilado. Las ruedas de la niveladora proporcionarán alguna compactación, pero deberá rodillarse la superficie para lograr uniformidad.

Si el terraplén requiriera de más material que el que puede obtenerse de las cunetas, se podrá obtener material adicional

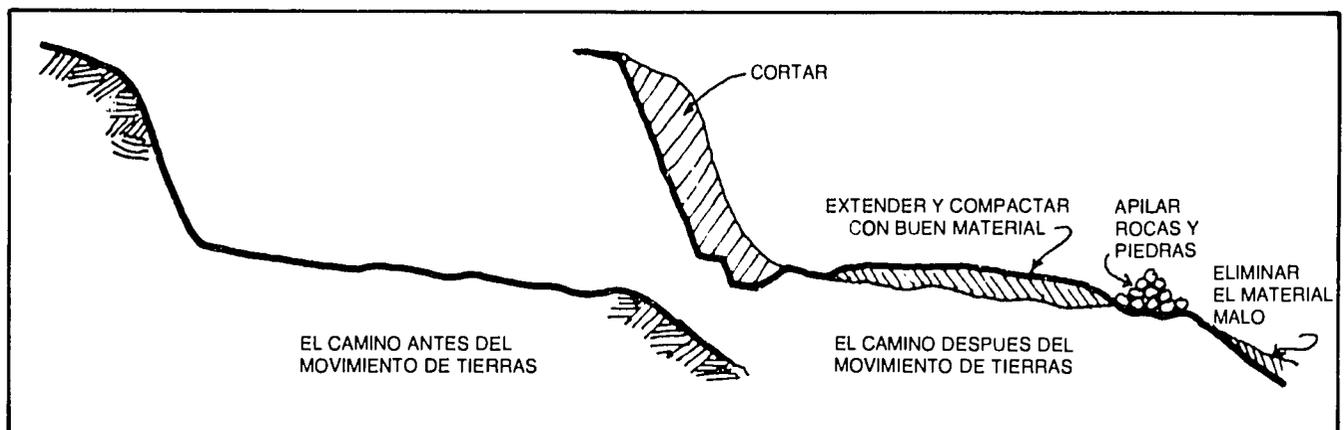
de las áreas de corte del proyecto, o de otras fuentes de préstamo. Se emplean camiones de volteo para transportar el material hasta el terraplén. La niveladora esparce el material sobre toda la superficie, hasta lograr el espesor deseado. Se puede reducir el trabajo de distribución del material, espaciando la descarga de los camiones y colocando el material con intervalos a todo lo largo del camino.

Después de esparcir el material, se rodilla cada capa empezando por los bordes y avanzando hacia el centro. Cada pasada de rodillo debe superponer aproximadamente la mitad de la pasada anterior. A menos que el suelo esté demasiado húmedo, debe comenzarse a rodillar inmediatamente después de extender y antes de que se seque el material. El variar la posición de las huellas de los camiones sobre el terraplén a medida que llevan el material ayudará a la compactación, reduciendo así el número necesario de pasadas de rodillo. La niveladora debe mantener una superficie suave y uniforme hasta que el terraplén alcance la altura deseada, manteniendo siempre la coronación o bombeo de la vía para efectos de drenaje.

Sea que el material final de revestimiento se coloque inmediatamente después de terminar el terraplén o en una etapa futura, la superficie del terraplén debe mostrar un buen acabado. Debe ser firme, sin áreas blandas ni esponjosas. La coronación debe ser adecuada para favorecer el escurrimiento, pero no excesiva. La superficie debe estar libre de depresiones que puedan retener el agua. Inclusive una depresión pequeña, hará que se ablande el suelo al humedecerse y sea la causa de baches bajo los efectos del tráfico.

Ensanche de terraplenes. La construcción por etapas puede involucrar el ensanche de terraplenes existentes o la excavación de nuevas cunetas para obtener un camino de mayor ancho. Los principios de una buena construcción permanecen inalterables. No deben extraerse materiales de los costados de un terraplén para ensanchar uno existente. Deberán colocarse en capas horizontales, compactando cada una de las capas separadamente. Esto reducirá al mínimo el asentamiento diferencial entre el terraplén y la parte ensanchada. Primero, debe eliminarse cualquier material blando o húmedo de las cunetas antiguas que esté debajo de los terraplenes superficiales del camino de ancho mayor. Luego, deberá rellenarse con material bien compactado, antes de empezar a construir el nuevo terraplén.

Figura 18. Conformando la plataforma.



Alternativas de compactación. Los fondos disponibles para la construcción de caminos de bajo volumen, no siempre permiten el empleo de equipo de compactación. Aunque son innegables las ventajas de la compactación, se han construido muchos caminos en el pasado, sin haber hecho el esfuerzo consciente de compactarlos. El constructor que no disponga de equipo de compactación, debe hacer el máximo esfuerzo para proporcionar la mejor compactación que le sea posible, empleando cualquier medio que tenga a su alcance. Debe ponerse el mayor énfasis en la compactación de las capas más superficiales del terraplén. Las capas más críticas son las de los rellenos que rodean las alcantarillas, que están expuestas a la erosión por efecto del agua. El equipo rodante a los recorridos de cualquier clase, proporcionan algo de compactación. En áreas de dimensiones restringidas, la compactación manual será la mejor que puede lograrse.

EXCAVACION EN ROCA

La excavación en roca es costosa y altamente especializada. Debe evitársela si existieran otras alternativas razonables, tales como cambios en el alineamiento o en la rasante. Cuando no puede evitarse la roca sólida, es necesario a menudo volarla con explosivos. La operación de voladura, incluye las siguientes actividades.

Perforación

En esta operación se hacen orificios en las rocas para colocar los explosivos. Esto puede hacerse a mano o con equipo, dependiendo de la cantidad de perforaciones y del equipo disponible.

Colocación de explosivos y voladura

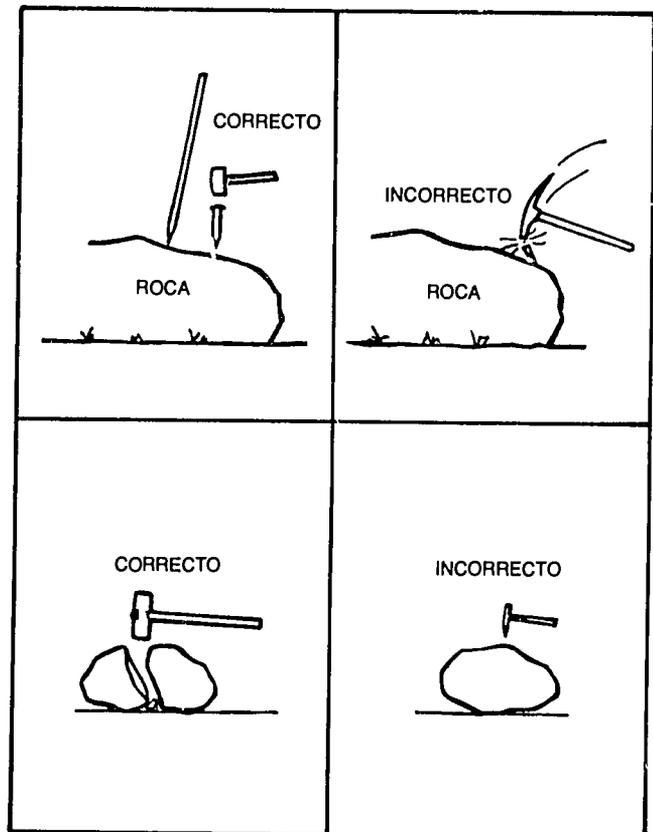
En oposición a la perforación o barrenado, esta operación requiere de obreros especializados. La experiencia es de gran importancia para localizar los sitios adecuados de perforación y para cargar o rellenar los orificios, de modo de no correr riesgos innecesarios resultantes de la mala colocación de las cargas. Las cargas colocadas inadecuadamente, pueden dar por resultado una fragmentación inferior, que hace antieconómicas las operaciones de construcción del camino. A menos que los obreros sean bien calificados, deberán emplearse asesores expertos en explosivos. Después de colocar el explosivo en el orificio y prepararlo para la voladura, se deberá prevenir a todo el personal ubicado dentro del área de voladura de la inminente explosión, mediante un silbato u otro tipo de alarma.

Extracción y carguío

Luego de la explosión, se recoge la roca fragmentada y se la carga para retirarla. Si los fragmentos fueran demasiado grandes, se pueden romper con mazos o con machos o mandarrias (Figura 19). La presencia de fragmentos excesivamente grandes, puede ser una prueba de voladura ineficiente y podrán necesitarse voladuras adicionales. Para transportar a cortas distancias se pueden usar carretillas, en caso contrario se emplearán camiones de volteo.

La roca fragmentada puede utilizarse para la construcción del terraplén, pero en la capa superior sólo pueden colocarse los fragmentos más pequeños. El empleo de fragmentos

Figura 19. Fractura de roca con herramientas manuales.



grandes, da por resultado una superficie rugosa y pedregosa. Los fragmentos más rectangulares o de forma cúbica, pueden utilizarse para construir alcantarillas, puentes o muros de contención, o usarse para recubrimiento de secciones críticas del camino. Los fragmentos de formas irregulares, son útiles para proteger contra la erosión. Los fragmentos pequeños o pedacitos de roca, aunque deban mezclarse con el suelo, pueden ser utilizados para construir la plataforma. Los fragmentos son efectivos, especialmente para reforzar las áreas suaves o esponjosas que se localicen.

Seguridad

Se deben adoptar estrictas medidas de seguridad para evitar accidentes con explosivos.

- Cuantos menos hombres manejen los explosivos, menores serán los riesgos de accidentes.
- Nunca deben mantenerse juntos los explosivos y los detonadores, y nunca debe permitirse que un mismo hombre lleve ambos elementos
- Sólo una persona debe estar autorizada a llevar el detonador, conectar el sistema y activarlo.
- Debe asignarse el trabajo de acuerdo a la experiencia.
- El personal de la cuadrilla debe tener un conocimiento exacto de las obligaciones de cada persona.
- El polvorín de almacenamiento debe estar a cargo de un solo hombre.
- Debe rodearse al polvorín de un terraplén protector de tierra que no contenga fragmentos de roca.
- Se deben observar todas las reglas de seguridad

SUPERFICIES

Generalidades

El revestimiento es una manera de proporcionar un camino más seguro durante todo el año, no importa cuales sean las condiciones climáticas. Puede colocarse el material de revestimiento inmediatamente después de la construcción del camino o en una etapa posterior de desarrollo. Ambos métodos tienen ventajas y desventajas.

Si se coloca el material de revestimiento como parte de la construcción inicial, se dará servicio al tráfico inmediatamente con una superficie de todo tiempo. Se elimina así el repavimentado integral del camino, que normalmente se necesita al prepararlo para su revestimiento. Su desventaja más grande, es su mayor costo inicial. Sin embargo, se pueden presentar dificultades al iniciar un nuevo proyecto para revestirlo en una fecha posterior. Algunos países incluyen el revestimiento en los trabajos iniciales como una política normal.

El demorar el revestimiento hasta una etapa posterior de desarrollo, tiene la ventaja de su menor costo inicial. No se comprometen los fondos, hasta que su necesidad resulta evidente. Esta decisión también da oportunidad para que el camino se estabilice más con el tiempo. Si surgieran problemas, éstos, pueden corregirse antes de colocar el revestimiento. Demorarlo tiene la desventaja de no proporcionar una superficie digna de confianza desde el inicio. También requiere de una mayor preparación para colocar el revestimiento, debido a los efectos de erosión y del tráfico de larga duración.

Revestimiento por etapas

Preparar un camino más antiguo para revestirlo, requiere de mucho más trabajo que el que se necesita para un camino recién construido. Deben limpiarse las cunetas y restablecer las líneas de flujo. Esto podría necesitar construir completamente cunetas nuevas, o simplemente retirar los desperdicios y limo de las cunetas existentes. El sedimento que queda en las cunetas es por lo general de tan pobre calidad, que no debe colocarse sobre la superficie del camino. Se deben limpiar las salidas de las cunetas y de las alcantarillas, para asegurar el drenaje lateral. También se deben corregir los problemas de drenaje y erosión. Es posible que la superficie del camino pierda su forma por efectos de la erosión y de los años de uso. En ese caso, deberá ser conformada nuevamente para proporcionar una coronación adecuada para el escurrimiento, y luego recompactada.

Se hace el perfilado con una motoniveladora y con ayuda de mano de obra. Para compactar puede usarse un rodillo de neumáticos o uno de ruedas de acero. Si no se dispusiera de niveladoras ni de rodillos, se puede hacer el trabajo con picos, piquetas y palas. Se pueden emplear rastras caseras o improvisadas, sean tiradas con tractor o con animales, para extender en forma uniforme el material suelto esparcido a lo largo del camino. El tráfico proporcionará compactación, si el material contiene suficiente humedad.

Superficies de grava

Antes de empezar la operación de revestimiento, deben ubicarse fuentes adecuadas de material. En muchos sectores, esto puede requerir de considerable tiempo y se deberá

empezar con mucha anticipación a la fecha en que se necesitan los materiales en la zona de trabajo. Para que dure, un buen material de revestimiento debe permanecer estable tanto en condiciones húmedas como secas, y ser resistente a la acción abrasiva del tráfico. Además, el costo de transporte a la obra debe ser razonablemente bajo.

Los materiales que cumplen con estos requisitos, son las mezclas de grava, arena, limo y arcilla. Se logra buena estabilidad, cuando la mezcla está bien graduada, esto es, cuando contiene una distribución de partículas más o menos uniforme, que varían de gruesas a finas.

Fuentes de material. Las principales fuentes de materiales para revestimiento, son los lechos de las corrientes y ríos, terrazas, abanicos aluviales y los sedimentos. Se forman otros depósitos como resultado de las rocas subyacentes (10, 11). Muy a menudo, los materiales empleados para trabajos locales de mejoramiento, pueden resultar adecuados para emplearlos nuevamente como material de revestimiento.

Debido a que los materiales de revestimiento desempeñan un papel tan importante en el comportamiento de un camino, no deben ser aprobados de manera indiscriminada. Las muestras de las presuntas fuentes deberán ser sometidas a pruebas de laboratorio y aceptadas sobre la base de que cumplen con las especificaciones establecidas (14).

Se pueden obtener muestras de ensayo excavando pozos de prueba, o directamente de las superficies expuestas de la cantera. Cuando se obtienen muestras de un pozo, se identificará cada cambio en los estratos del suelo, por los cambios en textura o color. Se colocará en bolsas una muestra de cada tipo de suelo, y rotulará indicando la ubicación, profundidad y espesor de la capa, para someterla a las pruebas de laboratorio. Cuando se obtienen muestras superficiales de la cantera, se limpiará una faja superficial de la materia vegetal y de la parte alterada por la intemperie. Se obtendrá la muestra, escarbando libremente de arriba hacia abajo, una cantidad uniforme de la parte expuesta de la cantera o de cada estrato, si hubieran diferencias apreciables entre los estratos. Cuando las pruebas de estas muestras preliminares indiquen la presencia de un material aceptable, se deberán sacar muestras adicionales para determinar los límites de material adecuado y comprobar que se dispone de la cantidad necesaria.

Se puede economizar tiempo y trabajo, si se dispone de una unidad de laboratorio y de personal entrenado, para ayudar en la búsqueda y hacer las evaluaciones preliminares.

Excavación del material de revestimiento. Antes de empezar la excavación, se despejará el área de préstamo retirando el suelo superficial y seccionando el área para determinar el volumen, si fuera necesario medirlo. En algunos casos, deben construirse caminos de acceso. Si se incluye el revestimiento como parte de la construcción inicial, deberá trabajarse simultáneamente con el movimiento de tierras, de modo de poder proteger inmediatamente el tramo de camino terminado.

Si el trabajo se basara en el empleo de mano de obra, la operación será similar a la excavación de corte, con la excepción de que el transporte se hace generalmente en camiones si se tuviera que recorrer una distancia apreciable. Se alojará el material con picos y palas y se hará el carguío a

mano. Cuando la excavación fuera de un banco, se colocará el camión a un nivel inferior que el de los obreros, aumentando así la producción de trabajo. Se debe excavar el banco por escalones mientras se mantiene un talud estable, de modo de evitar peligros a los obreros por efectos de los deslizamientos. Si la excavación fuera desde un pozo, debe tenerse cuidado con el drenaje. Un acceso en rampa permite el acceso de los camiones hasta el fondo de la cantera y aumenta el rendimiento. Si el trabajo fuera realizado con uso intensivo de equipo, la carga se efectuará con un cargador frontal.

Cuando el material contiene piedras demasiado grandes para usarse en el camino, deberán separárselas en la cantera misma para ahorrar su transporte. Se pueden sacar las piedras, haciendo pasar el material por un dispositivo de tamices inclinados que elimina las piedras grandes. Estas ruedan hacia uno de los lados, mientras que el resto del material cae por el tamiz directamente a los camiones. Se puede improvisar este dispositivo en el campo, empleando una estructura simple de madera o piedras, por donde pueda entrar un camión. Para tamizado, pueden emplearse varillas pesadas reforzadas, rieles de ferrocarril o algún material similar. Las piedras grandes que a pesar de ello, sean llevadas con el material de revestimiento, podrán ser retiradas a mano directamente de la superficie del camino.

El material se transporta desde la cantera hasta el camino, donde se le depositará. El número requerido de camiones depende de la forma de cargar y de la distancia de transporte. Si todos los camiones fueran del mismo tamaño, la operación de carga y descarga será más eficiente. Inmediatamente después de descargar, se distribuye el material a todo lo ancho del área por recubrir. Se le puede extender a mano o con rastrillos, o si el proyecto hace uso intensivo de equipo, con una niveladora y otros equipos. Deberá compactarse sin demora en la forma descrita anteriormente. Los camiones cargados pueden proporcionar una compactación parcial, al variar frecuentemente su recorrido sobre la superficie. Se podrá emplear un camión de transporte bien cargado, si no se dispusiera de rodillo para la compactación final.

Con el propósito de asegurar un drenaje adecuado de la superficie terminada, es importante mantener en la compactación final la coronación o bombeo proyectado. Deberá comprobarse frecuentemente la superficie compactada para corregir su espesor, haciendo los arreglos que sean necesarios.

Revestimiento bituminoso

Generalmente se aplica un tratamiento superficial bituminoso como una fase final en la construcción por etapas, cuando el tráfico alcanza niveles predeterminados. Este tipo de superficie preserva los materiales de revestimiento, elimina el polvo producido por el tráfico y provee una superficie más suave y de mayor velocidad de recorrido, libre de los efectos de reblandecimiento del agua superficial. Consiste de una o más capas de bitumen y piedra triturada o agregado de grava. Algunas veces se usa arena limpia como agregado. El agregado se aplica sobre la superficie existente que sirve de base para el tratamiento superficial. Las superficies que no sean estables o que consisten principalmente de limos y arcillas con un valor soporte pobre cuando están húmedas, no resultan adecuadas para un tratamiento superficial.

Equipo para revestimiento bituminoso. El trabajo con uso intensivo de equipo requiere de una niveladora, camión re- gador, distribuidor de asfalto, rastra de escoba, esparcidor de piedra, rodillo de ruedas de acero o neumáticas (algunas veces los rodillos de ruedas de acero trituran el agregado), y camiones de volteo. Parte de este equipo puede eliminarse cuando se trabaja básicamente con mano de obra.

Materiales. Pueden usarse diversos materiales bituminosos o asfálticos, dependiendo de las condiciones climáticas y de su disponibilidad. Se debe dar preferencia a los materiales que han demostrado ser satisfactorios bajo las condiciones locales. Dependiendo de los métodos empleados localmente, del material que se dispone y del número de capas que se aplicarán, el agregado consistirá de una grava limpia, dura y fracturada, con un tamaño que varíe entre 1 y 2,5 cm.

Procedimiento. Se dará a la vía el acabado y pendiente apropiados, rellenando las depresiones y nivelando las irregularidades. Esto se hace mejor con una niveladora, porque aún las pequeñas irregularidades resultan inconvenientes para los vehículos que recorren a más altas velocidades. Luego, se compactará la superficie hasta hacerla suave y hermética, reduciendo la humedad si fuera necesario. Deberá retirarse cualquier material suelto que quedara. Algunas veces se requiere de material adicional, para dar a la superficie la forma y rasante adecuadas. Deberá colocarse este material con suficiente anticipación con respecto al acabado final, para lograr una estabilización completa.

Cuando se aplica el bitumen, la superficie deberá estar firme, ligeramente húmeda y libre de material suelto o polvo. Si la superficie estuviera muy suave, el revestimiento bituminoso se quebrará y desintegrará pronto bajo la acción del tráfico. Si la superficie estuviera suelta o polvorienta, el bitumen no se adherirá a ella. Generalmente se aplica el bitumen con un distribuidor a presión montado en un camión, equipado con boquillas pulverizadoras para uniformizar la distribución. También se equipa el distribuidor con un calentador para aplicar el bitumen a la temperatura requerida, además de un aditamento de medida para controlar la cantidad aplicada. Excepto en áreas relativamente pequeñas, no se considera práctico aplicar a mano este material.

El bitumen penetra la superficie de la vía y la sella contra los efectos suavizantes de la humedad. También sirve como material de liga para retener la piedra que se esparce sobre la superficie, antes de que se asiente o cure el bitumen. Se puede colocar la piedra con un distribuidor o con palas, si es que se empleara mano de obra. Si se utiliza un distribuidor, se le acondicionará a la parte posterior de un camión de volteo. El camión cargado marchará en retroceso sobre el área a cubrir, de tal manera que las llantas se desplacen siempre sobre la piedra que se va esparciendo y no sobre el bitumen. Si se esparciera a mano, se echará con palas la piedra apilada previamente a ambos lados y a lo largo de la vía, a intervalos convenientes.

Se debe usar suficiente cantidad de piedra para cubrir la superficie con una sola capa. Es un desperdicio de material colocar más de una capa, porque el exceso será desplazado a un lado por acción del tráfico; mientras que con una capa más delgada, no se cumple con el propósito de proporcionar la protección que se intenta dar a la superficie. Los tratamientos superficiales simples, requieren aproximadamente de 25 libras por yarda cuadrada (13,5 kg/m²). Los tratamientos

superficiales dobles, usan de 35 a 70 libras por yarda cuadrada (19 a 38 kg/m²).

Después de extender la piedra, debe pasarse una escoba para distribuirla uniformemente. Para ello, se puede emplear una rastra de escoba o escobas de mano. Luego se rodilla la piedra, de preferencia con un rodillo de ruedas de acero, para asentar la piedra en el bitumen y proporcionar una superficie suave.

Si se deseara una superficie de mayor espesor para lograr más duración, se aplican capas adicionales de bitumen y piedra en cantidades reducidas. Para carreteras con mucho tráfico, es común colocar dos o tres capas. Se debe usar un auto piloto para conducir el tráfico sobre los tratamientos superficiales ya terminados, a una velocidad máxima de 25 mph (40 km/h), durante las primeras 24 horas después de aplicar el agregado. Para lograr resultados de larga duración, se aplica una capa adicional a intervalos de tres a cinco años.

ALCANTARILLAS DE TUBO

Generalidades

La construcción de alcantarillas comprende la preparación del sitio, la construcción o colocación de la alcantarilla, la colocación del relleno y la protección contra la erosión. Algunas veces es necesario limpiar o realinear el canal en la boca de entrada y en los puntos de descarga de la alcantarilla, para asegurar el flujo adecuado.

Normalmente, se instalan las alcantarillas antes de colocar el terraplén del camino. Cuando no hay flujos de agua durante el periodo de construcción, se puede colocar primero el terraplén y efectuar la excavación de la zanja para colocar la alcantarilla. Generalmente, éste es un proceso más costoso y debe evitarse hacerlo, a menos que existan condiciones excepcionales.

Se pueden construir las alcantarillas de materiales locales, tales como madera o piedra, si éstas estuvieran disponibles. De lo contrario, se usa comúnmente tuberías de metal corrugado o de concreto. Se pueden fabricar las tuberías de concreto en la misma obra o en un lugar adecuadamente ubicado, transportándolas luego a su ubicación final. Generalmente las tuberías de metal corrugado son un producto importado, pero son más ligeras que las de concreto y más fáciles de transportar al lugar de construcción. Si las alcantarillas fueran de gran longitud, se pueden fabricar las tuberías por tramos, acomodarlas para ser transportadas, y luego ensamblarlas en la obra.

Normalmente se necesita hacer un análisis económico para escoger el tipo de alcantarilla que debe colocarse, y tendrá que tomarse la decisión antes de que el proyecto llegue a la etapa de construcción. La ubicación de las alcantarillas es normalmente parte del diseño y debe también tomarse una decisión sobre ella, antes del periodo de construcción. El supervisor debe estar siempre alerta para encontrar otras ubicaciones donde el agua pudiera ser obstruida por la conformación del camino. Dichas ubicaciones requerirán de alcantarillas adicionales, a menos que se alivie la obstrucción mediante trabajos menores de cunetas.

Debe decidirse en el campo la ubicación exacta de las alcantarillas, después de examinar las condiciones del flujo y del canal en cada ubicación. Debe colocarse una alcantarilla como parte de un canal continuo, en forma tal que altere lo

menos posible las condiciones naturales del flujo. Si la gradiente de la alcantarilla fuera menor que la del canal, se podría rellenar con sedimento la boca de entrada de la alcantarilla. Si la pendiente de la alcantarilla fuera mayor que la del canal, se puede producir erosión en la boca de salida.

Podría haber una tendencia natural para colocar la alcantarilla en ángulo recto con el eje del camino, a fin de ahorrar materiales. Esto sólo debe hacerse cuando el canal original forma también ángulo recto con el camino. Si la alcantarilla alterara la dirección del flujo de agua, puede ocurrir erosión en cualquiera de los extremos de la alcantarilla. Se logrará una mayor economía, si la alcantarilla siguiera el curso del canal. Cuando esto no es posible, se excavará un nuevo canal que deberá protegerse de la erosión en los puntos en que el flujo cambia de dirección. Si debe alterarse la dirección del flujo, es mejor hacer el cambio en el punto de descarga. Esto asegura una máxima protección del terraplén contra socavaciones y deslaves.

Antes de colocar la alcantarilla, se deberá preparar una base suave y firme que tenga la pendiente adecuada y que altere lo menos posible la línea de flujo. Si estuviera fluyendo la corriente, será necesario reubicar temporalmente el curso de agua, a fin de preparar la base o colocar la alcantarilla.

Construcción de la alcantarilla

Madera. Cuando hay abundancia de madera, pueden usarse troncos o madera labrada con hacha. Las alcantarillas de madera deben considerarse como un recurso conveniente, pero no como una construcción permanente. Algunas veces se usa madera para ganar acceso al área por propósitos de construcción, y sirve hasta que se pueda disponer de los materiales necesarios para construir alcantarillas permanentes. En climas subtropicales y tropicales, los daños causados por la descomposición de la madera y por los insectos, hacen que la madera tenga corta duración. En climas templados y más secos, se sabe de alcantarillas de troncos que han durado muchos años.

Piedra. Generalmente se construyen alcantarillas de piedra, cuando este material está disponible localmente. Son simples de construir y no requieren de mano de obra muy experta. Los materiales necesarios se limitan a piedra, cemento, arena y agua. Se acondicionan mejor a lugares donde los canales están bien definidos.

Se seleccionan y cortan las piedras si es necesario, empleando una piqueta o martillo de albañil. Se coloca con la gradiente adecuada, un piso de piedra con juntas de mortero. Se construyen los muros a la altura apropiada. La parte superior puede construirse como un arco bajo, si la luz no fuera excesiva y si lo permite la rasante del camino. De lo contrario, se vaciarán losas de concreto reforzado, colocándolas sobre los muros o paredes de piedra. Cuando la rasante es baja y las luces no son excesivas, se pueden usar las losas como superficie de rodadura, sin ningún material adicional sobre ellas.

Tubería de concreto

Cuando se fabrican en el sitio las tuberías de concreto, debe tenerse cuidado de asegurar un producto de buena calidad. No sólo deben colocarse los materiales debidamente proporcionados y mezclados, sino tener sumo cuidado de darle el tiempo requerido de curado. Se obtiene el curado inicial,

manteniendo completamente mojadas todas las superficies de tuberías, por un mínimo de tres días. Se consigue esto, sea cubriendolas con cáñamo o yute mojado, inundándolas, o regándolas. Generalmente no resulta práctico ni efectivo regarlas a mano, debido a la tendencia de dejar que se sequen las superficies antes de aplicar el siguiente riego.

No debe manipularse ni moverse la tubería, hasta que tenga un mínimo de siete días bajo condiciones favorables de curado. Para condiciones menos favorables, debe ampliarse el tiempo de envejecimiento.

Siempre debe tomarse un cuidado razonable para prevenir daños a la tubería durante su transporte y descarga. La tubería no debe dejarse caer desde el camión ni hacerla rodar por el terraplén (Figura 20).

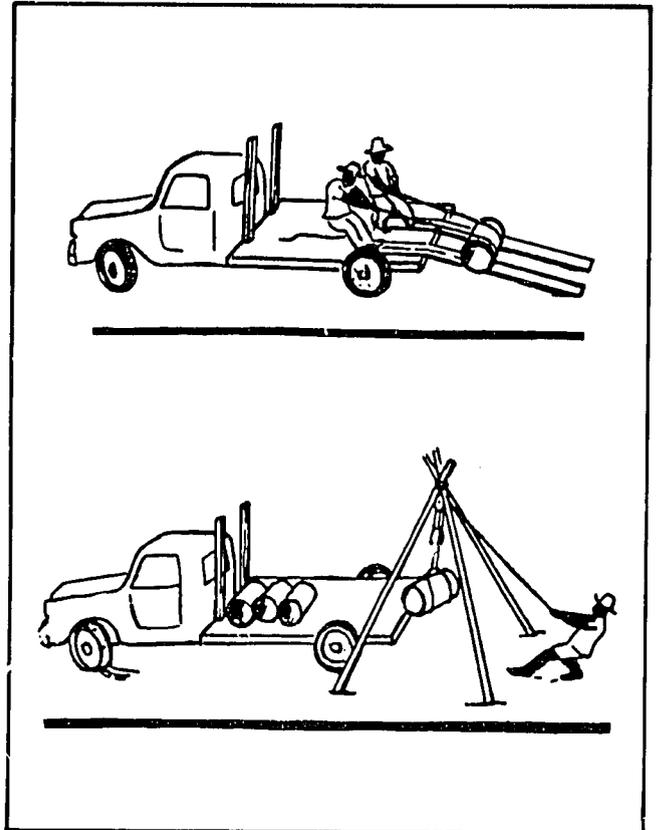
Instalación de alcantarillas de tubos de concreto. La carga que soportará la tubería que se emplea como alcantarilla, se determina en alguna medida por la manera como se la instala. La forma menos efectiva, es cuando simplemente se coloca la tubería sobre la superficie del terreno. Se obtiene una forma mucho más efectiva, cuando se perfila el terreno para que se acomode en él la parte inferior de la tubería, aproximadamente en la mitad del diámetro de la tubería (Figura 21). Si el fondo de la base de la tubería fuera de roca o arcilla dura, deberá excavar un espacio por debajo de la tubería, reemplazándolo con 10 a 15 cm de arena o material granular compactado. Nunca debe colocarse la tubería directamente sobre la roca.

La tubería para alcantarilla de concreto se fabrica con una ranura o depresión en un extremo y su espiga correspondiente en el extremo opuesto. Cuando se unen las tuberías, las espigas entran en la ranura de la tubería adjunta, para formar una conexión traslapada y suave. Se sellan las juntas con mortero de cemento, consistente de una parte de cemento y no más de dos partes de arena limpia fina. Deben construirse las juntas en forma tal, que el flujo no se escurra fuera de la tubería y que el agua o la arena no se filtre dentro de la tubería. La filtración puede causar erosión debajo de la tubería, y eventualmente originar fallas u obstrucciones en la alcantarilla.

Se coloca la primera tubería en el extremo aguas abajo, con la ranura aguas arriba. Debe limpiarse el extremo que tiene ranura con un cepillo mojado, y extender mortero en su mitad inferior. El mortero no se adherirá a una superficie sucia o polvorienta, y se quebrará y saldrá si la superficie estuviera seca. Se debe hacer una excavación superficial debajo del extremo de la tubería, precisamente en el punto de unión. Debe llenarse la excavación con mortero, en la zona donde descansará la junta de la primera y segunda tuberías. El extremo con espiga de la segunda tubería, se acomodará en el extremo que lleva ranura de la primera tubería, hasta que el mortero se escurra por las superficies interiores y exteriores. Luego se cepillará la superficie interior en la zona de unión, para lograr una superficie suave. Se cubre la superficie exterior con una capa de mortero. Se repetirá el proceso hasta que se termine de colocar las tuberías en toda la longitud de alcantarilla. Deben mantenerse húmedas las uniones, hasta que cure el mortero. Se considera que veinticuatro horas es el mínimo tiempo de curado (Figura 22).

Si se tuvieran que alargar alcantarillas existentes como parte de un programa de ensanche por etapas, debe tenerse el cuidado adicional de asegurarse que la extensión de alcantarilla esté sobre una base firme y en la misma línea y

Figura 20. Manipulando tuberías de concreto.

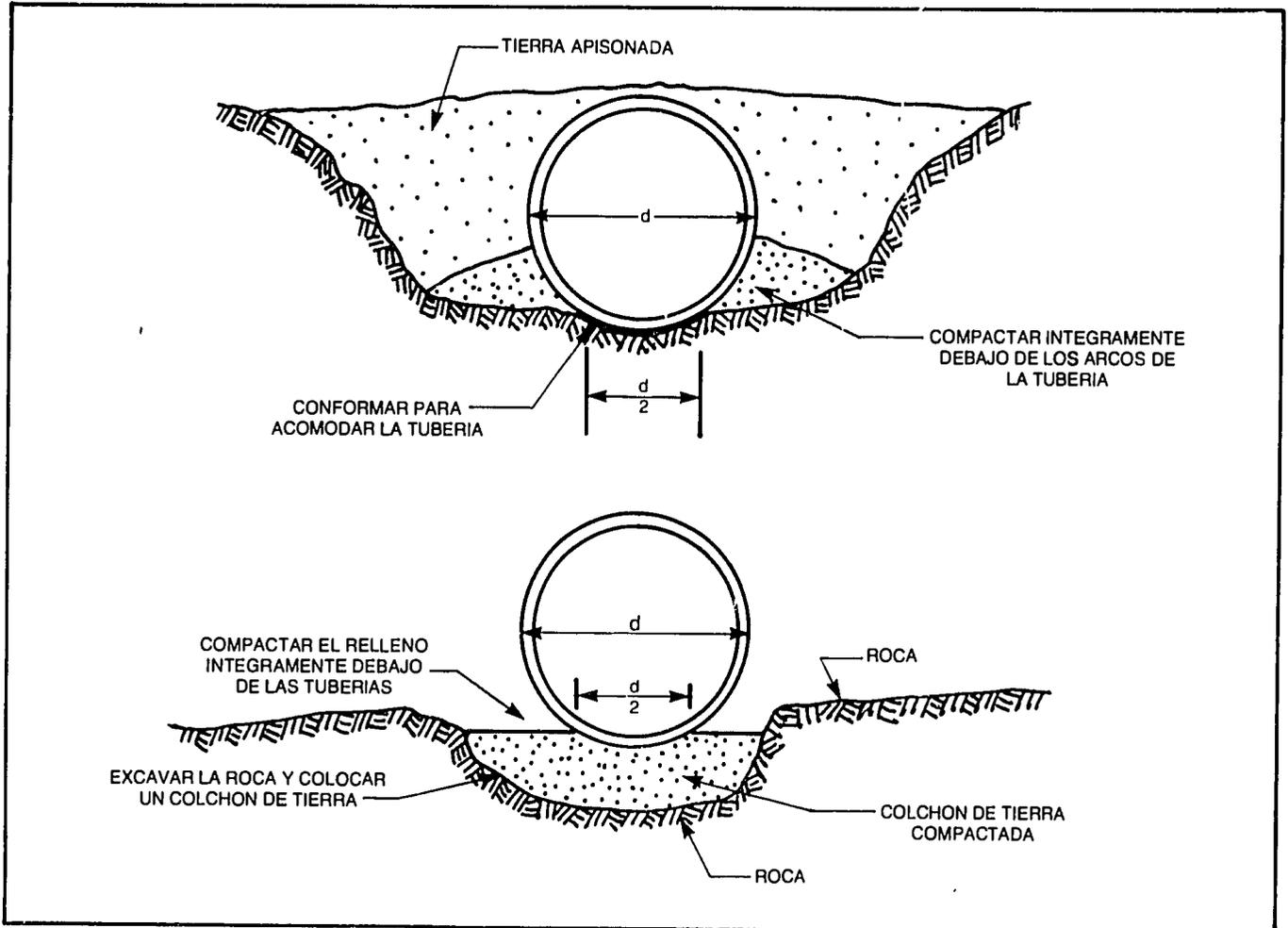


rasante que la alcantarilla original. Antes de colocar cualquier extensión, debe revisarse la alcantarilla original para ver si está libre de obstrucciones o de desperdicios, y que las juntas estén bien herméticas.

Rellenado de alcantarillas de tuberías de concreto. El relleno alrededor de la tubería deberá estar totalmente compactado, debido a la susceptibilidad del relleno de sufrir erosiones y futuros asentamientos. Se coloca cuidadosamente el relleno, la alcantarilla está protegida de alineamientos defectuosos o de daños a los puntos de unión (Figura 23). El material de relleno está formado por un suelo bueno y limpio, de preferencia granular y libre de terrones, cantos rodados, raíces, o de excesivo material orgánico. Deberá colocarse con palas, a cada lado de la tubería en capas que sueltas no excedan de 10 cm de espesor, y deben compactarse totalmente con pisones manuales (se pueden emplear pisones neumáticos, si estuvieran disponibles). Para ser efectivos, los pisones manuales no deben exceder en tamaño de unos 150 cm². Debe tenerse cuidado de colocar y compactar el material alrededor de las superficies más bajas de la tubería, para proporcionar adecuado apoyo y distribución de cargas. Después de compactar cada capa, se colocarán y compactarán capas adicionales, manteniendo cada lado aproximadamente a nivel, hasta que la tubería queda cubierta por lo menos por unos 10 cm de material. Es conveniente colocar un mínimo de 30 cm de material entre la parte superior de la tubería y la superficie del camino, pero el revestimiento debe ser siempre adecuado para proteger la tubería contra cualquier daño (Figura 24).

El supervisor debe tener presente que podrá obtener la mayor densidad cuando el material se encuentre en su óp-

Figura 21. Asentando la tubería de concreto.



timo contenido de humedad, que representa un estado entre muy húmedo y muy seco. Sólo se recomienda la compactación hidráulica o la inundación con agua para consolidar el relleno, cuando se trata de materiales arenosos o cascajosos.

Tubería de metal corrugado

Algunas veces se prefiere la tubería de metal corrugado para la construcción de alcantarillas porque es liviana, está menos sujeta a dañarse al manejarla, y es fácil de ensamblar em-

pleando mano de obra común. Asimismo, al utilizarlo en terreno suave, resulta más adaptable que el concreto o la piedra. Se dispone de variedad de longitudes que pueden unirse entre ellas con bandas que proporcionan una junta hermética y durable. La tubería debe ser suficientemente larga para impedir que se hunda el terraplén en las áreas expuestas de la alcantarilla. En muchos casos, particularmente en terreno montañoso, se puede alargar la tubería para que conduzca el agua fuera del terraplén. Si no se dispusiera de secciones transversales de la vía, se puede determinar la longitud de la alcantarilla sumando cuatro

Figura 22. Colocación de mortero en la tubería de concreto.

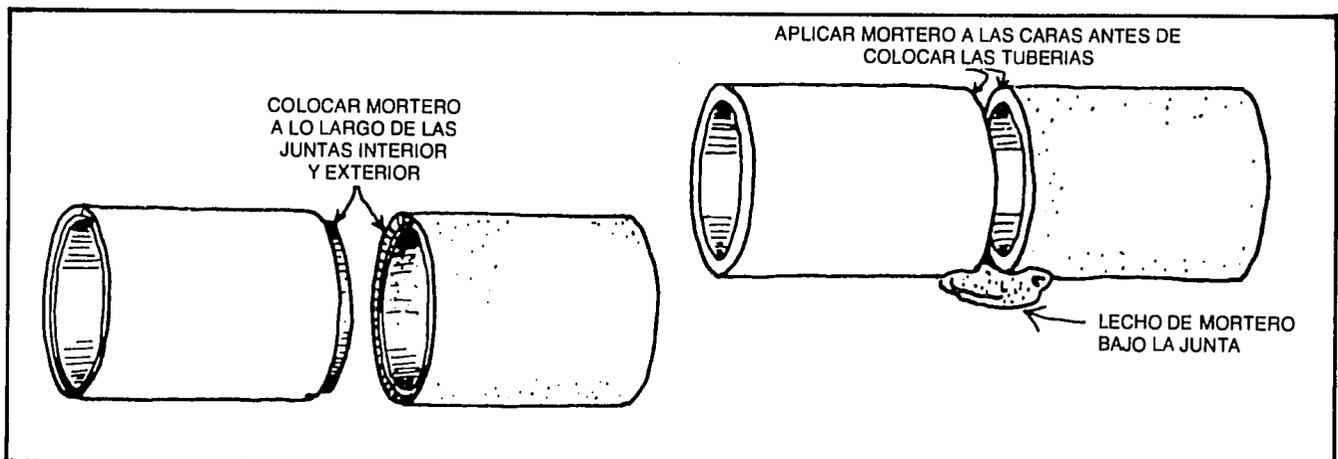
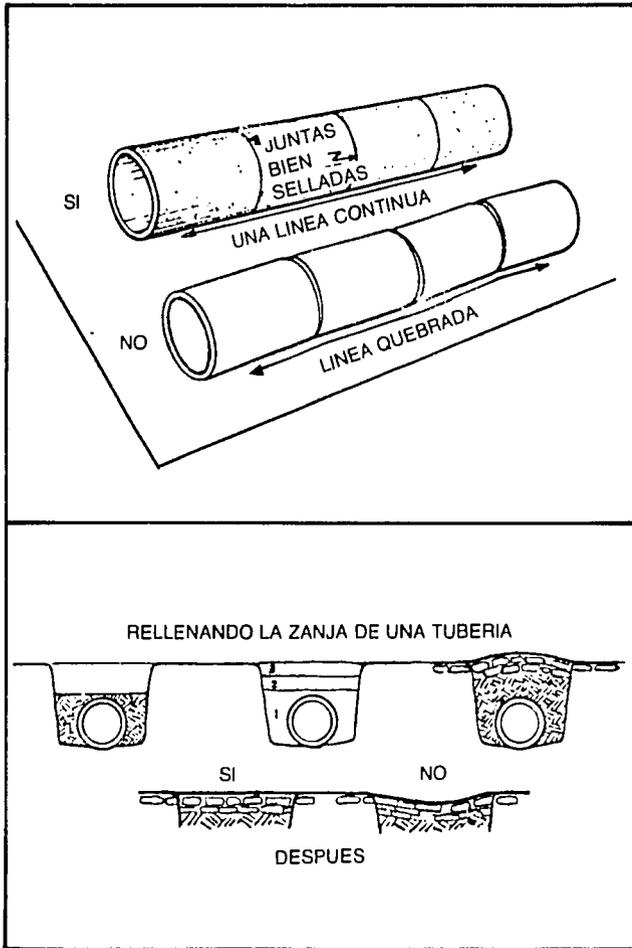


Figura 23. Alineamiento y relleno de tubería de concreto.



veces la altura del relleno al ancho de la vía, medido de cumbre a cumbre del talud. Esta fórmula se basa en un talud de terraplén de 2:1, si la alcantarilla está en ángulo recto con respecto al eje central del camino.

Instalación de la tubería de metal corrugado. Todos los requerimientos para la preparación de la zanja para tuberías de concreto, se aplican a la tubería de metal corrugado. La diferencia es que la tubería de metal puede ser colocada más rápidamente y con mayor facilidad que la de concreto.

Una de las fases más importantes de la instalación, es la colocación y compactación del material de relleno alrededor de la tubería. Debe proporcionarse apoyo lateral, de modo que soporte la carga del relleno y la carga viva, sin provocar una deflexión excesiva. Se puede conseguir el apoyo lateral, mediante una compactación adecuada de un buen material de relleno alrededor de la tubería. Debe colocarse y compactarse el material con cuidado debajo de los arcos de la tubería, y colocar en forma uniforme y simultánea dicho material en ambos lados. Los espesores de las capas y los métodos de colocación y compactación, son los descritos para la tubería de concreto. El procedimiento de rellenado debe continuar, hasta que el material esté por lo menos unos 30 cm por encima de la parte superior de la tubería. Este debe ser también el recubrimiento mínimo de material, entre la parte superior de la tubería y la superficie del camino.

Cuando se deban instalar líneas múltiples de tubería, deberán esparciárselas lo necesario para permitir una compactación total del relleno, entre y alrededor de cada tubería. Una aproximación empírica de espaciamento recomienda que éste sea por lo menos de la mitad del diámetro de la tubería, o 1 metro de separación, cualquiera que resulte menor.

Si se va a permitir el paso de equipo pesado sobre la alcantarilla durante la construcción, el recubrimiento deberá ser por lo menos de 1,3 m, porque el equipo puede generar un impacto alto y someter la tubería a cargas extremadamente pesadas y dañinas. Deberá luego retirarse el material de recubrimiento que sobre, antes de colocar el revestimiento superficial.

Protección contra la erosión

Las alcantarillas y el área inmediata que las rodea, son los componentes de la vía más propensos a sufrir daños por las tormentas. Se colocan las alcantarillas donde el flujo de agua está más concentrado y estrecho, pero por razones económicas, en muy pocos casos se permite diseñar las alcantarillas para la peor condición posible. En consecuencia, hay casos en que el área de ingreso, el de descarga y el terraplén adyacente a la alcantarilla y ésta misma, están sujetos a daños y hundimientos por efectos del agua. Para reducir al mínimo esta posibilidad, debe estorbarse lo menos posible el flujo de agua. El relleno debe ser compactado íntegramente alrededor de las alcantarillas, para prevenir filtraciones a través del terraplén. Cuando el flujo de agua a través de la alcantarilla es muy rápido, deben protegerse los terraplenes y proporcionarse muros de cabecera (Figura 25). Se deben construir vertederos en los extremos de descarga de las alcantarillas para disipar la energía del agua, así como muros interseectores para evitar la formación de cauces, colocando además piedras con mortero (rip-rap), en los puntos de socavación potencial. Las áreas que no están sujetas a socavación intensa pueden ser protegidas con un recubrimiento de césped. Para lograr un crecimiento rápido en áreas tropicales o subtropicales, se pueden plantar ramitas de césped en lugar de sembrillas. Para lograr una mayor protección, se puede colocar a mano piedras con mortero o rip-rap formado por roca dura y durable, cuidando que por lo menos la mitad de las piedras sean del tamaño máximo que puedan cargar

Figura 24. Recubrimiento de tubería de concreto.

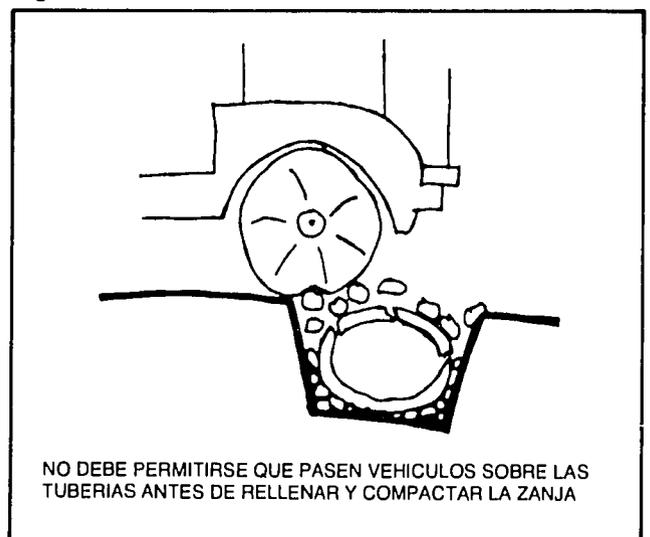
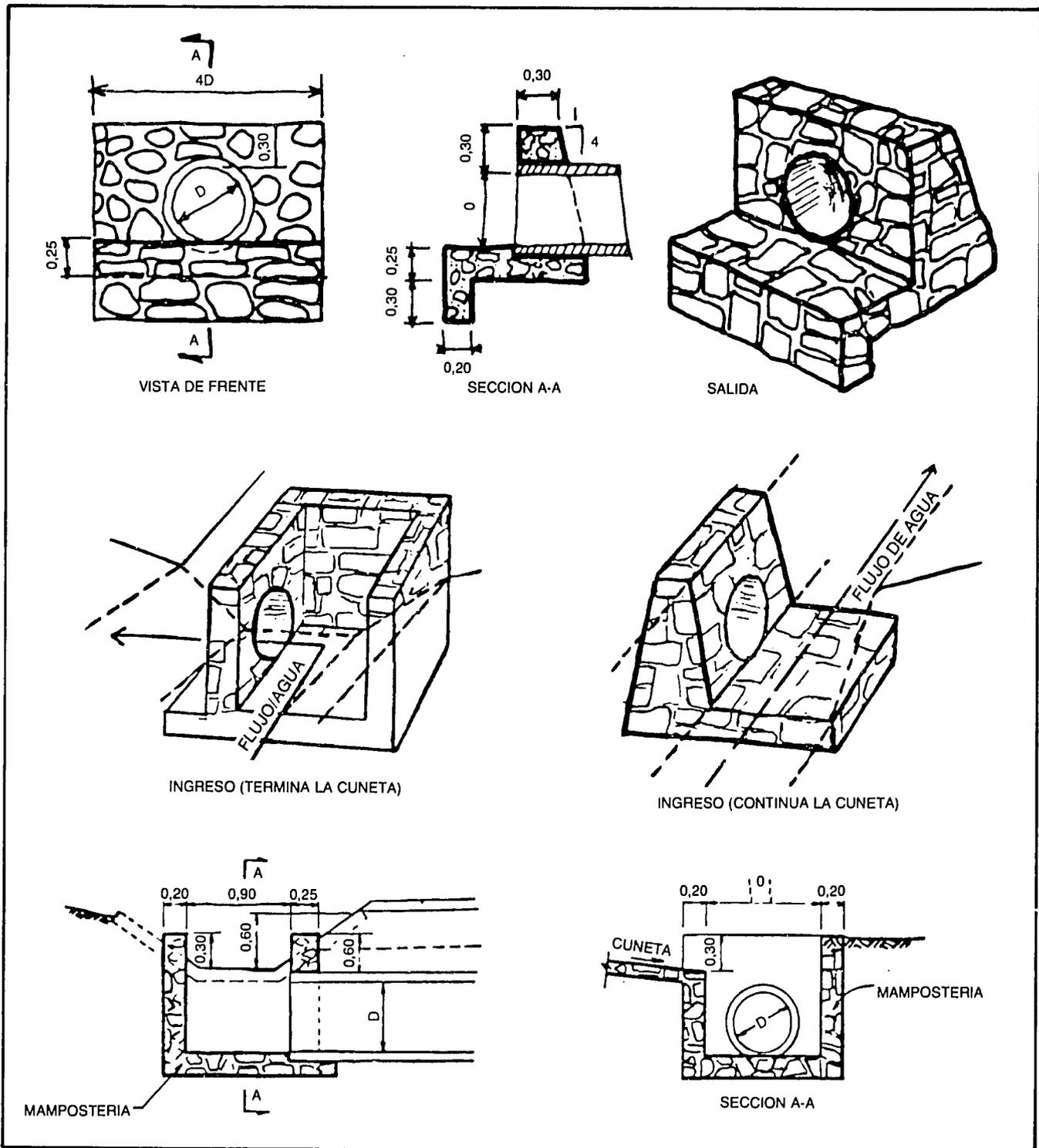


Figura 25. Construcción de muros de cabecera.



comodamente los obreros. En los lugares donde no se dispone de roca, se puede utilizar una mezcla de cemento y suelo colocada en sacos de yute, sea para protección del talud o como muros de cabecera. Una mezcla de 10 a 15 por ciento en peso de cemento con el suelo mismo, resulta por lo general adecuada para obtener un material duro y resistente a la erosión. Podría resultar una buena idea experimentar con mezclas de los suelos existentes, para determinar la mezcla más económica.

Una causa frecuente de comportamiento inaceptable o de fallas en alcantarillas, es la acumulación de desperdicios

transportados por el agua. Si se previera este tipo de problema, se deben tomar medidas para controlarlo (7).

CRUCES DE AGUAS BAJAS

Los vados, badenes o vados pavimentados, son relativamente económicos para construir. Compensan de alguna manera por la inconveniencia de demoras causadas por las aguas altas. Los vados se construyen generalmente a través de las corrientes o ríos poco profundos o estacionales, colocando una losa de concreto a través del fondo del cauce de

la corriente. Debe tenerse mucho cuidado de asegurar que las losas de concreto no se destruyan rápidamente por las fuerzas erosivas que acompañan a las aguas rápidas. Se puede reducir la cantidad de concreto a emplear, haciendo uso máximo de la piedra disponible.

Debido a sus características de rodamiento, los vados no tienen una influencia notable sobre el tráfico. A menos que los vados y sus accesos sean construídos con pendientes suaves, pueden constituir un obstáculo que puede forzar al conductor a reducir abruptamente la velocidad. El alineamiento debe seguir siempre las curvas de la topografía, debiendo revestirse los caminos de acceso con un material que permanezca estable cuando llueva. A fin de no alterar el flujo natural de la corriente, estos cruces deben seguir el curso natural, tanto como sea posible. El espesor del pavimento, debe tomar en cuenta la velocidad del flujo y la naturaleza de los materiales transportados por la corriente durante las inundaciones.

En algunos cauces la erosión llega a ser un factor importante, debido a la rapidez del flujo o al tipo de material en el cauce. En estos lugares, los vados deben incluir vertederos pavimentados así como muros interseectores, para impedir que la estructura se socave y se destruya. Podría resultar innecesario construir muros interseectores en corrientes menos violentas, debido a que muchos lechos de corrientes tienden a elevar su altura hasta el nivel del cruce en el lado aguas arriba. Se puede controlar o reducir la erosión en el lado opuesto (aguas abajo), colocando grandes rocas sobre el cauce de la corriente en ese lado (Figura 26). Cuando no se dispone de rocas, se puede utilizar una construcción más costosa de concreto. Cuando la erosión provocada por una tormenta ocasional fuera tan grande que requiera de muros interseectores muy profundos, sería conveniente dejar de hacerlos y efectuar en cambio reparaciones cuando sea necesario, en lugar de efectuar una gran inversión inicial (8).

PUNTES DE CONCRETO REFORZADO

Generalidades

Las estructuras de concreto reforzado requieren de una técnica integral para su diseño y de mucha experiencia para su construcción, y normalmente no se les construye en caminos de bajo costo. Sin embargo, en algunos lugares donde las corrientes son rápidas o profundas o donde no se disponen de otros materiales, el concreto reforzado viene a ser el único medio práctico para proporcionar un cruce.

Materiales y equipo

Los materiales y equipo necesarios, además de los empleados normalmente en la construcción de caminos de bajo costo, son acero reforzado, madera y clavos para los encofrados, además de una mezcladora de concreto.

Cimentaciones

Las cimentaciones son cuidadosamente estacadas de acuerdo con los planos. La excavación de las zapatas es uno de los pasos más críticos en la construcción de puentes. Mientras que es posible preparar especificaciones preliminares que muestren las estipulaciones de construcción de las zapatas, las condiciones reales son frecuentemente diferentes a las mostradas en los planos. Las zapatas deben

estar apoyadas sobre una cimentación sólida. La roca sólida es excelente; las arenas densas y las gravas, son buenas, y las arcillas duras son generalmente aceptables.

El fondo de la excavación debe estar horizontal. Las zapatas deben ir escalonadas cuando se presenta roca inclinada. Cuando está en duda la calidad del material de fundación, deberá consultarse a un ingeniero de puentes o de cimentaciones.

Se clavan pilotes cuando el material de fundación es demasiado suave para soportar sin hundirse, la carga de la estructura. Normalmente se habrá determinado la necesidad de pilotaje, en base a investigaciones subterráneas previas al diseño (6). Se clavan los pilotes con un martinete hasta que no se puedan profundizar más (8). Luego se cortan al nivel de la zapata y sirven para absorber la carga de la zapata. Después de haber preparado la cimentación, se puede vaciar el concreto de la zapata.

Encofrado y andamiaje

Los encofrados contienen el concreto plástico y dan forma a los componentes de la estructura. Generalmente se les construye con madera normal o con madera laminada, pero también pueden usarse otros materiales. Deben ser suficientemente fuertes para mantener la forma apropiada después de rellenarlos con concreto húmedo, y suficientemente herméticos para que el agua o el mortero no se filtren a través de ellos. Cualquier suciedad u otro material extraño, incluyendo el agua estancada, deben ser retirados del encofrado antes de colocar el concreto. Sus superficies interiores deben estar aceitadas para permitir un fácil desencofrado.

El andamiaje u obra false se emplea para arriostrar el encofrado y mantenerlo en su lugar. Se soporta con durmientes cuando el terreno es firme, o con pilares si el terreno es suave. Debe tenerse cuidado de que la obra falsa y sus apoyos no estén expuestos a sufrir daños o desplazamientos por efectos de inundaciones o erosión. El arriostramiento debe ser adecuado para evitar movimientos por efectos del agua o de cargas excéntricas mientras se va llenando el encofrado. Si se emplearan cuñas para regular el asentamiento del encofrado, deberán ser dobles y fabricadas de madera dura.

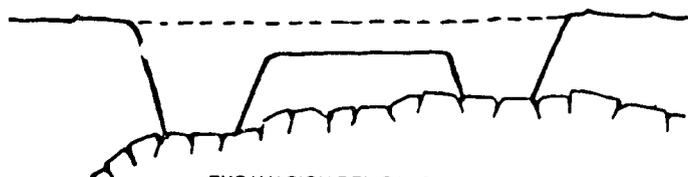
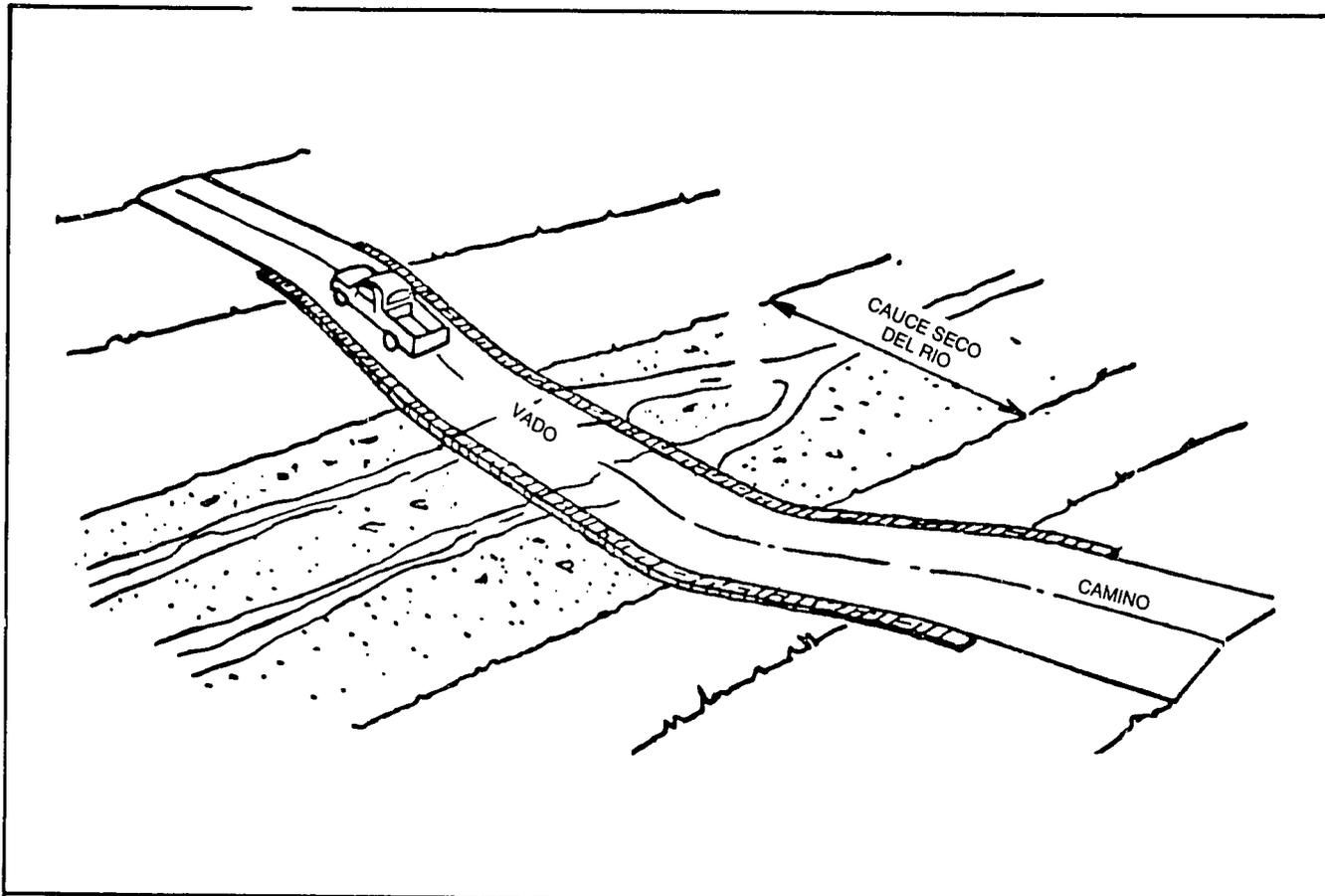
Se deben colocar suficientes marcas para indicar cualquier asentamiento del encofrado que pudiera ocurrir durante la colocación del concreto húmedo. Se pueden hacer ajustes antes de que el concreto haya llegado a su fraguado inicial. Si se hicieran después de que ha fraguado el concreto, éste puede quedar dañado permanentemente.

Acero reforzado

Se colocan las varillas de acero reforzado en el encofrado, para absorber los esfuerzos de tensión desarrollados por las cargas sobre los miembros estructurales. Deberán diseñarse cuidadosamente y por anticipado los tamaños de las varillas y sus ubicaciones. Se deberán colocar las varillas, estrictamente de acuerdo con el diseño.

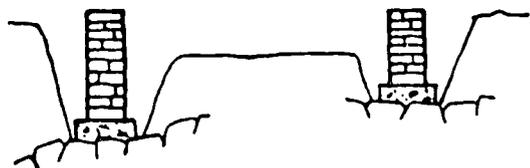
Nunca debe almacenarse sobre el suelo el acero reforzado, ni donde exista la posibilidad de que se dañe o doble por acción de las máquinas. Debe retirarse cualquier oxidación fuerte, grasa o suciedad que pueda interferir con la cementación entre el acero y el concreto, antes de colocar las varillas en el encofrado. Deben sostenerse firmemente las varillas para proporcionar la distancia adecuada desde las

Figura 26. Cruces de aguas bajas.

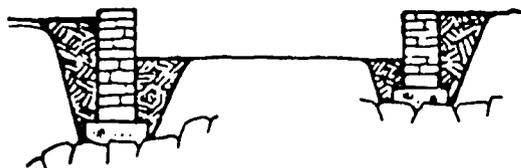


EXCAVACION DEL CAUCE DE LA CORRIENTE
(SECCION TRANSVERSAL.)

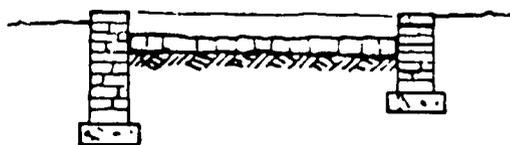
SE COLOCAN LAS PIEDRAS EN LA EXCAVACION SOBRE LECHOS DE MORTERO,
PONIENDO DEBAJO LAS PIEDRAS MAS GRANDES



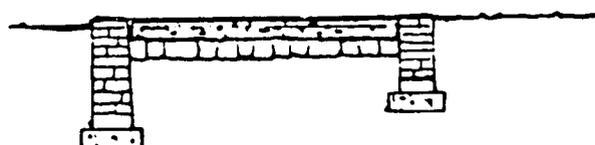
COLOCACION DE PIEDRAS DE BORDE
(MAMPOSTERIA)



RELLENADO Y COMPACTADO



COLOCACION DE PIEDRAS DE SUBBASE



COLOCACION DE ACERO Y VACIADO
DE LA CAPA DE CONCRETO

superficies exteriores y para asegurar que se mantendrán en su lugar cuando se vierta el concreto. Inmediatamente antes de colocar concreto en el encofrado, debe revisarse el acero para ver que esté colocado exactamente como se muestra en el plano, incluyendo el traslape adecuado en todos los empalmes.

Concreto

Se mezclan en una mezcladora de concreto las proporciones adecuadas de cemento, agregado y agua, para formar el concreto. Debe controlarse cuidadosamente el contenido de humedad. El concreto mezclado debe ser suficientemente fluido, para poder colocarlo dentro del encofrado y alrededor del refuerzo sin dejar vacíos, pero suficientemente rígido para que no se aplaste. Si se aumenta el contenido de humedad, se disminuye la resistencia del concreto. El agua en exceso también causará segregación del agregado del mortero.

Manipuleo y colocación del concreto

Se traslada el concreto de la mezcladora al encofrado, con carretillas u otros recipientes. Debe darse una constante atención a su consistencia y al método para esparcirlo y manipularlo. Debe evitarse la segregación del agregado y el producto final debe estar bien consolidado. Deberá estar libre de cavidades superficiales que resultan del aire y agua atrapados dentro del encofrado. Removiendo el concreto con palas a lo largo del encofrado vertical, se libera generalmente las burbujas de aire y agua. Debe observarse cuidadosamente en los encofrados la presencia de fugas de agua, que deberán taparse inmediatamente tan pronto como se encuentren.

No debe vaciarse indiscriminadamente el concreto a través de la armadura, ni debe depositarse por un solo punto u obligarlo a fluir por distancias considerables. El trabajo debe continuar vaciando sucesivamente las tandas de concreto, de tal manera que ésta fluya a lo largo y debajo de la armadura. Lurgo deberá removerse con pala para mezclarlo con la tanda anterior, a fin de asegurar continuidad. La última tanda de concreto que se descarga de la mezcladora, contendrá generalmente un exceso de agregado grueso. Debe colocársela en el encofrado, de manera tal que se mezcle con el concreto que contiene un exceso de mortero. Inmediatamente después de descargarlo, deberá removerse con palas el concreto, pero sin exagerar, hasta el punto que pueda aparecer el mortero o el agua de exceso por la parte superior del concreto. Luego que se inicia el vaciado de concreto, deberá continuarse hasta terminar la operación, o hasta que se alcance una predeterminada junta de construcción.

Cuando se coloca concreto en las fundaciones, algunas veces no resulta práctico retirar toda el agua de ellas. En esos casos es mejor empezar la colocación del concreto en una esquina y continuar hasta que su nivel esté muy por encima de la superficie del agua. El concreto debe desplazar el agua a medida que se avance, causando la menor alteración posible. Nunca debe colocarse concreto cuando el agua esté en movimiento.

Curado del concreto

Se obtiene un curado apropiado del concreto, controlándolo por humedad, por temperatura y protegiéndolo contra cual-

quier alteración. La temperatura no es un factor que necesita controlarse hasta que se aproxime al punto de congelación; en ese caso, el concreto sí requiere protección. El concreto recientemente colocado en estructuras, debe mantenerse continuamente húmedo por un mínimo de siete días. Cuando se usan encofrados de madera, deberán humedecerse frecuentemente para evitar la presencia de rajaduras que darían lugar a pérdidas de humedad en el concreto.

El concreto no debe alterarse ni cargarse mientras esté curándose. Un concreto parcialmente curado puede sufrir daños permanentes si se le altera.

Retiro del andamiaje y de los encofrados

No debe retirarse el andamiaje ni los encofrados, antes de que se haya producido el curado y el concreto haya conseguido la resistencia necesaria. Los requerimientos de resistencia, varían con la función que desempeñe la pieza de concreto considerada. El encofrado de superficies verticales que no soportan carga, puede retirarse normalmente después de dos días de curado. Las vigas, plataformas y otros elementos, deben tener por lo menos 14 días; generalmente se requiere de 28 días de curado, antes de permitirse cargas vivas.

Debe retirarse cuidadosamente todo el encofrado para prevenir daños al concreto. Se debe reparar cualquier área con cavidades o dañada, inmediatamente después de retirar las formas.

CONCRETO CICLOPEO

El concreto ciclópeo es una mampostería de concreto más económica pero de menor calidad. Se le emplea algunas veces para construir estructuras simples que no requieren la resistencia o la apariencia del concreto normal. Se le puede utilizar para construir muros bajos de cabecera, aleros, muros bajos de contención, estribos bajos, pilares y otras estructuras similares. Requieren de un mínimo de cemento y hacen máximo uso de materiales y mano de obra locales.

Se colocan las rocas o cantos rodados de tamaños diversos en su lugar respectivo, o dentro de un encofrado rústico, rellenando los vacíos con mortero o con pequeñas mezclas de concreto y agregado. Generalmente se limita la piedra de forma irregular, o no más del 50 por ciento del volumen total. Al llenar los vacíos grandes con piedras más pequeñas, se reducirá la cantidad de concreto o mortero requeridos. Se debe cuidar de que el mortero llene suficientemente los vacíos restantes. A fin de conseguir la unión de las piedras y del concreto, deberá mojarse la superficie de las piedras. Como en toda estructura, las cimentaciones deben ser sólidas y no estar sujetas a asentamientos diferentes. Este tipo de construcción es de utilidad limitada. Se adapta mejor a las cargas verticales y puede soportar sólo limitados empujes horizontales.

MUROS DE CONTENCION DE PIEDRA SECA

En terreno montañoso, los caminos deben estar soportados a menudo por muros de contención. Uno de los tipos de muros de contención menos costosos, es el de piedra seca (Figura 27). Los muros de piedra seca no contienen mortero para unir las piedras. En áreas montañosas se dispone normalmente de piedras o rocas y no se necesitan otros materiales, excepto tierra y relleno de piedras. Las cuadrillas de obreros

Figura 27. Muros de contención de piedra seca.

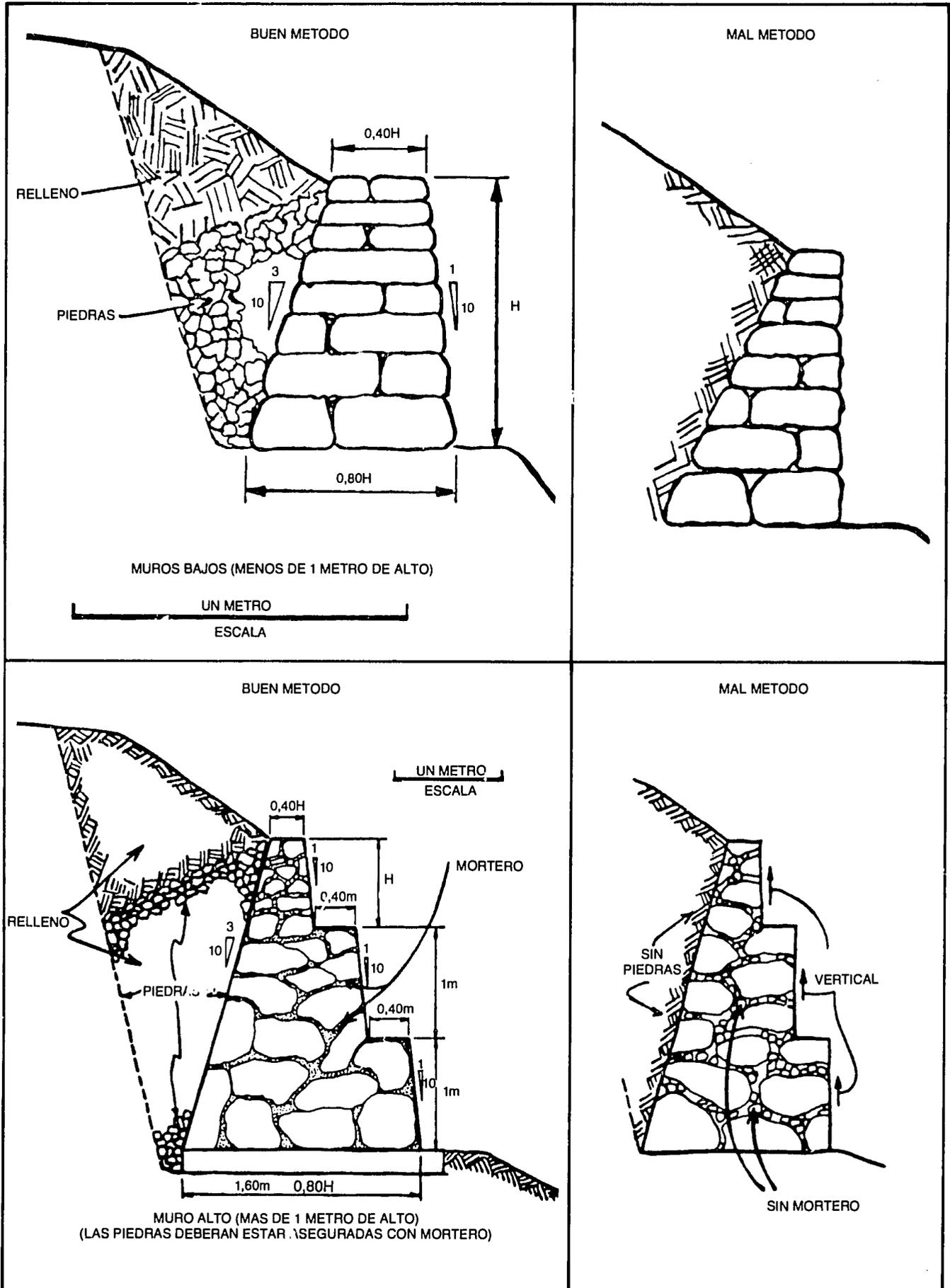
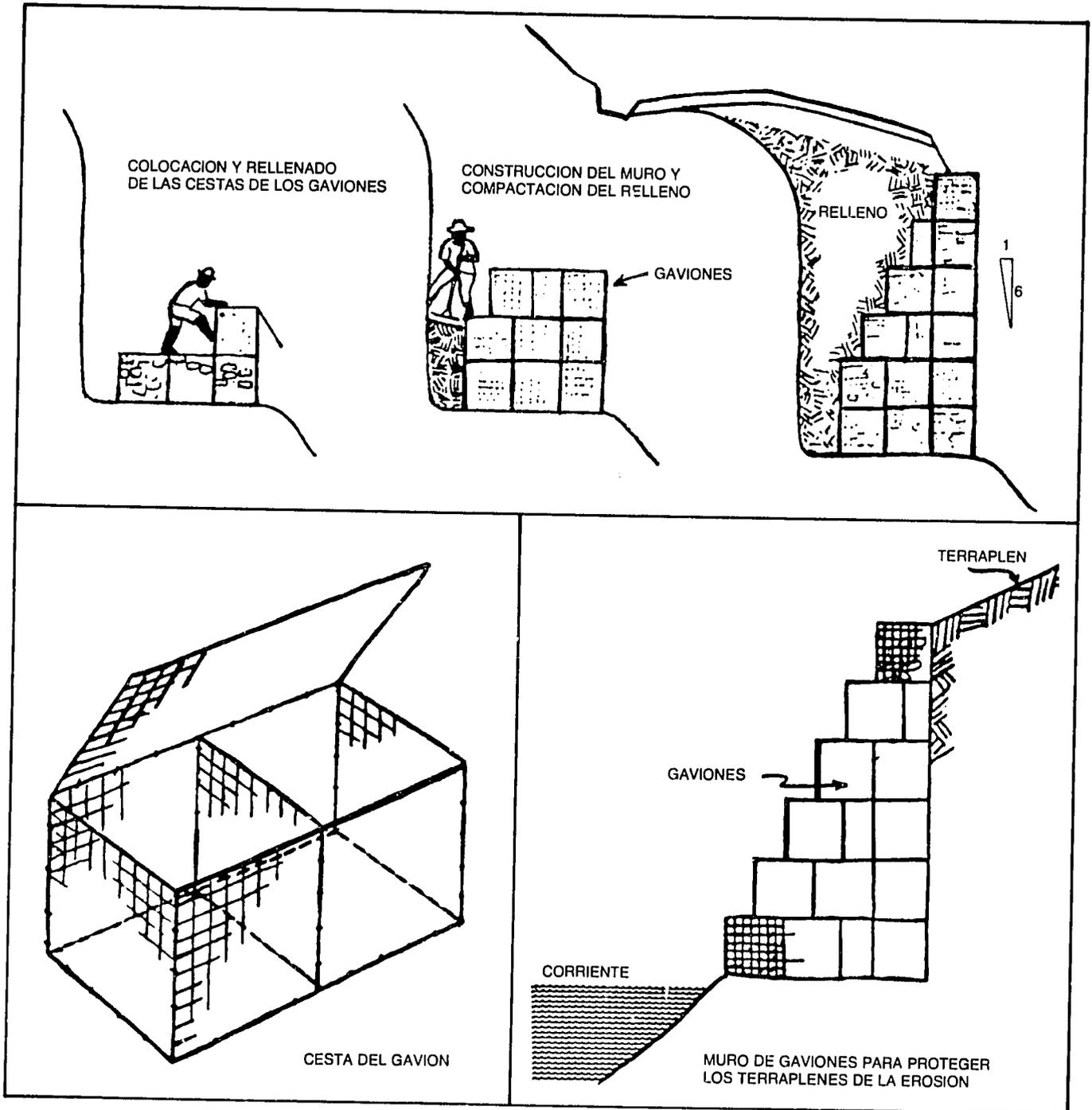


Figura 28. Uso de gaviones o cestones.



experimentados en pavimentación de cunetas y en construcción de muros de cabecera para drenaje, son capaces generalmente de construir muros secos de contención.

Se construye el muro antes de colocar el terraplén del camino. Se puede necesitar de una excavación para asegurar una cimentación firme, y el muro deberá estar en terrenos que no hayan sido removidos previamente. Si los materiales de excavación fueran adecuados para relleno, deberán colocárseles junto a la excavación para ser usados nuevamente. El fondo de la excavación deberá estar bien compactado, antes de colocar la capa de piedras.

Se deberá construir el muro en forma tal que las piedras estén en contacto entre ellas y que su mayor dimensión sea perpendicular al terraplén. Se deben colocar las piedras más

grandes en la parte inferior del muro. Los vacíos que existan entre las piedras más grandes, se deberán llenar con piedras más pequeñas.

Después de terminar el muro, deberá rellenarse y compactar la excavación por capas de suelo de 10 a 15 cm de espesor. El relleno ubicado inmediatamente detrás del muro, debe consistir de piedras que facilitan el drenaje.

GAVIONES

Los gaviones o cestones, son cestas de malla de alambre, cilíndricos o en forma de canasta, que son rellenas con roca. Pueden colocarse para que actúen como muros de contención, para controlar la erosión, o para otros usos (Figura 28). Cuando se dispone de roca, resultan económicos

Para instalar y se prestan al máximo empleo de mano de obra.

CONSERVACION

Un camino construido por etapas no tiene muchos de los elementos que caracterizan a un proyecto íntegramente terminado. Se omiten algunas características que asegurarían una conservación mínima y una larga vida al camino. Sólo se proporciona lo que se considera esencial para satisfacer las necesidades inmediatas del transporte.

Una vez construido el camino, se necesitará seguramente utilizarlo en el estado en que se encuentra durante un tiempo mucho mayor que el propuesto originalmente, sin tomar en cuenta las crecientes necesidades del tráfico. Al mismo tiempo, los recursos económicos sumamente limitados, resultan incapaces a menudo para proporcionar la conservación permanente que requiere el camino desde el mismo día

en que se termina la construcción. Es conveniente inspeccionar el camino terminado, para determinar la conservación preventiva que requiera. Los pequeños problemas que sean detectados y corregidos inmediatamente, pueden reducir futuros costos de conservación y extender considerablemente la vida del camino. Se observan mejor muchas de las correcciones necesarias, después de la primera estación de lluvias y luego de terminar una parte substancial del proyecto.

Debe darse una atención particular, a la corrección de las socavaciones superficiales excesivas que se presenten por la presencia de excesivas escorrentías a media ladera, a las obstrucciones en las cunetas y canales, a la necesidad de alcantarillas adicionales y a la socavación o erosión en las áreas vecinas a las alcantarillas, vados pavimentados o puentes. Los problemas más comunes están asociados con la erosión del agua. La corrección más común consiste en proporcionar un drenaje adecuado.

REFERENCES

1. O'Reilly, M.P. y Millard, R.S. *Roadmaking Materials and Pavement Design in Tropical and Subtropical Countries*. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, England., L.R. 279, 1969.
2. Oglesby, Clarkson H. *Costa Rica Report*. Systan International Inc., Los Altos, California, Memorandum interno N° 14, 1978.
3. *Opportunities for Cost Reduction in the Design of Transport Facilities for Developing Regions*. University of California, Institute of Transportation and Traffic Engineering, Berkeley, California, 1970, 406 p.
4. Lubina, Allen F. y Panfil, Robert N. *Pavement Design and Staging for Mayan Roads*. Transportation Engineering Journal de ASCE, Vol. 97., N°. TE4, Noviembre 1971, pp. 651-666.
5. *Geometric Design Standards for Low-Volume Roads*. TTSDC Compendium 1. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1978, 297 p.
6. *Drainage and Geological Considerations in Highway Location*. TTSDC Compendium 2. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1978, 334 p.
7. *Small Drainage Structures*. TTSDC Compendium 3. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1978, 297 p.
8. *Low-Cost Water Crossings*. TTSDC Compendium 4. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1979, 176 p.
9. *Roadside Drainage*. TTSDC Compendium 5. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1979, 196 p.
10. *Investigation and Development of Materials Resources*. TTSDC Compendium 6. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1979, 220 p.
11. *Road Gravels*. TTSDC Compendium 7. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1979, 195 p.
12. *Chemical Soil Stabilization*. TTSDC Compendium 8. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1979, 238 p.
13. *Control of Erosion*. TTSDC Compendium 9. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1979, 316 p.
14. *Compaction of Roadway Soils*. TTSDC Compendium 10. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1979, 249 p.
15. *Maintenance of Unpaved Roads*. TTSDC Synthesis 1. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1979, 42 p.
16. *Low-Volume Roads*. Special Report 160. Expediente de una reunión realizada en Boise, Idaho en Junio 16-19, 1975, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1975, 396 p.
17. *Training Manual. Labor-Intensive Operations. The Agricultural Feeder Roads Project*. Gobierno de la República de Haití; Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Comunicaciones (Tippetts-Abbett-McCarthy-Stratton, New York), Julio 1979.

PUBLICACIONES DEL PROYECTO

Las publicaciones aquí indicadas, han sido producidas por el proyecto Apoyo de Tecnología de Transporte para Países en Desarrollo, y pueden ser solicitadas al TRB a los precios que aquí se indican, que incluyen el valor del porte marítimo. Dirigir los pedidos a

*Transportation Research Board
National Research Council
2101 Constitution Avenue, N.W.
Washington, DC 20418 U.S.A.*

- Síntesis 1: Conservación de caminos sin
pavimentar. \$6.00
- Síntesis 2: Construcción por etapas. \$6.00
- Síntesis 3: Construcción y conservación de caminos de
bajo volumen con uso de mano de
obra. \$6.00
- Compendio 1: Normas de diseño geométrico para
caminos de bajo volumen. \$12.00
- Compendio 2: Consideraciones de drenaje y geológicas
en la ubicación de carreteras. \$12.00
- Compendio 3: Pequeñas estructuras de
drenaje. \$12.00
- Compendio 4: Travesías de agua de bajo costo. \$9.00
- Compendio 5: Drenaje del borde de la carretera. \$9.00
- Compendio 6: Investigación y desarrollo de recursos de
materiales. \$10.50
- Compendio 7: Gravas. \$9.00
- Compendio 8: Estabilización química de
suelos. \$10.50
- Compendio 9: Control de erosión. \$12.00
- Compendio 10: Compactación de suelos viales. \$10.50

NOTA: Las Síntesis 1, 2, y 3, han sido impresas en inglés,
español y francés. Los compendios 1 a 10, tienen una
introducción en los tres idiomas, y el texto sólo en
inglés.