

planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento

**subdirección de explotación y transporte forestal
dirección de industrias forestales
departamento de montes**

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

M-36

ISBN 92-5-300407-X

Este libro es propiedad de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, y no podrá ser reproducido, ni en su totalidad ni en parte, por cualquier método o procedimiento, sin una autorización por escrito del titular de los derechos de autor. Las peticiones para tal autorización especificando la extensión de lo que se desea reproducir y el propósito que con ello se persigue, deberán enviarse al Director de Publicaciones, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

© FAO 1978

PROLOGO

La Sub-División de Explotación y Transporte Forestal del Departamento de Montes de FAO ha preparado una serie de manuales y documentos de problemas específicos relacionados con explotación, transporte y construcción de caminos forestales. El más reciente de esta serie es el presente documento "Planificación de Carreteras Forestales y Sistemas de Explotación".

Este manual está basado en el trabajo del Sr. J.A. McNally, Ingeniero de Explotación, Canadá, en colaboración con la Sub-Dirección de Explotación y Transporte Forestal.

El objetivo de esta publicación es presentar, en forma amplia, las tendencias en el desarrollo de nuevas técnicas de explotación y su impacto en la planificación de operaciones forestales.

Especialmente, se describe en detalle los aspectos de planificación de carreteras forestales en relación a sistemas mecanizados de explotación, en terreno plano y ondulado. Se indican fórmulas de costos y producción de los diferentes equipos de explotación, tomando en cuenta la influencia del medio ambiente sobre las horas productivas de mano de obra y máquinas.

La mención de compañías o sus productos o marcas comerciales no implica una aprobación o recomendación por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.



Trazado de una carretera forestal con clinómetro.

INDICE

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. ALCANCE	1
3. CALCULO DEL COSTE DE LA MANO DE OBRA Y DE LAS MAQUINAS	2
3.1 Generalidades	2
3.2 Mano de obra	2
3.3 Máquinas	3
3.3.1 Generalidades	3
3.3.2 Determinación de tiempos para el cálculo de costes	3
3.3.3 Duración de las máquinas	4
3.3.4 Cálculo del coste de funcionamiento de las máquinas	5
3.3.5 Unidades de potencia del motor de las máquinas	6
4. PARTES DE LA ESTRUCTURA DE UNA CARRETERA	8
5. ALGUNAS CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE CARRETERAS	9
6. CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS FORESTALES	9
6.1 Sistema de clasificación	9
6.2 Carreteras de transporte	12
6.3 Carreteras de aprovisionamiento	13
6.4 Caminos de maderero	14
6.5 Carreteras de acceso	14
7. EMPLAZAMIENTO O TRAZADO DE CARRETERAS FORESTALES	14
7.1 Procedimiento general	14
7.2 Ensayos de suelos en el campo	15
7.3 Erosión	16
7.4 Algunos principios generales	16
7.5 Carreteras de aprovisionamiento	16
7.6 Evaluación de un ejemplo de trazados alternativos	17
8. CONSTRUCCION DE CARRETERAS FORESTALES	18
8.1 Consideraciones generales	18
8.2 Generalidades sobre costes	19
8.3 Estaquillado, corta de arbolado, explanación, desbroce, nivelación y trabajos varios	23
8.4 Cunetas	25
8.5 Estabilización de taludes	25
8.6 Estabilización de la explanación	27
8.7 Alcantarillas	30
8.8 Engravado	33
9. MANTENIMIENTO DE CARRETERAS FORESTALES	36

	<u>Página</u>
10. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO	37
10.1 Consideraciones generales	37
10.1.1 Terreno	38
10.1.2 Masa forestal	40
10.1.3 Condiciones climáticas	40
10.1.4 Ordenación forestal y silvicultura	42
10.1.5 Longitud o tipo de producto	43
10.1.6 Mano de obra	43
10.1.7 Equipo mecánico	44
10.1.8 Medición de la producción de madera	45
10.2 Clasificación de los sistemas de aprovechamiento	46
10.2.1 Sistema de aprovechamiento de árboles completos	48
10.2.2 Sistema de aprovechamiento de troncos enteros	50
10.2.3 Sistema de aprovechamiento de madera corta	50
11. ALGUNOS FACTORES PARA EL AJUSTE DEL TIEMPO DE TRABAJO	53
11.1 Trabajadores manuales	53
11.2 Máquinas de explotación y operarios que trabajan en el terreno forestal	54
11.2.1 Terreno	54
11.2.2 Factores climáticos	55
11.2.3 Curva de aprendizaje	55
11.2.4 Ajuste básico	56
11.2.5 Destreza y motivación del operario	56
12. ALGUNAS FORMULAS UTILIZADAS EN EL CALCULO DE COSTES	57
12.1 Costo de funcionamiento de las máquinas: fórmula abreviada	57
12.2 Fórmulas del transporte primario	57
12.3 Coste de funcionamiento de camión y remolque: fórmula abreviada	58
13. OPERACIONES MANUALES EN LA ZONA DE CORTA	59
13.1 Apeo manual con sierra	59
13.2 Desrame manual con hacha o sierra de cadena	61
13.3 Tronzado manual con sierra	63
13.4 Apilado de madera corta	65
13.5 Operaciones manuales compuestas	65
14. CORTADORAS-APILADORAS (Feller-bunchers)	66
14.1 Cortadoras-apiladoras de brazo articulado	67
14.1.1 Tipos corrientes	67
14.1.2 Tipos especiales	69
14.2 Cortadoras-apiladoras de distancia corta entre ejes	69
15. CARGAS UTILES DE LOS TRACTORES FORESTALES (Skidders)	70
15.1 Generalidades	70
15.2 Fórmula general de la carga útil	70
15.3 Madereo de troncos enteros con las puntas gruesas hacia delante	72
15.4 Madereo de troncos enteros con las puntas delgadas hacia delante	73
15.5 Madereo de árboles completos	74

	<u>Pág. 1a</u>
16. TRACTOR FORESTAL ARRASTRADOR DE HUINCHE	75
16.1 Madereo de troncos enteros apeados y desramados a mano	75
16.2 Madereo de árboles completos	78
17. TRACTOR FORESTAL ARRASTRADOR DE GARRA	79
18. TRACTOR FORESTAL CON TRAVESAÑO DE VALVAS	81
18.1 Máquinas de ruedas	81
18.1.1 Madereo de troncos enteros	81
18.1.2 Madereo de árboles completos	83
18.2 Máquinas sobre orugas	84
19. TRACTORES DE ARRASTRE-CORTADORES	84
20. TRACTORES DE TRANSPORTE-CORTADORES	85
21. DESRAMADORAS	87
21.1 Desramadora de un solo árbol Logma T-310	87
21.2 Desramadora de varios árboles Hydro-Ax	88
22. DESRAMADORAS-TRONZADORAS (Delimber-Buckers)	89
22.1 Desramadoras-tronzadoras que trabajan en la zona de corta	89
22.2 Desramadoras-tronzadoras que trabajan a borde de carretera	91
22.2.1 Procesadora Hahn	91
22.2.2 Procesadora Arbomatik	91
23. CORTADORAS-DESRAMADORAS	92
23.1 Cortadoras-desramadoras sobre orugas	92
23.2 Cortadoras-desramadoras sobre ruedas	93
23.2.1 Timberjack TJ-30	93
23.2.2 Cortadora-desramadora Tanguay	94
24. CORTADORAS-DESRAMADORAS-TRONZADORAS	94
24.1 Cortadoras-desramadoras-tronzadoras montadas sobre orugas	94
24.2 Cortadoras-desramadoras-tronzadoras montadas sobre ruedas	95
25. CORTADORAS-DESRAMADORAS-TRANSPORTADORAS	95
26. MADEREO DE SUSPENSION	96
26.1 Generalidades	96
26.2 Madereo de suspensión de madera corta	96
26.2.1 Tractores forestales autocargadores	96
26.3 Madereo de suspensión de troncos enteros	99
27. COSECHADORAS FORESTALES DE MADERA CORTA	101
28. ASTILLADO A BORDE DE CARRETERA	104

	<u>Página</u>
29. TRONZADORAS-MÚLTIPLES	105
29.1 Tronzadoras múltiples canadienses	105
29.2 Otras tronzadoras, normales y múltiples	106
30. SISTEMAS DE MADEREO CON CABLE	106
30.1 Algunos sistemas de madereo con cable de tiro alto	109
30.2 Algunos sistemas de madereo con cable aéreo fijo	109
30.3 Espaciamiento óptimo de cables-grúa de larga distancia	110
31. TRANSPORTE SECUNDARIO	111
31.1 Generalidades	111
31.2 Transporte	111
31.2.1 Configuración de los vehículos	111
31.2.2 Necesidades de potencia	114
31.2.3 Dimensión del vehículo y reglamentos de carga	117
31.2.4 Neumáticos	117
31.2.5 Otras componentes del vehículo	118
31.2.6 Cálculo del coste del equipo de transporte	118
31.2.7 Aplicación de los costes de funcionamiento de camión y remolque	119
31.3 Carga	121
31.3.1 Generalidades	121
31.3.2 Cargador de madera corta Pettibone Cary-Lift	121
31.3.3 Cargadores de grúa de brazo fijo	122
31.3.4 Cargadores de brazo articulado	122
31.3.5 Cargadores frontales de trozas	125
31.4 Descarga	127
REFERENCIAS	170
APENDICES	
A. SISTEMA DE CLASIFICACION DE CARRETERAS DEL SERVICIO FORESTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS Y COSTES DE TRANSPORTE DE LA MADERA PARA PULPA EN MINNESOTA	129
B. CARGAS TOTALES EQUIVALENTES POR EJE	132
C. CONSIDERACIONES GEOMETRICAS PARA CARRETERAS FORESTALES	135
D. DENSIDAD DE LAS CARRETERAS DE APROVISIONAMIENTO	144
E. RELACIONES COMPARATIVAS DE PRODUCTIVIDAD, PRECIO DE COMPRA Y COSTOS DE FUNCIONAMIENTO POR HORA, DE TRACTORES DE ORUGAS EQUIPADOS CON PALA FRONTAL EN S, TECHO DE PROTECCION Y HUINCHE	149
F. ESTABILIZACION CON CAL DE LA EXPLANACION DE LA CARRETERA	151
G. ESTABILIZACION CON CLORURO DE CALCIO DEL FIRME DE LA CARRETERA	155
H. DEDUCCION DE LAS FORMULAS PARA EL CALCULO DEL COSTE DE LAS MAQUINAS	157
I. CARRETERAS INTERIORES DE TRANSPORTE PARA LOGRAR EL MINIMO COSTE TOTAL DE MADEREO DE SUSPENSION Y TRANSPORTE	164

FOTOGRAFIAS

	<u>Página</u>
Trazado de una carretera forestal con clinómetro	iv
Explanación de una carretera forestal principal en terreno de colinas	10
Barrenado mecanizado para acelerar la construcción de carreteras en terreno rocoso de montaña	24
Revestimiento de madera para evitar la erosión del terraplén	26
Alcantarilla de hormigón prefabricado para una corriente natural de agua	31
Carga de grava en camión para el engravado de carreteras forestales principales, en una pequeña compañía forestal	35
Motoniveladora remodelando una carretera forestal principal durante trabajos de mantenimiento	36
Preparación del sitio de apeo mediante limpieza del sotobosque con machete	60
Apeo de árboles con sierra de cadena	60
Extracción de madera a la carretera mediante tractor forestal arras-trador	78
Tractor forestal de garra extrayendo una carga de trozas	79
Cortadora-desramadora-transportadora colocando un árbol cortado sobre el carro desramador	96
Tractor forestal transportador articulado para madera corta	97
Cosechadora forestal de madera corta para el procesamiento completo de los árboles en la zona de corta y el madereo de suspensión hasta el borde de carretera	102
Cable grúa móvil extrayendo trozas en operaciones de aclareo	107
Descarga de semi-remolque con ejes en tandem para empalmarlo con camión tractor para el transporte de trozas	113
Camión pesado para el transporte forestal en bosques tropicales	114
Grúa cargadora accionada hidráulicamente montada sobre camión	124
Carga de camión con cargador frontal sobre ruedas dotado de horquilla para trozas	126
Cargador frontal montado sobre orugas descargando trozas en el carga-dero final	128

Factores de conversión

1 pulgada	= 2,54 cm
1 pie	= 0,3048 m
1 yarda	= 0,9144 m
1 chain	= 20,12 m
1 milla	= 1,609 km
1 yarda cuadrada	= 0,83613 m ²
1 milla cuadrada	= 2,59 km ²
1 pie cúbico	= 0,02832 m ³
1 yarda cúbica	= 0,765 m ³
1 cunit	= 2,832 m ³
1 cord	= 2,41 m ³
1 galón (Imp.)	= 4,546 litros
1 libra	= 0,4536 kg

Nota: \$ en Apéndice I se refiere a \$ Canadiense

INTRODUCCION

Una operación forestal en gran escala es una empresa complicada. Exige mucha planificación y tomar numerosas decisiones antes de ponerla en marcha. Debe prepararse un plan de ordenación a largo plazo para la zona, basado en un inventario de los recursos forestales, en las características topográficas, condiciones del suelo e infraestructura existente. El plan debe exponer a grandes rasgos la localización del principal sistema de carreteras forestales para la zona, así como las carreteras secundarias más importantes, y el sistema o sistemas de explotación maderera que se propone emplear para el aprovechamiento.

El término "carreteras forestales", en el contexto de este estudio, significa aquellas carreteras construidas en el bosque con el fin de servir para el desarrollo de la masa forestal y para su aprovechamiento. Se ha publicado mucho referente al proyecto, construcción y mantenimiento de carreteras públicas, pero poco en lo referente a carreteras forestales y a su relación con los sistemas de aprovechamiento a los que deben servir y a las condiciones que deberían satisfacer para este fin.

Las operaciones forestales pueden incluir el aprovechamiento de bosques naturales, la reforestación de zonas cortadas o la repoblación de tierras no arboladas, así como el desarrollo hasta la madurez y aprovechamiento de estos bosques artificiales.

El director de las operaciones debe elegir normalmente entre realizar una tala rasa o una tala selectiva, a menos que esté limitado por normas gubernamentales o consideraciones económicas. Debe decidir también respecto al tipo de herramientas y máquinas a utilizar en la corta y en el transporte de las trozas hasta borde de carretera, sobre el tamaño y composición del equipo de transporte a utilizar y, por lo tanto, sobre la calidad de la carretera de transporte que ha de construirse.

2. ALCANCE

Este manual trata de proporcionar unas normas de orientación que ayuden al administrador forestal a seleccionar el tipo adecuado de carretera forestal y su densidad o espaciamiento así como el sistema de explotación maderera que ayude a obtener el menor precio total de entrega de la madera, ya se trate de una operación realizada en bosques naturales o en bosques artificiales y en zona templada o tropical. Los principios que son aplicables a una región o a un sistema de explotación maderera, lo serán normalmente a otro.

El manual no se ocupa de las carreteras de superficie endurecida con hormigón o componentes asfálticos (bituminosos), ni trata tampoco en extensión del maderero con cable en pendientes inclinadas. Está programada la publicación por la FAO, en 1977 o 1978, de un manual que trate de tales sistemas de explotación maderera. Se da la máxima atención a aquellos sistemas que utilizan el arrastre o el transporte de la carga para trasladar la madera desde la zona de corta hasta borde de carretera, ya que éstos son los métodos más corrientemente utilizados, si las pendientes no exceden de un 50 a un 60 por ciento. Los sistemas de aprovechamiento que utilizan métodos de transporte terrestre para trasladar la madera a borde de carretera, son casi siempre más económicos que los sistemas de arrastre por cable, cuando hay posibilidad de elegir entre ambos.

También trata con cierta extensión del método de cálculo del coste de funcionamiento del equipo de explotación maderera, debido a que tales valores del coste se distorsionan frecuentemente por omisión o por descuido al no considerar ciertas partidas que deberían incluirse.

3. CALCULO DEL COSTE DE LA MANO DE OBRA Y DE LAS MAQUINAS ^{1/}

3.1 Generalidades

El coste de un proyecto forestal, ya se trate de la construcción de una carretera, del mantenimiento de una plantación o de un aprovechamiento maderero, incluye mano de obra, maquinaria y materiales y herramientas manuales. La determinación de los costes reales de la mano de obra y del funcionamiento de las máquinas deben entenderse bien ya que se emplean con frecuencia en este manual. Estos temas se discuten a continuación. El coste de cada uno es una función de:

- a) la producción por unidad de tiempo, y
- b) el coste de la unidad de tiempo,

expresados como coste por unidad de producción, por ejemplo como coste por metro cúbico.

Cualquier intento de comparar sistemas de explotación maderera, con el fin de seleccionar el más económico, sin considerar todos los factores que forman parte de los costes de la mano de obra y de la maquinaria, pueden conducir fácilmente a una decisión equivocada. Por ejemplo, el dejar de incluir las cargas sociales en el coste de la mano de obra, o las partidas destinadas a depreciación e intereses en los costes de funcionamiento de la maquinaria, pondría en peligro el proyecto.

3.2 Mano de obra

El coste de la mano de obra incluye los salarios directos más el coste de las cargas sociales que son absorbidas por el empresario. Los salarios directos pueden expresarse como un precio por hora, por día, semana, mes o año, o como un precio por unidad de producción (trabajo a destajo). Las cargas sociales incluyen una partida o más de los tipos siguientes: vacaciones anuales, días de fiesta oficiales, seguro de accidentes, ayuda familiar, atención médica, escolaridad, vivienda, manutención, comidas o alimentos y transporte de ida y vuelta a los lugares de trabajo. Algunos de éstos se dan como consecuencia de leyes y reglamentos laborales, algunos mediante contratos laborales negociados y otros los da el empresario como una prima sobre los salarios directos; no todos se dan en todos los países. El coste puede variar entre el 20 y el 100 por ciento del coste directo de la mano de obra. Debe determinarse en cada caso. Cuando se expresan como un tanto por ciento de los salarios directos, tales pagos son con frecuencia mucho más elevados en los países en desarrollo donde los salarios directos son normalmente mucho menores que en los países donde la industria está más desarrollada. En una operación en Colombia, el coste de las cargas sociales para un trabajador de una brigada de explotación forestal ascendió al 60 por ciento de sus ingresos directos diarios de 2,25 \$EE.UU., es decir, 1,35 \$EE.UU. por día. En las operaciones de explotación forestal del este de Canadá, donde los precios de los salarios por jornada de 8 horas son de unos 40 \$EE.UU. para los trabajadores corrientes y de 48 \$EE.UU. para los operarios que manejan equipo pesado móvil, y para los trabajadores a destajo alrededor de 65 \$EE.UU. diarios, el coste de las cargas sociales está entre el 25 y el 30 por ciento, es decir, entre 10,00 y 15,00 \$EE.UU. por día.

Cuando no interviene ninguna máquina, el coste de la mano de obra por unidad de producción se expresa mediante la relación siguiente:

$$\frac{\text{Coste directo de la mano de obra durante el período} \times (1 + f)}{\text{Unidades de producción durante el período}}$$

donde f = coste de las cargas sociales de la mano de obra, expresado como un tanto por ciento del coste directo de la mano de obra.

^{1/} Este capítulo es, en gran parte, una revisión del Capítulo 5 del Manual de la FAO, "Harvesting Man-Made Forests in Developing Countries".

El coste de la mano de obra incluida en el funcionamiento de una máquina debe incluirse como parte del coste de funcionamiento de la máquina.

3.3 Máquinas

3.3.1 Generalidades

Hay disponibles numerosos libros que describen diversos métodos para determinar el coste de funcionamiento de los equipos. Samset (11) ha mencionado un método abreviado para el cálculo aproximado del coste de funcionamiento de una máquina, excluido el operario. La Compañía de Tractores Caterpillar da los datos en su manual de funcionamiento para la estimación del coste de las diversas componentes, mediante un método más convencional de cálculo del coste de las máquinas. El Comité de Explotación Forestal de la Sección de Bosques de la Asociación Canadiense de Pulpa y Papel recomendó un método para el cálculo del coste de los equipos de explotación, que es en su conjunto todavía válido y aplicable a todo tipo de máquinas de explotación forestal (10). Está diseñado de tal forma que puede admitir e incluir cambios en los precios de compra, tipos de interés, precios de los combustibles, precios de los operarios y, en general, costes inflacionarios.

Estos métodos difieren entre sí en diversos grados y ninguno es perfecto. Ciertas diferencias en el modo de tratar la depreciación o amortización del capital, salarios de los operarios, cargas sociales, etc., se deben a las políticas de administración y a los sistemas contables. Otras diferencias se deben a la unidad de tiempo sobre la cual se distribuye el coste; normalmente se utiliza la "hora", pero hay varias clases de horas y debe cuidarse mucho el especificar si el término se refiere a las horas de cada turno, a las horas de contador de los motores, o a las horas productivas de la máquina u horas efectivas.

Las máquinas utilizadas en las operaciones de explotación forestal son esencialmente de dos tipos, según que tengan o no como función principal la de trasladarse. Las principales representantes del primer tipo son los camiones y los remolques de transporte. Otras máquinas, como los tractores de oruga, los tractores forestales arrastradores, los tractores forestales transportadores "forwarders", las cortadoras-apiladoras "feller-bunchers", los cargadores, las procesadoras y las cosechadoras forestales pueden considerarse como pertenecientes al segundo tipo, porque todas desempeñan otras funciones de trabajo cuando no están trasladándose. Esta clasificación se hace principalmente con el fin de establecer unos costes de operación por hora que tengan un significado claro. Mientras que para el segundo tipo de máquinas puede calcularse su coste sobre la base de las horas productivas de máquina (HPM) u horas efectivas, el coste de los vehículos de transporte debe hacerse aplicando un precio por hora de movimiento y otro por hora de parada. Esto se debe a la gran diferencia existente entre los costes de estas unidades de tiempo y a la gran variación de los tiempos en las terminales de carga y descarga y de las distancias de transporte, así como respecto a las velocidades entre distintas operaciones de transporte.

El coste de las máquinas utilizadas en las operaciones de explotación forestal debe calcularse en la misma unidad de tiempo utilizada para expresar la producción. En los países desarrollados, para máquinas distintas de los camiones y de los remolques, esta unidad es normalmente la hora productiva de máquina. Para máquinas menos costosas, como las sierras mecánicas, pueden utilizarse métodos menos detallados y una unidad de tiempo mayor.

3.3.2 Determinación de tiempos para el cálculo de costes

Mientras que el tiempo de trabajo de una máquina puede descomponerse en un gran número de partidas con el fin de estudiar su utilización, los motivos de sus tiempos de parada y para otros fines, tal detalle no es necesario para calcular el coste de la máquina. Para tractores forestales, cargadores, y otras máquinas que no tengan como función principal la de desplazarse, es suficiente un registrador sencillo de servicio que proporcione los siguientes elementos del tiempo de la máquina:

- a) horas del turno de trabajo
- b) tiempo de parada
- c) horas de máquina, divididas, si es necesario, en horas efectivas (HPM) y no productivas.

A veces es suficiente un contador de horas de motor en tales máquinas para establecer HPM, cuando la máquina está trabajando de forma constante o no se deja que el motor esté parado durante períodos prolongados.

En el caso de vehículos de transporte que tienen como función principal la de desplazarse, el tiempo que utiliza la máquina - denominado horas en uso u horas de máquina - puede dividirse en horas de parada y horas de desplazamiento. Para fines de cálculo de costes, un vehículo de transporte puede considerarse que está en uso siempre que haya un conductor asignado y pagado como tal, pudiendo considerarse entonces que las horas de parada son iguales a las horas de utilización menos las horas de desplazamiento.

La determinación de la descomposición de tiempos de máquina para vehículos de transporte exige un registrador de servicio más complejo, o tacógrafo, tal como el Argo Kienzle TCO-14, que proporciona también los siguientes datos:

- a) distancia recorrida
- b) tiempo de recorrido
- c) tiempo de parada
- d) principio y final del turno de trabajo.

Tales registradores indican también las velocidades del vehículo y las velocidades del motor (rpm), lo que constituye una información útil para los supervisores del transporte y mantenimiento.

3.3.3 Duración de las máquinas

Para fines de estimación de costes, la vida normal de los diversos tipos de máquinas de explotación maderera puede tomarse de acuerdo con la enumeración que sigue, teniendo en cuenta los comentarios que se acompañan:

<u>Máquinas</u>	<u>Duración normal en horas</u>
tractores de oruga	8 000 - 12 000 (normal: 10 000) <u>1/</u>
motoniveladoras	
cortadoras-apiladoras	
cargadores	
procesadoras forestales	
cosecadoras forestales	6 000
tractores forestales transportadores	
tractores forestales arrastradores	15 000 - 20 000 <u>2/</u>
camiones de transporte	1 500
sierras de cadena	

1/ Pueden asignarse mayores valores a las máquinas más pesadas y de mayor precio, como la cosechadora forestal Koehring que pesa más de 40 toneladas sin cargar y que puede confiarse en poderla usar durante más de 20 000 horas si se mantiene debidamente y no cae en desuso.

2/ Horas de utilización: 15 000 cuando las distancias de transporte son largas y los vehículos pasan la mayor parte del tiempo viajando; 20 000 horas cuando las distancias de transporte son tan cortas que del 40 al 60 por ciento del tiempo de viaje de ida y de vuelta se pasa en los puntos finales (carga y descarga) y en retrasos por cualquier razón, dando así un vida útil de transporte de unas 10 000 HPM.

La duración del equipo móvil de explotación forestal depende de muchos factores tales como las condiciones de funcionamiento, la capacitación de operarios y mecánicos, la disponibilidad de piezas de repuesto, su caída en desuso y, en países tropicales, del clima. En el este de Canadá, la duración de los mayores tractores de oruga (175 hp y más) excede a menudo de 15 000 horas de contador de motor, sin aumento o con un aumento muy pequeño en los costes de reparación y mantenimiento durante las últimas etapas de vida útil. En algunos países en desarrollo, donde los operarios y mecánicos no están convenientemente capacitados o están imbuidos de una actitud de abandono, o donde la utilización anual es tan baja que se llegan a anticuar, la vida del tractor puede no sobrepasar las 8 000 horas.

Pueden hacerse en gran parte los mismos comentarios en lo referente a las motoniveladoras, a las cortadoras-apiladoras, cargadores, procesadoras, cosechadoras forestales y tractores forestales transportadores. Como los fabricantes de los equipos allanan las dificultades y mejoran los puntos débiles de sus máquinas, así como el servicio en el terreno, puede confiarse en que llegará a prolongarse la vida útil probable de sus máquinas. Por ejemplo, el nivel de disponibilidad de un grupo de 50 cosechadoras forestales Koehring ha aumentado en los últimos años del 65-70% al 75-84% y la esperanza de vida útil es de 20 000 horas de contador de motor. Esta máquina es pesada y muy complicada, de tipo articulado, la maneja un solo hombre y corta, desrama, despunta y tronza el árbol en longitudes de 2,5 m, reúne las trozas en lotes de 15 m³ sobre un bastidor montado en el chasis trasero, transporta la madera a borde de carretera y la descarga sobre camión o remolque o la apila a borde de carretera, todo ello con un ritmo medio de 6 a 9 m³ por hora productiva de máquina.

3.3.4 Cálculo del coste de funcionamiento de las máquinas

El coste de funcionamiento de una máquina por unidad de tiempo es la suma de varias componentes:

- a) depreciación o amortización de capital
- b) interés sobre la inversión media
- c) seguros: responsabilidad civil y daños a la propiedad, incendios, etc.
- d) impuestos anuales, incluyendo el coste de la autorización, pero no los impuestos sobre combustibles.
- e) mano de obra responsable del funcionamiento
- f) combustibles, incluyendo sus impuestos
- g) aceites y lubricantes
- h) servicio de mantenimiento y reparaciones (a excepción de neumáticos para vehículos de transporte)
- i) neumáticos para camiones y remolques

Estas componentes se discuten con cierto detalle en el Apéndice H.

El formulario para el cálculo del coste de la máquina, denominado Formulario A, puede utilizarse para recoger el coste estimado de funcionamiento por unidad de tiempo para todo el equipo, incluyendo el operario u operarios. Para la mayoría de las máquinas esta unidad de tiempo es la HPM. Para las sierras de cadena y pequeño equipo similar pueden utilizarse unidades de tiempo mayores tales como el "dfa". Para los camiones y remolques de transporte las unidades de tiempo deben ser la "hora de parada" y la "hora de recorrido" por las razones que se dan en la sección 3.3.1.

El coste de funcionamiento, excluido el operario, por hora productiva de aquellas máquinas, incluyendo tractores de oruga que trabajan fuera de la carretera sobre el terreno forestal, puede calcularse aproximadamente con la fórmula:

$$C = \frac{2,4 A}{LE}$$

LE

donde C = coste de funcionamiento en \$EE.UU. por hora productiva de máquina, excluido el operario;
A = coste de adquisición en \$EE.UU.
LE = duración esperada en horas productivas de máquina, tal como se da en la Sección 3.3.3.

Debe señalarse que esta fórmula no se ha de utilizar para vehículos de transporte y que debe considerarse como una aproximación para otras máquinas. Cuando se necesitan unos valores más precisos, deben emplearse métodos más exactos. Sin embargo, es una valiosa ayuda cuando se hacen comparaciones rápidas.

3.3.5 Unidades de potencia del motor de las máquinas

Las unidades para medir la potencia (símbolo P), de acuerdo con lo recomendado por la International Standard Organization en el sistema SI (Sistema Internacional de Unidades) son los watios (W) en vez de los caballos (hp). Sin embargo, como los usuarios potenciales de este manual pueden estar más familiarizados con hp que con W, y las especificaciones de las máquinas suelen estar todavía en hp, en este manual se utiliza la unidad caballo de vapor tal como se emplea en los Estados Unidos de América y Canadá.

$$1 \text{ hp norteamericano} = 33\ 000 \text{ pies} \cdot \text{lb/min} = 746 \text{ watios}$$

La potencia indicada es la potencia en el volante de una máquina que funciona solamente con sistema de combustible, bomba de agua, bomba de lubricación de aceite, y filtro de aire, en condiciones normales SAE (J816a) de temperatura del aire y presión barométrica. Este es el método normal para calibrar los motores en Norteamérica y permite la comparación de motores sobre una misma base. La potencia indicada es el número de caballos del motor que normalmente se marca en Norteamérica en base al cual se calcula el consumo de combustible.

La potencia neta es la potencia en caballos al volante cuando el motor está funcionando con ventilador, alternador o generador, compresor de aire (si se utiliza) silenciador de aire y sistema de escape de gases y otros accesorios opcionales, así como los enumerados en el párrafo precedente. La potencia neta en caballos varía, por lo tanto, de acuerdo con los accesorios que lleve el motor - estando normalmente entre el 85 y el 95 por ciento de la potencia indicada.

Los países que utilizan el sistema métrico de medidas emplean la potencia DIN para medir los motores, determinada de acuerdo con la Deutsche Normen Standard (DIN 6770) que especifica distintas temperaturas de aire y presiones barométricas de las normas SAE J816a y también distintos accesorios del motor. Pueden utilizarse las siguientes equivalencias:

$$1 \text{ hp métrico} = 736 \text{ watios}$$

$$\text{de modo que } 1 \text{ hp norteamericano} = 1,014 \text{ hp métricos.}$$

FORMULARIO A

CALCULO DEL COSTE DE FUNCIONAMIENTO DE LAS MAQUINAS

Máquina: Descripción _____
 Potencia indicada hp _____ Coste de entrega _____
 Duración en Años _____ Horas (días): por año _____ Duración _____
 Garante: Tipo _____ Precio por litro _____
 Neumáticos: Tamaño _____ Tipo _____ Número _____
 Coste del juego de repuesto _____
 Conductor: Salario por hora (día) _____ Cargas sociales _____ %

Componentes del coste Coste por hora (día)

- (a) Depreciación = $\frac{\text{coste de entrega} \times 0,90}{\text{duración en horas}}$ _____
 (b) Interés = $\frac{\text{coste de entrega} \times 0,60 \times \text{tasa de interés}}{\text{promedio de horas por año}}$ _____
 (c) Seguros = $\frac{\text{coste de entrega} \times 0,60 \times 0,03}{\text{promedio de horas por año}}$ _____
 (d) Impuestos = $\frac{\text{valor del impuesto anual}}{\text{promedio de horas por año}}$ _____
 (e) Mano de obra = $\frac{\text{coste de mano de obra durante el período} \times (1 + f)}{\text{horas de máquina en el período}}$ _____

donde f = coste de las cargas sociales de la mano de obra.
 expresado como % del coste directo de ésta.

Sub-Total ^{1/}

- (f) Combustible = $\text{GHP} \times X \times \text{CL}$ _____

donde GHP = potencia indicada del motor en caballos;

CL = coste del litro de combustible, en dólares;

X = 0,12 para combustible diesel, 0,175 para gasolina

- (g) Aceites y engrases = $\frac{\text{GHP} \times X}{100}$ _____

donde X = 0,20 para tractores forestales, cargadores
 frontales y camiones;

X = 0,30 para cortadoras-apiladoras y cargadores
 de brazo articulado;

X = 0,50 para procesadoras, cosechadoras forestales y
 tractores forestales transportadores.

- (h) Servicio de Mantenimiento y Reparaciones (*) = $\frac{\text{Coste de entrega}}{\text{duración en horas}}$ **

* incluir neumáticos excepto para los vehículos de transporte

** utilizar las horas de vida útil de recorrido, en el caso de los
 vehículos de transporte.

- (i) neumáticos para vehículos de transporte = $0,0006 \times \text{CST}$ _____

donde CST = coste del juego de neumáticos de repuesto.

Total ^{2/}

^{1/} Este representa el coste por hora de parada de un vehículo de transporte.

^{2/} Este representa el coste por hora de recorrido de un vehículo de transporte y el coste
 por hora productiva de máquina u hora efectiva, para otras máquinas.

4. PARTES DE LA ESTRUCTURA DE UNA CARRETERA

Las carreteras forestales, al igual que las grandes carreteras con capa de superficie son obras de ingeniería. Todas constan de dos partes: la explanación y el pavimento. En la Fig. 1 (5) se presentan algunos de los términos que se utilizan corrientemente para las diversas partes de la estructura.

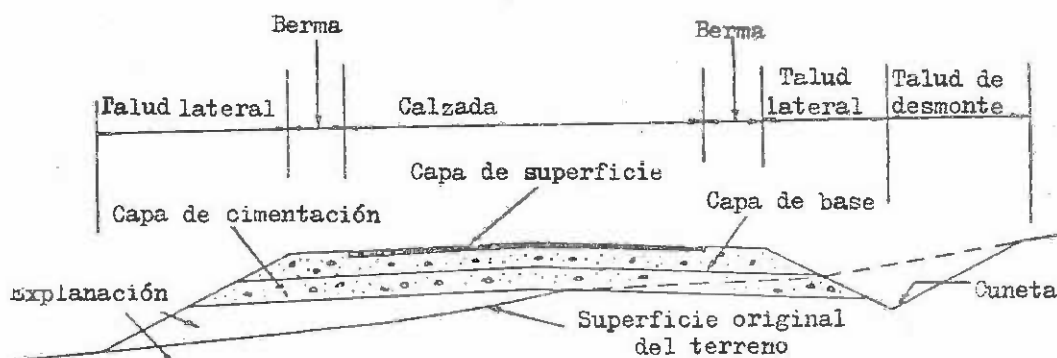


Figura 1 - Sección transversal característica de una carretera

La explanación está formada por suelo que existe naturalmente en la zona de ocupación de la carretera o en sus proximidades. En las secciones transversales, la mitad interior consiste normalmente en suelo sin alterar, mientras que la parte exterior está formada por suelo acarreado, empujado o transportado con tractor oruga desde la parte "cortada" o desmante de la carretera y posteriormente compactado. En las secciones terraplenadas, la explanación se levanta acarreado y presionando el suelo mediante tractor oruga o en otros casos transportándolo desde los lugares de desmante o desde las zonas de préstamos.

El término "pavimento" se utiliza normalmente para designar la capa de hormigón o de asfalto de una carretera con capa de superficie dura. Sin embargo, desde el punto de vista técnico está constituida por todo el material colocado en la carretera por encima de la explanación. En una carretera técnicamente adecuada consta de tres capas: la capa de superficie, la capa de base y la capa de cimentación. Lo ideal es que las capas vayan aumentando en cuanto a su capacidad de resistencia a las cargas desde abajo hacia arriba; ésta es normalmente la situación en las carreteras públicas de alta calidad, construidas para una gran densidad de tráfico y larga duración. Sin embargo, en muchas carreteras forestales, una sola capa de grava, tal como sale de la cantera, puede servir para las tres

capa indicadas. En algunas carreteras forestales de larga duración o de mucho tráfico del este de Canadá, el pavimento, definido como un término técnico, consta de una capa de base de grava gruesa machacada (hasta 5-6 cm de diámetro) y una capa de superficie de material fino machacado (hasta 1-2 cm de diámetro).

5. ALGUNAS CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE CARRETERAS

La mayoría de los países especifican mediante una ley y su reglamento las cargas máximas totales que los vehículos pueden transportar por el sistema público de carreteras. Estas restricciones varían de acuerdo con las normas de resistencia a las cargas que se han seguido para la construcción de la carretera, con la capacidad de carga de los puentes por los que pasa la carretera y con la época del año, en países que tienen estaciones con fuertes lluvias o penetración del hielo en el invierno. Las cargas máximas legales se basan normalmente en la anchura de los neumáticos (de acuerdo con lo marcado en la cubierta por el fabricante), en los pesos totales por eje en el punto de contacto con la carretera y en el número y espaciamiento de los ejes del vehículo. Algunos países no tienen en cuenta los pesos por eje, ni los espaciamientos entre ejes, basando sus normas únicamente en el número de ejes y en el peso total del vehículo.

La mayoría de las carreteras públicas limitan también, excepto para permisos especiales de tiempo limitado, las dimensiones totales -longitud, anchura y altura- de los vehículos ya se trate de un camión simple o de una combinación de vehículos y que esté cargado o vacío. En muchos países existen también regulaciones referentes a materias tales como la capacidad de frenado (la posibilidad de controlar el vehículo cargado en rampas de bajada y de continuar su parada dentro de unas distancias estipuladas, en condiciones definidas respecto a la carretera y la adherencia) (6).

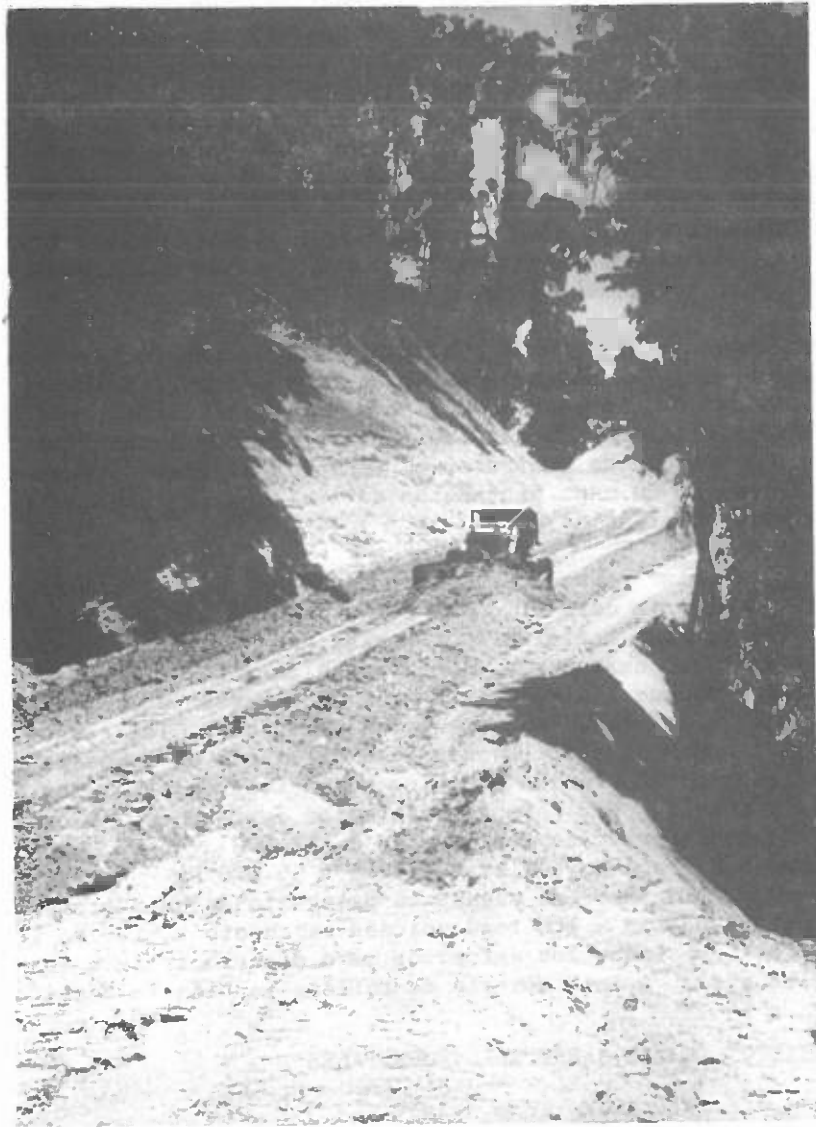
Por otro lado, las carreteras de propiedad privada -y las carreteras forestales caen normalmente dentro de esta categoría- no están sujetas a tales regulaciones, a menos que hayan limitaciones por una legislación especial, con el fin de proteger a otros que tengan derecho a utilizar tales carreteras. Los vehículos y las cargas tienen con frecuencia más anchura y más longitud que los autorizados en carreteras públicas y las cargas por eje, mucho mayores. En la práctica, en carreteras forestales, las cargas totales por eje y por vehículo exceden a veces no sólo la capacidad calculada de la carretera sino también la capacidad de cálculo o establecida para los neumáticos, ejes, línea de transmisión u otras componentes del vehículo. Por ejemplo, vehículos semi-remolques con 5 ejes están autorizados normalmente a transportar cargas totales de 32 000 a 36 000 kg en las mejores carreteras públicas pero con frecuencia llevan 50 000 a 55 000 kg de carga total en carreteras forestales privadas, sin tener en cuenta la categoría de la carretera. Aunque las carreteras forestales no están sujetas a las regulaciones en cuanto a peso de las grandes carreteras públicas, deben hacerse todos los esfuerzos para distribuir la carga de la mejor forma posible entre los ejes. A esta materia se refiere también la Sección 4 del Apéndice C.

6. CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS FORESTALES

6.1 Sistema de clasificación

Las carreteras forestales pueden clasificarse de formas diversas. El Servicio Forestal de los Estados Unidos de América, por ejemplo, ha ideado un sistema de clasificación de carreteras forestales que se da en el Apéndice A. Está basado en el mantenimiento de una velocidad media de circulación. Vale la pena examinar el cuadro del coste de transporte por diversas razones:

- a) desarrolla los costes de transporte como un coste de parada por unidad de volumen más un coste de recorrido por unidad de volumen y unidad de ³distancia de transporte. Por ejemplo, un coste de parada por cuerda (o por m³) que incluye la carga, la descarga y el tiempo de parada, más un coste de recorrido por cuerda/milla (o por m³/km);



Explanación de una carretera forestal principal en terreno de colinas.

- b) demuestra que el coste de recorrido por cuerda/milla (o por m^3/km) disminuye en proporción casi inversa con la velocidad de recorrido, lo que sirve de apoyo para el método de cálculo del coste por hora de los vehículos de transporte;
- c) demuestra la ventaja, en cuanto al coste, de utilizar equipos de transporte de varios ejes en comparación con los de un solo eje.

El manual de FAO que trata de "La explotación maderera y el transporte de trozas en el monte alto tropical"(1) clasifica las carreteras en dos grades categorías: carreteras de acceso y carreteras secundarias.

Este manual utiliza la clasificación dada en el Manual de la FAO sobre "Aprovechamiento de bosques artificiales en países en desarrollo" (2):

- a) carreteras de transporte
 - i) carreteras de primer orden o principales
 - ii) carreteras de segundo orden o secundarias
 - iii) carreteras de aprovisionamiento o de tercer orden
- b) caminos de maderero (pistas para arrastre con tractor forestal arrastrador o tractor forestal transportador)
- c) carreteras de acceso.

Esta clasificación no da sin embargo las especificaciones con que se han construido o deben construirse las carreteras. Los términos indican solamente una calidad comparativa, y su posición relativa en la red de carreteras. Para que sea posible diseñar unas especificaciones apropiadas se necesita más información: cargas totales por vehículo y por eje, anchura total de la carga, tipo de ejes y espaciamiento entre ellos, velocidades de cálculo, densidad del tráfico y disponibilidad estacional.

Paterson (3) en un estudio sobre carreteras forestales en el este de Canadá propuso que las carreteras forestales, para fines de proyecto, se describieran de acuerdo con lo siguiente:

- a) carga sobre un solo eje, o carga equivalente obtenida al convertir la carga sobre ejes dobles o triples en cargas de cálculo sobre eje único, utilizando el Cuadro 33 del Apéndice B;
- b) densidad de tráfico, o número máximo de veces que pasa por la carretera en un día de 24 horas, la carga proyectada para un solo eje durante la vida prevista para la carretera;
- c) velocidad, o velocidad sostenida que no tendrá que disminuir un vehículo cargado por otras razones que la congestión del tráfico afectado por consideraciones geométricas, tales como la anchura, bombeo de la carretera, distancias de visibilidad, etc.;
- d) disponibilidad estacional, o período del año en que la carretera ha de utilizarse en circunstancias normales;
- e) vida útil prevista en años.

6.2 Carreteras de transporte

Las carreteras de transporte son aquellas que forman la red por la que se transporta el material explotado a partir de los cargaderos secundarios u ocasionalmente primarios hasta la industria o hasta el punto de embarque, si es que se vende sin transformar. Los cargaderos primarios son aquellos puntos en la zona de corta en que las trozas preparadas se reúnen por primera vez o se dejan en el sitio. Los cargaderos secundarios son aquellos puntos a borde de carretera a los cuales se sacan las trozas ya sea mediante madereo de arrastre, o suspendido desde la zona de corta. Normalmente los cargaderos primarios están situados dentro de un radio de 20 metros a partir del tocón mientras que los cargaderos secundarios están dentro de un radio de 400 metros.

El sistema de carreteras de transporte comprende todas las clases de carreteras de transporte, desde la carretera principal más próxima a la industria o al punto de embarque, hasta las carreteras de aprovisionamiento o tercer orden que se encuentran más alejadas y que forman los dedos de la red de carreteras. Normalmente las carreteras de aprovisionamiento conducen a las carreteras secundarias y éstas a las carreteras principales. La red de carreteras de transporte puede ser de propiedad privada o formar parte del sistema de carreteras públicas, estando sujeta a sus regulaciones. Si es de propiedad privada puede estar regulada o no por el gobierno con respecto a las dimensiones de los vehículos, a los pesos totales y por eje, a las velocidades de circulación, a las normas de seguridad, etc.

Debe ser una práctica normal el construir o mejorar todas las carreteras de transporte hasta el nivel exigido para soportar los vehículos de transporte que las utilicen totalmente cargados y con la densidad de tráfico programada. Sin embargo, hay circunstancias excepcionales en que esto no debe hacerse; por ejemplo, cuando el suelo tiene muy poca resistencia, la carretera es corta, el volumen de madera es reducido, los materiales para la construcción de la carretera son escasos y es, lógicamente, más económico el transportar cargas parciales (y probablemente traspasar la carga a otros vehículos en una carretera de más categoría) que mejorar la carretera.

En países templados, con penetración de la helada en el invierno, el transporte por suelos de baja resistencia se retrasa frecuentemente hasta el invierno, cuando son menores los costes de construcción de la carretera y pueden transportarse cargas completas. Cuando se hace esto, se reducen tanto los espaciamientos óptimos de las carreteras de abastecimiento como las distancias de madereo de arrastre o de suspensión, dando como resultado, normalmente, una reducción importante del coste de explotación maderera. La capacidad de resistencia del suelo helado es de 8 a 10 veces mayor que el valor normal en verano, dependiendo de la profundidad de penetración de la helada. En países tropicales el programa de transporte obliga a transportar los productos en las áreas más críticas durante la estación seca.

Si ha de utilizarse un sistema de carreteras públicas como parte de la carretera principal de transporte y su calidad es mala, no existiendo planes para mejorarlo, no debe proyectarse un equipo de transporte para carreteras de calidad superior, ni debe construirse el resto de la red de carreteras con una mayor capacidad de carga.

Las carreteras de transporte principales o primarias, cuyas velocidades de transporte son elevadas y su tráfico es denso, deben ser suficientemente anchas para permitir que se crucen con seguridad dos vehículos de transporte (uno cargado y el otro descargado) en cualquier punto sin reducir la velocidad, especialmente si las distancias de visibilidad son inferiores a las deseables. La anchura óptima del carril de tal carretera de dos carriles es la anchura total del vehículo o la anchura de la carga más 1,2 m (3); de este modo la anchura de proyecto de la carretera dependerá de la anchura máxima del vehículo o de la carga adoptada para la operación. La máxima anchura legal de la carga, por ejemplo, es de 8 pies (2,44 m) en la mayoría de las grandes carreteras de los Estados Unidos de América y 8,5 pies (2,59 m) en la mayoría de las carreteras públicas canadienses. Era de 2,5 m en Suecia en 1969, pero se esperaba que aumentaría hasta 2,65 m. Cuando no intervienen carreteras públicas, la anchura de la carga para productos forestales en bruto puede ser de

3, 3,5 y en el noroeste de la Costa del Pacífico hasta de 4,5 m, exigiendo una norma de mayor anchura de proyecto para la carretera.

El algunos casos en que las carreteras forestales no cumplen las normas exigidas en cuanto a anchuras, los travesaños para apoyar los troncos se remeten por el lado de la circulación (al encontrarse con otro vehículo) y se giran para el viaje de regreso, en vacío, a fin de reducir la anchura del vehículo y facilitar el encuentro con vehículos cargados.

En los bosques naturales de las regiones templadas, donde el turno puede estar entre 50 y 100 años, las carreteras de aprovisionamiento son normalmente obras temporales que se abandonan cuando se ha completado la explotación maderera.

Por otra parte, en plantaciones, las carreteras de aprovisionamiento deben proyectarse y construirse como carreteras permanentes capaces de soportar los pesos totales esperados de los vehículos de transporte. Estas carreteras son de un solo carril, frecuentemente sin bermas o con bermas pequeñas y a veces sin cunetas. Los vehículos se cruzan en apartaderos contruidos a intervalos apropiados. La densidad de tráfico es reducida y los períodos de utilización son normalmente cortos.

Las carreteras de transporte secundarias son intermedias, en cuanto a anchura, entre las carreteras de aprovisionamiento y las principales, y las bermas son normalmente más estrechas que en las carreteras principales. Los vehículos pueden cruzarse pero los vehículos cargados tienen prioridad; los vehículos de transporte que regresan en vacío y otros vehículos deben correrse a la berma y, si es necesario, pararse a fin de permitir que el vehículo cargado pase sin peligro a una velocidad normal.

En cuanto al proyecto de una carretera de transporte, se hace una referencia más completa en el Apéndice C.

6.3 Carreteras de aprovisionamiento

Las carreteras de aprovisionamiento están situadas en la zona de explotación. Constituyen los extremos o puntas externas de la red de carreteras de transporte. Sirven para proporcionar acceso a los trabajadores a la zona de explotación inmediata y para reducir la distancia de madereo. Son estrictamente carreteras temporales y normalmente se abandonan cuando el área ha sido explotada. Por ello se construyen con la menor calida posible, compatible con los fines que deben cumplir. En terrenos resistentes suelen ser simplemente carreteras estrechas de un solo carril, preparadas con tractor oruga con un mínimo de cunetas u otras instalaciones de desagüe y engravadas sólo cuando es necesario. En terrenos blandos de escasa resistencia, su utilización para transporte puede tener que limitarse al tiempo seco o en condiciones de terreno helado. El mantenimiento suele recibir poca atención.

Las carreteras de aprovisionamiento deben situarse o espaciarse, de tal modo que el coste de construcción por unidad de volumen de madera aprovechada y servida por la carretera, sea igual a la porción del recorrido del coste de madereo, expresada sobre la misma base, como por ejemplo el coste por m³. Este se denomina espaciamiento óptimo o densidad óptima de las carreteras de aprovisionamiento. Su valor depende de varios factores: coste de la carretera de aprovisionamiento; carga útil, velocidad de desplazamiento y coste de funcionamiento del tractor forestal; densidad del bosque o volumen aprovechado por unidad de superficie, y factores para compensar los retrasos y recorridos adicionales debidos a la sinuosidad de los caminos, carreteras de aprovisionamiento, etc. El tema del espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento se trata de modo más completo en el Apéndice D.

Cuando el madereo se hace a mano o con animales, se aplican en teoría los mismos principios respecto al espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento. Sin embargo, en la práctica, las distancias del madereo y por lo tanto el espaciamiento de las carreteras de aprovisionamiento, vienen determinadas más bien por la tendencia de los hombres

y los animales a cansarse indebidamente en las grandes distancias de transporte o arrastre. Por esta razón los hombres no trasladan normalmente la madera más de 50 a 60 m y los animales el doble de esta distancia.

6.4 Caminos de madereo

Los caminos de madereo son las vías para el madereo que van desde los cargaderos a borde de carretera hacia atrás, hasta la zona de corta. En terreno plano y ondulado estos caminos utilizan normalmente el suelo forestal sin alterar y no hay necesidad de despejar o preparar con tractor oruga para el madereo mecánico. En los bosques tropicales se utilizan con frecuencia tractores de orugas con su capacidad de penetración, para despejar los caminos y para concentrar las trozas para los tractores forestales arrastradores más rápidos y más económicos, de 130-180 hp. Los nuevos de 300 hp se supone que son capaces de abrirse paso hasta los árboles cortados, sin necesidad de ayuda de los tractores de orugas y de llevar sus cargas directamente al borde de carretera.

En terrenos inclinados los tractores forestales arrastradores y tractores forestales transportadores, que trabajan sobre el terreno forestal deben trasladarse siguiendo las líneas de máxima pendiente hacia arriba y hacia abajo, es decir, formando ángulos rectos con las curvas de nivel. Cuando no existen zonas planas para que pueda dar vuelta el vehículo, éste debe volver hacia arriba por la ladera hasta el punto de carga, ayudado a veces por el cable del huiñche anclado a un árbol o tocón, o bien debe trasladarse hasta la parte más alta de la vía de saca mediante un sendero en zig-zag preparado por el tractor oruga con una pendiente más moderada. En ciertas condiciones de suelo resistente y laderas uniformes, las vías de saca de arrastre pueden prepararse con tractor oruga diagonalmente y en forma transversal a la ladera.

6.5 Carreteras de acceso

Las carreteras de acceso, en el contexto de este manual, pueden definirse como aquellas carreteras que conducen a una zona forestal desde los centros donde está la mano de obra, el abastecimiento de materiales y la organización administrativa. El término es puramente funcional y no implica ninguna norma o calidad de la carretera.

Algunas carreteras de acceso pueden ser, o llegar a ser, carreteras primarias o carreteras principales de transporte, en cuyo caso deben construirse de acuerdo con las normas de calidad de una carretera de transporte. Si una carretera de acceso forma parte de un sistema de inferior calidad, debe mejorarse. Si no existen planes gubernamentales para hacerlo y la empresa no desea realizar tal trabajo, y las cargas por eje están limitadas, el resto de la red de carreteras de transporte no debe construirse con una capacidad de carga superior.

7. EMPLAZAMIENTO O TRAZADO DE CARRETERAS FORESTALES

7.1 Procedimiento general

La operación de situar o trazar carreteras forestales con el fin de dar acceso a un bosque y aprovechar su madera suele ser el resultado de un inventario de los recursos de la zona y de una decisión para el establecimiento de una industria forestal. Debe realizarse con el máximo cuidado. Es esencial que las pendientes y las curvas se ajusten a un mínimo y que la carretera se localice en las mejores condiciones. El trazado de carreteras en terrenos llanos o suavemente ondulados no es normalmente difícil, pero los terrenos de colinas y montañas pueden presentar muchos problemas.

La operación puede hacerse en la mejor forma, del modo siguiente:

- a) analizando primeramente el plan de ordenación y de aprovechamientos, con el fin de determinar las áreas que han de servirse en primer lugar y, por lo tanto, la dirección general que deben tener las carreteras;
- b) comprobando las especificaciones exigidas para las carreteras: radio mínimo de curvatura, pendientes máximas, tipo del equipo de transporte, peso de las cargas a transportar, velocidades de los vehículos, etc.
- c) eligiendo en el gabinete un trazado provisional de la carretera, utilizando fotografías aéreas estereoscópicas y mapas topográficos, así como los datos disponibles sobre geología, clasificación de tierras y suelos;
- d) comprobando en el terreno la ruta provisional, en cuanto a alineación, pendientes y curvas, condiciones del suelo, desagües, afloramientos rocosos, trabajos de desmonte, pasos de corrientes de agua, disponibilidad de grava y otros materiales, etc.

Las fotografías aéreas estereoscópicas a escala 1: 10 000 a 1: 20 000 son muy adecuadas para definir el trazado de la carretera. Las fotografías a escala 1: 50 000, utilizan mucho más trabajo de campo. El trabajo preliminar de comprobación en el campo puede hacerse mediante un equipo de 2 o 3 hombres que utilicen una cinta metálica de 30 m, brújula y clinómetro, o incluso con un solo hombre que mida mediante pasos y utilice una brújula y un barómetro aneróide.

Un fotogrametrista capacitado en la identificación de suelos mediante fotografías aéreas estereoscópicas debe ser capaz de distinguir las clases generales de suelos, si la escala de la fotografía es suficientemente grande, pero sólo el examen en el terreno, siguiendo el trazado proyectado para la carretera, verificado si es necesario mediante pruebas de laboratorio, permitirá al ingeniero estar seguro sobre el tipo de suelo en que debe construirse la carretera.

7.2 Ensayos de suelos en el campo

Johann Eisbacher (15) ha descrito métodos visuales y manuales que pueden utilizarse en el campo, o cerca de él, con cuidado y experiencia. Los métodos visuales determinan el tamaño de las partículas del suelo, llegando hasta los tamaños que pueden observarse simplemente a ojo (una clasificación amplia, solamente) y el color del suelo. Los métodos manuales se aplican a los suelos de grano fino, a fin de determinar:

- a) estabilidad en estado seco - ¿se rompen separadamente los terrones con facilidad, cuando están secos, o resisten la presión?
- b) reacción del suelo, especialmente en los suelos limosos, cuando se aprieta dentro de la mano;
- c) plasticidad del suelo y su contenido en limo y arcilla, al amasarlo;
- d) proporción de arena, limo y arcilla mediante frotación de una pequeña muestra entre los dedos, a veces bajo el agua;
- e) contenido de arcilla, cortando una muestra de suelo con un cuchillo.

Otros sistemas de clasificación de suelos se han propuesto o se han utilizado basándose en el tamaño de las partículas. Para carreteras, en Estados Unidos de América el más frecuentemente utilizado quizás es el sistema AASHO (American Association of State Highway Officials) que está basado en el sistema ASTM (American Society for Testing and Materials), de clasificación de las partículas del suelo por tamaño, utilizando tamices de diversos tamaños. Este sistema, junto con el índice de plasticidad del suelo determinado en el

laboratorio, proporciona la información necesaria, en cuanto al suelo, para proyectar carreteras.

Sin embargo, es dudoso que el trabajo del trazado de la mayoría de las carreteras forestales exija más que unos ensayos cuidadosos y económicos en el campo. Debe señalarse que las carreteras forestales han de construirse para servir de acceso al bosque y para su aprovechamiento, y con frecuencia hay pocas oportunidades de elección o ninguna respecto a su trazado.

7.3 Erosión

Las carreteras forestales deben trazarse de tal forma que eviten o limiten la erosión. Esta es ocasionada normalmente por la lluvia en tiempo húmedo y por el viento en tiempo seco. Cuanto mayores son las gotas de lluvia mayor será la intensidad de erosión. Puede suponerse que llega a ser grave cuando la lluvia excede de 25 mm por hora, como sucede con frecuencia en los trópicos. Su magnitud, bajo una serie de condiciones dadas, depende de las propiedades físicas del suelo, de la pendiente, de la longitud de la ladera y, en forma más importante, de la cubierta vegetal. Los suelos limosos, de arenas finas y sin compactar, se erosionan más fácilmente que los suelos más pesados, de tipo arcilloso, de grava y bien compactados.

La erosión tiene lugar en las caras de los taludes laterales y en los terraplenes a ambos lados, en el fondo y en los laterales de las cunetas y en los andenes y en la capa de superficie de la calzada. Deben evitarse, siempre que sea posible, las pendientes muy inclinadas, a fin de reducir la superficie de suelo expuesto tanto en el desmonte lateral, situado por encima, como en el terraplén, situado por debajo de la carretera. Cuando se construyen carreteras forestales, las pendientes de los taludes se dejan con frecuencia muy empinadas en su etapa inicial y los deslizamientos del suelo y el material erosionado se extraen de las cunetas hasta que se ha alcanzado el ángulo de reposo. Los suelos arcillosos ricos en componentes de hierro o de aluminio, se endurecen expuestos al aire, pudiendo hacerse los desmontes con las caras más empinadas.

7.4 Algunos principios generales

Las carreteras forestales deben situarse, siempre que sea posible, donde las propiedades del suelo indican un buen drenaje y buenas cualidades de resistencia. Los limos y las arcillas deben evitarse, debido a su elevada capilaridad. Las cunetas sin pavimentar deben tener una pendiente del 1 por ciento por lo menos para favorecer la circulación del agua, ya que de otro modo hay que depender de la percolación y de la evaporación para eliminar el agua de escorrentía. Las carreteras forestales deben evitar los cursos de agua con pendientes fuertes que pueden ser difíciles de controlar durante las estaciones lluviosas o de escorrentía de primavera, sin trabajos especiales de construcción.

Debido a que las carreteras forestales se están abriendo cada vez más al tráfico público con fines recreativos y estéticos, deben evitarse los grandes desmontes y terraplenes. Estos dañan el paisaje y las heridas tardan en cicatrizar. Por lo tanto la carretera debe ajustarse todo lo posible al terreno, siempre que lo permitan las especificaciones.

7.5 Carreteras de aprovisionamiento

Las carreteras de aprovisionamiento, en aquellas áreas en que haya de arrastrarse o transportarse la madera hasta el borde de carretera, deben localizarse, situarse o espaciarse de tal forma que el coste de construcción de la carretera de aprovisionamiento sea igual a la porción correspondiente al recorrido del coste de maderero cuando ambos costes se expresen sobre la misma base, por ejemplo en dólares EE.UU./m³. Este es el espaciamiento óptimo. Da como resultado el menor coste combinado de las dos operaciones. El espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento se discute en el Apéndice D.

Algunas veces en los bosques tropicales, cuando sólo se van a extraer unas pocas especies de las más valiosas, se prepara un mapa de inventario que muestra la localización de cada árbol a cortar. En teoría es aplicable el mismo principio del espaciado óptimo de las carreteras de aprovisionamiento, pero en la práctica éstas se dirigen hacia aquellas áreas que se van a abrir a la explotación y que tienen la mayor concentración de árboles, a fin de reducir la distancia del madereo de arrastre.

7.6 Evaluación de un ejemplo de trazados alternativos

Las carreteras forestales no sólo deben trazarse para servir de la mejor forma a la operación de aprovechamiento, sino que deben considerarse también los problemas de corrección de torrentes, erosión, agua superficial, suelos de escasa capacidad (como los orgánicos y los limosos) y así sucesivamente. Por ejemplo, puede ocurrir que haya que volver a trazar la carretera a fin de evitar una zona turbosa sin reducir su eficacia.

Este problema puede aclararse con el siguiente ejemplo:

a) Supuesto del problema:

- i) costará 3 000 dólares EE.UU. más construir la carretera sobre terreno turboso pero esta carretera ahorrará 1,5 min. por viaje de ida y vuelta, dando como resultado un ahorro de tiempo de 60 horas al año, durante las cuales el vehículo estaría parado ya que no podría hacer ningún viaje adicional por turno;
- ii) la carretera se utilizaría durante 5 años;
- iii) el coste de funcionamiento por hora del vehículo de transporte sería de 20 dólares EE.UU. estando en movimiento y de 8 dólares EE.UU. estando parado;
- iv) no existiría diferencia en el coste de mantenimiento de la carretera;
- v) la empresa paga impuesto de utilidades en proporción del 40 por ciento de los ingresos netos;
- vi) se aplica un valor al dinero del 10 por ciento.

b) La pregunta es: ¿qué carretera debería construirse?

c) La contestación al problema puede desarrollarse del modo siguiente:

i) ahorros anuales obtenidos transportando por la carretera en terreno turboso:

- transporte:	60 horas x (20 \$EE.UU. - 8 \$EE.UU.)	= 720 \$EE.UU.
- mantenimiento de la carretera		= Nada
Total		720 \$EE.UU.

- ii) parece que la carretera debería construirse sobre el terreno turboso ya que se recuperarían cada año 600 dólares EE.UU. del coste de capital de construcción de la carretera, quedando 120 dólares EE.UU. de beneficio. Sin embargo, hay que considerar el valor tiempo del dinero. El valor actual de los ingresos después de deducidos los impuestos o flujo dinerario (cash flow) durante los 5 años tendría que calcularse de acuerdo con los puntos (1) o (2) que siguen:

(1) ahorro anual total	720 \$EE.UU.
menos depreciación (3 000 : 5)	600
Beneficio imputable para el impuesto	120
menos impuesto sobre beneficios, al 40%	48
Beneficio, deducido el impuesto	72
más depreciación	600
Flujo anual de dinero	672 \$EE.UU.

$$(2) \text{ flujo anual de dinero} \\ = (600 \times 0,40) + (720 \times 0,60) = 672 \$EE.UU.$$

d) El valor actual de un flujo anual de 672 dólares EE.UU. durante 5 años al 10 por ciento

$$= 672 \times 3,791 = 2\,550 \text{ dólares EE.UU.}$$

donde 3,791 es el factor del valor actual, utilizado para determinar el valor actual de una serie de 5 pagos anuales.

Es evidente que la carretera debería construirse salvando la zona turbosa, debido a que el valor actual de los ahorros a realizar durante 5 años (2 550 \$EE.UU.) si la carretera se construye por la zona turbosa, es menor que el coste adicional de la carretera (3 000 \$EE.UU.).

8. CONSTRUCCION DE CARRETERAS FORESTALES

8.1 Consideraciones generales

Las carreteras forestales pueden construirse para diversos fines de los cuales el más importante es el aprovechamiento de la producción maderera. De acuerdo con ello, son esencialmente carreteras de transporte sometidas a un trabajo muy duro, debiendo construirse para este tipo de trabajo. Otras funciones, como el recreo y la ordenación de la vida silvestre, son secundarias. Las normas a que deben ajustarse estas carreteras deben ser tan uniformes como pueda justificarse económicamente a través de toda la red, pero no mejores de lo que exige la capacidad de transporte. Si bien las normas pueden ser menos exigentes para las carreteras secundarias y especialmente para las carreteras de aprovisionamiento, su capacidad de carga no debe disminuirse. Esto puede significar el limitar de transporte por algunas carreteras de aprovisionamiento a las épocas de helada invernal o a la estación seca. Es fundamental el tener en cuenta que la capacidad de transporte de una carretera viene determinada por su sección más débil.

Los métodos de construcción de carreteras varían poco en el mundo, estando la principal diferencia en la proporción utilizada de mano de obra y de maquinaria para hacer la explanación y las cunetas de la carretera. La alineación de las carreteras de acceso de las primarias y de la mayoría de las secundarias debe estaquillarse y el grado de estaquillado debe estar en relación con la importancia de la carretera y con las dificultades del terreno. Deben señalarse los límites de la zona de ocupación de la carretera. También es una práctica normal - y a veces exigida por ley - el proceder al salvamento de toda la madera comercial de la zona de ocupación de la carretera antes de comenzar la limpieza del terreno y la explanación, especialmente cuando se utilizan tractores oruga. Pueden haber disposiciones que exijan también que todos los árboles y matorrales de la zona de ocupación de la carretera sean quemados o, en otro caso, extraídos o destruidos a lo largo de las carreteras más permanentes por razones estéticas o de prevención de incendios o bien para facilitar las

Puede ser necesario el barrenado y voladura de rocas; también puede ser necesario el machacar el material de la capa de superficie o volarlo con explosivos y machacarlo y puede haber necesidad asimismo de estabilizar las explanaciones en terrenos bajos o en suelos con fuerte capilaridad.

8.2 Generalidades sobre costes

Los métodos de construcción de carreteras y sus costes varían poco en todo el mundo. El coste del trabajo extensivo de mano de obra que se realiza cuando se utilizan tractores oruga, niveladoras y otro equipo pesado, queda ampliamente sobrepasado por el coste de la mano de obra cuando este trabajo se hace a mano en países en desarrollo donde hay un alto desempleo y se dispone de abundante mano de obra barata. Cuando la construcción es mecanizada el coste del equipo asciende normalmente al 75-80 por ciento del coste total, la mano de obra del 10 al 15 por ciento y los materiales del 5 al 10%.

En la publicación de la FAO "La explotación maderera y el transporte de trozas en el monte alto tropical" (1) se incluyen ejemplos respecto a costes de construcción de carreteras en bosques tropicales de Africa Occidental, preparados por Estève y Lepitre en 1972. Ellos se refieren a carreteras en terrenos de topografía suave de la Costa de Marfil y a terrenos fáciles, medios y difíciles de Gabón. Los costes totales para 1977, excluyendo supervisión y gastos generales, se dan en el Cuadro 1.

Las especificaciones para carreteras de transporte adoptadas por una gran compañía de pulpa y papel del este de Canadá se presentan en unidades métricas en el Cuadro 2. Las carreteras de aprovisionamiento no están incluidas en el cuadro ya que se trata de carreteras estrechas y de corta duración, construidas al menor costo posible; algunas, exclusivamente para transporte de invierno sobre terreno helado. Los costes medios de construcción para un cierto número de dichas carreteras primarias, secundarias y de acceso (utilizadas también a veces para transporte) se presentan en el Cuadro 3. Los costes de funcionamiento de los tractores y otras máquinas utilizadas en la obtención de estos costes, incluyen depreciación, intereses y cargas sociales de la mano de obra.

CUADRO 1

COSTE DIRECTO TOTAL (EXCLUYENDO SUPERVISION Y GASTOS GENERALES)
EN DOLARES EE.UU. POR KM DE CARRETERA FORESTAL: AFRICA OCCIDENTAL

Tipo de carretera	Carretera de acceso	Carretera primaria	Carreteras secundarias		Caminos de madereo
			Engravadas	Sin engravar	
Anchura de la calzada incluyendo bermas	10 - 12 m	8 m	6 m	6 m	4,5 m
Costa de Marfil	6 100	3 700	2 200	1 800	520
Gabón:					
(1) terreno fácil	12 600	8 800	5 600	4 100	750
(2) terreno de características medias	14 500	9 900	7 100	5 600	1 450
(3) terreno difícil	16 500	12 600	8 600	7 200	1 900

Para fines de control de costes, durante la construcción y en futuras estimaciones, los tiempos y costos de la mano de obra y de la maquinaria empleados en la construcción de carreteras se descomponen con frecuencia en sus diversos elementos y se van sumando: estaquillado del trazado, despejado de la zona de ocupación, explanación y nivelación de la carretera, incluyendo cunetas normales, alcantarillas, puentes, barrenado y voladura de rocas, machaqueo de grava o rocas, engravado, estabilización de la explanación y trabajos varios. A veces se pueden agrupar dos o más de estos elementos.

CUADRO 2
ESPECIFICACIONES PARA CARRETERAS FORESTALES UTILIZADAS
POR UNA GRAN EMPRESA DE PULPA Y PAPEL EN EL ESTE DE CANADA

Características	Normas para carret. de transp. principal	Normas para carret. de transp. secundaria	Normas para carret. de acceso límite
<u>Datos de explotación</u>			
Años estimados de vida útil	10	2	20
Cuanta estimada de transporte anual m ³	300 000	60 000	—
Disponibilidad: meses al año	10	10	12
Capacidad de carga	70 ton	70 ton	70 ton
Velocidad máxima	80 km	55 km	80 km
Velocidad media	70 km	50 km	70 km
Tipo de alcantarillas: madera, acero u hormigón	Acero u hormigón	Madera	Acero u hormigón
<u>Anchura</u>			
Zona de ocupación despejada	30 m	25 m	30 m
Distancia entre los ejes de las cunetas	10,6 m	8,7 m	9,4 m
Distancia entre los bordes exteriores de las bermas	9,7 m	7,9 m	8,5 m
Calzada	7,3 m	6,1 m	6,7 m
<u>Trazado</u>			
Pendiente máxima - con carga	8 %	9 %	8 %
- en vacío	9 %	10 %	8 %
Grado máximo horizontal de la curva	8°00'	12°00'	12°00'
Distancia mínima de visibilidad	170 m	110 m	170 m
<u>Taludes</u>			
Altura del bombeo	15 cm	13 cm	14 cm
Superelevación - peralte	Si	Si	Si
Cunetas - sub-base de roca	Si ^{1/}	Si ^{1/}	Si ^{1/}
sub-base de grava	Si	Si	Si
sub-base de arena	Si	No	Si
sub-base de arcilla	Si	Si	Si

^{1/} Cuando sea necesario

Nota: Las normas que se indican para carret. de transporte son para transporte con semi-remolque.

Suelo

Indicar si la base de la carretera es ^{1/}	-	-	-
de roca, de grava, de arena o de arcilla			
Profundidad mínima de la capa de grava sobre			
sub-base de roca	15 cm	10 cm	15 cm
sub-base de grava	15 cm	10 cm	15 cm
sub-base de arena	30 cm	25 cm	25 cm
sub-base de arcilla	30 cm	25 cm	25 cm

Puentes

Indicar tipo - madera o acero	-	-	-
Capacidad	70 ton	70 ton	70 ton
Anchura de la plataforma	4,9 m	4,9 m	4,9 m

CUADRO 3

COSTES NORMALES DE CONSTRUCCION DE CARRETERAS
FORESTALES EN EL ESTE DE CANADA

(Basados en las especificaciones del Cuadro 2)

<u>Partida</u>	<u>Tipo de carretera</u>		
	<u>De transp. primaria</u>	<u>De transp. secundaria</u>	<u>De acceso y transp.</u>
	(costes en \$EE.UU./km)		
Limpieza	2 000	2 000	2 000
Explanación, ejecución de cunetas y nivelación	8 000	6 000	7 000
Engravado	2 500	2 000	2 500
Alcantarillas	1 000	500	1 000
Totales	13 500	10 500	12 500
Anchura de la carretera incluyendo andenes	9,7 m	8 m	8,5 m

^{1/} Indicar más de una, si procede.

Notas: Las normas que se indican para carret. de transp. son para transporte con semi-remolque.

8.3 Estaquillado, corta de arbolado, explanación, desbroce, nivelación y trabajos varios

El trabajo principal, al construir una carretera forestal, incluye el limpiar la zona en que se va a construir ésta, el formar la explanación y nivelarla, el construir las cunetas de desagüe y las alcantarillas y puentes, cuando sea necesario, y el limpiar los taludes laterales y los terraplenes y estabilizarlos cuando se precise. Puede incluir el barrenado y voladura de rocas y la estabilización de la explanación.

Desde el punto de vista técnico, una carretera consiste en una capa de superficie, una capa de base y otra capa de sub-base o cimentación, todas ellas apoyadas sobre una explanación. En la construcción de carreteras forestales rara vez se hacen estas distinciones. La costumbre es dar forma a la carretera utilizando los materiales que se encuentran en el sitio y colocar material granular con el espesor necesario para soportar la carga. Sin embargo, es lógico que en ciertas ocasiones, por ejemplo cuando los suelos tienen escasa capacidad de filtración del agua, tal material granular constituya la base, la sub-base y la capa de superficie.

El trabajo de explanación de la carretera y la preparación de ésta para recibir la capa de superficie, pueden hacerse en gran parte con mano de obra o con tractor oruga, niveladoras y otras máquinas. Cuando se utiliza equipo mecánico, la fórmula siguiente da el coste aproximado de construcción y preparación de la carretera para su engravado, pero excluye el barrenado y voladura de rocas, la construcción de alcantarillas y puentes y el trabajo adicional para estabilizar la explanación (1).

$$C_i = 230 + 17SL + 660 ST_i + 30 SL \cdot ST_i$$

donde C_i = coste directo en dólares EE.UU. por km para carretera de calidad i
(excluidos supervisión y gastos generales)

SL = inclinación, en tanto por ciento, de la ladera principal (> 50 m) de las faldas de las colinas,

ST_i = valores normales de la carretera enumerados en el Cuadro 4.

Sin embargo, como los costes de construcción de carreteras han aumentado desde 1972, la fórmula debe ajustarse para 1977 obteniéndose la fórmula siguiente:

$$C_i = 370 + 27 SL + 1\ 050 ST_i + 48 SL \cdot ST_i$$

La fórmula fue desarrollada para utilizarla en los países en desarrollo para carreteras con las normas y anchuras, incluidos bermas que aparecen en los Cuadros 1 y 4.

CUADRO 4

VALORES DE ST_i A UTILIZARSE EN LAS FORMULAS ANTERIORES

<u>Descripción de la carretera</u>	<u>Anchura de la carretera incluidas bermas</u>	<u>Valor de ST_i</u>
Carreteras de acceso y carreteras de transporte principales	10 - 12 m	3
Carreteras secundarias	8 - 10 m	2
Carreteras de aprovisionamiento	5 - 7 m	1
Caminos de maderero	3,5 - 4,5 m	0



Barrenado mecanizado para acelerar la construcción de carreteras en terreno rocoso de montaña.

Aunque la fórmula fue desarrollada para las condiciones de los países en desarrollo, puede utilizarse también en los países desarrollados. Debe señalarse que se considera que la fórmula sólo da resultados aproximados que no debe aplicarse a las carreteras que van por las cimas y que las carreteras se hacen a veces más estrechas en terrenos inclinados o con bermas más anchas en suelos poco resistentes.

Los índices aproximados de productividad, precios de compra y costes de funcionamiento por hora (excluido el operario) de tractores oruga de distintas potencias, cuando están equipados con pala frontal, con cabina protectora y con huinche de remolque se indican en un cuadro del Apéndice E.

8.4 Cunetas

El caudal máximo estimado de agua y las características del suelo de la explanación determinarán las dimensiones de la cunetas. Para carreteras de acceso y primarias en terrenos con buenas características de drenaje, será suficiente una cuneta en forma de V con una profundidad de 30 a 40 cm por debajo de la berma. En terrenos llanos, de difícil drenaje, donde el agua ha de eliminarse por percolación o por evaporación, debe disponerse una cuneta trapezoidal de 30 a 50 cm de profundidad y 40 a 60 cm de anchura, a menos que pueda darse salida al agua a excavaciones de drenaje o de préstamos o a otras depresiones. Las carreteras secundarias normalmente se construyen con cunetas más pequeñas a menos que se necesiten cunetas más profundas para drenar el agua de la explanación situada por debajo del firme. Las carreteras de aprovisionamiento sólo se dotan de cunetas cuando existe el problema de que el agua escurre libremente.

Las cunetas en los taludes laterales son normalmente de tipo V y se construyen con "angledozer" o con niveladora, de tal modo que el suelo erosionado de la parte superior del talud pueda extraerse con una niveladora, transportándolo fuera o emplearse para el terraplén.

Las cunetas de las carreteras forestales deben tener una pendiente mínima del 1 por ciento para que corra el agua aceptablemente. Cuando la pendiente del perfil excede del 5 por ciento, la erosión puede representar un problema. En carreteras a media ladera, debe darse salida al agua a intervalos cortos mediante alcantarillas con un 5 % de pendiente y sacarse por debajo del terraplén mediante tuberías o mediante cunetas revestidas. Puede ser aconsejable el construir un pozo o una caja de captación en el extremo interior de tales alcantarillas. Cuando se hacen cunetas a ambos lados de una carretera que va sobre una colina, suele ser posible el dar salida al agua a un lado o a otro, llevándola hacia la zona de ocupación o hacia dentro del bosque.

8.5 Estabilización de taludes

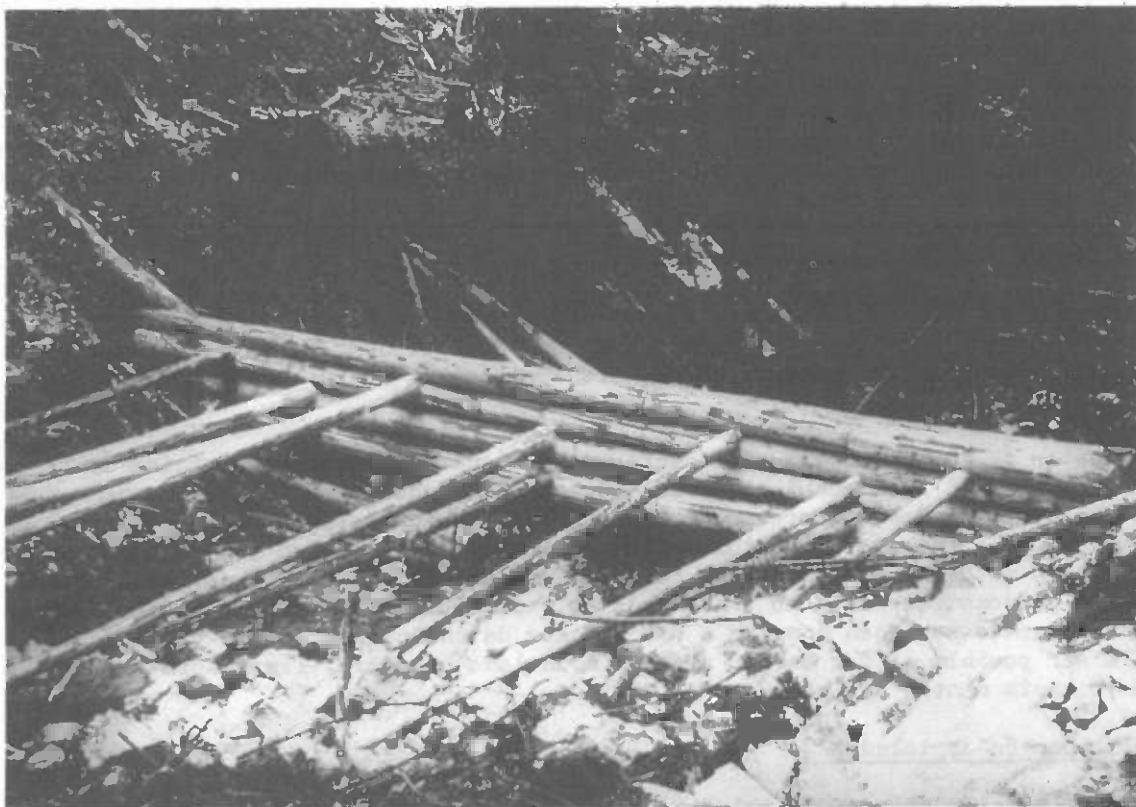
La estabilización de grandes taludes de desmontes laterales y de taludes de terraplenes para evitar o para limitar la erosión en suelos arenosos finos, limosos o de otros tipos fácilmente erosionables, puede realizarse de diversas formas:

- a) pueden construirse banales horizontales continuos o banquetas con intervalos a lo largo del talud, a fin de interrumpir la corriente del agua;
- b) puede colocarse césped o ramas clavadas en el terreno en líneas horizontales continuas con intervalos de 1 a 2 m a lo largo de la cara del talud;
- c) los taludes pueden sembrarse, posiblemente fertilizarse, y cubrirse con heno, paja o estiércol para favorecer el desarrollo de la vegetación.

La erosión de los taludes de desmonte puede reducirse cavando cunetas por encima de la coronación del desmonte, suficientemente apartadas para que el agua que se filtre en el suelo desde la cuneta no favorezca el deslizamiento del terreno.

Cuando los vuelos, en taludes de desmonte de gran longitud, tiendan a deslizarse o a rodar hacia abajo por el talud, pueden construirse revestimientos inmediatamente por encima de la cuneta, a fin de recoger y sostener las piedras rodantes y el material más fino y, eventualmente, estabilizar el talud. Estos consisten normalmente en armazones abiertos de madera, contruidos con rollizos de madera pelados y tratados o sin tratar con alguno de los preservativos de la madera que pueden aplicarse en el campo.

En carreteras forestales de tipo más permanente puede utilizarse madera escuadrada y creosotada u hormigón prefabricado en lugar de rollizos. Los terraplenes sujetos a deslizamientos del terreno pueden hacer necesaria su estabilización mediante pilares colocados cerca de la parte superior del terraplén.



Revestimiento de madera para evitar la erosión del terraplén.

8.6 Estabilización de la explanación

El principal problema en el trazado y construcción de una carretera en terrenos llanos o suavemente ondulados es el encontrar suelos con buenas características de drenaje y de resistencia a las cargas, evitando los suelos orgánicos (pantanosos y turbosos) y los suelos con gran capilaridad.

El agua libre en la explanación de una carretera puede ocasionar problemas debidos al movimiento ascensional por capilaridad hacia la capa de superficie de la carretera. El Cuadro 5 muestra la capilaridad máxima para diversos tipos de suelos y da una indicación sobre el ritmo con que se produce. El cuadro demuestra que la altura máxima a que ascenderá el agua de capilaridad está en proporción inversa al tamaño de las partículas del suelo y que el ritmo de subida - lento en suelos gruesos - aumenta al disminuir las partículas del suelo y vuelve a reducirse para los suelos más finos.

Una capa freática alta, bajo una carretera, puede rebajarse mediante el establecimiento de cunetas profundas, ya sean abiertas o rellenas con grava y cerradas (ver la Fig.2), profundizando bien en la capa freática. El tipo cerrado de cuneta es caro y normalmente puede permitirse sólo en carreteras permanentes de gran capacidad. El agua correrá horizontalmente hacia las cunetas, aproximadamente en las cuantías que aparecen en el Cuadro 6 y eventualmente se reducirá el nivel de la capa freática.

CUADRO 5

CAPILARIDAD DE DIVERSOS SUELOS (18)

<u>Nombre del suelo</u>	<u>Tamaño de las partículas en mm</u>	<u>Ascensión por capilaridad en cm</u>	
		<u>Máximo</u>	<u>En las primeras 24 horas</u>
Grava media a fina	5 - 2	2 - 3	2 - 3
Arena muy gruesa	2 - 1	5 - 6	5
Arena gruesa	1,0 - 0,5	5 - 15	11
Arena media	0,5 - 0,25	13 - 50	21
Arena fina	0,25 - 0,10	40 - 100	38
Arena muy fina	0,10 - 0,05	100 - 150	53
Limo grueso	0,05 - 0,02	150 - 200	110
Limo medio	0,02 - 0,01	150 - 550	48
Limo fino	0,01 - 0,005	400 - 1 000	28
Arcilla	0,005 - 0,002	1 700	14
Coloide	0,002	7 000	5

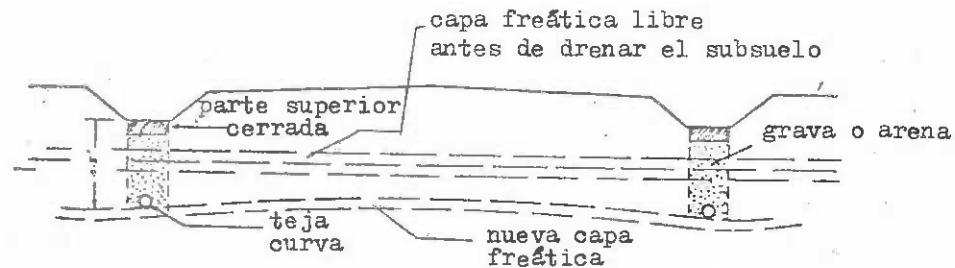


Figura 2 - Avenamiento para rebajar la capa freática del subsuelo (18).

CUADRO 6

CUANTIA DE LA CORRIENTE DE AGUA LIBRE, EN FORMA HORIZONTAL,
EN LOS SUELOS (18)

<u>Tipo de suelo</u>	<u>Tamaño de las partículas en mm</u>	<u>Quantía de la corriente por año en cm</u>
Limoso	0,01 - 0,2	15 - 50
Arenoso medio	0,2 - 0,5	75
Arenoso grueso	0,5 - 1,0	400
Grava		1 000

Cuando una explanación está compuesta de arena fina, limo o arcilla - todos suelos con capilaridad entre mediana y alta - una capa de arena gruesa o grava, con un espesor igual al doble de la elevación máxima por capilaridad en el suelo de que se trate, tal como aparece en el Cuadro 5, interrumpirá el movimiento ascensional del agua por capilaridad y mejorará la capacidad de resistencia de la carretera a las cargas (ver Fig. 3).



Figura 3 - Capa de aislamiento entre la capa freática del subsuelo y una explanación que contiene suelo de gran capilaridad (18).

El agua que corre ladera abajo y cruza por debajo de una carretera, sobre una capa de suelo impermeable, puede evitarse con una cuneta profunda o con una cuneta y un drenaje tal como se muestra en la Fig. 4.

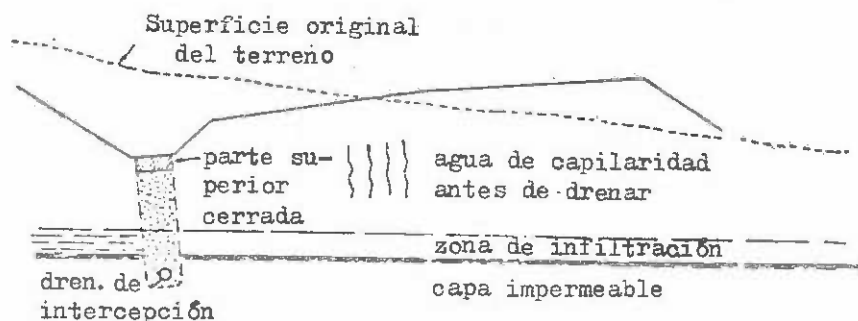


Figura 4 - Drenaje del agua de infiltración del subsuelo (18).

La construcción de carreteras en suelos profundos poco resistentes a las cargas exige la estabilización de la explanación antes de continuar la construcción. Para carreteras forestales esto se hace frecuentemente limpiando el suelo y nivelándolo y haciendo un camino de rollizos con árboles pequeños de la zona de ocupación de la carretera o de sus proximidades. En bosques tropicales es normal utilizar dos hiladas de troncos, con un promedio de 10 cm de diámetro y de una longitud igual a la anchura de la carretera. La capa inferior se echa a lo largo de la carretera y la superior transversalmente. Los troncos de más de 10 cm se parten con hacha. Cuando se cortan los árboles con hacha y se transportan y colocan a mano, la producción media es de unos 20 m² por hombre y día.

En algunos bosques nórdicos templados en los que se encuentran zonas pantanosas, turbosas y otros suelos de muy baja resistencia, la preparación de caminos con rollizos se efectúa frecuentemente tumbando en la dirección de la carretera algunos de los árboles que están en la zona de ocupación y el resto transversalmente a la explanación, sin acudir a preparación del sitio con tractor oruga.

En lugar de utilizar rollizos de madera sobre un subsuelo despejado y nivelado puede utilizarse tela sin tejer, impermeable al agua, en rollos, extendiéndola para estabilizar la explanación. La principal finalidad de la tela es evitar que las partículas finas del subsuelo asciendan y se mezclen con el material granular de la parte superior y para evitar que este último actúe hacia abajo debilitando la capacidad y resistencia a la carga. La tela puede comprarse en rollos de una gran variedad de anchuras y longitudes, no se pudre en el terreno y es muy resistente al desgaste y al desgarramiento. Según la información disponible pueden colocarse en la carretera 1 500 m² de tela por hombre y hora.

La tela puede obtenerse con diversas características físicas respecto a su resistencia a la rotura, resistencia al desgarramiento, a la tracción, etc. De ellas depende el precio. Entre los fabricantes están:

- a) Rhone-Poulenc - Textile, Paris, Francia;
- b) Chemie Linz AG, Austria;
- c) Celanese Corporation, Nueva York, E.U.A.

La tela denominada BIDIM (hecha por la Rhone-Poulenc-Textile), con una resistencia a la rotura de 70 kg y una extensión de rotura del 50 al 70 por ciento, se vendía en Canadá por 1,34 dólares EE.UU./m² en 1974.

Se han hecho muchos ensayos para encontrar un aditivo que, mezclado con el suelo, lo estabilice y mejore su capacidad de resistencia a la carga. Entre éstos están los alquitranes, el cemento portland y la cal hidratada. Un suelo fuertemente estabilizado con alquitrán sólo puede obtenerse cuando el suelo es de alta calidad, es decir, granular antes de añadir el alquitrán. Por lo tanto, este tema tiene poco interés para los constructores de carreteras forestales. Análogamente, los suelos más aptos para la estabilización con cemento portland son los granulares con una mezcla de tamaños de partículas que van desde la arena fina (0,10 mm) hasta la grava (unos 5 mm de diámetro). Estos son también, de por sí, suelos de buena resistencia a la carga y no requieren estabilización. Cuanto más fino es el suelo, más cemento se necesita, más difícil se hace la mezcla y menos beneficiosos los resultados.

Por otra parte, la cal, normalmente en forma hidratada, puede mezclarse con suelos arcillosos y de otros tipos de partículas finas para estabilizarlos. Muchos suelos arcillosos de los trópicos contienen óxidos de sílice y de aluminio, como los de la parte superior de la Cuenca Amazónica. La cal, cuando se mezcla íntimamente con tales suelos mediante pulverización, forma silicatos y aluminatos de calcio que tienden a cementar conjuntamente las partículas del suelo. La mezcla resultante debe compactarse. Se la debe dejar descansar durante 4 - 6 meses y cubrirla con un material granular de superficie. El Apéndice F contiene los ejemplos de dos proyectos de estabilización con cal realizados en el este de Canadá en 1966 y cuyo informe data de finales de 1968.

8.7 Alcantarillas

El agua de superficie de las cunetas de la carretera debe pasarse por debajo de la explanación y sacarla fuera de ella por medio de alcantarillas situadas a intervalos apropiados; cuanto más inclinada sea la cuneta y mayor el caudal de agua, más cerca deben colocarse. En terrenos inclinados con grandes laderas puede ser necesario un espaciamiento de 15 a 20 m; en terrenos llanos y suavemente ondulados, probablemente de 100 a 150 m, dependiendo de las cualidades de absorción del suelo; en suelos arenosos y gravosos se necesitan pocas alcantarillas. Las corrientes naturales de agua deben desaguar por debajo de la carretera sin alterar la ruta de la corriente más de lo necesario.

La duración esperada de la alcantarilla debe tener un peso importante en el tipo de material y en el cuidado que ha de ponerse en su construcción. Las carreteras de aprovisionamiento que se van a utilizar sólo durante una estación, ya sea en zonas forestales templadas o tropicales, normalmente sólo necesitan alcantarillas cuando hay abundancia de agua superficial o cuando hay que desaguar una corriente a través de la carretera. A veces, sirven para tal objeto los árboles no comerciales y el matorral, apretados en los barrancos o depresiones y cubiertos con suelo. Las carreteras que han de utilizarse durante más de una estación, deben dotarse de cunetas y de alcantarillas.

En las carreteras secundarias que no lleguen a ser permanentes, las alcantarillas pueden hacerse mediante madera en rollo local, sin tratar, si no se espera que la duración de la carretera pase de 5 a 7 años. En algunos países industrializados, con salarios elevados, ha llegado a ser más económico utilizar alcantarillas galvanizadas corrugadas en las carreteras secundarias y sacarlas para utilizarlas en otro lugar cuando se ha terminado la explotación maderera. En carreteras permanentes, debe utilizarse hormigón, acero galvanizado y corrugado o maderas tratadas con antisépticos, debido al elevado coste de mantenimiento y sustitución de las alcantarillas de madera sin tratar. Es cuestión de comparar los costes de las alcantarillas instaladas utilizando cada uno de los materiales disponibles.



Alcantarilla de hormigón prefabricado para una corriente natural de agua.

El tamaño adecuado de las alcantarillas a utilizar depende de diversos factores, tales como la topografía, el suelo, la cubierta forestal, el tamaño de la cuenca hidrográfica, la frecuencia y magnitud de las tormentas súbitas de lluvia y de otro, no menos importante, que el espaciamiento de las alcantarillas. Por ejemplo, es bien conocido que la escorrentía procedente de una zona cortada o quemada es más elevada y más grave que en los terrenos arbolados. Se han diseñado diversas fórmulas en distintas partes del mundo para calcular el máximo caudal de agua que puede esperarse en diversas condiciones pero éstas no pueden tener una aplicación universal. Los resultados más satisfactorios pueden tener una aplicación universal. Los resultados más satisfactorios pueden obtenerse probablemente observando las marcas de las alturas máximas del agua, examinando los registros meteorológicos locales (si existen) y consultando a los habitantes locales. Una compañía forestal de este de Canadá utiliza un caudal máximo de escorrentía de 80 pies³/seg. por milla cuadrada (aproximadamente 0,88 m³/seg. por km²) para terrenos forestales muy ondulados a fuertemente inclinados y 60 a 70 pies³/seg. para tierras bajas (16), pero destaca que estos valores no pueden aplicarse en cualquier sitio, debiendo utilizarlos solamente con gran discreción.

El coste f.o.b. aproximado del material para alcantarillas redondas de acero galvanizado y ondulado, con el grueso utilizado normalmente y comprado en longitudes de 20 pies (6,1 m) - pero que se puede obtener también en otras longitudes - en planta de fabricación del este de Canadá, se da en el Cuadro 7. El precio en fábrica de las alcantarillas de hormigón, en secciones cortas, está aproximadamente por estas mismas cifras pero los costes de transporte más elevados debido a su mayor peso hacen que este material sea menos atractivo en la mayoría de las circunstancias. El coste de tal material en el lugar de construcción de la alcantarilla debe examinarse en cada caso. La madera del lugar tratada localmente, preferiblemente escuadrada, sería probablemente el material más económico en muchos lugares pero los costes de instalación serían mucho mayores.

Cuando se utilizan tractores oruga y otro equipo pesado para hacer la explanación y las cunetas de la carretera, la excavación para emplazar las alcantarillas, el relleno después de su colocación y el zanjado de las cunetas para llevar el agua fuera de la salida de la alcantarilla, se hacen normalmente en forma mecánica. Debe prepararse una base de arena gruesa o grava, de unos 10 cm de espesor, para formar un lecho suave para una bóveda de tubo redonda o una alcantarilla en bóveda, debiendo dejarse suelto el material de modo que las corrugaciones se hundan en el lecho. Este debe tener una pendiente continua del 3 al 5 por ciento y servir de apoyo a la tubería de la alcantarilla en toda su longitud. El suelo que se vuelve a colocar como relleno debe compactarse en capas de 6 pulgadas a medida que se va colocando, a fin de proporcionar apoyo lateral a las paredes de la alcantarilla. Esto puede hacerse fácilmente con un compactador vibratorio manual. La profundidad de la capa de suelo colocada sobre la alcantarilla dependerá del espesor del material utilizado para la alcantarilla, de las características del suelo y de las cargas por eje del vehículo y de las velocidades de circulación. Una práctica recomendable es recubrir la alcantarilla con un material de buena resistencia a la carga, compactado hasta una profundidad igual al diámetro de la tubería.

El agua que corre lentamente por alcantarillas proyectadas demasiado pequeñas o colocadas muy cerca de la parte superior del terreno, particularmente en zonas descubiertas, tienden a helarse y eventualmente a bloquearse durante el tiempo de invierno en las zonas nórdicas. Esto puede remediarse aumentando la pendiente de la alcantarilla, utilizando una alcantarilla de madera sin fondo o aislando el extremo de la entrada con ramas de frondosas cuando se aproxima la estación fría. Las alcantarillas situadas con una pendiente demasiado reducida tienden a bloquearse con los despojos y con las piedras y la arena gruesa. Esto puede contrarrestarse construyendo un pozo o un hoyo de captación en la entrada de la alcantarilla y unas pequeñas aletas para proteger contra la erosión y conducir el agua dentro de la alcantarilla.

Las alcantarillas grandes, de hormigón o de acero corrugado galvanizado, pueden utilizarse individualmente o en grupos en lugar de pequeños puentes. Son permanentes, son más baratas de construir, (dependiendo del coste del material) y exigen poco o nada de mantenimiento. Cuando se utilizan en grupos, deben colocarse suficientemente separadas para que se puedan utilizar los compactadores entre ellas ya sea a mano, móviles o de ambos tipos. La utilización de compactadores puede representar el tener que utilizar atagufas para desviar el agua de la zona de trabajo. Tales alcantarillas no deben utilizarse, sin embargo, cuando la corriente transporte grandes despojos que pueden atascarse en la abertura y motivar su bloqueo.

CUADRO 7

COSTE APROXIMADO DE ALCANTARILLAS REDONDAS DE ACERO GALVANIZADO
Y ONDULADO COMPRADAS EN LONGITUDES DE 20 PIES (6,1 m) EN EL ESTE DE CANADA

Diámetro aproximado en cm	Espesor		Coste aproximado f.o.b. en Planta de Fabricación	
	Medida normal EE.UU.	en mm	por m de longitud	Manguito de Unión unidad
30	16	1,59	2,40 \$EE.UU.	2,50 \$EE.UU.
41	16	1,59	3,30	3,30
61	14	1,98	5,00	5,00
91	14	1,98	7,25	7,00
122	12	2,78	12,50	12,00

8.8 Engravado

El espesor de los materiales del firme que deben colocarse en una carretera forestal depende de las características del suelo en que se va a construir ésta, de las cargas (cargas sobre eje y espaciamiento) que han de transportarse sobre ella, de la densidad de tráfico y, en cierta medida, de la velocidad de circulación y de la estación del año en que se va a realizar el transporte. Algunas carreteras forestales requieren poca grava o ninguna, otras sobre limos o arcillas pueden necesitar una profundidad de hasta 50-60 cm. El coste varía considerablemente, dependiendo de que haya que machacar o cribar el material y de la distancia a que deba transportarse éste.

El Cuadro 8 muestra una comparación entre los costes de engravado en 1972, con grava tal como sale de la cantera, dados en la publicación de la FAO: "Explotación Maderera y Transporte de Trozas en el Monte Alto Tropical" (1) y los costes normales correspondientes a 1977 del engravado de carreteras forestales en el este de Canadá.

CUADRO 8

ALGUNOS COSTES COMPARATIVOS DE ENGRAVADO

(costes expresados en \$EE.UU./m³ o \$EE.UU. por m³/km)

<u>Partida</u>	<u>Coste en la publicación de la FAO: "Explotación maderera y transporte de trozas en el monte alto tropical" 1972 1/</u>	<u>Costes normales en el este de Canadá(1977) 2/</u>
Grava natural en la cantera	0,10 \$ - 0,40	-
Carga		
(a) pequeñas cantidades	0,65 \$ - 1,30	-
(b) grandes cantidades	0,15 \$ - 0,25	0,60 \$
Transporte	1,00 \$/m ³ más 0,05 \$ por m ³ /km	0,40 \$/m ³ más 0,075 \$ por m ³ /km
Nivelación y apisonado	0,35 \$ - 0,40	0,50 \$ 3/

En el este de Canadá, a mediados de los años sesenta, el machacado, la carga, el transporte y la descarga de grava de cantera se contrataba a un promedio de 2 500 dólares EE.UU. por milla (1 550 dólares EE.UU. por km) en las siguientes condiciones:

- a) el contratista proporcionaba toda la mano de obra y la maquinaria;
- b) la distancia media de transporte era de 4-5 km;
- c) la anchura de carretera engravada era igual a 7,3 m;
- d) el espesor del material extendido era de 20 cm;
- e) el material no era extendido o compactado.

El precio actual de un contrato probablemente duplicaría la cifra anterior, es decir, alrededor de 3 000 dólares EE.UU. por km.

Si la grava natural, o sea, tal como sale de la cantera, es demasiado gruesa y ha de machacarse antes de colocarla en la carretera, el coste de la grava apilada junto a la machacadora o cargada en camiones estará entre 2,00 dólares EE.UU. y 3,00 dólares EE.UU.

- 1/ Estos costes, que incluyen la maquinaria, deben incrementarse en un 50 por ciento aproximadamente para expresarlos en valores de 1977.
- 2/ Obtenido de la lista de cotizaciones del gobierno para transporte de grava.
- 3/ No se incluye apisonado o compactación.

por m^3 , dependiendo del tamaño del material producido. Si se carga directamente desde la machacadora, el coste de carga del Cuadro 8 puede despreciarse. Algunos empresarios utilizan trituradoras especiales que hacen una trituración preliminar, para producir material grueso (hasta 7-10 cm de diámetro) para la capa de sub-base y para la capa de base, y una trituradora corriente para producir material más fino para la capa de superficie. Si el material de superficie ha de producirse a partir de la roca, mediante barrenado, voladura y machaqueo, el coste de la grava apilada en cantera será de 5 a 6 dólares EE.UU. por m^3 .



Carga de grava en camión para el angravado de carreteras forestales principales en una pequeña compañía forestal.



Motoniveladora remodelando una carretera forestal principal durante trabajos de mantenimiento.

9. MANTENIMIENTO DE CARRETERAS FORESTALES

El mantenimiento de una carretera forestal consiste normalmente en suprimir las irregularidades de la superficie pero también incluye otras operaciones que se llevan a cabo a intervalos irregulares: destrucción del matorral en la zona de ocupación de la carretera para mejorar las distancias de visibilidad, limpieza de cunetas, aplicación de agentes para evitar el polvo y nuevo engravado. En las zonas nórdicas los costes de mantenimiento de carreteras incluyen también la extracción de la nieve, echar arena o sal en las carreteras heladas, etc. La extracción de la nieve se hace normalmente con un camión equipado con un arado sencillo y una hoja de nivelación cuando se trata de grandes distancias o con moto-niveladoras. La mayoría de las operaciones de explotación maderera utiliza estas últimas debido a que la moto-niveladora, siendo más lenta y con su base de rueda más larga, deja una superficie más lisa y menos ondulada con lo que pueden mantenerse altas velocidades de transporte.

El coste de mantenimiento depende de muchos factores: calidad de la construcción, pesos totales de los vehículos, densidad de tráfico, velocidades de circulación y condiciones climáticas y así sucesivamente. En consecuencia, es difícil de calcular. La publicación de la FAO "La explotación maderera y el transporte de trozas en los montes altos

tropicales" da unos costes anuales de 50 a 100 dólares EE.UU./km más un 1 a un 2 por ciento de coste de construcción, correspondiente a 1972, dependiendo de las condiciones climáticas y de la calidad de construcción, pero los costes actuales son mucho más elevados. En una región muy montañosa los costes anuales de mantenimiento pueden llegar al 10 por ciento de los costes de construcción hasta que la carretera llega a estabilizarse bien.

El coste de mantenimiento de una carretera principal con piso de rolizos, en Colombia, es alrededor de 1 000 dólares EE.UU./km al año, es decir, el 5 por ciento del coste de construcción de la carretera.

A veces las carreteras principales se construyen con una calidad relativamente baja y se mejoran de tiempo en tiempo, cargando el coste de tal trabajo a mantenimiento, con lo cual se distorsionan las cuantías correspondientes a ambos costes.

En carreteras de transporte engravadas, en una operación de explotación maderera con tráfico intenso, con velocidades elevadas y regresando los vehículos de transporte en vacío, se desarrollan rápidamente irregularidades en el firme o se corruga su superficie. Este fenómeno se atribuye a la acción sobre el firme de la carretera de las ruedas tractoras de los vehículos descargados que giran rápidamente, ya que alternativamente dañan el firme de la carretera y lo ahuecan por rebote. Aunque estas irregularidades pueden corregirse mediante palas, picos y rastrillos, es corriente utilizar rastras de diversos tipos, tiradas por tractor, o niveladoras de hoja autopropulsadas. Las motoniveladoras pueden también volver a dar forma a la carretera, recuperar la grava suelta de las bermas y de las cunetas poco profundas, extendiéndola de manera uniforme sobre la carretera. Las motoniveladoras a veces transportan también una rastra que va detrás, al irse moviendo por la carretera.

El polvo es un problema en carreteras engravadas sin tratamiento, con fuerte densidad de tráfico durante la temporada seca. Se ha estimado que la pérdida anual de material del firme puede llegar hasta 300 toneladas por km. La pérdida registrada en una carretera de transporte, sin tratamiento y con mucho tráfico en el este de Canadá, varía entre 100 m³ y 200 m³ por km y año. Se utilizan numerosas sustancias como paliativo del polvo, siendo la más común el cloruro de calcio aplicado en disolución o en forma sólida en cuantías de 0,25 a 1,5 kg por m², dependiendo del suelo. La supresión del polvo proporciona unas mejores condiciones de seguridad para el transporte y permite normalmente mantener unas mayores velocidades de tráfico; también crea unas condiciones atmosféricas más limpias para el vehículo, pero la sal ocasiona una oxidación más rápida de las partes metálicas expuestas al exterior. En el Apéndice G puede encontrarse un resumen de la experiencia de la industria de pulpa y papel en el este de Canadá, durante los años 60 con cloruro de calcio como paliativo del polvo.

Los costes de mantenimiento serán normalmente bastante mayores en las carreteras de transporte primarias o principales, que en las secundarias, probablemente en una relación de 2 a 1. Estos costes en la actualidad (1977), todo incluido, durante todo el año y como promedio de un período de varios años, estarán probablemente entre los 800 y 400 dólares EE.UU. por km, respectivamente. El coste de mantenimiento de las carreteras de acceso no debe superar al de las carreteras secundarias, a menos que se utilicen también como carreteras de transporte. Las carreteras de aprovisionamiento suelen recibir muy pocos cuidados de mantenimiento.

10. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO

10.1 Consideraciones generales

La planificación de un sistema de aprovechamiento forestal es una empresa complicada debiendo considerarse muchos factores: las características físicas del terreno, la masa forestal, el clima, la ordenación forestal y los planes selvícolas, el producto, la mano de obra, el equipo de explotación maderera y el método para medir la producción. La mayoría de los factores se conocerán a medida que avance la operación: en la planificación de una nueva operación todos deben ser considerados.

10.1.1 Terreno

La topografía y el suelo ejercen una gran influencia sobre los costes de construcción de la carretera y sobre los métodos de extracción. Las carreteras trazadas en laderas inclinadas exigen unos fuertes desmontes, exponiendo mucho el suelo a la erosión. Tanto los costes de construcción como los de mantenimiento, se incrementan. En terrenos más llanos, los subsuelos finos de limo y de arcilla tienen que estabilizarse debido a los problemas existentes en ellos con la capilaridad del agua y los suelos orgánicos hay que quitarlos o bien pavimentarlos con rollizos y cubrirlos con grava transportada a un coste de 1,50 a 2 dólares EE.UU. por m^3 , más 0,08 a 0,10 \$EE.UU. por m^3/km .

La pendiente y escabrosidad de las laderas y las características de adherencia del suelo y de la cubierta del terreno, determinan si pueden utilizarse "skidders", "forwarders" y otras máquinas de explotación maderera. Normalmente, con unas buenas condiciones de adherencia, pueden trabajar algunos "skidders" y "forwarders" en pendientes de bajada hasta del 50%, e incluso del 60% en condiciones excepcionalmente buenas. Estos pueden trabajar también en pendientes de subida de un 20 a un 25%, pero las cargas, especialmente con "skidders", deben reducirse drásticamente.

El Cuadro 9 muestra los métodos de transporte secundario practicables en bosques de zonas templadas bajo diversas condiciones de terrenos. El cuadro debería ser igualmente aplicable a los bosques tropicales pero los métodos enumerados en el cuadro pueden utilizarse en forma mucho menos amplia debido a las malas condiciones de los suelos, al mayor tamaño de los árboles, a la menor densidad de la masa forestal (o volumen aprovechado por hectárea) y a la abundancia del sotobosque.

En muchos bosques vírgenes de tierras bajas de la zona tropical, en los que predominan los suelos limosos y arcillosos y los árboles explotados son frecuentemente grandes - hasta 150 cm de diámetro - y el volumen aprovechado por hectárea puede ser tan reducido como de 5 a 10 m^3 , el arrastre sobre el terreno con tractor forestal se está convirtiendo rápidamente en el método normal para extraer la madera a borde de carretera - o a veces a la margen del río - ya sea con el tronco entero o en forma de trozas cortas. Sin embargo, las profundas rodaduras hechas por los tractores forestales de ruedas en estos suelos de elevada capilaridad (con un bajo coeficiente de adherencia), debido al giro lento de las ruedas del tipo de tacos, al tratar de vencer la resistencia de rozamiento de la carga y la resistencia a la rodadura de la máquina, representan un serio problema.

En muchos países tropicales el madereo de arrastre con tractores forestales puede realizarse solamente durante la estación seca, de 4 a 6 meses e incluso debe interrumpirse durante dicha estación cuando llueve, durante períodos de 2 o 3 horas a 2 o 3 días, a fin de permitir que el suelo se seque. La acumulación de agua en las rodaduras sólo sirve para ablandar el suelo, motivando que se hagan dichas rodaduras incluso más profundas con cada paso del tractor. Los tractores forestales de ruedas ocasionan una presión en el terreno de 1,1 a 1,4 kg/cm^2 dependiendo de la anchura de los neumáticos.

Los tractores normales de oruga, por otra parte, desarrollan una presión sobre el terreno de 0,5 a 0,7 kg/cm^2 y por tanto trabajan mucho mejor en suelos limosos y arcillosos. Dichos tractores no sólo tienen unas características mucho mejores de adherencia, sino también una mayor capacidad de penetración - es decir, una mayor capacidad para abrir caminos hasta los árboles cortados - que los tractores forestales, incluso los de 185 hp y, posiblemente, que los nuevos de 300 hp aparecidos recientemente en el mercado. Los nuevos tractores de orugas, de baja presión sobre el terreno (LGP), con orugas más largas y con zapatas más anchas, que están disponibles en modelos de tamaño pequeño y mediano, reducen la presión sobre el terreno hasta un $\pm 50\%$ en relación con los correspondientes a las máquinas normales. Tales tractores deben aumentar muy considerablemente las posibilidades del madereo de arrastre sobre el terreno en suelos blandos.

CUADRO 9



DEPARTAMENTO DE MONTES
Subdirección de Explotación
Forestal y Transporte
Marzo 1972

TABLA PARA LA ELECCION DEL METODO DE TRANSPORTE EXTRA VIAL
EN BOSQUES DE LA ZONA TEMPLADA

Leyenda: † Cuesta arriba, ‡ Cuesta abajo, xx Idóneo, x Posible. Pendiente en tanto por ciento, se desprecian los tramos menores de 50 m.

Nota: En la tabla sólo se toman en consideración los aspectos técnicos. La elección definitiva depende de los aspectos económicos y del método de corta.

TERRENO Y SUELO		METODOS DE ARRASTRE						SISTEMA DE CABLES			
Grado de escabrosidad	Capacidad de agarre/ sustentación	MANO DE OBRA	ANIMALES	TRACTORES AGRICOLAS	"Skidder" *	"Forwarder" ***	TRACTORES DE ORUGA	"Feller-buncher" ***	Distancias		
PENDIENTE 0 - 10 %									700m	> 700m	
									Móviles	Toda terreno	Sólo por gravedad
De liso a escabroso	buena	x acarreo	xx	xx	xx	xx	Pontano arcilla				Sólo cuando son impracticables al tractor o al tiro animal
	maia	x arrastre	x	x	xx	xx	húmedo	xx	xx	xx	
Muy escabroso	buena	x rodanda	x		xx	xx		x	xx	xx	
	maia	x	x		xx	x		x	xx	xx	
PENDIENTE 10 - 50 %											
De liso a escabroso	buena	x > 40%	x < 15%	xx < 15%	xx < 25%	xx < 25%	x < 35%	xx < 25%			
	maia	x xx gravedad	xx < 30%	xx < 25%	xx	xx < 45%	húmedo mar-goso x < 25%	xx < 35%		30 - 30%	
				x < 20%				x < 20%	xx	xx x	xx < 30%
Muy escabroso	buena		x < 30%	x < 25%	xx	x < 45%	xx	xx < 35%	xx	xx x	xx
	maia	x	x < 30%	x < 20%	xx	xx < 45%	x < 35%	xx < 25%	xx	xx x	xx
					x < 20%	xx	x < 25%	xx < 35%	xx	xx x	xx
PENDIENTE 50% +											
De liso a escabroso	buena					oruga flexible					
	maia	xx gravedad			xx < 60%	x < 60%	x < 60%		xx	x	xx
Muy escabroso	buena					x < 60%	xx x < 60%		xx	x	xx
	maia	x			xx < 60%	x < 60%	x < 60%		xx	x	xx
						x < 60%	xx x < 60%		xx	x	xx

TERRENO Y SUELO

En general se emplea el Proyecto de Sistema Internacional de Clasificación de Terrenos de la "IUFRO".

i) **PENDIENTE** sólo se refiere a tramos de más de 50 m. Las pendientes de menor longitud se desprecian.

ii) **GRADO DE ESCABROSIDAD** se refiere a la presencia de obstáculos de más de 50 cm de altura o de profundidad. La distinción entre **DE LISO A ESCABROSO** y **MUY ESCABROSO** es relativamente arbitraria. **MUY ESCABROSO** indica que la distancia entre obstáculos es menor de 3 m como término medio.

iii) **CAPACIDAD DE AGARRE/SUSTENTACION** no se puede cuantificar en forma simple. En general **BUENA** se aplica a los suelos de fricción y **MAIA** a los suelos de cohesión. En lo posible hágase la clasificación basándose en la experiencia práctica en empleo de tractores, tomando también en consideración el mado y la cantidad de la precipitación, la época en que se realizan los trabajos, la intensidad del tráfico, etc.

RODALES Y ARBOLES

SISTEMA DE CABLES: La poca densidad del arbolado y los tamaños extremos (pequeños o grandes) de los árboles reducen más el rendimiento y la economía de este método que en los métodos de arrastre. La entresaca es imposible con cables de alto tiro y difícil con otros sistemas de cables.

ECONOMIA

TRACTORES Y CABLES: Igual intensidad de capital por unidad de producción. La intensidad de mano de obra es más elevada cuando se emplean **CABLES** debido a la menor productividad y mayor necesidad de personal capacitado.

EQUIPO

TRACTORES: Nota: Se prescinde de los tractores no articulados con doble tracción en esta tabla, porque en general tienen menos capacidades que los "skidders" para transitar en terreno difícil.

i) **TRACTOR AGRICOLA** con cabrestante y de ser preciso dispositivos antideslizantes (cadenas, semi-grugas). Accesorios: tenazo de arrastre, palo de arrastre, remolque, trineo y grúa, según convenga.

* Tractor forestal arrastrador.

** Tractor forestal transportador.

ii) **"SKIDDER":** Tractor articulado de ruedas con doble tracción, cabezante con uno o dos carretes y arco integral; suele tener una pequeña cuchilla de bulldozer.

iii) **"FORWARDER":** Tractor transportador articulado, ruedas con doble tracción u orugas flexibles, cabestrante y grúa, suele tener una pequeña cuchilla de bulldozer.

iv) **"FELLER-BUNCHER":** Máquinas especiales para cortar árboles y reunirlos en pilas.

EQUIPOS DE CABLES

Nota: No se incluyen cables aéreos para el transporte de un punto a otro.

DISTANCIAS CORTAS (< 700 m) Cabrestante y torre montados en tractor, camión o remolque, colocados siempre en el camión. Dos tipos:

a) **CON CABLE DE TIRO ALTO (HIGH-LEAD):** cabrestante de dos carretes, sin cable aéreo. Distancia máxima 300 m. Equipo europeo; carga máxima 2,5 ton. Equipo norteamericano; carga muy superior con carretes auxiliares para los tirantes; cables sobre carretes engranados para arrastre con ganchos.

b) **CON CABLE AEREO** - dos o más carretes, cable aéreo, cable de tracción, cable de retorno, carro. Distancia máxima, 700 m. Equipo europeo, carga máxima 5 ton. Se puede llevar la carga totalmente suspendida pero no es práctico.

DISTANCIAS MAS LARGAS (> 700 m): Se puede usar hasta 2 500 m, pero se recomienda una distancia máxima de 1 500 m. Se debe transportar la carga completamente suspendida y las torres deben ser más altas que en el equipo para distancias cortas. Es necesario calcular las trazas los soportes y las sujeciones. Carga máxima 10 ton, en la práctica 5 ton. Dos tipos:

a) **CON CABLE AEREO PARA TODO TERRENO** - Cable aéreo, cable sin fin, carro (con o sin bloqueador), cabrestante en el camino con transmisión de cable sobre polea. Trozas colocadas vertical u horizontalmente. Para la colocación vertical se requieren soportes altos.

b) **CON CABLE AEREO POR GRAVEDAD** - Cable aéreo, cable de tracción, carro (con o sin bloqueador). Cabrestante montado en trineo y colocado en la estación de arriba. Para trazas totalmente suspendidas en posición vertical se requieren soportes altos.

*** Cortadoras apiladoras.

A lo largo de algunos ríos tropicales, donde el terreno es relativamente llano y suave, las trozas, hasta de 25-150 cm de diámetro, se cortan en longitudes de 3 m, se limpian "sendas de rodadura" y las trozas se ruedan a mano hasta la orilla del río, en distancias hasta de 1,5 a 2 km.

En una operación en Colombia, con una resistencia del terreno de $0,2 \text{ kg/cm}^2$, el madereo de suspensión a mano y el arrastre por cable de la madera corta son los métodos normales para transportar la madera a pie de carretera. Incluso las máquinas disponibles de madereo de arrastre más ligeras y de zapatas anchas pueden trabajar en terrenos forestales sólo con gran dificultad y los caminos principales de madereo de arrastre deben pavimentarse con rollizos.

10.1.2 Masa forestal

El volumen de madera que se va aprovechar por hectárea afecta al espaciamiento óptimo o densidad por ha de las carreteras de aprovisionamiento: cuanto menor sea el volumen de madera aprovechado por hectárea, mayor debe ser el espaciamiento o menor la densidad. Esto se discute en el apéndice D. En zonas tropicales en que la práctica normal es entresacar por selección el bosque, extrayendo solamente unas pocas de las especies más valiosas y con un aprovechamiento tan reducido como de 5 a $10 \text{ m}^3/\text{ha}$, y donde las carreteras son de construcción costosa, el espaciamiento óptimo de las carreteras puede ser, de acuerdo con la fórmula del espaciamiento, de varios kilómetros.

En bosques de zonas templadas y en plantaciones, independientemente de su localización geográfica, las masas forestales de árboles pequeños, (hasta 20 cm de diámetro normal) pueden manejarse económicamente como madera corta, mediante el método de corta, apilado y madereo con carga suspendida. Si las trozas han de maderearse suspendidas, o cargarse y descargarse, a mano, deben ser suficientemente pequeñas o cortas para poderlas manejar mediante uno o dos hombres. El peso apropiado dependería de varios factores climáticos y humanos: temperatura, altitud, peso del cuerpo, nutrición, etc. Aproximadamente estaría entre 30 y 40 kg por hombre. Si las trozas han de cargarse y descargarse mecánicamente con grapas o mordazas, no deben tener menos de 2,5 m de longitud.

Los árboles mayores se arrastran mejor sobre el terreno hasta el borde de carretera si lo permiten la topografía y las condiciones del terreno. Las ramas y las copas pueden quitarse en la zona de corta o a borde de carretera con hacha o sierra de cadena o con desramadoras mecánicas o con desramadoras-tronzadoras, ya sea las que manejan un sólo árbol cada vez o los desarrollados recientemente, que desraman simultáneamente varios árboles.

10.1.3 Condiciones climáticas

Temperaturas ambientales altas y una humedad relativa elevada, tales como las que existen en ciertas estaciones del año en los países tropicales, tienen un efecto importante sobre la capacidad de un obrero forestal para desarrollar un trabajo físico pesado en forma continuada. El Cuadro 10 muestra las reducciones de productividad que pueden esperarse y las asignaciones de tiempo que deben hacerse en tales condiciones, utilizando una temperatura de 26°C y una humedad relativa del 90 por ciento como valores básicos.

CUADRO 10

TOLERANCIA DE TIEMPO EMPLEADO O REDUCCION DE PRODUCTIVIDAD EN
TRABAJOS FORESTALES PESADOS EN PAISES TROPICALES, DEBIDO A LA FATIGA POR CALOR

<u>Temperatura en Celsius</u>	<u>Humedad relativa</u>	<u>Tolerancia de ^{1/} tiempo empleado</u>	<u>Reducción de la ^{2/} productividad</u>
26	90 %	0 %	0 %
28	90 %	10 %	10 %
29,5	90 %	25 %	20 %
31,5	90 %	55 %	35 %
33,5	90 %	185 %	65 %
33	70 %	45 %	30 %
35	70 %	100 %	50 %
37	70 %	550 %	85 %

1/ Estas tolerancias han de añadirse a los períodos normales de descanso que se toman cuando la temperatura ambiente es de 26°C y la humedad relativa del 90 por ciento.

2/ La productividad está en relación inversa con el tiempo necesario para realizar la tarea.

El Cuadro demuestra que la frecuencia y duración de los períodos de descanso aumentan rápidamente a medida que se eleva la temperatura ambiental o la humedad relativa e indica que los trabajos duros deben evitarse durante la parte más calurosa del día.

Por otra parte, el conductor de una máquina, sentado en una cabina confortable y con aire acondicionado, puede trabajar con plena productividad durante dicho tiempo cálido, excelente argumento para mecanizar ciertas fases de la operación de aprovechamiento.

Los ensayos realizados con trabajadores forestales en operaciones a destajo de corta y madereo de arrastre en el este de Canadá, es decir haciendo un trabajo físico pesado, demuestran que el tiempo de descanso normal representó el 10 por ciento de la jornada de trabajo cuando la temperatura media ambiental en el día de trabajo fue de 12°C bajo cero, pero aumentó en el verano y disminuyó en el invierno de acuerdo con lo que se presenta en el Cuadro 11.

El suelo forestal es una zona de trabajo desagradable para un hombre a pie, cuando está lloviendo. La producción se reduce o se para. En los países tropicales, con una estación lluviosa pronunciada y con una precipitación considerable durante el resto del año, es un problema grave. La utilización de las máquinas se reduce; los costes de depreciación e intereses aumentan; los costes generales suben y todo ello se suma a los costes de la madera aprovechada.

En zonas templadas la nieve puede interrumpir también las operaciones de aprovechamiento, pero aunque esto ocasiona problemas inmediatos, éstos en la mayoría de los casos se compensan por sus beneficios a largo plazo.

CUADRO 11 ^{1/}

TIEMPO MEDIO TOTAL DE DESCANSO DURANTE LA JORNADA DE TRABAJO
EN LABORES FORESTALES PESADAS REALIZADAS EN ZONAS TEMPLADAS

Temperatura media en °C durante la jornada de trabajo	Tiempo medio total de descanso como tanto por ciento del tiempo total de la jornada de trabajo
- 40°	5 %
- 30°	7 %
- 20°	8 %
- 10°	10 %
0°	12 %
+ 10°	14 %
+ 20°	16 %
+ 30°	18 %

^{1/} Basado en estudios realizados en el este de Canadá (19).

A medida que aumenta la altitud, la capacidad física de trabajo disminuye debido a la cantidad decreciente de oxígeno existente en el aire. El efecto se hace notorio a una altitud de 1 200 m, llega al 15 por ciento a 2 300 m y alrededor del 30% a 4 000 m. La Naturaleza ha dotado a mucha gente, que vive constantemente en altitudes elevadas, con una mayor capacidad pulmonar, con más sangre y un porcentaje mayor de glóbulos rojos en comparación con la gente que vive en tierras bajas. Aunque los últimos pueden llegar a aclimatarse al trabajo en altitudes elevadas, nunca llegan a alcanzar la eficacia del obrero de las tierras altas.

10.1.4 Ordenación forestal y selvicultura

El plan de ordenación forestal puede imponer restricciones sobre el tipo de explotación maderera. Puede exigir un aprovechamiento selectivo y regeneración natural o unas talas rasas y repoblación forestal por medios artificiales como en las plantaciones de pino en estado de cortabilidad. El aprovechamiento selectivo es el sistema normal en los bosques tropicales, debido sobre todo al gran número de especies para las cuales no se ha encontrado todavía utilización comercial. Esto lleva consigo una degradación continua del bosque ya que las especies valiosas extraídas rara vez son reemplazadas por plantitas de especies valiosas. Los bosques tropicales que se aprovechan para madera para pulpa lo son normalmente mediante talas rasas, con excepción posiblemente de unas pocas especies que tienen un alto contenido de sílice o de látex y se plantan con especies mejores para pasta, principalmente eucaliptos, cipreses o pinos.

Pueden haber regulaciones estableciendo limitaciones respecto a la erosión en ciertos suelos y limitando o incluso impidiendo el madereo de arrastre sobre el terreno en laderas inclinadas.

Pueden haber normas referentes a la utilización del matorral de las copas y de otros desechos de aprovechamiento. Algunos sistemas de explotación maderera exigen la extracción de árboles completos hasta el borde de la carretera o incluso hasta el cargadero final, pero algunos selvicultores sostienen que los nutrientes que contienen no deben extraerse del bosque.

Algunos planes de ordenación exigen la tala rasa por fajas o bosquetes, no sólo como medida de protección contra los incendios sino para reponer las existencias madereras de las áreas cortadas mediante la diseminación natural procedente de los rodales sin cortar; algunos exigen dejar árboles semilleros y realizar plantaciones donde la diseminación natural no haya tenido éxito.

10.1.5 Longitud o tipo de producto

La elección de un sistema de aprovechamiento puede estar influida por la longitud o el tipo de producto que se necesita en la industria o en el cargadero final. Puede existir una fuerte demanda de una longitud normal uniforme de las trozas, no sólo debido a la necesidad de la industria, sino también porque es muy eficaz para el transporte a larga distancia o porque ello permite utilizar algunas de las máquinas de transformación más productivas.

Si las trozas han de manejarse a mano, debe producirse madera corta. La producción manual de madera corta en la zona de aprovechamiento exige más mano de obra que cualquier otro sistema, pero es un método sencillo de explotación maderera que permite manejar la materia prima "a granel" desde la zona de corta hasta el cargadero final. Es un método adecuado para las regiones con gran desempleo y niveles bajos de salarios; se adapta fácilmente a los sistemas a destajo pero es un trabajo pesado que exige 4 000 calorías por día o más para tener una producción aceptable.

Si han de entregarse astillas a la industria, debe considerarse la posibilidad de astillar el tronco entero, o el árbol completo, a borde de carretera.

10.1.6 Mano de obra

La planificación de un sistema de aprovechamiento exige dar una gran importancia a la situación laboral: disponibilidad, experiencia, aptitudes, actitud hacia el trabajo y capacitación, peso del cuerpo, situación sanitaria y nutritiva en general, jornada de trabajo, niveles de salarios y cargas sociales, influencias motivadoras y así sucesivamente.

Los trabajadores que no tienen capacitación forestal previa o experiencia con herramientas y equipos normales de explotación maderera necesitarán probablemente dos años para hacerse plenamente eficientes. Mucho dependerá del ausentismo y del cambio de trabajo del obrero así como de la intensidad de la capacitación y supervisión en la zona de trabajo. Deben ser capaces de aumentar su productividad en un 50 por ciento durante el segundo año. En el este de Canadá, los operarios sin experiencia encargados del "forwarder" necesitaron 1 000 horas de trabajo para llegar a ser plenamente eficientes en la manipulación del cargador de brazo articulado de la máquina.

La capacidad del obrero para un trabajo físico duro depende, entre otras cosas, del peso de su cuerpo. La mayoría de los datos sobre productividad en tiempo en la explotación maderera han sido preparados en países en que la industria de explotación ha sido bien desarrollada y el peso medio del trabajador forestal está alrededor de los 70 kg. Si el peso medio del trabajador en la región en que se intenta utilizar tales datos es inferior a 70 kg, debe hacerse una rebaja de tiempo aplicando el factor:

70

peso medio del cuerpo en kg

Esto no es aplicable a los operarios de máquinas.

La apatía que se encuentra tan frecuentemente entre los trabajadores de los climas cálidos se suele achacar a la pereza pero puede deberse esencialmente a una dieta inapropiada o insuficiente. Los trabajadores que desempeñan un trabajo forestal físicamente duro necesitan ingerir por lo menos 4 000 K calorías por día. Si no las toman, no pueden cumplir su trabajo con plena eficiencia. Una nutrición insuficiente puede contribuir a un elevado absentismo y al cambio en el trabajo. En aquellos casos en que la mala alimentación pueda ser un factor, deben considerarse planes para mejorar de alguna forma la nutrición de los obreros.

También hay que tener en cuenta la relación geográfica entre la zona de trabajo y la fuente de obtención de la mano de obra. Los trabajadores forestales han procedido tradicionalmente de las zonas rurales, están familiarizados con el bosque, no les importa vivir en un campamento de explotación maderera y poseen por lo menos un conocimiento sobre la forma de utilizar las herramientas manuales. Sin embargo, la actual migración de las zonas rurales a las zonas urbanas ha perjudicado tal concepto. El sentimiento del obrero respecto a la familia y al pueblo tiene una influencia sobre el ausentismo. En los países desarrollados, el cambio de trabajo y, en gran medida, el ausentismo de la mano de obra se han estabilizado siempre que se han podido establecer "campamentos temporales", es decir, operaciones forestales en que los trabajadores viven en casa y van y vienen diariamente al lugar del trabajo, ya sea en su automóvil particular o en autobús. Esto puede hacerse para distancias hasta de 50 km si las carreteras son de calidad suficientemente buena. En climas cálidos puede ser factible establecer poblados forestales cerca de la zona de trabajo a un coste razonable, que servirían como base o punto central para el mejoramiento de la nutrición, de la sanidad y del bienestar general y para reducir el ausentismo y el cambio de trabajo.

También hay que considerar los niveles de salarios y el coste de las cargas sociales. En Canadá, el coste de estas últimas asciende al 30 por ciento o más de los salarios directos en las principales empresas forestales; en países en desarrollo puede alcanzar o sobrepasar el 100 por ciento.

Hay que examinar los mejores medios para estimular a los trabajadores para que aumenten la productividad. En los países desarrollados, esto se ha hecho en formas diversas. El medio más común - y muy eficaz - ha sido el monetario: pago del trabajo a un precio por unidad de producción (es decir, a destajo) o pago por salario diario o semanal para una producción especificada más una prima sobre la producción adicional. No hay que esperar que estos métodos disminuyan o aumenten el coste por unidad de madera. El énfasis debe ponerse en una mayor producción por hombre y día, con el objeto de reducir las cargas sociales y otros costes indirectos.

Los niveles de salarios tienen una influencia tremenda sobre la elección del sistema de aprovechamiento forestal. Los sistemas con elevada proporción de mano de obra, tales como el método de "corta-apilado-madereo de suspensión" de madera pequeña y mediana, especialmente donde los niveles de salarios son bajos y es aceptable el trabajo a destajo, son muy prometedores. Algunos expertos sostienen que, incluso en aquellos países en que los salarios son elevados, el método que produce madera corta en la zona de apeo con la longitud exigida por la industria y la maneja "a granel" con los "forwarders" a partir de dicho punto, es el método más económico. Esto se pone de manifiesto en Suecia, donde el 85-90 por ciento de la madera aprovechada se produce de esta forma. El problema en algunos países es encontrar obreros que estén dispuestos a esforzarse entre el matorral y los desechos, en terreno forestal y a desempeñar el duro trabajo físico necesario para cortar, desramar, tronzar, reunir y apilar la madera.

10.1.7 Equipo mecánico

Cuando se considera la utilización de equipo mecánico para la explotación maderera, los puntos más importantes a tener en cuenta son, probablemente, la sencillez de la máquina, la posibilidad de obtener servicios y repuestos del distribuidor y su capacidad para funcionar adecuadamente en el terreno de la zona de explotación. Su nivel de producción puede

ser plenamente satisfactorio pero si no se puede mantener en condiciones de trabajo durante un mínimo del 70 por ciento del tiempo de trabajo programado, no debe adquirirse. Esto puede no ser culpa de la máquina. Hay casos conocidos de máquinas que han estado paradas durante seis meses debido a las restricciones de importación y al "papeleo". Algunas de las máquinas más complicadas de explotación maderera que se utilizan en la actualidad en trabajos de varios turnos están disponibles sin embargo durante más del 80 % del tiempo.

Algunas máquinas que funcionan con un solo hombre, que cuentan con cabinas con calefacción y aire acondicionado, pueden trabajar a doble turno durante todo el año sin pérdida de producción durante las horas de oscuridad. En esta categoría están las cortadoras-apiladoras y los tractores forestales transportadores que trabajan sobre el terreno forestal. Los tractores forestales transportadores, mediante la descarga directa, a borde de carretera, sobre el camión o remolque, eliminan la operación adicional de la carga de las trozas que por fuerza debe ser una operación independiente cuando se utiliza el madereo de arrastre y otros medios para el madereo de suspensión. Es corriente decir que al coste de la madera se añaden 0,50 a 0,60 dólares EE.UU./m³ cada vez que se deja y se coge de nuevo.

En algunos países tropicales se considera que la vida normal de una máquina es de 4 a 6 años, sin tener en cuenta el pequeño número de horas que puede utilizarse la máquina al año. Consideremos una máquina que cuesta 100 000 dólares EE.UU. con una vida normal de 10 000 horas y una tasa de interés del 10 por ciento. Si la máquina se utilizase únicamente 1 000 horas al año, durante 5 años en una zona tropical, en vez de las 2 000 horas normales en otros sitios, los costes comparativos de depreciación e intereses por hora de máquina serían los siguientes:

Utilización anual en horas	2 000	1 000
Coste por hora de máquina:		
depreciación	10 \$EE.UU.	20 \$EE.UU.
intereses	3	6
Total	13 \$EE.UU.	26 \$EE.UU.

En tal situación, hay que considerar seriamente los métodos manuales, especialmente cuando los salarios son bajos.

10.1.8 Medición de la producción de madera

El método para medir la producción de madera puede afectar al coste del aprovechamiento, por lo que debe considerarse en este aspecto. Las trozas normalmente se miden o se pesan por una o más razones:

- para pagar a los obreros a destajo y a los contratistas;
- para pagar los derechos al gobierno;
- con el fin de controlar la producción.

La producción puede medirse contando o midiendo cada troza, pesando y mediante muestreo, midiendo a granel (pilas), etc. Puede realizarse en la zona de corta, a pie de carretera o en cargadero final.

Una operación de explotación forestal debe considerarse como un proceso continuo. El parar el movimiento generalmente añade un nuevo sumando al coste del producto. Si esto ha de hacerse sólo para poder medir la madera, se incurre en un gasto innecesario. Por ello deben idearse, con las autoridades apropiadas, métodos económicos de medición que satisfagan a todos los que puedan estar interesados. Esta materia se discute con mayor detenimiento en la publicación de la FAO: "Aprovechamiento de bosques artificiales en países en desarrollo".

10.2 Clasificación de los sistemas de aprovechamiento

Hay varios métodos diferentes de clasificar los sistemas de aprovechamiento. Estos pueden clasificarse, de acuerdo con el estado del árbol o la longitud de la troza que se transporta como madera desde la zona de corta hasta el pie de carretera:

- a) sistema de árboles completos, en el cual se transporta el árbol completo hasta el borde de la carretera;
- b) sistema de troncos enteros;
- c) sistema de madera corta, en el cual los árboles se desraman, se despuntan y se tronzan en dos o más trozas en la zona de corta.

Puede hacerse otra clasificación más de acuerdo con el método utilizado para llevar la madera hasta el borde de la carretera:

- a) madera de arrastre por el terreno con animales o con equipo mecánico;
- b) madereo con carga suspendida o de suspensión, con mano de obra, con animales o máquinas que tiran de trineos o de remolques con ruedas, o bien con tractor forestal transportador auto-cargadores;
- c) extracción con cable, con uno o más de entre varios sistemas.

Desde el cargadero secundario, a borde de carretera, la madera se suele transportar en camión o mediante una combinación de vehículos hasta un cargadero final, en la industria, en el río o en el ferrocarril.

La Figura 5 puede considerarse como un diagrama general de procesos de varios sistemas de aprovechamiento que se utilizan hoy día en diversas partes del mundo.

Como norma, existen varias herramientas o máquinas que pueden utilizarse para llevar a cabo cada una de las fases o partes en que se puede dividir un sistema u operación de aprovechamiento. Por ejemplo, la corta puede hacerse con hacha, con sierra de arco, con sierra tronzadora, con sierra de cadena (moto-sierra) o uno entre varios tipos de máquinas móviles; el madereo de arrastre sobre el terreno con animales, con tractor forestal de huincha, tractor forestal de garra, tractor forestal-cortador, ect.; el desramado con hacha, sierra de cadena, desramador mecánico del tipo de cuchillo o del tipo de golpeador y así sucesivamente. Es la elección de las máquinas y de los métodos que mejor se ajuste a las condiciones de la operación - tal como se explicó anteriormente en este capítulo - y la organización del trabajo y de los distintos elementos de las máquinas en un conjunto económico de funcionamiento suave, la principal tarea del director del aprovechamiento. Cada sub-operación suele estar influida por la fase precedente y puede influir a su vez en la que le sigue; cada una debe empalmar suavemente con la inmediata.

Es prácticamente imposible dar la productividad real y el costo o evaluar el potencial de cada combinación posible de trabajo y máquinas de explotación maderera. Todo lo que puede hacerse en un manual abreviado es proporcionar datos referentes a cada máquina o a cada fase de la operación que permita el acoplarlos en un conjunto y haga posible desarrollar el coste estimado de la madera para un sistema en particular. Por ejemplo, como la cortadora-apiladora (feller-buncher) sirve para los tres sistemas primarios o principales de aprovechamiento, se darán solamente una vez los datos referentes a su productividad y coste.

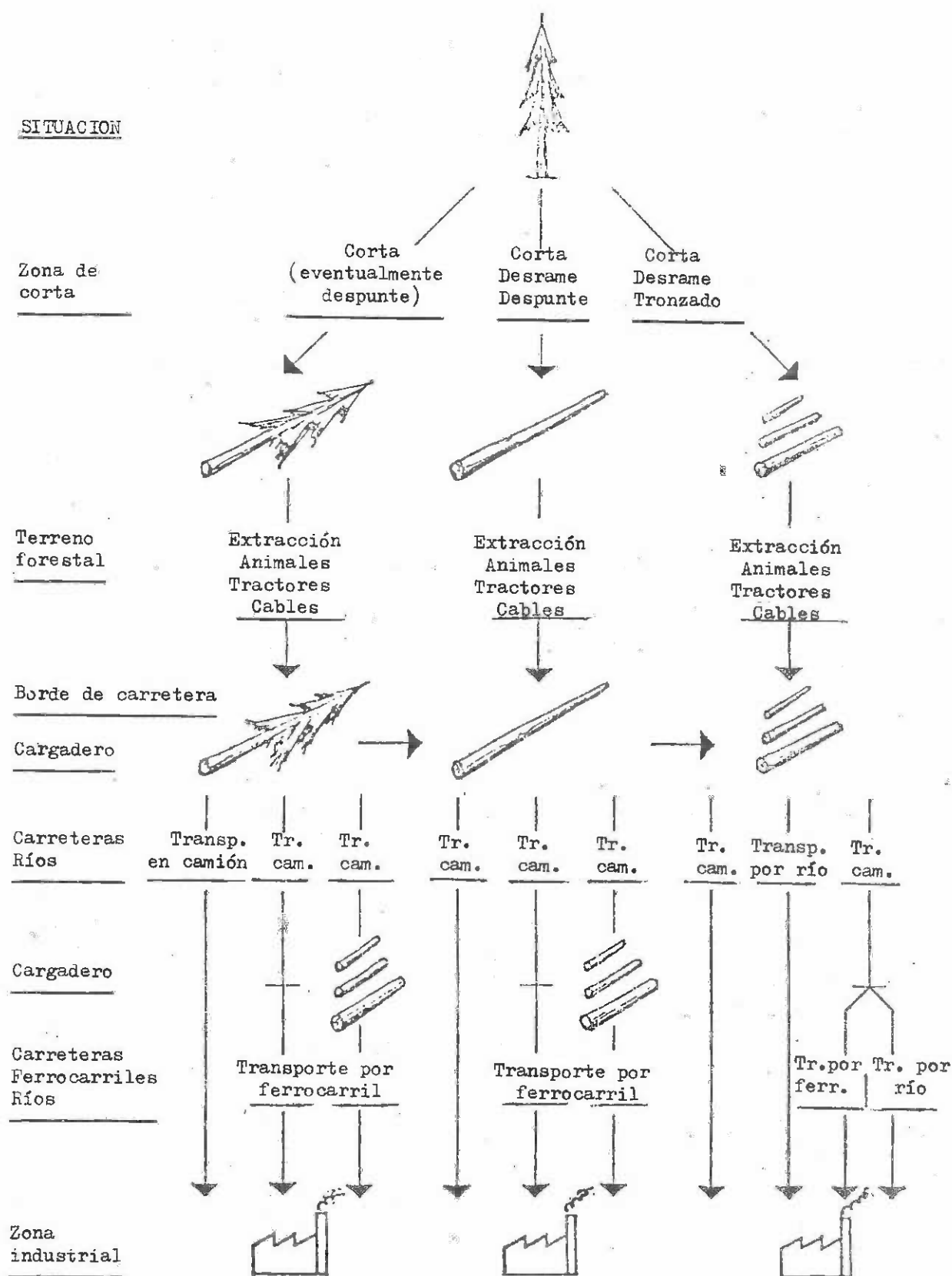


Figura 5 - Principales sistemas de explotación maderera.

El manual, aunque trata de la mayoría de los métodos o sistemas incluidos en el diagrama, no incluye la extracción con cable o el transporte a larga distancia después del último cargadero, tal como se definió anteriormente. El transporte por río, en barcas y por ferrocarril se considera que queda fuera del alcance de este manual.

10.2.1 Sistema de aprovechamiento de árboles completos

Los sistemas de aprovechamiento de árboles completos son aquellos que entregan los árboles completos a borde de carretera. Estos sistemas se están aplicando cada vez más en los países desarrollados debido a la alta productividad global por hombre y día del sistema y al deseo de reducir al mínimo el trabajo manual en las adversas condiciones de trabajo en la zona de corta.

Los árboles se pueden cortar a mano o mecánicamente, se puede efectuar el madereo con la carga elevada o arrastrada hasta el borde de la carretera, elaborándose allí en troncos enteros o en madera corta, o bien cargarse y transportarse hasta la industria los árboles completos. Se considera que el apeo manual es más barato y conveniente que el apeo mecánico, a menos que se deban apilar los árboles para facilitar la próxima fase de la operación. También pueden cortarse mecánicamente con cortadoras-apiladoras (feller-bunchers) o con "cortadoras-transportadoras (feller-forwarders) en cuyo caso se depositan sobre la máquina y se transportan a borde de carretera cuando se completa una carga. En la Figura 6 se ilustran diversas ramificaciones del sistema de árboles completos.

En varias partes de Norteamérica se están cortando, apilando, arrastrando con tractor forestal de garra hasta borde de carretera y convirtiendo allí en astillas con una astilladora portátil, árboles completos de frondosas que crecen en masas mezcladas de varias especies. Las astillas se transportan neumáticamente a un camión o vagón cubierto y se transportan directamente a la fábrica de pulpa. El sistema se ha extendido a especies de pino en el sudeste de los Estados Unidos de América, efectuándose la cocción hasta de un 20 por ciento de astillas de árboles completos, junto con astillas limpias de madera descortezada. Su aplicación general a grandes operaciones en bosques de coníferas, en el estado actual de las técnicas de fabricación, puede depender del desarrollo de sistemas satisfactorios para disociar y separar la corteza de las astillas de madera.

El sistema de árboles completos tiene algunas ventajas sobre los otros dos:

- a) extrae del bosque las ramas y las puntas o raberones lo que reduce el peligro de incendios y deja la zona limpia para su plantación;
- b) concentra muchas operaciones en un punto central, permitiendo las operaciones a granel, lo que constituye una ventaja especial cuando los árboles son pequeños;
- c) hace posible el transportar las ramas y las puntas a la industria, para su empleo como combustible o en la fabricación;

El sistema tiene, sin embargo, algunas desventajas:

- a) la acumulación de ramas, etc. al borde de la carretera puede dar lugar al desorden de la zona de operaciones;
- b) la extracción de ramas, etc., hasta el borde de la carretera equivale a extraer tanto las piñas y sus semillas como los nutrientes de la zona forestal;
- c) como las ramas y las puntas representan alrededor del 30 al 40 por ciento en peso de los árboles completos de coníferas, la menor carga del tractor forestal arrastrador o transportador se traduce en la reducción del espaciado óptimo de las carreteras de aprovisionamiento y en el aumento del coste de carreteras.

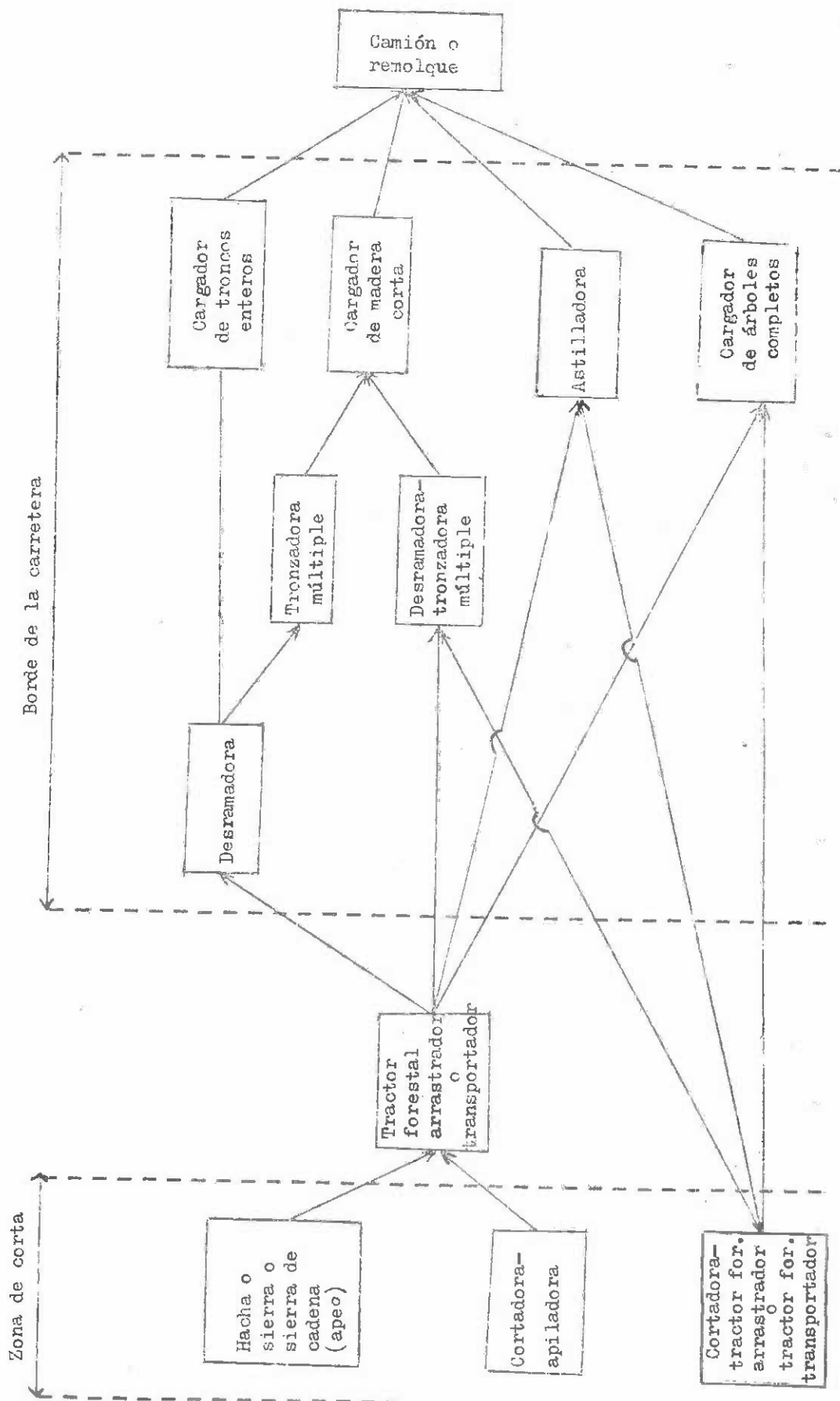


Figura 6 - Diagrama de operaciones para el sistema de aprovechamiento de árboles completos.

10.2.2 Sistema de aprovechamiento de troncos enteros

Los sistemas de aprovechamiento de troncos enteros son aquellos que entregan a pie de carretera troncos de árboles desramados y despuntados, es decir, sólo la parte comercial del árbol. Los árboles pueden cortarse mediante uno de los varios métodos mencionados en la sección correspondiente a la explotación de árboles completos, y desramarse en la zona de corta a mano o con una máquina desramadora, o bien pueden apearse y desramarse con una sola máquina en la zona de corta. El maderero de los troncos puede hacerse mediante arrastre o suspensión hasta el borde de la carretera, tronzarse en madera corta o cargarse enteros sobre vehículos semi-remolques. Las diversas ramificaciones disponibles del sistema se ilustran en la Figura 7.

El sistema de troncos enteros puede aplicarse casi universalmente, dondequiera que puedan utilizarse sistemas menores de transporte terrestre. Es especialmente aplicable a los bosques de coníferas, tanto en los países templados como en los tropicales. En las plantaciones puede aplicarse en operaciones cuidadosas de claras y en la corta final. En los bosques altos tropicales es el método normal de explotación forestal, a menos que tengan que hacerse trozas cortas, porque el tractor forestal arrastrador no pueda arrastrar el tronco entero.

En países montañosos de algunas partes de Europa, en laderas demasiado inclinadas para que trabajen las máquinas, los troncos enteros pueden deslizarse ladera abajo con la punta delgada por delante y elaborarse después a borde de carretera.

El sistema tiene algunas ventajas:

- a) no hay problemas por acumulación de ramas y desechos a borde de carretera;
- b) no hay pérdida de nutrientes en la superficie forestal;
- c) mayor productividad por hombre y día y posibilidad más amplia de elección del producto final que con el sistema de madera corta;
- d) mayor espaciamiento de las carreteras de aprovisionamiento y, por lo tanto, menor coste de carreteras por m³, que con el sistema de árboles completos.

10.2.3 Sistema de aprovechamiento de madera corta

En los sistemas de aprovechamiento de madera corta todo el trabajo de convertir el árbol en la forma en que será entregado a la industria se hace en la zona de corta. Desde allí, la madera se extrae mediante carga suspendida (a menos que se arrastre con animales) hasta borde de carretera y se apila o se carga sobre camión o remolque. El sistema se ilustra en la Figura 8 con sus diversas modificaciones.

El sistema de madera corta se ha practicado durante generaciones y se sigue practicando extensamente. Por ejemplo, en Suecia, alrededor del 85-90 por ciento de las operaciones de aprovechamiento se llevan a cabo de esta forma. Mucha madera del este de Canadá - alrededor del 40 por ciento de la madera producida en la Provincia de Quebec - particularmente en operaciones pequeñas y en terrenos escabrosos, todavía se produce mediante este método; una parte importante de ella se corta, se desrama y se tronza con sierras de cadena ligeras. (Actualmente es raro utilizar el aoha). Es un sistema que emplea mucha mano de obra, a menos que se empleen máquinas de función múltiple.

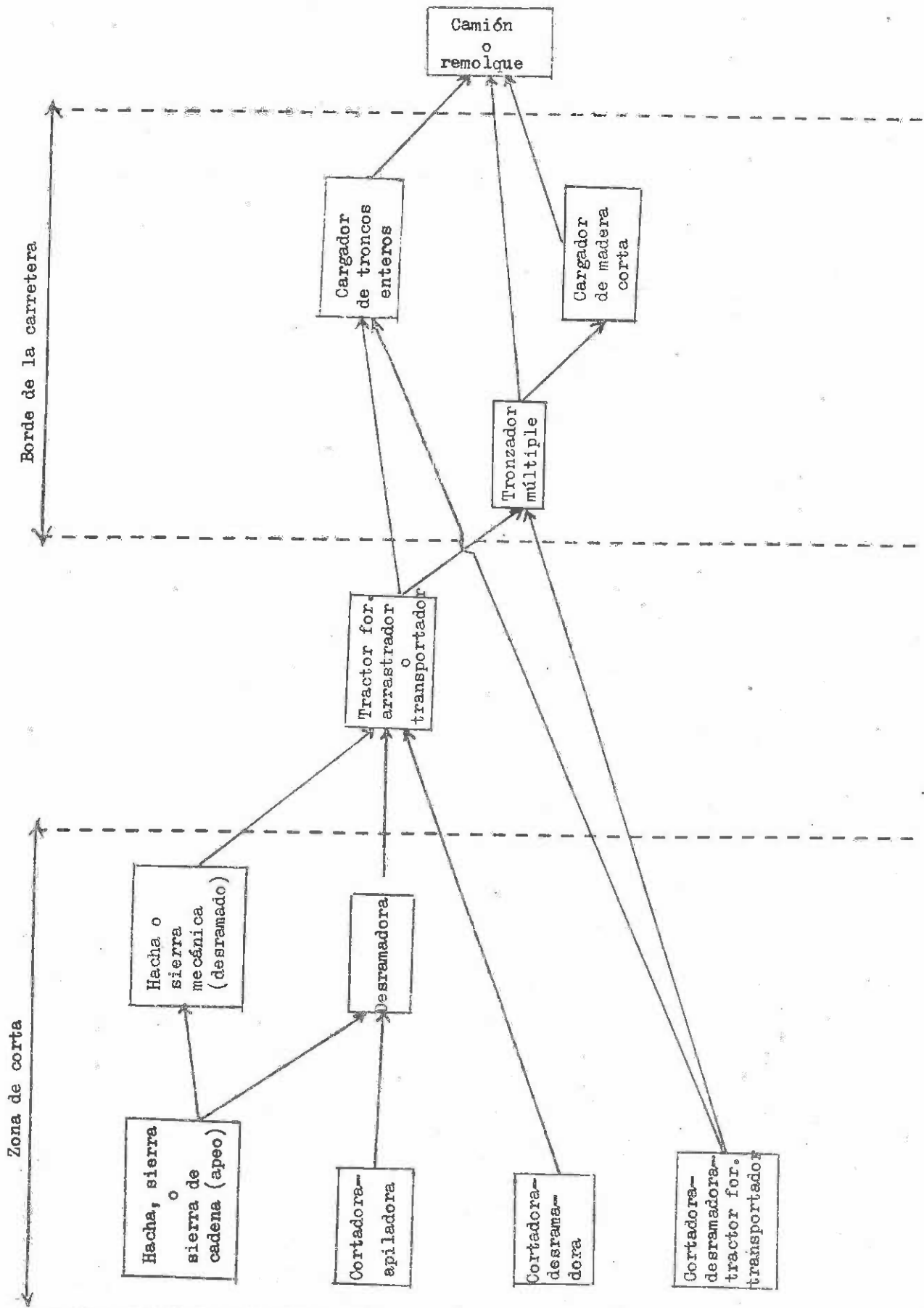


Figura 7 - Diagrama de operaciones para el sistema de aprovechamiento de troncos enteros.

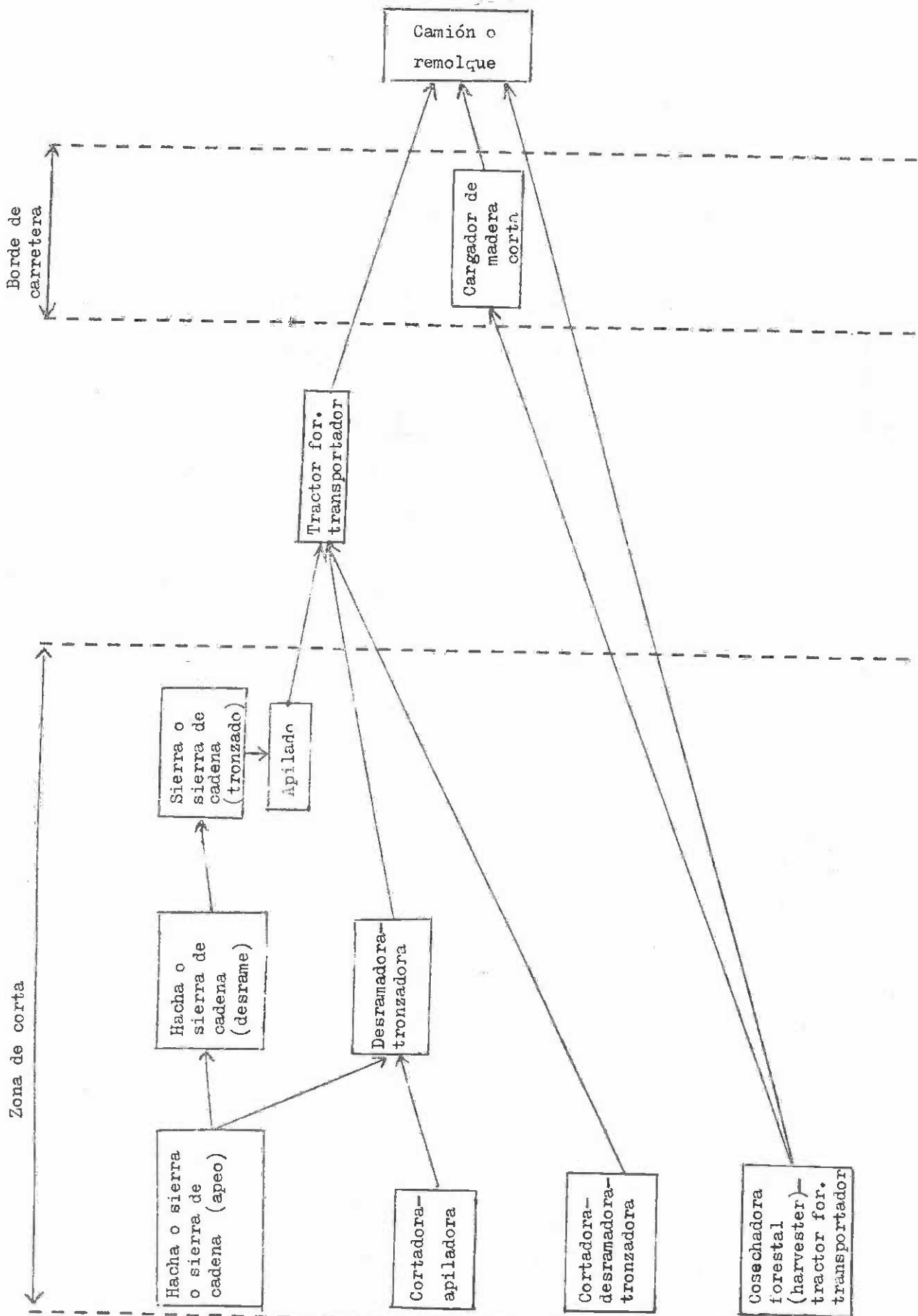


Figura 8 - Diagrama de operaciones para el sistema de aprovechamiento de madera corta.

En algunos bosques tropicales se utilizan todavía para el apeo el hacha y la sierra de tronzar, debido a que los árboles son demasiado grandes para las sierras de cadena de fácil transporte, o a que los obreros no han sido capacitados para su utilización o a causa del mal servicio de reparaciones de las sierras en zonas de explotación aisladas. Se necesitan dos días y medio para apear con hacha un árbol de 150 cm de diámetro, mientras que sólo se precisan 3 horas y media cuando se usa una sierra tronzadora de 9 pies (275 cm). El hacha se utiliza todavía en algunas operaciones para el "tronzado", incluso en el caso de árboles muy grandes.

Las principales ventajas del sistema en su forma más antigua son su simplicidad y su baja exigencia de capital. Su principal desventaja es la gran cantidad de trabajo manual que se necesita para producir madera corta. En su forma más moderna - producción con cosechadoras forestales (harvesters) de madera corta - es extensivo en cuanto a empleo de mano de obra, pero exige grandes desembolsos de capital.

11. ALGUNOS FACTORES PARA EL AJUSTE DEL TIEMPO DE TRABAJO

11.1 Trabajadores manuales

Cuando los trabajadores forestales llevan a cabo un trabajo físico pesado o trabajan en terreno forestal, puede ser necesario hacer ciertos ajustes del tiempo de trabajo, generalmente para compensar las diferencias entre las condiciones de que se trate y las que corresponden a la región en que se obtuvieron los datos básicos. Esto es especialmente válido para los países tropicales, pero a todos los países pueden aplicarse algunos ajustes. Estos ajustes, realizados sobre los tiempos básicos de productividad por m³, que se presentan en los cuadros de apeo, desrame, tronzado y apilado, se refieren al tiempo general de descanso; a la pendiente, el sotobosque y la profundidad de la nieve; temperatura y humedad; altitud, peso corporal y estado sanitario general, y nivel de nutrición de la región.

A continuación, se da la magnitud de los ajustes de tiempo recomendados:

- a) general: + 10% del tiempo básico productivo para incluir el tiempo normal de descanso;
- b) pendiente, escabrosidad del terreno, sotobosque y nieve: + 10% del tiempo básico productivo + 2% de este mismo tiempo básico productivo para cada aumento de 0,5 en el coeficiente de movilidad, que puede definirse como la relación entre el tiempo necesario cuando se aplica el mismo esfuerzo físico, para andar alrededor de un cuadrado representativo de 25 m de lado en la zona de explotación y el que se necesita para andar 200 m sobre una carretera horizontal (20);
- c) altitud: + 10% para cada 1 000 m de incremento de altitud por encima de los 1 000 m;
- d) peso corporal: (cuando el peso corporal medio es inferior a 70 kg): factor igual a
$$\left(+ \frac{70}{\text{peso corporal medio en kg}} - 1 \right);$$
- e) estado sanitario general y nutrición en la región: factor de estimación basado en la observación y el estudio;
- f) temperatura ambiente y humedad relativa: porcentajes de acuerdo con el Cuadro 12 y aplicados al tiempo básico productivo por unidad de producción.

Al aplicar el porcentaje de ajuste de tiempo, debe tenerse en cuenta que un ajuste de tiempo por ejemplo de + 50% , reduce la producción por unidad de tiempo solamente en un 33%.

CUADRO 12

ASIGNACIONES PORCENTUALES DE AJUSTE DE TIEMPO PARA COMPENSAR
LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y LA HUMEDAD RELATIVA (1)

Temperatura media de la jornada de trabajo en °C	< 70%	Humedad relativa		
		70%	80%	90%
+ 35°	+ 50%	+ 100%	+ 200%	+ 300%
+ 34°	+ 30%	+ 70%	+ 120%	+ 200%
+ 33°	+ 20%	+ 45%	+ 75%	+ 125%
+ 32°	+ 15%	+ 30%	+ 50%	+ 75%
+ 31°	+ 10%	+ 20%	+ 30%	+ 50%
+ 30°	+ 8%	+ 10%	+ 20%	+ 30%
+ 20°	+ 6%	+ 8%	+ 10%	+ 15%
0°	+ 2%	Descartar la humedad relativa		
- 10°	0%			
- 20°	- 2%			
- 30°	- 3%			
- 40°	- 5%			

Nota (1) interpolar para valores intermedios.

11.2 Máquinas de explotación y operarios que trabajan en el terreno forestal

Las máquinas de explotación maderera trabajan mejor en terreno llano y uniforme y libre de sotobosque y nieve, obteniéndose la máxima producción con operarios plenamente eficientes y motivados que trabajan en una masa forestal densa, libre de árboles tirados por el viento y de árboles no comerciales. Cuando no se dan estas condiciones óptimas, deben hacerse algunos ajustes compensadores, ya sea de tiempos o de niveles de producción.

11.2.1 Terreno

Es difícil aislar el efecto, sobre el movimiento y producción de las máquinas de cada uno de los factores del terreno: suelo (su resistencia a la carga y sus cualidades de adherencia), pendiente, escabrosidad, sotobosque y nieve. Por ello es difícil asignar a estos efectos un valor numérico de ajuste a aplicar a la productividad medida en condiciones óptimas. Hay, por ejemplo, inclinaciones límite de pendiente, tanto de subida como de bajada por encima de las cuales no puede moverse o funcionar una máquina; lo mismo es válido para el suelo, la capacidad de resistencia a la carga, la escabrosidad del terreno y la profundidad de la nieve. Los límites difieren entre máquinas.

El hombre se ve afectado por las mismas condiciones adversas del terreno, cuando se traslada y cuando trabaja sobre el suelo forestal. El efecto se ha medido y expresado mediante el coeficiente de movilidad definido en la Sección 11.1. Se sugiere que se utilice el mismo sistema para determinar el efecto sobre las máquinas de explotación forestal, dentro de los límites de su capacidad para vencer las condiciones del terreno y que la magnitud del efecto se exprese en forma de porcentajes de ajuste sobre el tiempo básico de producción

por unidad producida, es decir por árbol o por m³. En este contexto, puede tomarse como tiempo básico productivo aquel que utiliza un operario plenamente eficiente que trabaja en condiciones óptimas. En el Cuadro 13 se dan los porcentajes que se sugieren para el ajuste de tiempos.

No todos los tipos de máquinas de explotación forestal se ven afectados en la misma medida por los factores del terreno. Aunque las cortadoras-apiladoras (feller-bunchers), las cortadoras-autocargadoras (feller-forwarders) y otras máquinas semejantes, se ven todas afectadas en cierto grado por tales factores, las procesadoras (desramadoras-tronzadoras) no suelen estar afectadas por ejemplo, por el sotobosque y en proporción muy inferior por algunos de los otros factores. El sotobosque puede reducir la producción de la cortadora-apiladora (feller-buncher) en una proporción del orden del 10 al 15 por ciento por obstruir la visión del operario del sitio inmediato de trabajo.

CUADRO 13

PORCENTAJES COMPUESTOS PARA EL AJUSTE DE TIEMPO A FIN DE COMPENSAR LAS CONDICIONES ADVERSAS DEL TERRENO: SUELO, PENDIENTE, ESCABROSIDAD DEL TERRENO, SOTOBOSQUE, ARBOLES DERRIBADOS POR EL VIENTO Y NIEVE
(A APLICAR AL TIEMPO BASICO DE PRODUCCION)

<u>Coefficiente de movilidad</u>	<u>Porcentaje de ajuste de tiempo (2)</u>
1,0 (1)	0%
1,1 - 1,5	+ 10%
1,6 - 2,0	+ 25%
2,1 - 2,5	+ 45%
2,6 - 3,0	+ 70%
Más de 3,0	+100%

Notas: (1) terreno suave y llano, sin sotobosque, sin árboles derribados por el viento y sin nieve.

(2) interpolar cuando sea necesario.

11.2.2 Factores climáticos

Los factores climáticos, en lo que se refiere a las máquinas de explotación maderera, pueden normalmente despreciarse en zonas templadas. El operario está protegido de las precipitaciones; la cabina está calentada en invierno y sus ventanas pueden abrirse en verano, a menos que tenga aire acondicionado.

En lo referente a las zonas tropicales, se sugiere aplicar un ajuste general de tiempo de + 10%, y si la cabina no cuenta con aire acondicionado, que se aplique también otro factor adicional de ajuste igual al 50% del valor correspondiente del Cuadro 12.

11.2.3 Curva de aprendizaje

Los operarios de las máquinas de explotación maderera que trabajan sobre el terreno forestal y a los que se exige manipular un brazo articulado equipado con un cabezal para la corta o una grapa, necesitan un período de tiempo para llegar a hacerse plenamente eficientes. Algunos operarios aprenden mucho más deprisa que otros; algunos ni siquiera poseen las habilidades manuales para llegar a ser plenamente eficientes. El período de aprendizaje depende de la destreza natural del operario y de su experiencia previa mecánica y práctica en explotación maderera. Un operario sin experiencia previa en el bosque está en una situación adicional de inferioridad.

La mayoría de los operarios aprenden a manejar las máquinas con bastante rapidez; sus principales problemas de aprendizaje se refieren a la manipulación del brazo accionado y controlado hidráulicamente para que realice la función para la que fue proyectada la máquina. La experiencia ha demostrado que el aumento en eficiencia, medido en términos de producción por unidad de tiempo, sigue la curva típica del aprendizaje, con fuerte pendiente en la parte inferior y tendiendo a aplanarse en la parte superior y que pueden necesitarse hasta 6 meses para que un individuo alcance plena eficiencia.

Los porcentajes de ajuste que se dan en el Cuadro 14, aplicados al tiempo por unidad de producción se recomienda utilizarlos para todas las máquinas de explotación maderera que trabajan sobre el terreno forestal, fuera del borde de la carretera y equipadas con brazo articulado y cabezal de corta o grapa. El ajuste se aplicaría por lo tanto a las cortadoras-apiladoras (feller-bunchers), cortadoras-desramadoras (feller-delimbers), cortadoras-autocargadoras (feller-forwarders), tractores de arrastre (skidders) con travesaño de garras (bunk-jaw), a las cosechadoras forestales (harvesters) y procesadoras (processors), pero no a los tractores forestales de arrastre (skidders) de tipo convencional con trinca-dores (chokers) o con garra (grapple).

CUADRO 14

<u>Periodo de trabajo</u>	<u>Curva de aprendizaje Porcentajes de ajuste de tiempo (1)</u>
Primer mes	+ 200%
Segundo mes	+ 100%
Tercer "	+ 50%
Cuarto "	+ 25%
Quinto "	+ 10%
Sexto "	+ 5%
Séptimo "	Ninguno

Nota: (1) aplicados al tiempo básico de producción por árbol o por m³.

11.2.4 Ajuste básico

El operario de una máquina que realiza un trabajo repetido, como el apeo de árboles o la alimentación de una procesadora, no puede trabajar con la máxima eficacia durante un turno completo. Normalmente toma un cierto número de periodos cortos para descansar, fumar, comprobar la máquina y para asuntos personales, tiempos que están incluidos en las horas productivas de la máquina. Por esta razón debe aplicarse un porcentaje de ajuste del 10 por ciento al tiempo básico productivo por unidad de producción, a fin de compensar tales pérdidas de tiempo.

11.2.5 Destreza y motivación del operario

La motivación del operario es un factor importante en la producción de las máquinas de explotación forestal. Los trabajadores forestales manuales del este de Canadá, estimulados por las retribuciones a destajo, tienen una productividad un 40 por ciento superior a la de los trabajadores a jornal; se espera que pruebas análogas en cualquier otro lugar muestren el mismo resultado. En el caso de los operarios de máquinas, el porcentaje es normalmente muy inferior ya que la máquina tiende a "marcar el ritmo" al hombre. Ello depende también, en cierta medida, del tipo de máquina y de las características automáticas que lleve incorporadas.

Se han acumulado datos muy detallados respecto a tiempos y producciones de máquinas de explotación maderera, utilizados para calcular su producción, mediante la determinación del tiempo de cada función de una operación repetida, como por ejemplo, la descomposición de la operación del brazo articulado de una cortadora-apiladora (feller-buncher) en el giro en vacío, colocación en posición, corta, giro con carga y descenso. La experiencia ha demostrado que tal procedimiento de cálculo de tiempos estimula al operario a hacer con mayor rapidez los movimientos del brazo articulado. Sin embargo, en la práctica, la mayoría de los operarios de máquinas trabajan sobre la base del tiempo sin una supervisión estrecha u otras influencias para motivarle.

Algunos operarios no poseen la habilidad y destreza natural necesarias para llegar a alcanzar la capacidad productiva óptima. Si se les ha de emplear sobre la base de períodos largos, deben hacerse algunas asignaciones de tiempos para compensar la producción. Como es difícil separar los efectos del estímulo de los de la habilidad y destreza, se sugiere combinarlos en un solo porcentaje de ajuste aplicado al tiempo básico productivo por árbol o por m³. El ajuste debe ser considerado junto con el de la curva de aprendizaje (ver 11.2.3) y aplicarlo únicamente después del cuarto mes de trabajo. Se sugiere utilizar un porcentaje de ajuste de + 25%. En algunos casos debe ser mayor.

Como ejemplo del efecto de motivación, los tractores forestales arrastradores de garra de Norteamérica, manejados por sus propios dueños y trabajando sobre la base de destajo extrajeron más del doble de madera en forma de troncos enteros o de árboles completos, que los operarios que trabajan sobre la base de retribución por tiempo.

12. ALGUNAS FORMULAS UTILIZADAS EN EL CALCULO DE COSTES

En el manual se utilizan diversas fórmulas para obtener los datos sobre costes (i) de las máquinas móviles que trabajan en terreno forestal, ya sea en la zona de corta o de borde de carretera y (ii) de sistemas de transporte secundario, especialmente los que utilizan máquinas en lugar de mano de obra o animales. Aunque puede ser que no den valores exactos en todas las condiciones, se considera que son suficientemente aproximados para su finalidad.

12.1 Coste de funcionamiento de las máquinas: fórmula abreviada

La fórmula incluye asignaciones para depreciación, interés y seguros (que a veces se pasan por alto) y cargas sociales para la mano de obra encargada de las reparaciones, pero excluye la mano de obra que las maneja y las cargas sociales. La fórmula abreviada es la siguiente:

$$C = \frac{2,4 \times A}{LE}$$

donde C = costo en dólares EE.UU. por hora productiva de máquina (HPM), excluyendo el operario;

A = coste de adquisición de la máquina en dólares EE.UU.

LE = duración esperada en HPM de acuerdo con lo incluido en la Sección 3.3.3

En la Sección 3.3.4 se pueden encontrar más comentarios referentes a la fórmula.

12.2 Fórmulas del transporte primario

Estas fórmulas pueden utilizarse en todos los sistemas de transporte terrestre, es decir, entre la zona de corta y el borde de la carretera. En teoría, pueden usarse en sistemas que incluyen transporte manual y animal, pero se aplican con más facilidad a los sistemas mecánicos. Algunos de los datos utilizados en las fórmulas se utilizan también

en la fórmula del espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento; la carga útil en m³, la velocidad de recorrido, el costo de funcionamiento de las máquinas (incluyendo el operario).

Las fórmulas de producción y de costo pueden aplicarse por separado:

$$\text{a) producción: } MTP = \frac{60 \times L}{TT + \frac{2 \text{ ASD}}{ATS}} \quad \text{b) costo: } MTC = \frac{C + c(1 + f)}{MTP}$$

o pueden combinarse y aplicarse en una sola fórmula:

$$MTC = \frac{\left(TT + \frac{2 \text{ ASD}}{ATS}\right) C + c(1 + f)}{60 \times L}$$

donde MTP = producción en m³/HPM

MTC = coste de transporte secundario en dólares EE.UU./m³

TT = tiempo en la estación terminal (carga, descarga, retrasos) en minutos por carga

ASD = distancia media de madereo de arrastre o de madereo de suspensión en m, de acuerdo con lo determinado en el Apéndice D o con lo medido sobre el terreno

ATS = velocidad media de recorrido en m/minuto

f = coste de las cargas sociales expresado como porcentaje de los salarios directos

L = carga media útil en m³

C = coste de la máquina en dólares EE.UU. por HPM (excluyendo el operario)

c = salarios directos del operario de la máquina en dólares EE.UU./HPM

12.3 Coste de funcionamiento de camión y remolque: fórmula abreviada

El coste de funcionamiento de los vehículos de transporte, por las razones ya mencionadas anteriormente en el manual, debe expresarse como un coste por hora de parada y un coste por hora de recorrido, y aplicarse en esta forma cuando se calcula o analiza el coste de una operación de transporte. En el Capítulo 3 se da un formulario detallado (Formulario A) discutiéndose con mayor detenimiento en el Apéndice H. El siguiente método abreviado puede utilizarse por los que necesitan un método rápido para obtener valores aproximados:

COSTE POR HORA

<u>Camión o camión-remolque</u>	<u>Remolque</u>
i) $CSH = \frac{C1}{15\ 000} + c(1 + f)$	$CSH = \frac{C2}{20\ 000}$
ii) $CTH = CSH + \frac{2.4 \times C1}{10\ 000}$	$CTH = \frac{2.4 \times C2}{15\ 000}$

donde CSH = coste en dólares EE.UU. por hora de parada de camión, camión-tractor o remolque

CTH = coste en \$EE.UU. por hora de recorrido de camión, camión-remolque o remolque

- C1 = coste de adquisición del camión o del camión-tractor
C2 = coste de adquisición del remolque
c = salarios directos del operario en dólares EE.UU. por hora de utilización o de turno del vehículo
f = coste de las cargas sociales expresado como porcentaje de los salarios directos.

13. OPERACIONES MANUALES EN LA ZONA DE CORTA

13.1 Apeo manual con sierra

El apeo puede hacerse a mano o con sierra de arco o con sierra de cadena. Para calcular la producción y el coste, debe procederse de la forma siguiente:

- a) determinar o estimar el diámetro normal medio o el volumen medio de los árboles comerciales de la masa (el diámetro normal es el diámetro medido a la altura del pecho que corresponde al volumen del árbol medio de la masa; difiere poco de la media aritmética de los diámetros);
b) determinar la producción del apeo en m³ por dfa (PDF) con la fórmula:

$$PDF = \frac{SH}{FT (1 + \sum TA)}$$

donde PDF = producción del apeo por hombre y dfa en m³

SH = jornada de trabajo en horas u horas del turno

FT = tiempo de apeo en horas-hombre por m³ tomado del Cuadro 15

TA = ajuste de tiempo expresado en forma decimal, tal como se estableció en la Sección 11.1.

- c) determinar el coste de apeo por m³ mediante la fórmula:

$$CF = \frac{c (1 + f) + CS}{PDF}$$

donde CF = coste de apeo en \$EE.UU. por m³

f = coste de las cargas sociales como porcentaje de los salarios directos

c = salarios directos por dfa en \$EE.UU.

CS = coste en \$EE.UU. de la propiedad y funcionamiento de una sierra, por dfa (sólo se aplica a las sierras de cadena)

PDF = producción del apeo por hombre y dfa en m³



Preparación del sitio de apeo mediante limpieza del sotobosque con machete.



Apeo de árboles con sierra de cadena.

CUADRO 15
TIEMPO DE APEO A MANO (1) (2)

Diámetro normal medio de la masa en cm	Volumen aproximado del árbol medio en m ³	Horas-hombre por m ³ (3)	
		Sierra de arco	Sierra de cadena
15	0,083	0,29	0,15
20	0,205	0,20	0,10
25	0,375	0,17	0,08
30	0,60	0,16	0,07
35	0,87	0,16	0,07
40	1,17	0,16	0,06

- Notas: (1) interpolar cuando sea necesario
(2) basado en un estudio de obreros a destajo
(3) aplicar los ajustes de tiempo apropiados (véase la Sección 11.1)

13.2 Desrame manual con hacha o con sierra de cadena

El desrame manual en la zona de corta puede hacerse con hacha o con sierra de cadena. El tiempo necesario para desramar un árbol depende del tamaño de éste, de la cantidad de ramas que tenga el tronco y de la herramienta que se utilice. Para fines prácticos se utilizan en este manual tres clases de ramaje:

- Clase 1: más del 50% de la altura total del árbol está libre de ramas a suprimir en la operación de desramado;
Clase 2: entre el 25% y el 50% de la altura total del árbol está libre de ramas;
Clase 3: menos del 25% de la altura total del árbol está libre de ramas.

Para calcular la producción y el coste del desrame manual en la zona de corta, debe procederse en la forma siguiente:

- determinar o estimar el diámetro normal medio o el volumen medio de los árboles comerciales de la masa;
- estimar mediante muestreo u observación la clase media de ramaje de la masa;
- determinar la producción del desrame en m³ por hombre y día (PDD) mediante la fórmula:

$$PDD = \frac{SH}{DT (1 + \frac{1}{2} TA)}$$

donde PDD = producción del desrame por hombre y día en m³

SH = horas del turno de trabajo y jornada de trabajo en horas

DT = tiempo de desrame en horas hombre por m³, tomado del Cuadro 16 (a) o 16 (b)

TA = ajustes de tiempo, expresados en forma decimal, de acuerdo con lo establecido en la Sección 11.1

d) determinar el coste de desrame por m³, con la fórmula:

$$CD = \frac{c (1 + f) + CS}{PDD}$$

donde CD = coste de desrame en \$EE.UU. por m³

c = salarios directos por día en \$EE.UU.

f = coste de las cargas sociales expresado en porcentaje de los salarios directos

CS = coste de funcionamiento de la sierra en \$EE.UU. por día

PDD = producción del desrame por hombre y día.

CUADRO 16 (a)

DESAME CON HACHA EN LA ZONA DE CORTA (1) (2)

Diámetro normal medio de la masa en cm	Volumen aproximado del árbol medio en m ³	Horas hombre por m ³ (3) Clase en cuanto a contenido de ramas		
		1	2	3
15	0,083	0,26	0,33	0,51
20	0,205	0,25	0,30	0,39
25	0,375	0,24	0,27	0,33
30	0,60	0,23	0,25	0,30
35	0,87	0,22	0,25	0,28
40	1,17	0,22	0,23	0,26

Notas: (1) interpolar cuando sea necesario

(2) basado en un estudio de trabajadores a destajo

(3) aplicar los ajustes de tiempos apropiados (véase la Sección 11.1)

CUADRO 16 (b)

DESAME CON SIERRA DE CADENA EN LA ZONA DE CORTA (1) (2)

Diámetro normal medio de la masa en cm	Volumen aproximado del árbol medio en m ³	Horas hombre por m ³ (3) Clase de ramaje		
		1	2	3
15	0,083	0,21	0,29	0,43
20	0,205	0,20	0,24	0,32
25	0,375	0,19	0,21	0,26
30	0,60	0,18	0,20	0,24
35	0,87	0,17	0,19	0,22
40	1,17	0,16	0,18	0,21

Notas: (1) interpolar cuando sea necesario

(2) basado en un estudio de trabajadores a destajo

(3) aplicar los ajustes de tiempos apropiados (véase la Sección 11.1)

13.3 Tronzado manual con sierra

El tronzado manual en la zona de corta puede hacerse a mano, con sierra de arco o con sierra de cadena. Para calcular la producción y su coste, debe procederse en la forma siguiente:

- a) determinar o estimar el diámetro normal medio o el volumen medio de los árboles comerciales de la masa;
- b) determinar la producción del tronzado en m^3 por hombre y día (PDB), con la fórmula:

$$PDB = \frac{SH}{BT (1 + \sum TA)}$$

donde PDB = producción del tronzado por hombre y día en m^3 ;

SH = jornada de trabajo en horas u horas del turno;

BT = tiempo del tronzado en horas hombre por m^3 , tomado del Cuadro 17 (a) o 17 (b);

TA = ajustes de tiempo, expresados en forma decimal, tal como se establece en la Sección 11.1.

- c) determinar el coste de tronzado por m^3 , con la fórmula

$$CB = \frac{c (1 + f) + CS}{PDB}$$

donde CB = coste del tronzado en \$EE.UU. por m^3 ;

c = salarios directos por día en \$EE.UU.

f = coste de las cargas sociales, en porcentaje de los salarios directos

CS = coste en \$EE.UU. de la propiedad y funcionamiento de la sierra, por día

PDB = producción del tronzado por hombre día.

CUADRO 17 (a)

TRONZADO CON SIERRA DE ARCO EN LA ZONA DE CORTA (1) (2)

Diámetro normal medio de la masa en cm	Volumen aproximado del árbol medio en m ³	Horas hombre por m ³ (3) longitud de la troza en m		
		<u>2,44 m</u>	<u>3 m</u>	<u>5 m</u>
15	0,083	0,94	0,82	0,58
20	0,205	0,80	0,70	0,47
25	0,375	0,77	0,67	0,42
30	0,60	0,75	0,65	0,41

- Notas: (1) interpolar cuando sea necesario
 (2) basado en un estudio de trabajadores a destajo
 (3) aplicar los ajustes de tiempo apropiados (véase la Sección 11.1)

CUADRO 17 (b)

TRONZADO CON SIERRA DE CADENA EN LA ZONA DE CORTA (1)(2)

Diámetro normal medio de la masa en cm	Volumen aproximado del árbol medio en m ³	Horas hombre por m ³ (3) longitud de la troza en m		
		<u>2,44 m</u>	<u>3 m</u>	<u>5 m</u>
15	0,083	0,60	0,54	0,41
20	0,205	0,47	0,43	0,33
25	0,375	0,37	0,34	0,26
30	0,60	0,31	0,29	0,21
35	0,87	0,28	0,25	0,18
40	1,17	0,26	0,23	0,16

- Notas: (1) interpolar cuando sea necesario
 (2) basado en un estudio de trabajadores a destajo
 (3) aplicar los ajustes de tiempo apropiados (véase la Sección 11.1)

Si se tronza madera de troncos enteros, manualmente a borde de carretera, el Cuadro 17 (a) dará unos tiempos por m³ aceptablemente aproximados, cuando se utiliza sierra de arco. Si se utiliza sierra de cadena, el Cuadro 17 (b) dará también resultados bastante aproximados si los árboles se tronzan uno a uno. Si, por el contrario, se colocan varios árboles, unos junto a otros o en una pila, y se tronzan al mismo tiempo, no servirá el mismo cuadro. Las condiciones de trabajo serán superiores a las de la zona de corta, pero se producirán más retrasos debido a la interferencia del tractor forestal arrastrador o a la falta de madera.

Quando se trabaja a borde de carretera, no se deben aplicar ajustes de tiempo por pendiente, por sotobosque y nieve, de acuerdo con lo expuesto en la Sección 11.1.

13.4 Apilado de madera corta

Si la madera corta se hace a mano en la zona del apeo para trasladarla después cargada hasta el borde de la carretera, debe apilarse o agruparse de tal modo que se pueda recoger con facilidad mediante el tractor forestal arrastrador "forwarders". Para calcular la producción y el coste, debe procederse en la forma siguiente:

- a) determinar la producción del apilado en m³ por hombre y día mediante la fórmula:

$$PDP = \frac{SH}{0,75 BT (1 - TA)}$$

donde PDP = producción del apilado en m³ por hombre y día;

SH = horas de turno o jornada de trabajo en horas;

BT = tiempo de tronzado en horas hombre por m³, tomado del Cuadro 17 (b);

TA = ajustes de tiempo, expresados en forma decimal, de acuerdo con lo establecido en la Sección 11.1.

- b) determinar el coste del apilado por m³ con la fórmula:

$$CP = \frac{c (1 + f)}{PDP}$$

donde CP = coste del apilado en \$EE.UU. por m³;

c = salarios directos por día en \$EE.UU.;

f = coste de las cargas sociales, expresado como porcentaje de los salarios directos;

PDP = producción del apilado por hombre y día.

13.5 Operaciones manuales compuestas

Quando en la zona de corta se realizan varias operaciones manuales de apeo, desrame, tronzado y apilado, como parte de un sistema de explotación forestal de troncos enteros o de madera corta, los datos sobre producción y costes pueden obtenerse combinando las tablas correspondientes de las Secciones 13.1 a 13.4.

- a) Por ejemplo, cuál sería la productividad y el coste de la producción a mano de troncos enteros en la zona de corta, utilizando la sierra mecánica tanto para el apeo como para el desrame, dados los datos o condiciones siguientes:

i) masa forestal cuyos árboles tienen un diámetro normal medio de 20 cm y con un ramaje medio de Clase 2;

ii) coeficiente de movilidad (ver Sección 11.1) de 2,3;

- iii) altitud de 500 m ;
 - iv) temperatura media durante la jornada de trabajo de 25°C y humedad relativa del 80%;
 - v) peso medio corporal del obrero, 66 kg;
 - vi) jornada de trabajo de 8 horas, en la zona de trabajo;
 - vii) salario medio diario de 10,00 \$EE.UU. más un 40% de cargas sociales;
 - viii) coste de la sierra de cadena de 5,00 \$EE.UU. por día.
- b) La producción por día puede calcularse combinando las fórmulas de producción de 13.1 y 13.2.

$$PDFD = \frac{SH}{(FT + DT) (1 + \frac{1}{2} TA)}$$

donde PDFD = producción diaria de apeo y desrame en m³;

SH = jornada de trabajo o turno en horas;

FT = tiempo de apeo en horas-hombre por m³;

DT = tiempo de desrame en horas hombre por m³;

TA = ajustes de tiempo de acuerdo con lo establecido en la Sección 11.1

de modo que $PDFD = \frac{8}{(0,10 + 0,24)(1 + 0,10 + 0,16 + 0,04 + 0,15)} = 16,2 \text{ m}^3 \text{ por día}$

- c) El coste de la operación puede determinarse con la fórmula siguiente:

$$CFD = \frac{c (1 + f) + CS}{PDFD}$$

donde CFD = coste por m³ de apeo y desrame;

c = salarios directos por día en \$EE.UU.;

f = coste de las cargas sociales, expresado como porcentaje de los salarios directos;

CS = coste de funcionamiento de la sierra de cadena en \$EE.UU. por día;

PDFD = producción diaria de apeo y desrame.

de modo que $CFD = \frac{(10 \times 1,40) + 5}{16,2} = 1,18 \text{ $EE.UU. por m}^3$

14. CORTADORAS APILADORAS (FELLER-BUNCHERS)

Las cortadoras-apiladoras (feller-bunchers) son máquinas que funcionan con un solo hombre, con ruedas o montadas sobre orugas, diseñadas para cortar y apilar árboles completos, listos para arrastrar o cargar hasta el borde de la carretera (sistema de árboles completos) o para ser elaborados en forma de troncos enteros (sistema de troncos enteros) o de madera corta (sistema de madera corta) en la zona del apeo. Hay esencialmente dos tipos generales:

- i) las que están equipadas con un brazo articulado que lleva un cabezal para cortar, equipado con una sierra de cadena o con una cizalla, y diseñadas para cortar los árboles, levantarlos por encima del terreno, girarlos hasta la dirección de caída que se desee y apilarlos con los extremos de manera uniforme;

- ii) las máquinas de base corta y con ruedas que tienen brazos sujetadores cortos y compactos con cizalla, en vez de un brazo articulado, que aseguran, al moverse y girar toda la máquina, el cumplimiento de la función de apilado.

14.1 Cortadoras-apiladoras de brazo articulado

14.1.1 Tipos corrientes

Algunas cortadoras-apiladoras de brazo articulado están montadas sobre orugas; otras están montadas sobre un chasis articulado con doble tracción que lleva el motor en la parte trasera. Algunos brazos, junto con la cabina del operario, están montados sobre una plataforma giratoria o sobre un anillo giratorio; otros están montados sobre un pedestal. Algunas plataformas giratorias están equipadas con dispositivos hidráulicos de nivelación para proporcionar una plataforma de trabajo nivelada cuando funciona en laderas inclinadas, tales como el Drott montado sobre orugas (hasta el 15%) y la Osa montada sobre ruedas (hasta el 30%).

Algunos cabezales de corta están equipados con sierra de cadena de transmisión hidráulica en vez de cizalla, o con hojas de cizalla cóncavas para dirigir las fuerzas de corte hacia el tocón y hacia abajo, a fin de reducir la altura del tocón y el astillado de la parte más gruesa del tronco. El cabezal de corta de la mayoría de las máquinas está diseñado para cortar diámetros de árboles hasta de 45-50 cm y está equipado con brazos o dispositivos que sujetan varios árboles de tal modo que se pueden cortar dos, o en algunos casos tres o más, árboles pequeños, manteniéndolos en el cabezal antes de girarlos hasta la pila.

La anchura de la faja que pueden cortar las cortadoras apiladoras equipadas con brazo articulado, varía entre 12 y 15 m, dependiendo de la estabilidad de la máquina. Esto, junto con el alcance mínimo del brazo, el tamaño medio de los árboles comerciales y la densidad de la masa, determina el volumen de madera que puede acumularse por pila. En cada posición abarca unos 50 m², es decir 5 árboles en una masa que contenga 1 000 árboles por ha. El volumen de la pila en bosques templados de madera para pulpa varía normalmente entre 1,25 m³ y 2,5 m³, pero puede ser menor o mayor.

Ambos tipos de cortadoras-apiladoras (feller-bunchers) de brazo articulado tienen ventajas e inconvenientes. La estabilidad es mejor en la mayoría de las que van montadas sobre orugas que en las que van sobre ruedas, debido a la posición mucho más baja del centro de gravedad, pero la altura libre sobre el terreno es bastante menor. Las máquinas de ruedas pueden moverse con más facilidad sobre terreno escabroso, pero ambas tienen serias limitaciones en pendientes inclinadas.

Las máquinas de ruedas son más sencillas en cuanto a servicio y reparaciones y tienen por lo tanto una mejor utilización; también van y vienen más deprisa a las zonas de trabajo y al garaje. Ambos tipos pueden trabajar en la oscuridad contando con luces satisfactorias en la máquina. No trabajan bien en pendientes, ni de bajada ni de subida, superiores al 30%. Los cabezales de corta equipados con sierras de cadena son más ligeros que los equipados con cizallas, permitiendo de este modo un mayor alcance del brazo sin que ello afecte a la estabilidad de la máquina.

La producción con las cortadoras apiladoras (feller-bunchers) de brazo articulado no difiere sustancialmente para las distintas máquinas cuando funcionan con operarios plenamente eficientes y motivados, en terrenos suaves y llanos, libres de sotobosque. Si se considera en pequeñas pruebas, los niveles básicos de producción son del orden de los 0,35 minutos por árbol para las máquinas europeas y norteamericanas, es decir unos 175 árboles por hora productiva de máquina. Sin embargo, considerando un período de semanas o meses, los niveles de producción son normalmente mucho menores debido a las condiciones que se encuentran en operaciones normales. En la Sección 11.2 se discuten estos puntos para máquinas que trabajan en terreno forestal y se sugieren los porcentajes de ajuste de compensación que deben aplicarse al tiempo básico por árbol o por m³.

Además de las condiciones mencionadas en 11.2 hay otras que influyen en la producción de la cortadora-apiladora (feller-buncher), expresada en tiempo por árbol o por m³ y que son las siguientes:

- a) el número medio de árboles comerciales por ha: aplicar los siguientes porcentajes de ajuste, interpolando si es necesario al tiempo básico por árbol o por m³:

<u>Arboles por ha</u>	<u>Porcentaje de ajuste</u>
1 500 +	Ninguno
1 500 - 1 201	+ 10%
1 200 - 901	+ 20%
900 - 601	+ 30%
600 - 301	+ 40%

- b) el diámetro de los árboles influye en la producción en un nivel ligero e insignificante, no exigiendo ajuste ninguno;
- c) la relación entre los árboles no comerciales que han de cortarse y apartarse y los árboles comerciales que se cortan y apilan también influye en la producción; el ajuste de tiempo es la razón directa de los dos valores y se aplica al tiempo por árbol o por m³.

La producción de corta y apilado en m³/HPM puede determinarse con la fórmula siguiente:

$$PFBM = \frac{60 \times VT}{0,35 (1 + \sum TA)}$$

donde PFBM = producción de la cortadora-apiladora (feller-buncher) en m³/HPM;

VT = volumen medio de los árboles en m³;

0,35 = tiempo básico productivo para una cortadora-apiladora expresado en minutos/árbol;

TA = porcentaje de ajustes de tiempo expresados en forma decimal, tomados de las Secciones anteriores 11.2 y 14.1.1.

El coste de corta y apilado puede determinarse entonces con la fórmula siguiente:

$$FBCM = \frac{C + c (1 + f)}{PFBM}$$

donde FBCM = coste de corta y apilado en \$EE.UU./m³;

C = coste de funcionamiento de la cortadora-apiladora en \$EE.UU./HPM tal como se indica en la Sección 3.3.4;

PFBM = producción de la cortadora-apiladora en m³/HPM;

c = salarios directos del operario en \$EE.UU./HPM

f = coste de las cargas sociales expresado en porcentaje de los salarios directos.

14.1.2 Tipos especiales

Cabe mencionar la cortadora-apiladora (feller-buncher) Koehring. Es una gran máquina articulada de 4 ruedas, con una altura libre sobre el suelo de 85 cm y con doble transmisión hidrostática. Tanto la cabina como el brazo articulado que corta van montados sobre un tablero giratorio en el chasis frontal y el motor en el chasis trasero. Está diseñada para cortar y apilar árboles con un diámetro en el tocón hasta de 76 cm, pero con su cabezal de corta para varios árboles, es capaz de cortar y sostener un árbol tras otro, hasta que las tenazas sujetadoras están llenas, antes de girar y depositarlos en la pila; cada árbol adicional que se corta y mantiene de esta forma exige un tiempo adicional de 9 segundos. Está diseñada para trabajar en pendientes hasta del 40% con ruedas equipadas con cadenas.

14.2 Cortadoras apiladoras de distancia corta entre ejes

Un ejemplo bien conocido de este tipo de cortadora-apiladora (feller-buncher) es la Melroe M-970 Bobcat, fabricada por la Clark Equipment Company de Gwinner, North Dakota, Estados Unidos de América. Es una máquina no articulada de doble transmisión que pesa 5 000 kgs, que tiene una base de ruedas de 115 cm, una altura libre sobre el suelo de 16 cm, una capacidad de elevación y basculación de carga de más de 2 700 kgs, transmisión hidrostática y con velocidades infinitamente variables hacia delante y hacia atrás, lo que permite a la máquina el girar rápidamente en toda su longitud. Sus ruedas pueden equiparse con orugas para proporcionar una mayor adherencia y flotación, permitiéndole funcionar satisfactoriamente en una capa de nieve de unos 60 cm. Sin embargo, es esencialmente una máquina para terreno suave.

Las cizallas de la Bobcat están diseñadas para cortar árboles hasta de 35 cm de diámetro y cizallar y sostener hasta 4 o 5 pequeños árboles antes de dejarlos en la pila. Mientras transporta los árboles cortados, puede hacer sin dificultad pilas completas de carga para el tractor forestal arrastrador. Los ritmos de corta y apilado en una masa de frondosas se han calculado en 3 árboles por minuto (20-25 cm de diámetro en el tocón) y 3 pilas de 20 árboles cada una en un tiempo de 15 minutos. En períodos largos su producción puede llegar a 200 árboles por HPM en una operación de tala rasa. Puede funcionar en pendientes hasta del 20% pero su producción disminuye al aumentar la pendiente.

Sus pequeñas dimensiones, su maniobrabilidad y su capacidad para sostener varios árboles pequeños en su cabezal de corta y para trabajar en pendiente permite emplearlo para hacer aclareos en plantaciones, cuando la escabrosidad del terreno no ofrece problemas para la pequeña altura libre de la máquina sobre el terreno. Ha dado buenos resultados en el aclareo por líneas, extrayendo una hilera sí y otra no, pero debe funcionar satisfactoriamente extrayendo una hilera y aclarando selectivamente dos hileras adyacentes a cada lado, cuando los árboles están espaciados a 2,44 m, siempre que el daño potencial a las raíces no sea un factor negativo.

El coste de adquisición de la Bobcat es del orden del 50 al 60% del correspondiente a las cortadoras-apiladoras (feller-bunchers) de brazo articulado, que son mayores y más pesadas.

La producción, expresada en árboles o en m^3 por HPM y el coste por árbol o por m^3 , pueden estimarse aplicando las fórmulas de la sección inmediatamente anterior, utilizando un tiempo básico productivo de 20 segundos o de 0,33 minutos por árbol. Estas máquinas suelen ser manejadas por su propietario, sobre la base de destajo, situación que proporciona la máxima motivación del operario. Este punto debe considerarse al desarrollar los porcentajes de ajuste apropiados que deben aplicarse en la fórmula de producción.

15. CARGAS ÚTILES DE LOS TRACTORES FORESTALES ARRASTRADORES (SKIDDERS)

15.1 Generalidades

El madereo de arrastre (skidding) es un término que se aplica al transporte de trozas o árboles que se realiza tirando de ellos mientras se apoyan total o parcialmente sobre el terreno. La preparación de las trozas o de los árboles a arrastrar de esta forma puede hacerse manualmente, con hacha o con sierra, o mecánicamente con cortadoras-apiladoras (feller-bunchers), desramadoras (delimbers) y cortadoras-desramadoras (feller-delimbers) en la zona de corta.

El madereo de arrastre puede hacerse con animales o con máquinas. La publicación de la FAO "Aprovechamiento de bosques artificiales en países en desarrollo" (2) incluye el madereo de arrastre con animales, mediante mulos y con bueyes pero no con caballos que hoy en día se utilizan poco en los países templados y que no pueden trabajar convenientemente en climas tropicales por razones fisiológicas. El madereo de arrastre mecánico se trata también en detalle, pero en este manual se trata de él en forma algo diferente.

Los tractores forestales de arrastre (skidders) incluyen dos tipos principales: los de huinche y garra que llevan suspendido el extremo frontal de la carga por detrás de la máquina, y los tractores forestales arrastradores con travesaño de valvas o travesaño de garras, que sostienen el extremo frontal de la carga sobre un travesaño en el chasis trasero. Las del primer tipo son máquinas articuladas con tracción a las cuatro ruedas y las del segundo son normalmente máquinas articuladas de seis ruedas, todas con tracción, con un bogie en tanden bajo el chasis trasero y con orugas sobre las ruedas del bogie.

Ambos tipos de tractores pueden utilizarse teóricamente para el madereo de arrastre de troncos enteros ya sea con los extremos gruesos o con las puntas delgadas hacia delante y de árboles completos con las partes gruesas hacia delante. Sin embargo, este manual da mayor atención al método más corriente de arrastrar la madera con los extremos gruesos hacia delante.

15.2 Fórmula general de la carga útil

La carga útil máxima normal de un tractor arrastrador que trabaja en un suelo forestal normal con terreno llano ya sea con huinche, garra o con travesaño de valvas (o travesaño de garras), puede calcularse de forma aproximada con la fórmula siguiente: $fs.PL = \frac{t}{TW + x \cdot PL} TE - r$

donde PL = carga útil en kg;

fs.PL = resistencia de rozamiento de la carga útil en kg;

t (4) = coeficiente de tracción;

TW (1) = peso de tara del tractor en kg;

fs (3) = coeficiente de madereo de arrastre;

TE (2) = esfuerzo de tracción en kg;

r (5) = coeficiente de resistencia a la rodadura;

x (6) = porcentaje (en forma decimal) de la carga útil sostenida por el tractor.

Notas: (1) TW: el peso de tara de los tractores convencionales articulados de huinche con tracción a las 4 ruedas está en un promedio de 68.GHP kg mientras que el peso de tara de los tractores con travesaño de valvas con bogie trasero en tanden está en un promedio de 87.GHP kg;

(2) TE: el esfuerzo de tracción de los tractores convencionales de huinche es aproximadamente el 115% del peso de tara, es decir 115% de 68.GHP (véase la nota anterior) o 76.GHP; mientras que los tractores con travesaño de valvas están alrededor del 135% de peso de tara, es decir 135% de 87.GHP o 117.GHP;

- (3) fs: Bennet (20) encontró que el 60% del peso de una carga de troncos enteros que se arrastran con las partes gruesas hacia delante, con un tractor forestal con huinche, estaba sostenido por la máquina cuando iba suspendida del arco y que el coeficiente de madereo de arrastre fs, es decir la relación entre la tracción necesaria de arrastre y el peso total de la carga útil, era alrededor de 0,48 en suelos forestales normales del este de Canadá; como este rozamiento era ocasionado por el 40% de la carga que se apoyaba en el terreno, el coeficiente real de rozamiento era alrededor de 1,20; Bennet encontró también que se necesitaba de un 10 a un 15% más de tracción para arrancar el movimiento de la carga que para tirar de ella después de haber comenzado; se deduce de ello que el coeficiente de madereo de arrastre, cuando se aplica a la carga total (para simplificar) sería de 110 a 115% (120% del 40%) o alrededor del 0,55 cuando se expresa en forma decimal. Suponiendo que el 70% de la carga útil esté sostenido por el travesaño de un tractor forestal arrastrador con travesaño de valvas, cuando se arrastran troncos enteros con las partes gruesas hacia delante, el coeficiente de madereo de arrastre será de 110 a 115% (120% del 30%) es decir alrededor de 0,40 en forma decimal;
- (4) t: un análisis de los trabajos de prueba realizados en diversas partes del mundo demuestra que los coeficientes siguientes de rozamiento son bastante aceptables:
- (a) tractor forestal de huinche o de garra con neumáticos de tacos: 0,55
 - (b) tractor forestal arrastrador con travesaño de valvas equipados con orugas en los bogies traseros: 0,70
- (5) r: la resistencia a la rodadura se debe a la deformación del suelo por las ruedas o las orugas y a los obstáculos en el trayecto de la máquina; no incluye la resistencia de la pendiente; el coeficiente que se aplica al peso total del vehículo puede obtenerse aproximadamente mediante la fórmula:
- $$r = \frac{NHP \cdot E \cdot 4562}{GVW \cdot V}$$
- donde
- r = coeficiente de resistencia a la rodadura;
 - NHP = potencia neta o potencia al volante = 0,90.GHP;
 - E = proporción de rendimiento del mecanismo de transmisión = 0,85;
 - GVW = peso total del vehículo en kg;
 - V = velocidad de recorrido en m/minutos
- al aplicar esta fórmula se hallará un valor de r próximo a 0,50 para ambos tipos de tractores arrastradores en condiciones normales de verano en suelo forestal; es bovio que el coeficiente será más alto en condiciones de terreno muy blando o muy abrupto, o en nieve profunda y menor en terreno suave y llano;
- (6) r: representa la proporción de la carga del tronco entero que sostiene el tractor arrastrador y que forma parte de la GVW; su valor fue determinado por Bennet y es de 0,60 para tractores de huinche y alrededor de 0,70 para tractores con travesaño de valvas; cuando se arrastran troncos enteros, con las partes gruesas hacia delante.

15.3 Madereo de troncos enteros con las puntas gruesas hacia delante

Los coeficientes a utilizar en la fórmula general de la carga útil pueden diferir para cada tipo de tractor arrastrador, con las variaciones en las condiciones del terreno y de acuerdo con la forma de los materiales que se arrastren. Sin embargo, el Cuadro 18 da los valores aproximados que pueden utilizarse cuando efectúa el madereo de arrastre de troncos enteros con las partes gruesas hacia delante, en terreno llano con las condiciones típicas del terreno forestal.

CUADRO 18

VALORES DE LOS SIMBOLOS A UTILIZAR EN LA FORMULA ANTERIOR PARA DETERMINAR LA CARGA UTIL DEL TRACTOR ARRASTRADOR CUANDO SE EFECTUA EL MADEREO DE ARRASTRE DE TRONCOS ENTEROS CON LAS PARTES GRUESAS HACIA DELANTE EN TERRENO LLANO

<u>Símbolo</u>	<u>Tractor de huinche y de grapa</u>	<u>Tractor con travesaño de valvas</u>
$f_s(3)$	0,55	0,40
$t(4)$	0,55	0,70
$r(5)$	0,50	0,50
$TE(2)$	78 hp	117 hp
$TW(1)$	68 hp	87 hp
$x(6)$	0,60	0,70

Notas (1) a (6): Véanse las explicaciones al pie de la fórmula de la Sección 15.2.

Los volúmenes que cargan los tractores arrastradores pueden, sin embargo, limitarse en la práctica por diversas razones. Por ejemplo, los tractores de huinche por el número de trincadores (chokers) en uso y el volumen de los árboles, los tractores de garra pueden estar limitados por el tamaño de la pila de troncos o por el número de tales pilas que se toman en una carga; los tractores con travesaño de valvas, por la longitud de la parte comercial del árbol y por el tamaño del travesaño de valvas. Teóricamente cuando las cargas útiles del tractor arrastrador son menores, las velocidades de recorrido deben ser mayores, pero en la práctica puede estar esto limitado por la incomodidad del operario y por la vibración del vehículo sobre un suelo forestal escabroso. Las velocidades de recorrido normalmente están entre 50 y 75 m por minuto, con diferencias menores del 20% entre las velocidades en vacío y las velocidades con carga.

La fórmula de la Sección 15.2 da las cargas del tractor arrastrador en terreno llano. Es bovio que las cargas útiles pueden ser mayores cuando el madereo de arrastre se hace hacia abajo y menores cuando se hace hacia arriba. El peso de la carga útil en tales condiciones puede determinarse con la fórmula anterior después de ajustar los coeficientes de resistencia del madereo de arrastre y de rodadura para compensar la pendiente. Aplicando las fórmulas apropiadas se obtienen los datos del Cuadro 19.

CUADRO 19

PESOS DE LA CARGA ÚTIL DEL TRACTOR POR CABALLO DE POTENCIA
TOTAL CUANDO SE EFECTUA EL MADEREO DE ARRASTRE DE TRONCOS
ENTEROS CON LAS PARTES GRUESAS HACIA DELANTE (1) (2)

<u>Pendiente</u>	<u>Tractor de huinche</u>	<u>Tractor con travesaño</u>
- 20%	70 kg	180 kg
- 10%	48 kg	115 kg
0%	34 kg	80 kg
+ 10%	24 kg	57 kg
+ 20%	17 kg	42 kg

Notas: (1) interpolar para porcentajes de pendiente intermedios;

(2) los pesos de la carga útil pueden convertirse en m³ cuando se conoce el peso por m³.

Aplicando los datos del Cuadro 19 si la madera pesa 900 kg por m³, volumen normal de la carga útil máxima para un tractor de travesaño de valvas de 150 hp que efectúa el madereo de arrastre de troncos enteros, con las partes gruesas hacia delante, hasta un 10% de pendiente, será:

$$\frac{150 \times 57}{900} = 9,5 \text{ m}^3$$

y efectuando el madereo de arrastre hacia abajo con un 10% de pendiente y con un tractor de huinche de 100 hp será:

$$\frac{100 \times 48}{900} = 5,3 \text{ m}^3$$

El Cuadro 19 está expresado en kg por caballo total de potencia debido a que las especies madereras varían en peso por unidad de volumen. Conociendo el peso por m³ de la madera sin descortezar, por ejemplo, es fácil elaborar un cuadro semejante al Cuadro 19, que estaría expresado en m³/CHP.

La carga útil máxima normal para los tractores de garra será alrededor de un 50% inferior que para los tractores de huinche de la misma potencia, debido al peso adicional del bastidor del chasis trasero que es más pesado y más robusto y al dispositivo del brazo de garra en ménsula.

15.4 Madereo de troncos enteros con las puntas delgadas hacia delante

Algunos cálculos demuestran que, dada una conicidad normal de los árboles (alrededor de 1 cm por m) y un diámetro de 10 cm en punta delgada, sólo alrededor del 35% de la carga será sostenido por el tractor cuando se efectúa el madereo de arrastre de troncos enteros, con las puntas por delante, con tractor de huinche. Aplicando el coeficiente de rozamiento de 1,20, determinado por Bennet (20), y haciendo una asignación por la fuerza adicional necesaria para iniciar el arrastre de la carga, se encontrará que el coeficiente fs de madereo de arrastre es de 110-115% (120% del 65%) o sea alrededor de 0,88.

Aplicando la fórmula general de la carga útil del tractor y utilizando el coeficiente apropiado, es decir un coeficiente de madereo de arrastre de 0,88, se hallará que las cargas útiles son alrededor de un 25% inferiores a los valores que aparecen en el Cuadro 19 para el madereo de arrastre de troncos enteros, con las partes gruesas hacia delante.

15.5 Madereo de árboles completos

Bennett (20) encontró que alrededor del 50% del peso de los árboles completos lo soportaba la máquina cuando se efectuaba el madereo de arrastre de árboles completos con tractores de huinche, de modo que el valor del coeficiente de madereo de arrastre fs sería alrededor de 110-115% (120% del 50%) o sea 0,65 asignando de un 10 a un 15% de fuerza adicional para comenzar el movimiento de la carga.

Se estima que el 60% del peso de la carga útil lo soporta el travesaño cuando se efectúa el madereo de arrastre de árboles completos con tractor de travesaño de valvas. De la misma forma que anteriormente, esto daría un valor para el coeficiente de madereo de arrastre de 110-115% (120% del 40%) o sea alrededor de 0,55.

CUADRO 20

VALORES DE LOS SIMBOLOS A UTILIZAR EN LA FORMULA DE DETERMINACION
DE LA CARGA UTIL DEL TRACTOR CUANDO SE EFECTUA EL MADEREO DE ARRASTRE
DE ARBOLES COMPLETOS SOBRE TERRENO LLANO

<u>Símbolo</u>	<u>Tractor de huinche y de garra</u>	<u>Tractor de travesaño de valvas</u>
fs	0,65	0,55
t	0,55	0,70
r	0,50	0,50
TE	78 hp	117 hp
TW	68 hp	87 hp
x	0,50	0,60

Cuando se aplica la fórmula general de la carga útil del tractor utilizando los símbolos dados en el Cuadro 20, los pesos aproximados de la carga útil por caballo total de potencia, cuando se efectúa el madereo de arrastre de árboles completos, serán los que aparecen en el Cuadro 21. La comparación de los valores incluidos en el cuadro con los correspondientes al Cuadro 19 para el madereo de arrastre de troncos enteros, demuestra que se puede arrastrar, en peso, aproximadamente el 10% menos con el tractor de huinche y el 15% menos con los tractores de travesaño de valvas, en la forma de árboles completos que en la de troncos enteros.

Un informe sin publicar del este de Canadá sobre especies características de coníferas da la relación entre troncos enteros (hasta 8 cm de diámetro en punta) y árboles completos siendo desde el 65% para árboles de 15 cm de diámetro normal hasta el 73% para árboles de 40 cm de diámetro. Cuando se efectúa el madereo de arrastre de árboles completos, si sólo se utiliza el 70% del árbol y se arrastra un 10% menos en peso, la madera comerciable por carga es alrededor del 35% menos que cuando se realiza el madereo de arrastre de troncos enteros y el coste por m³ es aproximadamente un 50% superior. Sin embargo, esta situación se presenta únicamente cuando se madorean cargas completas. Si se utilizan tractores de huinche, por ejemplo, para extraer árboles completos de pequeñas dimensiones y se emplea un número limitado de trincadores (chokers) es muy probable que se saque en cada viaje el mismo volumen utilizable que cuando se trabaja con troncos enteros.

CUADRO 21

PESOS DE LA CARGA UTIL DEL TRACTOR POR CABALLO DE POTENCIA TOTAL CUANDO SE EFECTUA EL MADEREO DE ARRASTRE DE ARBOLES COMPLETOS EN CONDICIONES NORMALES DEL SUELO FORESTAL (1) (2)

Pendiente	Tractor de huinche	Tractor con travesaño de valvas
- 20%	59 kg	133 kg
- 10%	42 kg	93 kg
0%	30 kg	68 kg
+ 10%	22 kg	50 kg
+ 20%	16 kg	37 kg

Notas: (1) interpolar para tantos por ciento intermedios de pendiente;

(2) los pesos de la carga útil pueden convertirse en m³ de madera comercial cuando se conoce el porcentaje de volumen utilizable del árbol y el peso de la madera sin descortezar. Si el 30% del árbol completo es de desecho y la madera sin descortezar pesa 900 kgs/m³, los kg de peso del árbol completo por caballo de potencia del tractor pueden convertirse en m³ de madera comercial por caballo de potencia aplicando el factor $\frac{0.70}{900} = 0.00078$ a los valores del cuadro.

16. TRACTOR FORESTAL ARRASTRADOR DE HUINCHE

16.1 Maderero de troncos enteros apeados y desramados a mano

La operación de preparar a mano los troncos enteros y arrastrarlos con cable hasta el borde de la carretera se realiza normalmente en el este de Canadá con un equipo de 3 hombres, dos que cortan y desraman, (normalmente con sierra de cadena) y el tercero que efectúa el maderero de arrastre de la producción hasta el borde de la carretera. Lo avila según se precise. Puede haber una variedad de formas de organizar el trabajo y el tractor. Lo normal es que un contratista o una compañía maderera proporcionen el tractor sin ningún gasto y paguen al equipo de trabajo mediante destajo o con un jornal diario más un incentivo, dividiendo las ganancias a partes iguales entre los miembros del equipo (cada miembro aporta normalmente una sierra de cadena).

Mediante este sistema el operario del tractor entrega a borde de carretera la madera, en forma de troncos enteros, producida por los otros dos miembros del equipo. Como normalmente se utilizan más de 10 trincadores (chokers) la producción por cada viaje puede estar muy por debajo de la capacidad del tractor de acuerdo con lo establecido en el Cuadro 19, especialmente si la madera es pequeña. Con tal organización del equipo, los HPM del tractor son alrededor de 6 horas diarias y la producción está entre 40 y 50 m³ diarios, dependiendo del volumen medio de los árboles, del terreno y de la distancia de arrastre. De este modo, con dos cortadores que determinan el producto final diario del equipo, la producción por equipo y día puede estimarse con la fórmula (véase también la Sección 13.5 (b)):

$$PDFDS = \frac{2 \times SH}{(FT + DT) (1 + 2TA)}$$

donde PDFDS = producción de corta y arrastre de una brigada de 3 hombres en m³ por día;

SH = jornada de trabajo o turno en horas;

FT = tiempo de corta en horas-hombre por m³ (véase el Cuadro 16 (a) o 19 (b));

TA = ajustes de tiempo de acuerdo con lo establecido en la Sección 11.1.

El coste de corta, desrame y arrastre de troncos enteros hasta borde de carretera puede determinarse entonces mediante la fórmula:

$$CFDS = \frac{3c(1+f) + 2CS + 6C}{PDFDS}$$

donde CFDS = coste de corta, desrame y arrastre en \$ EE.UU./m³

c = ingresos directos por hombre y día en \$ EE.UU.

f = coste de las cargas sociales expresado en % de los salarios;

CS = coste diario de una sierra de cadena en \$ EE.UU.

C = coste de funcionamiento del tractor en \$ EE.UU./HPM

calculado con la fórmula normal $C = \frac{2 \cdot 4A}{LE}$

PDFDS = producción de corta, desrame y arrastre en m³/día

Considerando el arrastre con huinche como una operación independiente, la producción en m³/HPM puede determinarse mediante la fórmula:

$$PSM = \frac{60 \times L}{TT + \frac{2 \cdot ASD}{ATS}}$$

y el coste en \$ EE.UU./m³ mediante la fórmula:

$$SCM = \frac{C + c(1+f)}{PSM}$$

donde PSM = producción en m³/HPM

L = carga del tractor en m³

TT = tiempo por carga en la estación final en minutos (carga, desenganche y retrasos por viaje)

ASD = distancia media de arrastre en m

ATS = velocidad media de recorrido en m/min

SCM = coste de arrastre en \$ EE.UU./m³

C = coste de funcionamiento del tractor en \$ EE.UU./HPM

c = salarios directos del operario en \$ EE.UU./HPM

f = coste de las cargas sociales expresado en porcentaje de los salarios directos

El tiempo dedicado en la zona de corta para trincar los árboles, acoplarlos y tirar de ellos con el cabrestante para incorporarlos a la carga puede variar entre 5 y 20 minutos, dependiendo del tamaño de los árboles, de las condiciones del terreno y de la cobertura del suelo, del número de trincadores que se utilicen, de la habilidad y motivación del obrero, etc. El desenganche y recogida de los trincadores a borde de carretera puede llevar de 2 a 5 minutos. Por lo tanto, los tiempos invertidos en la estación terminal pueden variar entre unos límites amplios pero normalmente lleva un promedio de 15 minutos por viaje incluyendo retrasos y el tiempo de uso personal.

Las velocidades de recorrido pueden variar también entre límites amplios como puede verse observando el Cuadro 22, al igual que ocurre con el propio volumen de la carga cuando se encuentran árboles pequeños y el número de trincadores se limita a los diez que son normales.

Consideremos un tractor de huinche de 100 hp que cuesta 30 000 \$EE.UU. y que arrastra cargas medias de 2 m³ de troncos enteros con las partes gruesas hacia delante, con una velocidad media en el viaje de ida y vuelta de 60 m/minuto y que trabaja en una gran zona forestal con terreno en su mayoría llano, cuya masa arbolada tiene una densidad media de 100 m³/ha y donde las carreteras de aprovisionamiento se estima que cuesten 2 000 \$EE.UU. por km. El tiempo promedio en la terminal es de 15 minutos por carga. El tractor trabaja 6 horas productivas al día; los salarios directos del operario son del orden de 8,00 \$EE.UU./HPM y los costes sociales el 30%. ¿Cuál sería el costo estimado del madereo de arrastre en \$EE.UU./m³?

El coste de funcionamiento del tractor, excluido el operario, será de 12,00 \$EE.UU./HPM, calculado mediante la fórmula abreviada de la Sección 3.3.4. El espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento, despreciando para los fines de este ejercicio los factores k y v, puede calcularse en 380 m con la fórmula del Apéndice D.1, de modo que la distancia media de arrastre es de unos 100 m.

Habiendo determinado los valores anteriores, la producción y el coste pueden calcularse con las fórmulas señaladas anteriormente, llegándose a los valores de 6,6 m³/HPM (unos 40 m³ por día) y 3,40 \$EE.UU./m³ respectivamente.

CUADRO 22

VELOCIDADES DE RECORRIDO DE UN TRACTOR DE HUINCHE EJEMPLOS PROCEDENTES DE DIVERSAS REGIONES

<u>Región</u>	<u>Velocidad en m/min.</u>	
	<u>En vacío</u>	<u>Cargado</u>
1) Canadá		
a) Interior de British Columbia		
(1) 92 hp	160	90
(2) 185 hp	140	70
b) Ontario (tractor de garra)		
(1) Caso 1: 125 hp	75	50
(2) Caso 2: 125 hp	105	60
2) Suecia		
a) caminos de desembosque	55	50
b) carreteras de salida	115	90
3) Costa de Marfil: 185 hp		
a) pistas de apertura	17	-
b) sobre verdaderas pistas	80	60
c) sobre pistas abiertas con bulldozer	105	85



Extracción de madera a la carretera mediante tractor forestal arrastrador.

16.2 Madereo de árboles completos

La operación de madereo de arrastre de árboles completos apeados a mano, difiere poco del madereo de troncos enteros. Sin embargo, sólo se arrastra en cada viaje entre el 65% y el 73% de madera comercial, utilizando el mismo número de trincadores con los mismos diámetros de árboles (ver Sección 15.5).

A veces, se utilizan tractores de cable para arrastrar árboles completos que están cortados y apilados. En este caso se amarra un solo trincador (normalmente la línea principal del cabrestante) alrededor del manojo completo de troncos y los tiempos dedicados en la terminal de carga son mucho más breves, normalmente del orden de 5-8 minutos por carga incluyendo retrasos. Para situaciones determinadas puede calcularse la producción y los costos de la misma forma que en la sección precedente. Sin embargo, debe señalarse una vez más que entre el 27% y el 35% del peso de los árboles en los bosques nórdicos templados de coníferas - y probablemente más en algunas regiones - corresponde a puntas y ramas, reduciendo la carga útil comercial y aumentando el costo de arrastre por metro cúbico.

17. TRACTOR FORESTAL ARRASTRADOR DE GARRA

Los tractores de garra desarrollados en Norteamérica son esencialmente tractores de huinche con las siguientes diferencias principales: bastidor y eje trasero más pesados, brazo en ménsula y garra en lugar de arco, y aumento aproximado de 2 000 kg en el peso. El cabrestante y el cable son retenidos para acomodar la garra en la parte superior, mientras se viaja en vacío, y para adelantar la carga si el vehículo debe meterse en el barro, dejar caer su carga y avanzar a un terreno más firme.

Los tractores de garra se utilizan casi enteramente para arrastrar árboles cortados y apilados hasta las procesadoras (processors) situadas a borde de carretera. Cuando está funcionando el tractor se adosa al extremo más grueso de una pila de árboles, extiende la grapa, la abre, la hace descender sobre la pila y la cierra; levanta entonces la carga por la parte más gruesa y la descarga hacia el eje trasero del tractor. La capacidad máxima de carga es menor que la correspondiente al tractor de huinche debido a su mayor peso y resistencia a la rodadura. Cuando las pilas de troncos son pequeñas y están dispuestas convenientemente a lo largo de los caminos de desembosque, puede manejarse más de una pila en una misma carga siempre que el tractor tenga la potencia adecuada y que la tracción sea suficiente. Los ensayos realizados han demostrado que cada pila adicional que se carga significa un minuto más en el tiempo de ida y vuelta.

Dos operaciones de cortas rasas en el este de Canadá, utilizando tractores de garra de 130 hp proporcionaron los datos que se incluyen en el Cuadro 23.



Tractor forestal de garra extrayendo una carga de trozas.

Cuando se utilizan tractores de garra, particularmente con árboles completos, el espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento se ve afectado negativamente por la carga útil, relativamente pequeña, y por los elevados costes de compra y funcionamiento del vehículo. Por ejemplo, si un tractor de huinche cuesta 30 000 \$EE.UU., el tractor correspondiente de garra pesará aproximadamente 2 000 kg más y costará 10 000 \$EE.UU. más, lo que da unos costes de funcionamiento comparativos de 12 \$EE.UU. y 16 \$EE.UU. por HPM. Dada una reducción normal de la carga útil de un 50% y teniendo en cuenta la diferencia de tiempo en el terminal de carga, el coste comparativo de arrastre por m³ variará poco entre las dos máquinas. El tractor de garra tiene una ventaja: el operario no tiene que transitar sobre el suelo forestal y en consecuencia puede trabajar con tiempo inclemente y posiblemente en la oscuridad.

La producción diaria con tractores de 125 hp de huinche y de garra en condiciones normales en el este de Canadá está en el orden de los 34-45 m³ y 45-55 m³ respectivamente. Sin embargo, se han registrado casos de operarios propietarios de sus máquinas, bien motivados, que producen más de 100 m³ con tractores de garra.

CUADRO 23

DATOS COMPARATIVOS CORRESPONDIENTES A DOS OPERACIONES CON TRACTORES DE GARRA EN EL ESTE DE CANADA

	<u>Caso I</u>	<u>Caso II</u>
A. Tipo de producto	tronco entero	árbol completo
B. Condiciones generales		
i) terreno: escabrosidad	normal	suave
humedad	50% de humedad o muy húmedo	100% seco
pendiente media	+ 1,2%	+ 0,6%
ii) volumen/ha	200 m ³	320 m ³
iii) volumen medio/árbol	0,14 m ³	0,25 m ³ (1)
iv) volumen medio/carga	1,45 m ³	1,75 m ³ (1)
v) número promedio de pilas/carga	1,3	1,0
C. Velocidad media de recorrido en m/min		
i) en vacío	75	100
ii) cargado	50	60
D. Tiempos en la terminal de carga		
i) maniobra y carga	1,0 min/pila	
ii) descarga y apilado	1,0 min/carga	
iii) tiempo medio de retraso	0,5 min/carga	

Nota: (1) madera comercial

18. TRACTOR FORESTAL CON TRAVESAÑO DE VALVAS

18.1 Máquinas de ruedas

Se trata de máquinas articuladas con tracción a las 4 ruedas o a las 6 ruedas, equipadas con cabina y motor en la parte frontal del chasis, con un travesaño de valvas en la parte posterior del chasis y con un brazo articulado que lleva una grapa giratoria normalmente montada sobre un pedestal cerca del punto de articulación. Se utilizan para realizar el madereo de arrastre de árboles completos apilados o de troncos enteros desde la zona de corta hasta el borde de la carretera.

La carga útil que cabe esperar cuando se trabaja en condiciones normales del suelo forestal depende de la potencia del motor y de la pendiente del terreno. Los pesos aproximados de la carga útil en kg/GHP se presentan en los Cuadros 19 y 21, pero pueden ser menores si los árboles son tan cortos que la valva se llena antes de haber recogido una carga útil completa. Se considera que el coeficiente de resistencia a la rodadura para las máquinas corrientes empleadas en el madereo de arrastre, en condiciones normales del suelo forestal, es 0,50; probablemente es 0,40 en muchas masas procedentes de plantación y en pinares, condición que aumentaría la carga útil y puede ser bastante mayor en terreno suave.

Como estas máquinas trabajan en terreno forestal y son manejadas por un hombre, están sujetas a porcentajes de ajuste con respecto al tiempo básico de producción por árbol o por m³, a fin de compensar las condiciones del terreno, del clima, la motivación del operario, etc. (véase la Sección 11.2), pero se ven afectadas en menor proporción por algunos de estos factores, como por ejemplo, el terreno.

El tiempo de producción por m³ puede aumentarse (o, inversamente, reducirse la producción por unidad de tiempo) si se dejan árboles en pie dentro del arco de giro de los árboles que se están cargando, o por un mal apilado y por la colocación inadecuada de la pila en relación con la pista de arrastre. Para obtener los mejores resultados, los árboles deben apilarse cuidadosamente formando un pequeño ángulo con la pista de arrastre y en la proximidad de ésta, con los extremos gruesos hacia delante; cuanto más se aparte de este ideal, mayor será el ajuste necesario de tiempo.

La velocidad media del viaje de ida y vuelta entre el borde de la carretera y el sitio de carga está normalmente en unos 60 m/min, con una variación de un 10%. Este es un factor importante para determinar el espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento.

El tiempo de descarga viene a ser como promedio de 1 minuto por carga, ya que la máquina se acciona sacándola fuera del lugar donde se deposita la carga con las valvas abiertas.

18.1.1 Madereo de troncos enteros

La carga útil en kg/hp que se puede lograr cuando se efectúa el madereo de arrastre de troncos enteros en condiciones normales del suelo forestal puede obtenerse del Cuadro 19 y convertirse en m³/hp cuando se conoce el peso de la madera que se está aprovechando. Por lo tanto, dado un tractor con travesaño de valvas de 160 hp que trabaja con troncos enteros cuya madera pesa 900 kg/m³, la carga útil que cabe esperar en terreno llano será

$$\frac{160 \times 80}{900} = 14 \text{ m}^3$$

El tiempo básico de producción de $0,8 \text{ min/m}^3$ para la carga de troncos enteros es el obtenido por un operario eficiente que carga en terreno llano de monte aprovechado mediante corta rasa, partiendo de pilas bien hechas colocadas con un ángulo pequeño respecto a la pista de arrastre y cerca de ésta. Las pruebas realizadas indican que el tiempo básico de producción debe ajustarse en un + 25% cuando las pilas se colocan perpendiculares a la pista de arrastre y que el ajuste total por los factores adversos de carga mencionados puede llegar al 50% y exceder incluso de esta cuantía.

El tiempo de producción por m^3 no debe ser afectado de forma importante por la densidad de la masa, por el tamaño de la pila o por la pequeña dimensión de los árboles ya que se pueden cargar varios simultáneamente.

La producción expresada en m^3/HPM puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$\text{PCBSM} = \frac{60 \times L}{L \times 0,8(1 + \sum \text{TA}) + \frac{2 \text{ ASD}}{\text{ATS} (1 - \text{TAT})} + 1}$$

donde PCBSM = producción estimada en m^3/HPM ;

TA = factores de ajuste a aplicar al tiempo básico de producción de $0,8 \text{ min/m}^3$ (ver las Secciones 11.2 y 14);

TAT = factores de ajuste del terreno (ver Sección 11.2);

ASD = distancia media de arrastre en m (ver Apéndice D);

ATS = velocidad media de recorrido en m/min (ver Sección 18.1 anterior);

L = carga útil esperada en m^3 ;

$$= \frac{X \cdot \text{GHP}}{W}$$

donde X = peso de la carga útil en kg/hp obtenido del Cuadro 19;

GHP = potencia total del tractor arrastrador;

W = peso de la madera sin descortezar en kg/m^3 .

El coste del madereo de arrastre de troncos enteros con los "skidders" de travesaño de valvas puede determinarse mediante la fórmula:

$$\text{CBSCM} = \frac{C + c(1 + f)}{\text{PCBSM}}$$

donde CBSCM = coste de madereo de arrastre en $\text{\$/EE.UU./m}^3$;

C = coste en $\text{\$/EE.UU./HPM}$ del funcionamiento del "skidder", excluyendo el operario;

c = salarios directos del operario en $\text{\$/EE.UU./HPM}$;

f = coste de las cargas sociales expresado en tanto por ciento de los salarios directos;

PCBSM = producción del tractor arrastrador en m^3/HPM .

18.1.2 Madereo de árboles completos

La carga útil en kg/hp que cabe esperar cuando se efectúa el madereo de arrastre de árboles completos puede obtenerse del Cuadro 21. El valor obtenido en él puede convertirse en m³ de madera comercial por hp, tal como se explicó en la nota (2) situada al pie del cuadro.

Es razonable esperar que el tiempo básico de producción por árbol para la carga de árboles completos sea mayor que cuando se cargan troncos enteros, probablemente un 25%. Considerando también que se entrega por carga un 35% menos de madera comercial a borde de carretera, cuando se efectúa el madereo de arrastre de árboles completos, el tiempo básico productivo de carga sería alrededor de 1,50 min por m³. Este tiempo básico productivo por m³ necesitaría ser ajustado por los mismos factores que cuando se trata del madereo de arrastre de troncos enteros.

La producción, expresada en m³/HPM de madera comercial, puede estimarse con la misma fórmula básica que la utilizada para los troncos enteros:

$$PCBSM = \frac{60 \times L}{L \times 1,5 (1 + TA) + \frac{2 ASD}{ATS (1 - TAT)} + 1}$$

donde PCBSM = producción estimada de madera comercial en m³/HPM;

TA = factores de ajuste a aplicar;

TAT = factor de ajuste del terreno;

ASD = distancia media de arrastre en m (ver Apéndice D);

ATS = velocidad media de recorrido en m/min;

L = carga útil esperada en m³ de madera comercial

$$= \frac{X \cdot GHP \cdot 0,70}{W}$$

W

donde X = peso de la carga útil en kg/hp, tomado del Cuadro 21;

0,70 = % de madera comercial en el árbol completo;

GHP = potencia total del tractor

W = peso de la madera sin descortezar en kg/m³.

El coste de producción del madereo de arrastre de árboles completos con tractores de travesaño de valvas puede hallarse mediante la fórmula:

$$CBSCM = \frac{C + c (1 + f)}{PCBSM}$$

donde CBSCM = coste del madereo de arrastre en \$EE.UU./m³ de madera comercial;

C = coste, excluyendo el operario, del funcionamiento del tractor en \$EE.UU./HPM;

c = salarios directos del operario en \$EE.UU./HPM;

f = coste de las cargas sociales, expresado en porcentaje de los salarios directos;

PCBSM = producción en m³/HPM de madera comercial.

La comparación entre el madereo de arrastre de árboles completos y el de troncos enteros, utilizando tractores con travesaño de valvas, demuestra que la producción en m³ de madera comercial por HPM se reduce alrededor del 45% y el coste por m³ sube alrededor de un 75%.

Hay que considerar también:

- i) el problema de desenredar los árboles y despejar el desorden de ramas y puntas en el borde de la carretera a menos que se transporten hasta la industria;
- ii) el efecto sobre el espaciamiento de las carreteras de aprovisionamiento: el espaciamiento óptimo sería mucho menor cuando se trate del madereo de árboles completos, aumentando de esta forma el coste de la madera.

18.2 Máquinas sobre orugas

Consisten en un chasis montado sobre orugas, equipado con un travesaño de valvas y con un brazo articulado controlado hidráulicamente y equipado con una garra. Se utilizan para el madereo de arrastre de árboles completos apilados con las partes gruesas hacia delante, en la misma forma que las máquinas articuladas montadas sobre ruedas y que cargan uno o dos árboles a la vez. La escasa altura del chasis y la colocación en la parte delantera del travesaño de valvas, da lugar a una distribución de la carga mucho mejor que la que se puede lograr con los tractores de ruedas. La velocidad de recorrido en terreno más bien blando varía de 40 a 90 m/min. Funcionan mejor que los tractores de ruedas en pendientes y su maniobrabilidad también es mejor en zonas húmedas.

19. TRACTORES DE ARRASTRE-CORTADORES

La mayoría de los tractores-cortadores son esencialmente autocargadores "forwarders" en los cuales la grapa de carga ha sido reemplazada por un cabezal para cortar y la plataforma que lleva la carga, por un travesaño de valvas o por un travesaño de garras. Son en consecuencia, tractores que cortan y recogen sus cargas de árboles completos desde el bosque sin cortar en vez de hacerlo con árboles que ya han sido cortados por otros medios.

En la práctica, la máquina se traslada hacia la parte de atrás de la faja de desem-bosque, gira y comienza a cortar y a cargar dando frente al cargadero situado al borde de la carretera. Si la máquina tiene un cabezal cortador de tipo de talón, puede trabajar hacia el centro de la faja; en otro caso, debe trabajar a lo largo del frente del bosque sin cortar, cortando de esta forma una faja que tiene solamente la mitad de anchura, y haciendo el doble recorrido que con una cortadora apiladora (feller-buncher). El tiempo del ciclo de corta por árbol es esencialmente el mismo que para la corta y apilado, es decir unos 20 segundos o 0,33 min. Sin embargo, el trasladarse a lo largo de la faja, lleva mucho más tiempo, debido tanto a la distancia adicional que hay que cubrir, como a la resistencia de la carga útil, al tiempo de maniobra y a las dificultades. Las pruebas realizadas indican que este tiempo es de unos 0,12 min por árbol, dando así un tiempo básico de producción de 0,45 min por árbol. Sin embargo, este tiempo de producción está sujeto al mismo porcentaje de ajuste de tiempo descrito en la Sección 11.2 para todas las máquinas que trabajan en terreno forestal y en la Sección 14.1 para las cortadoras-apiladoras (feller-bunchers).

Las velocidades de recorrido entre el sitio de carga y el cargadero a borde de carretera dependen del peso total de la máquina, de la potencia del motor y del terreno. La velocidad de recorrido en viaje de ida y vuelta esta normalmente dentro de un 10% de 60 m/min.

La distancia media de arrastre para una operación dependerá del espaciamiento de las carreteras de aprovisionamiento (ver Apéndice D) y de los valores estimados para los factores de corrección T y V.

La descarga es una operación sencilla que requiere sólo que el operario abra las garras del travesaño y conduzca la máquina fuera de la carga, operación que normalmente requiere un minuto.

La producción del tractor-cortador, expresada en m^3/HPM , puede estimarse con la fórmula siguiente, cuando se conocen los valores de los factores que intervienen en ella:

$$PFSM = \frac{60 \times L}{\frac{L \times 0,45 (1 + \angle TA)}{VT} + \frac{2ASD}{ATS (1 - TAT)} + 1}$$

donde PFSM = producción de corta y madereo de arrastre en m^3/HPM ;

TA = porcentajes de ajuste, expresados en forma decimal a aplicar al tiempo básico de producción en min/árbol;

TAT = factor de ajuste del terreno (ver la Sección 11.2);

VT = volumen medio por árbol en m^3 ;

ASD = distancia media del madereo de arrastre en m (ver Apéndice D);

ATS = velocidad media de recorrido en viaje de ida y vuelta en m/min;

L = carga útil esperada en m^3

$$= \frac{X \cdot 0,70 \cdot GHP}{W}$$

donde X = peso de la carga útil en kg/hp, tomado del Cuadro 21;

GHP = potencia total del tractor;

W = peso de la madera sin descortezar en kg/m^3 .

El coste de corta y arrastre puede hallarse fácilmente con la fórmula:

$$FSCM = \frac{C + c (1 + f)}{PFSM}$$

donde FSCM = coste de corta y arrastre en \$EE.UU./ m^3 ;

C = coste del funcionamiento del tractor de arrastre-cortador en \$EE.UU. por HPM (excluyendo el operario);

c = salarios directos del operario en \$EE.UU./HPM;

f = coste de las cargas sociales, expresado en porcentaje de los salarios directos;

PFSM = producción del tractor de arrastre-cortador en m^3/HPM .

20. TRACTORES DE TRANSPORTE-CORTADORES

Los tractores transportadores-cortadores cortan y acumulan árboles completos de la misma forma que el tractor de arrastre-cortador, pero transportan los árboles suspendidos sin tocar el terreno en un soporte de la carga sobre el chasis trasero. Estas máquinas tienen que ser necesariamente grandes máquinas articuladas con suficiente potencia para soportar las condiciones del terreno forestal, con cargas pesadas y con longitud y capacidad para transportar árboles completos, manteniendo al propio tiempo una distribución conveniente de la carga. La única máquina conocida de este tipo en el momento actual la fabrica la Koehring Canada Ltd. Es una máquina muy pesada que cuesta 180 000 \$EE.UU. (1976) y que pesa 40 000 kgs con una capacidad de carga útil de 23 000 kg y que es capaz de trabajar en pendientes hasta del 30-35%. La cabina del operario y el brazo articulado montado sobre pedestal van situados en la parte delantera, el motor y el soporte de la carga, con sistema basculante trasero, van sobre el chasis posterior. Está equipado con cuatro cubiertas de 43,5 x 39.

El brazo articulado transporta un cabezal cortador para varios árboles equipado con una coizalla de 60 cm y tres mordazas que permiten cortar y acumular varios árboles pequeños en el cabezal antes de girar y depositarlos en el soporte de la carga sobre el chasis trasero. Las ventajas de tal cabezal, que corta y acumula, puede comprobarse examinando los datos del Cuadro 24, que fue elaborado a partir de un ensayo con turnos medios de 8 horas con un buen operario, en un bosque de hoja caduca, con un volumen medio de 0,22 m³ por árbol, incluyendo ramas y puntas. Los árboles completos fueron convertidos en astillas a borde de carretera. El terreno era quebrado, con pendientes hasta del 25% y la masa contaba con unos pocos árboles muy grandes y muchos árboles pequeños.

CUADRO 24

REGISTRO DE CARGA DE UN TRACTOR TRANSPORTADOR-CORTADOR KOEHRING KFF

<u>Arboles por Ciclo</u>	<u>Número de Ciclos</u>	<u>Minutos por Ciclo</u>	<u>Número de árboles</u>	<u>Minutos por Arbol</u>	<u>Minutos por Carga</u>	<u>m³ por Carga</u>
1	10	0,58	10	0,58		
2	14	0,67	28	0,34		
3	13	0,76	39	0,25		
4	5	0,85	20	0,21		
5	2	0,94	10	0,19		
Sub-totales	44	0,71	107	0,29	31,0	23,6
Traslado en la faja	-	0,12	-	0,05	5,5	-
Totales	44	0,83	107	0,34	36,5	23,6

Tres puntos se deducen al examinar los datos del Cuadro 24:

- i) el cortar cada árbol y mantenerlo acumulado exige un tiempo adicional de 0,09 minutos;
- ii) se cortaron como promedio 2,43 árboles por ciclo;
- iii) cada ciclo produjo un volumen medio de 0,535 m³.

Los ensayos realizados en bosques de coníferas dan unos datos de producción de 2,5 a 3,7 árboles por minuto, 2,7 árboles por ciclo y otros valores que justifican las ventajas del cabezal para varios árboles. Los datos globales obtenidos en un ensayo demostraron una producción de 22 m³/HPM en una masa con un promedio de 0,177 m³/árbol y con una distancia media de madereo de suspensión de 160 m.

Las velocidades de recorrido sobre suelo forestal con el tractor transportador-Cortadora Koehring son reducidas cuando se comparan con máquinas más pequeñas. A continuación se dan algunos valores de distintas procedencias en m/min:

<u>En vacío</u>	<u>Cargado</u>
27	23
57	42
37	24

Se está considerando el aumentar la potencia del motor con el objetivo de mejorar las velocidades de recorrido en terreno forestal.

El tiempo de descarga se cumple en un minuto, realizado mediante basculación de la plataforma de carga hacia atrás.

No hay noticias en el momento actual (1976) de que esta máquina vaya a ser ampliamente utilizada, por razones relativas al elevado coste de capital y a las deficiencias del sistema del árbol completo a menos que la tecnología desarrolle un método satisfactorio para utilizar las astillas del árbol completo de especies coníferas o para separar la corteza de la madera en la forma de astillas, o bien hasta que las partes del árbol que actualmente no son comerciales se utilicen para producir energía económicamente.

21. DESRAMADORAS

Las máquinas para desramar pueden clasificarse en desramadoras de un solo árbol de las cuales el mejor ejemplo conocido es la Logma T-310, y las desramadoras de varios árboles tales como la Hydro-AX.

21.1 Desramadora de un solo árbol Logma-T-310

La desramadora Logma se desarrolló en Suecia. La fabrica y distribuye la Kockmus Industri AB. Está montada sobre una base corriente articulada de 6 ruedas, accionada con un motor de 165 hp y pesa más de 20 000 kg. Puede trabajar en la zona de corta o a borde de carretera. Está equipada con un brazo desramador telescópico con una carrera de 7 m y un alcance de 12 m.

La Logma está diseñada para desramar y despuntar árboles cortados o apilados en dirección prefijada, trabajando desde la punta superior y para apilar troncos enteros con los extremos gruesos de manera uniforme, de modo que puedan ser tronizados fácilmente en el sitio o arrastrados hasta borde de carretera. Necesita desramar sólo cuando las ramas se extienden hacia abajo por el tronco del árbol. Puede elaborar más de un árbol de una vez si puede sostenerlos. No trabaja bien cuando hay árboles remanentes que interfieren el giro y apilado de los árboles desramados. Se utiliza casi universalmente con árboles apilados producidos con cortadoras-apiladoras (feller-bunchers) que forzosamente deben cortar la mayoría de los árboles no comerciales a fin de funcionar debidamente.

Un estudio de 1970 realizado en Suecia (21) dió los siguientes tiempos totales por árbol:

<u>Diámetro normal medio con corteza en cm</u>	<u>Volumen por árbol en m³</u>	<u>Tiempo en min/árbol</u>
15,5	0,09	0,58
17,6	0,16	0,60
24,8	0,48	0,70

Un estudio posterior realizado en el este de Canadá (22) con *Picea* y *Pinus banksiana* con árboles apilados sobre terreno llano y ondulado, con afloramientos rocosos y depresiones pantanosas, con un operario bien capacitado (4 meses), produjo la siguiente fórmula para estimar el tiempo productivo por árbol:

$$HTT = 0,27 + \frac{227}{TH} + 0,35 VT$$

donde HTT = tiempo total en min/árbol para desramar un árbol con ramaje de tipo medio;

TH = número de árboles comerciales por ha;

VT = volumen medio por árbol en m³.

Teniendo en cuenta debidamente el punto de capacitación del operario y las condiciones del terreno, es evidente que el tiempo básico productivo en min/árbol debería ser alrededor de

$$0,80 \left(0,27 + \frac{227}{TH} + 0,35 VT \right)$$

A este valor habría que añadir los porcentajes de ajuste de tiempo (TA) descritos en las Secciones 11.2 y 14.1 de modo que el tiempo productivo ajustado sería

$$0,80 \left(0,27 + \frac{227}{TH} + 0,35 VT \right) (1 + \sum TA)$$

El número de árboles por ha y el volumen medio por árbol ya están considerados en la fórmula.

La Logma T-310 ha sido utilizada a borde de carretera en el este de Canadá en varias operaciones integradas (trozas para aserrar madera para pasta) cuya política industrial exigía entregas de madera en forma de troncos enteros. La producción en tales condiciones, para los mismos tamaños de árboles, fue alrededor de un 40% mayor que cuando se trabajaba en la zona de corta. Sin embargo, parte de la reducción del coste de desrame fue compensada por los mayores costes del maderero de arrastre de árboles completos y del coste de distribución de la leña en el borde de la carretera o en el cargadero.

21.2 Desramadora de varios árboles Hydro-AX

La Hydro-AX, fabricada por la National Hydro-AX Inc., Owatonna, Norteamérica, ha sido muy aceptada recientemente (1976) en la zona templada de Norteamérica como desramadora de árboles de coníferas. Es una desramadora para varios árboles del tipo de batidor de cadena, utilizada normalmente a borde de carretera pero capaz de ser utilizada también en la zona de corta. Sin embargo, no despunta los árboles, si se necesita hacer esta operación, se hace normalmente a mano con sierra mecánica; tampoco realiza una tarea limpia de desrame pero esto no es indispensable cuando la madera se conduce por río y se descorteza mediante tambor, especialmente si está destinada a una industria de pasta kraft.

La máquina consiste en un chasis del tipo del tractor forestal articulado, con ruedas de goma y 117 hp, con el desramador accionado hidráulicamente y montado sobre el extremo frontal. El desramador consiste en un tambor de 2,75 m de longitud y 0,45 m de diámetro, al cual van adosadas 26 cadenas, de 56 cm de longitud y 4 cadenas más cortas (próximas a los extremos del tambor) de 30 cm de longitud, adosadas en el tambor en varias hileras alternadas. El tambor está semicubierto por una pantalla protectora. Se acciona a una velocidad elegida constante mediante un motor de bomba hidrostática, independiente de la velocidad del vehículo.

La máquina trabaja a borde de carretera con árboles completos amontonados o cuidadosamente apilados. Cuando está funcionando, se le hace avanzar hacia la pila de árboles desde las puntas más delgadas hacia los extremos más gruesos con el batidor de cadena en funcionamiento, moviéndose a lo largo mientras existen ramas que cortar, después vuelve por el mismo recorrido con el batidor todavía moviéndose a fin de completar la operación de desramado.

Aunque la producción de desramado con la máquina a borde de carretera se ha estimado en forma variable con "la producción de 12 tractores dependiendo de la distancia de maderero de arrastre", "más de 100 m³ por hora productiva" y "unos 500 m³ por día", la producción está prácticamente limitada sólo por el abastecimiento de árboles bien dispuestos.

El desramado y el despuntado con sierra mecánica en un cargadero a borde de carretera ocasiona el normal atasco de despojos que deben extraerse con un cierto costo. El desramado de árboles cortados y apilados en la zona de corta dejaría las ramas cortadas y las piñas en el bosque (donde dicen los selvicultores que deben quedarse), reduciendo el coste del maderero de arrastre (al menos teóricamente) y el coste de limpiar los cargaderos a borde de carretera, pero estas ventajas estarían compensadas por el mayor desgaste en el coste de la operación de la máquina. Todavía están por estudiar las ventajas e inconvenientes de la operación.

El diseño óptimo de las cadenas batidoras, el mejor material de que deben hacerse y la velocidad más satisfactoria a que debe girar el tambor, están todavía en estudio. Se han hecho pruebas con velocidades de 250 a 500 o 600 rpm. El desgaste de las cadenas y el coste de su sustitución es un problema importante. En las primeras etapas de desarrollo se tuvo que reemplazar un juego de cadenas cada 1 200 m³, con un coste de 400 \$EE.UU. pero desde entonces se han hecho muchos progresos en la reducción de este costo. Una gran compañía de explotación maderera en el este de Canadá informa que ha desramado más de 400 000 m³ de madera durante la estación de explotación 1975-1976 con un coste total de unos 0,35 \$EE.UU./m³.

Existen dos modelos en el mercado: una unidad pequeña, autónoma y autopropulsada, que puede adosarse al extremo frontal de un tractor y un modelo mayor que cuesta alrededor de 600 000 \$EE.UU. al que se ha hecho referencia anteriormente. Sin embargo, ninguna de ellas es capaz de romper limpiamente las ramas de más de 6-8 cm de diámetro.

22. DESRAMADORAS-TRONZADORAS (DELIMBER-BUCKERS)

Hay varias de tales máquinas, llamadas normalmente procesadoras (processors), montadas sobre vehículos articulados de 6 ruedas con cubiertas de goma y, por lo tanto, capaces de trabajar en la zona de corta, y estas mismas máquinas y otra que está dotada de un bastidor rígido sobre las ruedas, son capaces de trabajar a borde de carretera. Todas están diseñadas para desramar y tronzar árboles de uno en uno y la mayoría de ellas para apilar las trozas producidas.

22.1. Desramadoras-tronzadoras que trabajan en la zona de corta

Estas máquinas son adecuadas para el sistema de madera corta cuando se utilizan en la zona del apeo. Tres máquinas que están en el mercado son de diseño y fabricación sueca; la Kockum, la Volvo y la Osa 705. Las dos primeras están equipadas con un brazo alimentador de árboles, de tipo telescópico, y la última con un brazo articulado. Aparte de esta diferencia, su apariencia de carácter general, el método de funcionamiento y la capacidad de producción son muy similares. Aunque en teoría pueden trabajar con árboles apeados a mano (razón principal del largo alcance del brazo telescópico) en la práctica se utilizan casi universalmente para trabajar con árboles apilados.

Cuando están funcionando, estas máquinas siguen la pista de la cortadora-apiladora (feller-buncher), trabajando ya sea en llano o en pendiente de subida o bajada, para elaborar los árboles apilados, cuando están colocados debidamente, perpendicularmente a la dirección de la marcha. Cuando está funcionando, el extremo grueso del árbol se deja caer sobre los rodillos de alimentación de la descortezadora, poniendo en marcha los rodillos y desramando con las cuchillas o con los cinturones de cuchillos colocados en la periferia, realizándose el tronzado con una sierra circular. Las trozas para aserrar son tronzadas, normalmente con mando manual y las trozas para pasta, más cortas, de forma automática. Las

trozas para aserrar son expulsadas hacia fuera y se las deja caer en el terreno; la madera para pasta se recoge normalmente con un bastidor de carga que se vacía cuando está lleno. Las trozas de ambas longitudes están listas entonces para su madereo de suspensión. Los árboles cuyo diámetro en la parte más gruesa es hasta de 60 cm pueden desramarse con máquinas.

Cuando se produce madera para pasta, el tiempo básico de producción por árbol puede expresarse mediante la fórmula:

- i) $PDBT = 0,24 + 0,05 NB$ cuando se producen trozas de 2,5 m (27) y
- ii) $PDBT = 0,24 + 0,06 NB$ cuando se producen trozas de 3 m.

donde PDBT = tiempo básico de desrame y tronzado en minutos/árbol;

NB = número promedio de trozas para pasta por árbol.

Debe aplicarse el factor 0,90 al tiempo anterior por árbol si todas las trozas que se producen son en longitudes para aserrar y 0,95 si se están elaborando trozas para aserrar y trozas cortas para pasta (2,5 - 3 m).

El tiempo básico de producción por árbol debe ajustarse mediante los factores descritos en la Sección 11.2, de modo que la producción en m^3/HPM puede calcularse mediante la fórmula normal

$$PDBM = \frac{60 \times VT}{PDBT (1 - \sum TA)}$$

donde PDBM = producción de la desramadora-tronzadora en m^3/HPM ;

VT = volumen medio por árbol en m^3 ;

PDBT = tiempo básico de producción expresado en min/árbol (véase el párrafo precedente);

TA = factores de ajuste de tiempo, expresados en forma decimal, tomados de la Sección 11.2.

El coste de desrame y tronzado puede obtenerse mediante la fórmula:

$$DBCM = \frac{C + c (1 + f)}{PDBM}$$

donde DBCM = coste de desrame y tronzado en \$EE.UU./ m^3 ;

C = coste de funcionamiento de la desramadora-tronzadora en \$EE.UU./HPM determinado de acuerdo con lo descrito en la Sección 3.3.4;

c = salarios directos del operario en \$EE.UU./HPM;

f = coste de las cargas sociales expresado en tanto por ciento de los salarios directos;

PDBM = producción de la desramadora-tronzadora en m^3/HPM .

Pueden producirse retrasos en el desrame si se encuentran ramas de más de 7-8 cm lo que obliga al operario a parar, dar marcha atrás y volver a poner en funcionamiento los rodillos de alimentación para cortar la rama, o debido a que las ramas, puntas y desechos se enredan en el cabezal de la desramadora.

22.2 Desramadoras-tronzadoras que trabajan a borde de carretera

Las procesadoras que trabajan en la zona de corta y que se han descrito anteriormente pueden utilizarse también a borde de carretera. La producción sería ligeramente superior debido a las mejores condiciones de trabajo, pero cualquier ventaja sería superada con creces por los inconvenientes relativos a la producción de árboles completos a borde de carretera y por el coste de limpiar los desechos acumulados en el cargadero.

22.2.1 Procesadora Hahn

La Hahn es una procesadora pequeña exclusivamente para trabajar a borde de carretera. Va montada sobre dos ejes, uno de los cuales es motriz; utilizándose para maniobrar la máquina durante el trabajo de elaboración. Los árboles a desramar se colocan en un cargadero llano a borde de carretera que tiene alrededor de 75 m x 75 m, o situado cerca de la carretera y paralelo a ella. La procesadora se sitúa dando frente a los extremos gruesos de los árboles. Cuando está funcionando el brazo alimentador articulado coloca la parte gruesa de un árbol o de más de un árbol, si éstos son pequeños, en el cabezal de desramar de 45 cm, que va montado en un pequeño carro en la parte delantera de la máquina. El cabezal aproxima el árbol y lo lleva, guiado por un carril, 2,5 m hacia atrás, hasta una guillotina situada cerca del centro de la máquina, donde se le sostiene mientras el cabezal desramador regresa a su posición inicial, cortando las ramas durante el recorrido. La operación se repite seguidamente; la guillotina se pone en marcha en el momento apropiado, la troza cortada cae al suelo junto a la máquina y se repite todo el proceso hasta que el árbol está completamente desramado y tronzado. Con esta máquina se pueden producir también trozas para aserrar.

La máquina, cuando prepara árboles de uno en uno, es capaz de producir alrededor de un árbol por minuto en una masa que tenga un volumen medio de 0,14 m³ por árbol. En una operación de producción una batería de 4 procesadoras, trabajando sobre la base de 2 turnos produjo 50 000 m³ de madera de 2,5 m en 6 600 HPM a un ritmo medio de 7,6 m³/HPM, trabajando en una masa que tenía un volumen medio de 0,12 m³ por árbol. Un estudio detallado demostró que se habían elaborado 2 700 árboles en 1 530 ciclos, es decir, a una media de 1,76 árboles por ciclo, con un tiempo para cada ciclo de 1,1 min y un tiempo por árbol de 0,63 min.

Costando la máquina alrededor de 65 000 \$EE.UU., el coste de elaboración habría sido alrededor de 2,00 \$EE.UU./m³, más el coste del operario y un coste aproximado de 0,40 \$EE.UU. por m³ en la limpieza de ramas, puntas y desechos de la zona de elaboración.

La procesadora Hahn es una desramadora-tronzadora relativamente sencilla. Un operario puede hacerse bastante eficiente en unas pocas semanas. Es una procesadora bastante adecuada para pequeñas operaciones de explotación maderera.

22.2.2 Procesadora Arbomatik

La procesadora Arbomatik es una desramadora-tronzadora, exclusivamente para trabajar a borde de carretera que prepara los árboles de uno en uno, con un brazo telescópico para alcanzar los árboles, un rodillo alimentador continuo de pías que trabaja a una velocidad de 55 m/min y una sierra pendular para tronzar. Trabaja con árboles enteros apilados perpendicularmente a la carretera donde se sitúa la máquina cuando está trabajando. En una masa con un promedio de 0,14 m³/árbol, se ha comprobado que la producción real es de 19 m³/HPM, y la producción potencial se calculó alrededor de un 20% mayor.

El fabricante, Forano Ltd., ha suspendido la producción.

23. CORTADORAS-DESRAMADORAS

En Norteamérica hay en el mercado o se están desarrollando varios tipos de cortadoras-desramadoras para producir troncos enteros en la zona de corta. Algunas, como la Drott y la Poclain, van montadas sobre chasis con orugas; otras, como la Timberjack TJ-30 y TJ-40, la John Deere X-12TL y la Tanguay, van montadas sobre bases articuladas con ruedas de goma.

23.1 Cortadoras-desramadoras sobre orugas

Las máquinas montadas sobre orugas son esencialmente cortadoras-apiladoras con rodillos alimentadores y con cuchillas para desramar incorporadas al cabezal de corta. El cabezal combinado para cortar y desramar pesa del orden de 1 500-2 500 kg, dependiendo del fabricante, lo que es suficientemente pesado para impedir el uso de cualquier tipo de transporte salvo los de gran potencia.

Cuando está funcionando, la máquina trabaja generalmente siguiendo la línea del bosque sin cortar, realizando la corta de una faja de 5 a 11 m de anchura, dependiendo de la máquina y de la experiencia del operario. Corta el árbol con una cizalla, lo levanta verticalmente, lo gira hasta una zona de elaboración despejada y conveniente y lo deja caer en una posición horizontal, más o menos paralela a la máquina. Se aproximan las cuchillas de la desramadora y se ponen en marcha los rodillos de alimentación; el árbol pasa por las cuchillas de desramar, se le despunta automáticamente con un diámetro preestablecido y se le deja caer al terreno. Las fases de la operación tienen por tanto un orden sucesivo y la próxima operación de corta no empieza mientras se esté elaborando el árbol. El apilado no siempre es el adecuado para el maderero de arrastre con grapa; pero los troncos enteros siempre se pueden arrastrar con tractores de huinche y de travesaño de valvas.

La producción con cortadoras-desramadoras montadas sobre orugas varía dentro de unos límites amplios, dependiendo del tamaño de los árboles, de las condiciones del terreno y de la habilidad y motivación del operario. Los estudios sobre tiempos demuestran que el tiempo básico de producción es de uno 0,65 min/árbol en una masa que tenga un volumen promedio de 0,05 m³ por árbol, aumentando 0,05 min/árbol por cada aumento de 0,05 m³ en el volumen del árbol medio. Esto es debido tanto al peso como a la longitud de los árboles mayores. El tiempo básico de producción es el tiempo por árbol que puede lograr un operario plenamente eficiente, cuando trabaja en terreno llano y limpio, en una masa limpia de coníferas con un promedio de 0,05 m³/árbol y que contienen 1 200 árboles por ha o más. En cuanto a las otras máquinas que trabajan en terreno forestal, están sujetas a los factores de ajuste de tiempo descritos en las Secciones 11.2 y 14.1. Habiendo determinado el tiempo de producción ajustado por árbol, los valores de producción de coste pueden obtenerse aplicando las mismas fórmulas básicas que con las cortadoras-apiladoras, establecidas en la Sección 14.1.

La calidad del desrame es excelente con estos cabezales desramadores pero el sistema tiene algunas deficiencias. No todos los cabezales están equipados con una cizalla para despuntar; los troncos enteros pueden apilarse con las partes gruesas de manera uniforme sólo con cierta dificultad y un tiempo adicional, o incluso no es posible hacerlo; la producción, expresada en m³/HPM, está muy influida por el volumen de los árboles, tal como sucede con todas las procesadoras que trabajan árbol por árbol. La anchura de la faja es menor que con las correspondientes cortadoras-apiladoras, debido al peso adicional del mecanismo de desramar situado en el extremo del brazo. La utilización de este tipo de cortadora-desramadora no se está extendiendo.

23.2 Cortadoras-desramadoras sobre ruedas

La mayoría de las cortadoras-desramadoras de ruedas comprenden esencialmente un brazo para cortar articulado o de rótula, un transportador para desramar o brazo telescópico equipado con cuchillas desramadoras y, en la mayoría de los casos, un soporte para cargas de troncos enteros con un dispositivo de volquete. No existen cortadoras-desramadoras de ruedas que puedan considerarse plenamente desarrolladas. La más próxima a tal situación es la Timberjack TJ-30 que es una procesadora de árboles pequeños, totalmente inapropiada para árboles grandes o largos. Sin embargo, debido al gran interés existente en el momento actual (1976) en el este de Norteamérica por el sistema de troncos enteros, por razones que ya han sido mencionadas en otros lugares, varios fabricantes tienen cortadoras-desramadoras en diversas etapas de desarrollo. Esta es una situación totalmente opuesta a la de Suecia, por ejemplo, donde la mayor atención se dedica al sistema de madera corta, elaborándose mecánicamente en la zona de corta el 80% de la madera.

La Clark Equipment, la John Deere, la Forano y la Tanguay están trabajando sobre el tema de las cortadoras-desramadoras, aunque ninguna de ellas ha llegado más allá del prototipo o de la etapa previa a la de producción (1976) y la Eaton Yale (Timberjack) está trabajando sobre la TJ-40, que es una versión ampliada de la TJ-30. La Koehring de Canadá ha avanzado un paso más y tiene una verdadera cosechadora (harvester) de troncos enteros (hace el maderero con carga suspendida y corta y desrama) en la etapa previa a la de producción, tratándose de una máquina muy grande, con una capacidad de carga útil de 18 000 kg (ver la Sección 25). Las máquinas John Deere y Forano van montadas sobre el gran chasis básico del tractor forestal; las máquinas Clark y Tanguay son más grandes y más pesadas. La máquina Forano tiene la desramadora incorporada en el cabezal cortador, de la misma forma que las cortadoras-desramadoras montadas sobre orugas. Algunas tienen soportes de carga para acumular los troncos enteros elaborados; algunas, en la actualidad, dejan caer al suelo los árboles una vez elaborados.

A continuación se da el tiempo básico de producción en min/árbol para algunas de estas máquinas, obtenido de los datos de los ensayos. El tiempo básico de producción puede definirse como en la Sección 23.1 anterior. Los tiempos básicos están sujetos a los factores de ajuste descritos en las Secciones 11.2 y 14.1 ya que estas máquinas trabajan en terreno forestal. Habiendo determinado el tiempo ajustado de producción en minutos por árbol, la producción en m^3/HPM y el coste en \$EE.UU./ m^3 pueden estimarse con las fórmulas usuales (ver la Sección 14.1).

23.2.1 Timberjack TJ-30

Concebida como una máquina para realizar aclareos de líneas en plantaciones, y cuyo prototipo se hizo en Australia, la TJ-30 fue desarrollada por la Eaton, Yale Ltd. para ser empleada en bosques naturales. Pesa ligeramente más de 13 000 kg y va montada sobre el chasis de base del tractor forestal Timberjack 330 de 94 hp. Está diseñada para apear, y elaborar árboles de pequeño diámetro. La máxima capacidad de la cizalla para apear es de unos 30 cm de diámetro en punta gruesa del árbol.

Cuando está funcionando, alcanza el árbol con un brazo giratorio corto (3,6 m) articulado e "invertido", lo agarra, lo corta, lo levanta, lo deja caer sobre la máquina y lo sitúa en el cabezal para desramar situado en un brazo horizontal telescópico y lo sujeta con la mordaza cortadora; lo desrama entonces automáticamente, lo despunta y lo expulsa lateralmente dejándolo caer sobre un soporte de carga de 2 250 kg que se vuelca lateralmente cuando está lleno. El brazo cortador está libre entonces para trabajar con otro árbol. La carrera máxima del desramador es de 10 m; de este modo está limitada la longitud máxima del tronco comercial que puede elaborarse sin desplazar el árbol hacia delante con el brazo cortador y la mordaza. Cada uno de estos desplazamientos hacia delante aumentan en unos 2,5 m la longitud del tronco que puede elaborarse, pero aumenta el tiempo de elaboración por árbol en un 20% aproximadamente. La anchura normal de la faja de trabajo es de unos 5 m.

El tiempo básico de producción se ha encontrado que es del orden de 0,65 min por árbol en una masa que tenga un volumen medio de 0,05 m³ por árbol. El aumento en el volumen de los árboles aumentó el tiempo básico en 0,05 min por cada 0,05 m³ de aumento en volumen, cantidad que habría que añadir cuando sea necesario al tiempo básico de producción.

Debe tenerse cuidado cuando se deja caer el árbol sobre el mecanismo desramador de la TJ-30 debido a los golpes de las cargas sobre la superestructura.

23.2.2 Cortadora-desramadora Tanguay

Esta máquina pesa 50 000 kg, estando accionada por un motor de 230 hp. Va montada sobre 6 ruedas, un eje simple en la parte delantera con cubiertas de 33,25 x 35 y orugas. Se mueve hacia atrás cuando está trabajando.

Está equipada con un brazo cortador articulado que tiene un alcance de 7,5 m y una cizalla de 45 cm. La desramadora es del tipo de cinta transportadora que se extiende más allá de la parte delantera (trasera cuando está trabajando) de la máquina, estando equipada con 4 rodillos alimentadores y 3 cuchillas desramadoras. El árbol cortado se gira hasta la parte trasera (delantera cuando está funcionando) de la máquina, se le baja hasta una posición horizontal y se le deja caer en el extremo de alimentación de la desramadora. El desrame y el despunte son automáticos; el árbol ya elaborado se transporta hasta la parte trasera y se le expulsa a uno de los lados. Mientras continúa el desrame, el operario apea otro árbol. La máquina puede trasladarse o efectuar el aprovechamiento, pero no puede desarrollar ambas actividades simultáneamente.

El tiempo básico de producción por árbol se determinó mediante datos de pruebas resultando 0,47 min/árbol. Sin embargo, este tiempo básico está sujeto a los ajustes normales (ver Sección 11.2 y 14.1).

24. CORTADORAS-DESRAMADORAS-TRONZADORAS

Son máquinas que apean los árboles y producen madera corta en la zona de apeo. No se consideran como verdaderas "cosechadoras" ya que no transportan la madera elaborada hasta el borde de la carretera. También, como en el caso de las cortadoras-desramadoras, algunas van montadas sobre orugas y otras sobre chasis articulados con ruedas de goma.

24.1 Cortadoras-desramadoras-tronzadoras montadas sobre orugas

Estas máquinas son cortadoras-desramadoras con la función adicional de tronzar madera corta, incorporada en el cabezal de cortar y desramar. Mientras se hace pasar el árbol por las cuchillas desramadoras mediante los rodillos alimentadores, se le para en el punto adecuado normalmente mediante una placa de topes, se ponen en marcha las cizallas de tronzar (en realidad, las cizallas de apear), se corta la troza y se la deja caer al terreno.

Se ha comprobado la capacidad productiva de este tipo de máquina, que es alrededor de un 25% inferior a la correspondiente a las cortadoras-desramadoras, de modo que la producción en m³/HPM puede determinarse tomando el tiempo básico de producción de 0,85 min/árbol y aplicando la fórmula usual que incluye los factores de ajuste de tiempo descritos en las Secciones 11.2 y 14.1:

$$PFDBM = \frac{60 \times VT}{0,85 (1 + \sum TA)}$$

Estas procesadoras montadas sobre orugas adolecen de las mismas deficiencias que las correspondientes cortadoras-desramadoras. Los pesos del cabezal son del orden de 2 000 a 2 500 kg, carga realmente pesada para colgar del extremo final de un brazo articulado que ha de cortar y manejar árboles completos. Como en el caso de las cortadoras desramadoras montadas sobre orugas, no se cree que se extienda el uso de estas máquinas.

24.2 Cortadoras-desramadoras-tronzadoras montadas sobre ruedas

Esta máquinas son principalmente suecas, de diseño y fabricación: la Kockum, la Volvo y la Osa. Son esencialmente desramadoras-tronzadoras en las cuales la grapa de alimentación de árboles ha sido sustituida por un cabezal cortador ligero capaz también de hacer avanzar el árbol apeado e introducirlo en el cabezal de desramar. No se puede levantar el árbol y mantenerlo en una posición vertical como con el cabezal de la cortadora-apiladora.

Para fines prácticos, la producción con estas máquinas varía poco entre ellas y hay poca diferencia, si es que existe alguna, con las correspondientes desramadoras-tronzadoras. Esta está basada en que sean capaces de alcanzar los árboles, apearlos y traerlos hasta el cabezal desramador con un ritmo aproximadamente igual al de su elaboración. Los ensayos demuestran que en el caso de las desramadoras-tronzadoras, cada uno de los elementos - el brazo alimentador y el procesador - ocasionalmente se ve forzado a esperar unos pocos segundos al otro. Este tiempo de espera no se cree que sea mayor cuando se utiliza un brazo cortador en vez de un brazo alimentador. Las fórmulas de producción y coste se encontrarán por lo tanto en la Sección 22.1, que son igualmente aplicables a la corta-desramado-tronzado.

25. CORTADORAS-DESRAMADORAS-TRANSPORTADORAS

Estas máquinas son cosechadoras de troncos enteros ya que cortan, desraman, acumulan y efectúan el maderreo de suspensión de troncos enteros hasta borde de carretera. Son, forzosamente, máquinas grandes. La Koehring Canada Ltd. tiene un prototipo que se vende en 210 000 \$EE.UU. con el que se están haciendo ensayos de campo en la actualidad (1976). Pesa 45 000 kg y tiene una capacidad de carga útil de 18 000 kg dando un peso total bruto de 63 000 kg. Es una máquina articulada de 4 ruedas con la cabina y el brazo, montado sobre pedestal, en la parte delantera del chasis y con el motor, el soporte para la carga y el rail de desramar y el carro en el chasis trasero. Las 4 ruedas son de transmisión hidrostática, estando diseñadas para llevar cubiertas de 43,5 y 39. El brazo articulado lleva un cabezal de 60 cm para cortar varios árboles, pudiendo acumular varios árboles pequeños en las mordazas del cabezal cortador antes de desramar.

La desramadora se controla a mano (no es automática), pudiendo desramar varios árboles simultáneamente, pero en la actualidad (1976) no cuenta con medios para despuntarlos.

Cuando esta funcionando, el brazo cortador apea el árbol - o varios si son pequeños - lo gira hacia la parte de atrás y lo deja caer sobre el carro desramador montado sobre rail, lo sostiene mientras las cuchillas desramadoras eliminan las ramas a la velocidad de 3 m/seg. y a continuación lo deja sobre el soporte de carga.

No se dispone de una descomposición detallada del tiempo de producción por unidad pero la producción en un turno de 8 horas durante los ensayos de campo llegó a 115 m³ entregados a pie de carretera en una masa con un volumen medio de 0,14 m³ por árbol. Otro ensayo demostró también que se alcanzaba un ritmo de producción de 124 árboles/HPM, con un promedio de 2,7 árboles por ciclo y con un tiempo por ciclo de 1,3 minutos.



Cortadora-desramadora-transportadora colocando un árbol cortado sobre el carro desramador.

26. MADEREO DE SUSPENSION

26.1 Generalidades

El madereo de suspensión es el transporte de madera desde la zona de corta hasta el borde de carretera llevando la carga útil sin apoyar sobre el terreno. Tanto la resistencia a la tracción como a la rodadura serán mayores para igual carga útil, que cuando se efectúa el madereo de arrastre, pero no existirá resistencia de rozamiento de la carga útil.

El madereo de suspensión, como operación independiente, es una parte esencial del sistema de madera corta (excepto para las cosechadoras forestales que efectúan el madereo de suspensión de su propia producción). También se puede realizar el madereo de suspensión de troncos enteros y de árboles completos, pero no es de esperar que se generalice el madereo de suspensión de árboles completos en la etapa actual de tecnología industrial. Si los árboles se desraman mecánicamente en la zona de apeo, es lógico que se deba hacer al mismo tiempo la operación adicional de tronzarlos en madera corta. No hay razón suficiente para hacer el madereo de suspensión de árboles completos que ya han sido cortados a menos que se vayan a entregar enteros a la industria o que se vayan a convertir en astillas a borde de carretera.

26.2 Madereo de suspensión de madera corta

El madereo de suspensión de madera corta puede hacerse a mano, con animales o con máquinas. La carga y la descarga pueden hacerse manualmente o mecánicamente y la madera puede apilarse a borde de carretera o trasladarse a otro vehículo para evitar el costo de una nueva manipulación.



Tractor forestal transportador articulado para madera corta.

La operación del maderero de suspensión se analiza con considerable detalle en el Capítulo 8 del Manual de la FAO "Aprovechamiento de Bosques Artificiales en Países en Desarrollo" (2). El manual se refiere al maderero de suspensión con mano de obra, con bueyes y con remolques, con tractores forestales modificados (packsacking), con pequeños tractores de oruga, tractores de 4 ruedas de doble tracción de tipo agrícola y no articulados, con remolques y con máquinas especialmente diseñadas con tracción a todas las ruedas que son autocargadoras y que se denominan tractores forestales transportadores, algunas de ellas capaces de transportar cargas útiles hasta de 16 000 kg de madera corta. Se dedica mucho espacio a las diversas componentes de las operaciones mecánicas del maderero de suspensión y se presenta un formulario detallado para calcular la producción y el coste.

26.2.1 Tractores forestales autocargadores

Los que estén más interesados en la obtención rápida de valores aproximados de producción y coste, pueden utilizar el siguiente método. Es necesario conocer:

- (1) densidad de la masa en m^3/ha ;
- (2) longitud de la troza en m;
- (3) capacidad de carga útil del "forwarder" en m^3 ;
- (4) superficie de la garra cerrada o diámetro (véase el Cuadro 25);
- (5) coste de adquisición del tractor transportador en \$EE.UU.;
- (6) anchura media de la faja en m.

Para obtener la producción en m^3/HPM debe procederse en la forma siguiente:

- (1) leer la capacidad de la grapa (GC) en el Cuadro 25;
- (2) conociendo la densidad de la masa y la anchura de la faja, leer la longitud de desembosque (SL), por m^3 de carga del tractor transportador en m (Cuadro 26);
- (3) tomar como cargas medias de la grapa 0,70 GC cuando se carga y 0,90 GC cuando se descarga;
- (4) tomar como tiempo medio del ciclo de la grapa, 0,50 min;
- (5) tomar como velocidades medias de recorrido del tractor transportador sobre terreno llano y limpio 40 m/min (ATSS) cuando está cargando en el camión de desembosque y 60 m/min (ATS) en la tiradera que conduce hasta el borde de la carretera;
- (6) determinar el espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento mediante la fórmula usual (Apéndice D.1) y la distancia media del madereo de suspensión (Apéndice D.3) o medir la distancia en el terreno;
- (7) calcular el valor de los factores de ajuste de tiempo (TA) que deben aplicarse para compensar las condiciones deficientes del terreno, el clima, el entrenamiento del operario, la habilidad de éste y su motivación, y los retrasos por motivos personales (10%) tal como se establece en la Sección 11.2;
- (8) aplicar la fórmula

$$PFM = \frac{60L}{\left(\frac{0,50L}{0,70 GC} + \frac{L \times SL}{ATSS}\right) (1 + \sum TA) + \frac{2 AFD}{ATS (1 - TAT)} + \frac{0,50L}{0,90GC} (1 + TAP)}$$

donde PFM = producción en m^3/HPM ;

L = carga útil del madereo de suspensión en m^3 ;

GC = capacidad de la garra en m^3 ;

SL = longitud de la faja por m^3 de carga útil;

ATSS = 40 m/min = velocidad media de recorrido cuando está cargando en la faja en las condiciones óptimas;

AFD = distancia media del madereo de suspensión en m;

ATS = 60 m/min = velocidad media de recorrido cuando se traslada hasta el borde de carretera o vuelve de éste;

TA = factores de ajuste de tiempo a aplicar al tiempo básico de producción;

TAT = factor de ajuste del terreno (Sección 11.2);

TAP = factores de ajuste personales (Sección 11.2);

El coste del madereo de suspensión por m^2 puede determinarse entonces mediante la fórmula

$$FCM = \frac{C + c(1 + f)}{PFM}$$

donde FCM = coste del madereo de suspensión en \$EE.UU./ m^3 ;

c = salarios directos del operario en \$EE.UU./HPM;

f = coste de las cargas sociales expresado en porcentaje de los salarios directos;

PFM = producción del madereo de suspensión en m^3 /HPM;

$C = \frac{2,4 A}{LE}$ = coste en \$EE.UU./HPM, de funcionamiento del forwarder, excluyendo el operario;

donde A = coste de adquisición del tractor transportador en \$EE.UU.;

LE = duración previsible en HPM, de acuerdo con lo incluido en la Sección 3.3.3.

26.3 Madereo de suspensión de troncos enteros

Los troncos enteros suelen extraerse mediante madereo de arrastre hasta el borde de la carretera. Sin embargo, se está desarrollando un prototipo de tractor transportador para tal clase de madera en el este de Canadá desde 1970 (23) denominado el Dungarvon Tree-Toter o "Forwarder", tiene un bastidor giratorio (40°) en lugar de un bastidor articulado, una altura libre sobre el suelo de 90 cm, transmisión positiva a las cuatro ruedas y cubiertas del tipo de tacos de $38,5 \times 35$. La máquina pesa alrededor de 28 000 kg estando descargada y está diseñada para transportar una carga útil de 26 000 a 28 000 kg. Su precio de compra estimado era de 150 000 \$EE.UU. a principios de 1976, es decir, de 5,35 \$EE.UU./kg. Está accionada con un motor de 318 hp y con una transmisión que permite contar con 6 velocidades desde 0,6 a 35 km/hora a 2 250 rpm. Su relación de peso con respecto a la potencia total es de 170.

El objetivo del programa de su desarrollo era un vehículo que pudiera transportar cargas de $28 m^3$ de madera a base de troncos enteros a una velocidad relativamente elevada en terreno forestal, para distancias en varios km, en forma económica, a fin de reducir la necesidad de costosas carreteras de aprovisionamiento. El "forwarder" necesita ser cargado con un cargador independiente en la zona de corta, partiendo de madera apilada. En consecuencia, es simplemente un elemento de transporte. El ritmo de carga con una grapa especial hidráulica durante los ensayos de campo fue de $2,26 m^3/min$. La descarga, por medio de un dispositivo de volquete hidráulico lateral, tardó un promedio de 3 minutos por carga. La velocidad media de recorrido en viaje de ida y vuelta fue de 187 m/min.

Continúa el trabajo para el desarrollo de este tractor transportador. Es probable que se incorpore a la máquina un cargador autónomo.

CUADRO 25

CAPACIDAD CALCULADA⁽¹⁾ EN M³ DE GARRAS DE VARIOS TAMAÑOS
(1 m³ = 1,67 m³t) ⁽²⁾

Garra cerrada		Longitud de las trozas en metros					
Superficie en m ²	Diámetro interior en cm	1 F ⁽³⁾ = 0,67	2 F = 0,64	3 F = 0,61	4 F = 0,58	5 F = 0,55	6 F = 0,52
0,20	50	0,14	0,26	0,37	0,47	0,55	0,63
0,25	56	0,17	0,32	0,46	0,58	0,69	0,78
0,30	62	0,20	0,38	0,55	0,70	0,83	0,94
0,35	67	0,23	0,45	0,64	0,81	0,96	1,09
0,40	71	0,27	0,51	0,73	0,93	1,10	1,25
0,45	76	0,30	0,58	0,82	1,04	1,24	1,40
0,50	80	0,34	0,64	0,92	1,16	1,37	1,56
0,55	84	0,37	0,70	1,01	1,28	1,51	1,71
0,60	87	0,40	0,77	1,10	1,39	1,65	1,87

- Notas: (1) Capacidad de la garra = superficie en m² x longitud de la troza en metros x factor F
donde F = relación entre el volumen de la madera sin corteza y el volumen de la madera apilada sin descortezar
(2) m³t = volumen de la madera apilada
(3) el valor del factor F variará algo con la longitud de la troza, debido a que las trozas más largas tienden a colocarse menos próximas cuando están agrupadas.

CUADRO 26

LONGITUD DE FAJA POR M³ DE CARGA UTIL DEL TRACTOR TRANSPORTADOR

q = volumen por ha en m ³	SW = anchura de la faja en metros		
	10	15	20
20	50	33	25
30	33	22	17
40	25	17	12
50	20	13	10
60	17	11	8
70	14	10	7
80	12	8	6
90	11	7,5	5,5
100	10	6,5	5
120	8	5,5	4
150	6,5	4,5	3,5
200	6	3,5	2,5

27. COSECHADORAS FORESTALES DE MADERA CORTA

Las cosechadoras forestales de madera corta son máquinas que apean, desraman, tronzan y despuntan los árboles en la zona de corta, transportan la madera preparada a borde de carretera y la descargan a un camión o remolque o bien la apilan junto a la carretera. La máquina cosechadora de madera corta Koehring KH3D que produce madera de 2,5 m es la única máquina de producción capaz de hacer esto. Fue diseñada especialmente para las condiciones del este de Canadá. Tiene 10 m de largo y 4,6 m de ancho. Pesa alrededor de 43 000 kg en vacío y tiene una capacidad de carga útil de unos 14 000 kg, es decir, alrededor de 15 m³ de las especies corrientes de coníferas del este de Canadá. Está equipada con cubiertas de 37,5 x 39 lo que da una altura libre sobre el terreno de 86 cm y una capacidad de subida de pendiente de 40° cuando está equipada con cadenas. El precio de la máquina es en la actualidad (1976) alrededor de 230 000 \$EE.UU. Hay en la actualidad trabajando unas 150.

Se trata de una máquina articulada que lleva la cabina del operario, el brazo articulado que coge los árboles, el brazo de descarga y la torre de elaboración montados sobre el chasis delantero y el motor y el soporte de carga en el chasis trasero. El brazo que agarra los árboles está equipado con una cizalla para apeaar de 50 cm con un aditamento opcional para varios árboles. Tiene una capacidad de más de 1 100 kg para un alcance total de 6 m. Los árboles se preparan en un ángulo de 35° con la vertical para dejar que las ramas caigan fuera de la máquina. Puede tratar árboles con diámetro hasta de 40 cm. El motor desarrolla una potencia de 210 hp, lo que da al vehículo cargado una relación de peso a potencia total de 210, que es baja para trabajar en terreno difícil.

La máquina funciona con un solo hombre, que manipula el brazo que toma el árbol para apearlo, lo levanta y lo mantiene en posición vertical, lo gira entonces y lo empuja lateralmente hacia las garras que lo sujetan cerca de la parte superior de la torre de preparación. Tan pronto como se cierran las garras, el operario va tras otro árbol mientras continúa automáticamente el tratamiento y almacenamiento. En esta operación el cabezal desramador sube recorriendo 2,5 m del árbol, eliminando las ramas durante el recorrido, mientras que al mismo tiempo la torre se mueve hasta la posición inclinada. A continuación, el cilindro golpeador se mueve hacia abajo y se corta la primera troza que es expulsada sobre dos rodillos cónicos de alimentación que empujan la troza hacia el interior de un canal situado por debajo del soporte de carga. Seguidamente la troza es "embutida" hacia arriba hidráulicamente dentro del mencionado soporte de carga. La operación de tratamiento se continúa hasta que se alcanza un diámetro en punta predeterminado, en cuyo momento se corta la punta del árbol, dejándola caer al suelo y la torre regresa a la posición vertical (con respecto a la máquina), lista para recibir el próximo árbol. Se necesita un tiempo de 6 segundos para preparar cada troza de 2,5 m.

Cuando se ha tratado una carga, la máquina se traslada hasta el borde de la carretera donde el operario utiliza el brazo articulado de descarga y la grapa para apilar la madera a borde de carretera o sobre camión o remolque. La velocidad de recorrido varía ampliamente de acuerdo a las condiciones del terreno. Los ensayos realizados han dado velocidades, en vacío y en carga, en terreno forestal firme y plano con promedios de 65 m y 50 m/min respectivamente, y de 30 m y 20 m/min en terreno blando, hundiéndose la máquina de 15 a 60 cm. Las velocidades de recorrido es pendientes de subida, especialmente con carga, son también reducidas debido a la elevada relación peso-potencia.

La descarga necesita 1,0 minuto por ciclo utilizando una garra con capacidad, estando cerrada, de 1,5 m³ de madera de 2,5 m de longitud y apilando la madera sobre el terreno ordenadamente de modo que pueda medirse para pagar los impuestos gubernamentales. Esto incluye el girar 180° una carga sí y otra no, a fin de alternar los extremos más gruesos para fines de medición de la madera. El tiempo de cada ciclo es de 1,0 minuto, que es el doble del necesario para los tractores transportadores que descargan a camiones o remolques con una grapa un 25% menor. La descarga sobre remolques sería probablemente algo más rápida.

En buen terreno, donde el Harvester pueda mantener una posición horizontal, utilizando el cabezal opcional de corta para varios árboles y tratando dos o más árboles simultáneamente, la máquina funciona bastante bien. Los problemas suelen estar relacionados con el transporte de las trozas y con la operación de "embutido".

La producción del Harvester depende en gran medida del volumen de los árboles. Cuando se trata del aprovechamiento de árboles menores de 15-16 cm de diámetro normal, el procesador puede tener que esperar al árbol; con árboles mayores puede ocurrir lo contrario; sin embargo, normalmente no suele suceder esto con un operario eficiente y el procesador determina de costumbre el ritmo de producción. La producción también depende del espaciamiento de los árboles (número de árboles comerciales por ha), por el terreno y por el entrenamiento del operario (curva de aprendizaje), su habilidad y motivación. El Cuadro 27 muestra una relación aproximada entre el diámetro normal con corteza, el volumen comercial y el número de trozas de 2,5 m por árbol.



Cosechadora forestal de madera corta para el procesamiento completo de los árboles en la zona de corta y el madereo de suspensión hasta el borde de carretera.

CUADRO 27 ⁽¹⁾

RELACION APROXIMADA ENTRE EL DIAMETRO NORMAL CON CORTEZA (DNCC),
EL VOLUMEN COMERCIAL Y EL NUMERO DE TROZAS DE 2,5 m POR ARBOL

DNCC en cm	Volumen comercial en m ³	Número promedio de trozas de 2,5 m por árbol
10	0,026	1,6
12,5	0,057	2,6
15	0,102	3,6
17,5	0,161	4,4
20	0,232	5,1
22,5	0,315	5,7
25	0,41	6,2
27,5	0,51	6,7
30	0,63	7,1
32,5	0,75	7,4
35	0,88	7,7
37,5	1,03	7,9
40	1,19	8,0

Nota: (1) Para utilizar cuando se disponga de otros datos de la región.

La producción de la cosechadora forestal en m³/HPM puede expresarse entonces mediante la fórmula siguiente cuando los árboles se aprovechan de uno en uno:

$$PHM = \frac{6L \times L}{L (0,25 + 0,10NL + 0,10x + 0,20y) (1 + \sum TA)} + \frac{2AFD}{ATS (1 - TAT)} + UL (1 - TAP)$$

donde PHM = producción en m³/HPM;

L = carga útil media en m³;

NL = número promedio de trozas por árbol;

x = porcentaje de árboles comerciales de la masa entre 12 y 14 cm de diámetro normal;

y = porcentaje de árboles comerciales de la masa inferiores a 12 cm de diámetro normal;

VT = volumen comercial medio por árbol en m³;

TA = factores de ajuste a aplicar al tiempo básico de tratamiento por árbol (Secciones 11.2 y 14);

AFD = distancia media del madereo de suspensión en m;

ATS = velocidad media del recorrido de ida y vuelta en m/min;

TAT = factor de ajuste del terreno (Sección 11.2);

UL = tiempo de descarga en minutos, por carga;

TAP = factores de ajuste del personal (básico, aprendizaje, habilidad y motivación).

El coste de aprovechamiento en \$EE.UU./m³ puede determinarse entonces mediante la fórmula:

$$HCM = \frac{C + c(1 + f)}{PHM}$$

donde HCM = coste de aprovechamiento en \$EE.UU./m³;

C = coste de funcionamiento de la cosechadora forestal, excluyendo el operario, en \$EE.UU./HPM;

c = salarios directos del operario en \$EE.UU./HPM;

f = coste de las cargas sociales expresado en tanto por ciento de los salarios directos;

PHM = producción del aprovechamiento en m³/HPM.

28. ASTILLADO A BORDE DE CARRETERA

Las industrias de pulpa kraft en muchas regiones de Norteamérica están utilizando para abastecer la industria un tanto por ciento de astillas del árbol completo, principalmente de frondosas, producidas a borde de carretera con astilladoras portátiles. Estas unidades están generalmente montadas sobre un semiremolque, que está entre los 8 y 12 m de longitud y que pesa de 10 a 30 toneladas. Comprenden esencialmente un transportador alimentador dotado de rodillos alimentadores de presión, astilladoras de 2 cuchillas o de 3 cuchillas, accionadas con 375-400 hp o 450-550 hp respectivamente, un cargador de brazo articulado con grapa para alimentar el transportador y una tubería neumática para transportar las astillas hasta el interior de un vagón remolque u otro vehículo. Los discos de la astilladora tienen hasta 1,7 m de diámetro.

Un operario del cargador puede hacer funcionar la máquina ayudado, cuando sea necesario, por un hombre en el terreno con una sierra mecánica para eliminar las puntas gruesas de tamaño excesivo, las grandes ramas de frondosas y otros productos pesados que pueden ocasionar problemas para el astillado. La producción varía con la especie, con el tamaño de los árboles y con la estación del año. Las observaciones realizadas dan una producción, con astilladoras de 2 cuchillas, de 20-40 toneladas de astillas verdes por HPM y de 150 ton./turno en invierno y 200 ton. en verano.

El astillado a borde de carretera puede combinar con cualquiera de los tres sistemas principales de explotación maderera pero generalmente está asociado con el astillado de árboles completos de especies frondosas, a borde de carretera. La utilización de astillas del árbol completo de especies frondosas está limitada en la mayoría de las plantas de fabricación por la incapacidad tecnológica hasta el momento presente para diseñar un método económico para segregar y separar la corteza de las astillas de madera. La operación de mantener una astilladora, a borde de carretera, abastecida de árboles, implica normalmente la utilización de cortadoras-apiladoras y de tractores forestales de garra o tractores arrastradores-cortadores.

Sin embargo, los tractores forestales transportadores se prestan mejor para el sistema de astillado ya que los árboles se transportan sin tocar con el terreno desde la zona de corta. El madereo de arrastre recoge tierra y suciedad en el camino. Esto acelera el desgaste de la astilladora, aumentando el coste de mantenimiento y disminuyendo progresivamente la calidad de las astillas. En ciertas condiciones difíciles (partiendo del madereo de arrastre) los cuchillos de la astilladora tienen que cambiarse y afilarse después de cada hora de astillado, lo que significa una tarea de 30 minutos.

Las principales ventajas constatadas en el astillado de árboles completos son las siguientes:

- (a) volumen mucho mayor de fibra de madera a partir de cada unidad de superficie de terreno forestal (del 40% al 100%, dependiendo de las circunstancias), lo que da como resultado con el tiempo una menor distancia de transporte a la industria;
- (b) mayor productividad por hombre y día; en algunos casos el doble;
- (c) fibra de madera más barata en la industria;
- (d) zonas cortadas más atractivas, más fáciles de regenerar ya sea naturalmente o artificialmente.

Existen algunas desventajas:

- (a) la corteza influye en los niveles de producción de la industria y en los costes y apariencia del producto;
- (b) crea problemas de cribado y, en ciertos casos, problemas de tener que volver a astillar las ramitas y las astillas de tamaño excesivo.

29. TRONZADORAS MÚLTIPLES

29.1 Tronzadoras múltiples canadienses

El término "tronzadora múltiple" (slasher) en el contexto de este manual se refiere a máquinas móviles para tronzar troncos enteros en madera corta a borde de carretera o en el cargadero final. Por lo tanto, son máquinas componentes del sistema de troncos enteros. Se están utilizando muchas tronzadoras múltiples en el este de Norteamérica para producir trozas de 1,22 m y múltiplos de esta longitud hasta de 5 m en Canadá y Norte de los Estados Unidos de América, y trozas de 1,6 m más al sur. Todas constan fundamentalmente de un transportador dotado de rodillos de arrastre, de un brazo articulado con una grapa del tipo de tacón para alimentar el transportador, dos o tres sierras tronzadoras de control manual y, para ciertas situaciones, un brazo articulado con una grapa para madera corta. Todas son, necesariamente, máquinas largas y pesadas que van montadas sobre ruedas neumáticas y reforzadas con un par de patas estabilizadoras en el extremo pesado, cuando están funcionando.

Los troncos enteros que se van a tronzar con las máquinas mencionadas deben apilarse perpendicularmente a la carretera y con los extremos más gruesos dando vista hacia ésta. Esto reduce la distancia del madereo de arrastre y mejora la producción del mismo. Es necesario despejar el cargadero de árboles en pie pero no es preciso hacer labor de bulldozer; los troncos enteros se dejan tumbados sobre el terreno forestal. La tronzadora se sitúa en la carretera cuando está trabajando.

Las tronzadoras que trabajan a borde de carretera produciendo trozas de 2,45 m necesitan un equipo de 3 hombres, uno para hacer funcionar el brazo alimentador y mantener el transportador abastecido con troncos enteros, otro que hace funcionar los rodillos del transportador a fin de que avancen los troncos enteros y que maneja las sierras y el tercero que está encargado de extraer la madera tronzada de la "cesta" de carga y de apilarla a borde

de carretera. Cada operario trabaja desde una cabina climatizada. Normalmente se dejan caer varios árboles en el transportador simultáneamente y se tronzan juntos, siendo mayor el número cuanto más pequeños sean los árboles.

Cuando se produce madera de 1,22 m a borde de carretera, no se precisa el tercer operario ya que la madera tronzada se transporta desde la sierra mediante un transportador corto, se les deja caer sin ningún orden en las cajas de los camiones y se les transporta inmediatamente hasta el cargadero final. Cuando se tronzan troncos enteros en la margen de un río o en un descargadero de invierno que está inundado durante el período de crecida de primavera, la madera tronzada se transporta también desde las sierras mediante un transportador y se la deja caer al río o al terreno desordenadamente.

La producción normal, con un equipo de hombres que trabaja a jornal, está alrededor de los 40-45 m³/HPM cuando se trabaja a borde de carretera, sin tener en cuenta la longitud de las trozas producidas, y con un coste de unos 1,10 \$EE.UU./m³. La producción en cargadero final, donde se apilan los troncos enteros con mayor altura y con menor necesidad de movimiento, viene a estar en unos 50-55 m³/HPM, llegando a veces a 70 m³/HPM con un coste bastante menor de 1,00 \$EE.UU./m³. Hay datos de una tronzadora móvil en el este de Canadá que ha producido más de 300 000 m³ de madera corta durante la temporada de explotación 1975-1976, con un equipo bien motivado.

Las tronzadoras móviles del tipo anterior cuestan alrededor de 140 000-175 000 \$EE.UU. dependiendo del fabricante y de los detalles del diseño, teniendo una duración mínima estimada de 15 000 horas productivas. Hay tronzadoras que trabajan más de 30 000 horas de acuerdo con sus registros.

29.2 Otras tronzadoras, normales y múltiples

Hay una variedad de otros dispositivos para trozas menos productivos que se usan en diversas regiones del mundo, muchos de ellos utilizados por empresas de explotación forestal que tienen una utilización insuficiente para unas máquinas de tanta productividad como las antes descritas. Hay cierto número de ellas en Norteamérica, sobre todo en los Estados Unidos, muchas construidas en talleres mecánicos locales que se adaptan a un sistema local determinado de explotación forestal.

En Suecia se utilizan también tronzadoras múltiples a borde de carretera (24), pero en menor extensión que en Canadá, debido a la predominancia del sistema de explotación de madera corta. Algunas de ellas, como la Logma y la Hällefors, se construyen sobre chasis de camión usados para producir trozas de 3 m o bien madera de 3 m y trozas para aserrar. Utilizan un solo brazo articulado y una grapa, tanto para alimentar la sierra tronzadora como para trasladar y apilar las trozas producidas. Una tronzadora sueca múltiple de borde de carretera, más larga y pesada, es la Morenius (24), que recuerda un tanto a las tronzadoras múltiples canadienses descritas anteriormente. Emplea dos operarios, uno que maneja el único brazo articulado para alimentar la máquina y el otro que maneja las sierras.

Hay también tronzadoras de sierra accionadas hidráulicamente y equipadas con grapa, como la Osa 770 de 30 hp, que llevan incorporados cargadores de brazo articulado. Cuando está funcionando, el cargador agarra uno o más troncos enteros cerca del extremo grueso tronza la carga de la grapa en las longitudes apropiadas, apila la carga de la grapa en el lugar indicado, agarra de nuevo la parte restante del tronco y repite el procedimiento hasta que se completa el tronzo.

30. SISTEMAS DE MADREO CON CABLE

El madereo con cable es el transporte de productos forestales en bruto desde la zona de corta hasta un punto a borde de carretera, con uno de los diversos sistemas disponibles con cable metálico, de tiro alto o de cable aéreo. Los últimos se denominan corrientemente sistemas de cable-grúa. Como afirmación de carácter general, los métodos de madereo de arrastre por tierra son más económicos que el madereo con cable, si existe la posibilidad de

elegir entre ambos. Los factores restrictivos para el maderero de arrastre por tierra son la pendiente (alrededor del 60%), la escabrosidad del terreno y los problemas relacionados con la erosión de áreas de montaña, así como la capacidad de resistencia del suelo en terreno llano.

Debido a las posibles reducciones del coste total de la madera, se ha producido en todo el mundo un aumento gradual del maderero de arrastre por tierra, con la correspondiente disminución en el maderero con cable. Este cambio se ha acentuado en algunos países por la escasez de personal especializado y la resistencia de los trabajadores más jóvenes a someterse al largo período necesario de capacitación para instalar y manejar los sistemas de maderero con cable, que son más complicados y llamativos. Los recientes avances en los equipos y técnicas del cable-grúa, tales como los cables-grúa controlados por radio y el mástil móvil, han tendido a alterar el punto de equilibrio de los costes en favor del maderero con cable, pero no en tal medida que haga posible la inversión de la tendencia.

Los sistemas de maderero con cable pueden clasificarse de la forma siguiente:

- (a) sistemas de corta distancia, hasta 700 m de longitud que sirven a la fase de transporte menor o primario y entregan las trozas directamente en la carretera de aprovisionamiento;
- (b) sistemas de larga distancia, hasta 1 500-2 000, que pueden, en ocasiones, cumplir también la función de la carretera de aprovisionamiento;

El último sistema puede instalarse permanentemente si la construcción de la carretera es irrealizable desde el punto de vista económico, debido a sus elevados costos y a la baja densidad de la masa y productividad de la estación en la zona.



Cable grúa móvil extrayendo trozas en operaciones de aclareo.

Los sistemas de madereo con cable pueden clasificarse también en la forma siguiente:

- sistemas con cable de tiro alto con una distancia máxima de arrastre de 300 m;
- sistemas de cable-grúa o de cable aéreo, tanto de corta distancia (hasta 700 m) como de larga distancia (hasta 2 000 m).

El Cuadro 9 enumera brevemente algunas de las características y limitaciones prácticas de algunos sistemas de madereo con cable respecto a longitudes y cargas útiles, en su aplicación a las zonas templadas. La Figura 9 muestra algunos sistemas de madereo con cable utilizados en Europa y otras publicaciones describen muchos de los que se utilizan en dicho continente, así como en Japón y en la zona del Pacífico del Noroeste de Norteamérica (1) (8).

	<u>Cable suspendido</u> SK = 1 M = 0 Hau = 0 Ho = 0 C = gancho WD = 0		<u>Cable grúa (cabrestante montado en el valle)</u> SK = 1 M = 1 Hau = 1 Ho = (1) C = 1 WD = 2
	<u>Cable de pendulo</u> SK = 2 M = 1 Hau = 1 Ho = 0 C = 2 WD = 0		<u>Sistema de línea floja (Cabrestante montado en la cumbre)</u> SK = 0 Ho = 0 M = 1 C = 1 Hau = 1 WD = 2
	<u>Cable sin fin</u> SK = 2 M = } E-1 Hau = } Ho = C = varios WD = 0		<u>Cable de tiro alto</u> SK = 0 M = 1 Hau = 1 Ho = 0-(1) C = 0-1 WD = 2
	<u>Cable grúa (cabrestante montado en la cumbre)</u> SK = 1 M = 0 Hau = 1 Ho = (1) C = 1 WD = 1		<u>Arrastre por tierra</u> SK = 0 M = 2 Hau = 0 Ho = 0 C = 0 WD = 2
SK = cable aéreo M = cable de tracción Hau = cable de retorno		Ho = cable de izar C = carro WD = tambor del cabrestante	

Figura 9 - Algunos detalles de los sistemas de madereo con cable

30.1 Algunos sistemas de madereo con cable de tiro alto

Los sistemas de tiro alto, como el nombre indica, son aquellos sistemas de madereo en los cuales se le da un efecto de elevación al extremo frontal de la troza mediante el mástil de amarre o cable aéreo de tal forma que se reduzcan las fuerzas de rozamiento y los tirones. Se mencionan brevemente algunos de éstos: el auténtico sistema de cable de tiro alto y algunos sistemas de cable aéreo.

El auténtico sistema de tiro alto es el sistema de cable más sencillo, utilizándose ampliamente, sobre todo para el arrastre cuesta arriba, cuando las distancias no exceden de 300 m, y los inconvenientes del terreno y la erosión no constituyen problemas. Consiste en un cabrestante portátil con dos tambores de arrastre y un tambor más pequeño para el cable de cambio del tendido (para la colocación de aparejos), un mástil de cabecera (hoy día, mástil móvil), cables de tracción y de retorno, cabos de enlace y trincadores (chokers).

El cable aéreo motriz es también un sistema de madereo con cable de tiro alto en el cual las trozas no se transportan necesariamente separadas del terreno. Su utilización se limita a 700 m. Comprende un mástil de cabecera y amarres de cola, un cabrestante portátil con 3 carretes engranados y un carrete del cable de cambio de tendido, el cable de retorno (que sirve como cable aéreo motriz), cables de tracción y de tensión del mismo tamaño y un carro que va montado sobre el cable de retorno y que lleva el cable de agarre y los trincadores (chokers). Sus ventajas proceden del hecho de no necesitar un cable aéreo de gran diámetro y de que el mecanismo del tambor está dotado de un sistema de engranaje de relación infinita que permite tensar o aflojar el cable en cualquier momento. La tensión máxima admisible en el cable puede determinarse previamente y establecerse de acuerdo con el peso de la carga útil y con el perfil del camino de arrastre. El sistema de cable aéreo motriz tiene un cierto número de ventajas indudables sobre el sistema convencional de tiro alto; mayor espaciamiento de las carreteras de aprovisionamiento, menor daño al suelo, posible madereo lateral, etc.

Una empresa de explotación maderera de Sudamérica, que trabaja en una zona cuyo suelo tiene escasa capacidad de resistencia que no es posible el transporte terrestre, utiliza una modificación del Sistema North Bend para el madereo por tierra de fajos de madera de 1,5 m en distancias hasta de varios centenares de metros. La producción de tal sistema depende de la distancia de madereo y del tiempo necesario en el terminal para enganchar y desenganchar las cargas. Las cifras de producción, por ejemplo, para distancias de arrastre de 100, 500 y 1 000 m son del orden de 10, 5,5 y 3,5 m³/hora respectivamente. La carga media por viaje es de 0,85 m³.

30.2 Algunos sistemas de madereo con cable aéreo fijo

Existe un cierto número de sistemas de madereo con cable aéreo fijo y distintas variaciones de los mismos, que transportan la reata de trozas sin tocar con el terreno. Algunos de ellos son variaciones del sistema Tyler desarrollado en la parte del Pacífico, en el noroeste de Norteamérica. Algunos se controlan por radio. Probablemente el más conocido de éstos es el sistema noruego de cable grúa controlado por radio, que permite combinar el apeo y el transporte secundario en una sola operación.

El sistema noruego incluye un grupo electrógeno portátil, un cable aéreo fijo, un carro, un cable sin fin que tira del carrillo y un carrete ranurado del cabrestante en el que se enrolla varias veces el cable sin fin. El sistema está limitado a una distancia de madereo de 700 m. El operario que está situado en el extremo superior hace el apeo, desrama y despunta los árboles, ajusta los trincadores (chokers) y los engancha al cable de amarre del carro, colocando éste en su carril por medio de un cabrestante controlado por radio. El encargado de tronzar, situado en el extremo inferior, desengancha la carga, devuelve el carro al que está en el apeo y completa el trabajo de elaboración. La producción diaria de un equipo de 2 hombres, en condiciones medias, es del orden de los 16 m³.

En una región de Sudamérica se utiliza una modificación del sistema Tyler de madereo, en un terreno llano con poca resistencia a la carga, para trasladar madera apilada de 1,5 m hasta una carretera para camiones en lotes que tienen un promedio de $1,13 \text{ m}^3$. Incluye mástiles de cabecera y de cola, un cabrestante con dos carretes, cable aéreo fijo, cable de tracción, carro, y cable sin fin de tracción del carro que va enrollado varias veces alrededor de su carrete. Se puede utilizar, aunque no es frecuente, para distancias hasta de 1 000 m. La producción media del sistema varía con la distancia de madereo y con los tiempos empleados en la estación final; por ejemplo, la producción media para distancias de 100, 500 y 1 000 m es de unos 9,5 6,1 y $4,2 \text{ m}^3/\text{hora}$ respectivamente.

30.3 Espaciamiento óptimo de cables grúa de larga distancia

En ciertas condiciones de terreno muy escabroso e inclinado, donde las carreteras para camiones son económicamente impracticables, puede ser necesario construir cables-grúa de larga distancia, utilizándose el madereo de arrastre lateral para arrimar la madera desde la zona de corta hasta el cable grúa. Un problema de gran importancia es el de determinar el espaciamiento óptimo de tal sistema en una gran zona forestal donde pueden necesitarse varios emplazamientos de las instalaciones. Teóricamente se debe poder aplicar los mismos principios que los empleados para determinar el espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento para un método determinado de madereo de arrastre o de suspensión (ver el Apéndice D).

El coste inicial de capital de las partes fijas del cable-grúa (mástiles y cable aéreo), menos su valor de recuperación al final de la operación, junto con el coste de limpiar la faja de ocupación y de instalación, mantenimiento y desmontaje de las partes fijas, puede asimilarse al coste de construir y mantener una carretera de aprovisionamiento; las partes dedicadas al funcionamiento del cable grúa (cabrestante portátil, cables móviles y carro) pueden asimilarse al "skidder", pudiendo calcularse el coste de funcionamiento por horas productiva de máquina (HPM), incluyendo el operario del cabrestante portátil (pero no el equipo encargado del arrastre lateral), la depreciación, intereses, combustible, reparaciones de funcionamiento, etc: el arrastre lateral y las cargas del cable de tracción son idénticas, así como el volumen de madera a aprovechar por hectárea; el tiempo de recorrido del arrastre lateral $t(1+p)$ en la fórmula del espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento, expresado en min/m, debe ser conocido por la experiencia, con un valor de p próximo o quizás a veces superior a 2,0 para incluir el arrastre angular en pendientes inclinadas y los retrasos.

La aplicación práctica de la fórmula puede ser difícil o puede dar como resultado una distancia de arrastre lateral impracticable ya que el coste de instalación del cable aéreo es fijo y no puede modificarse a voluntad del encargado de la explotación maderera, como puede hacerse con la calidad de una carretera de aprovisionamiento.

Es un principio fundamental que los costes mínimos totales de explotación maderera por m^3 se logran cuando los tres costes - carretera, madereo variable de arrastre o de suspensión (recorrido) y transporte variable (recorrido), todos expresados en coste por m^3 -son idénticos (véase Apéndice I). Esto está basado en el principio, entre otros, de que hay una opción respecto a la cantidad de dinero que se puede gastar en la carretera. Cuando se quebranta este principio -como en el caso en que se instala un cable grúa (en vez de construir una carretera de aprovisionamiento) - el mínimo coste total posible en tales circunstancias puede lograrse todavía cuando se igualan los costes por m^3 de la variable del madereo de arrastre y de la variable del transporte. Con respecto a los cables-grúa, esto se producirá cuando las porciones de recorrido del madereo de arrastre lateral y del transporte del cable de tracción igualen sus costes. Como estas operaciones las realiza el mismo equipo, sus costes de funcionamiento/HPM o MPM son idénticos, al igual que sus cargas útiles. De aquí se deduce por tanto, que el espaciamiento óptimo de los cables-grúa puede determinarse igualando estos costes o, incluso de forma más sencilla, igualando los tiempos de recorrido para obtener la fórmula siguiente:

$$ASD \cdot t (1 + p) = AHD \cdot T \text{ de modo que } OCCS = 4 \cdot ASD - \frac{4 \cdot AHD \cdot T}{t (1 + p)}$$

donde OCCS = espaciamiento óptimo del cable-grúa en metros;

ASD = distancia media de madereo de arrastre lateral en m, medida perpendicularmente al cable aéreo;

AHD = media ponderada (de acuerdo con la localización de la madera a aprovechar) de la distancia de transporte con el cable de tracción;

t = tiempo medio necesario en min/m, para transportar el cable de arrastre lateral hasta las trozas y para arrimar la carga; (las subidas y descensos del cable pueden considerarse como tiempo fijo y despreciarse);

T = tiempo medio de recorrido (en vacío y en carga) en minutos/m para cada carga;

p = factor que considera el madereo de arrastre en ángulo hasta el cable aéreo, en pendientes inclinadas, y los retrasos en la zona de carga (véase el párrafo 2 del 30.3 anterior).

31. TRANSPORTE SECUNDARIO

31.1 Generalidades

El transporte secundario incluye el movimiento de la madera desde el borde de la carretera hasta el cargadero final, ya se trate de río, ferrocarril, barcaza o industria. Este manual se limita al transporte por camión; no considera el transporte por río, en barcaza o por ferrocarril. Incluye la carga a borde de carretera y la descarga en destino.

Hay dos tipos principales de cargadores (cargadores de brazo articulado y de ataque frontal), varios tipos principales de equipos de transporte y numerosos métodos de descarga. Este manual no puede hacer más que una revisión breve de ellos y señalar algunos de los criterios críticos.

El tipo más adecuado de vehículo para un proyecto específico depende de la forma del material a transportar, de las características de la carretera, de las velocidades deseadas de recorrido y de las normas sobre dimensiones y peso de los vehículos. Otro punto adicional más es que, contando con unas condiciones adecuadas, el transporte es más económico con una combinación de vehículos que con un sistema de "camiones simples" (véase 31.2), y por un margen considerable.

31.2 Transporte

31.2.1 Configuración de los vehículos

El término "camión simple" se refiere normalmente a un vehículo automotor designado para transportar la carga directamente sobre su propia estructura. Una combinación de vehículos comprende un camión-tractor (normalmente denominado por el término "tractor") y uno o más remolques. Un tren de remolques es una combinación de vehículos que consiste en un tractor y dos o más remolques.

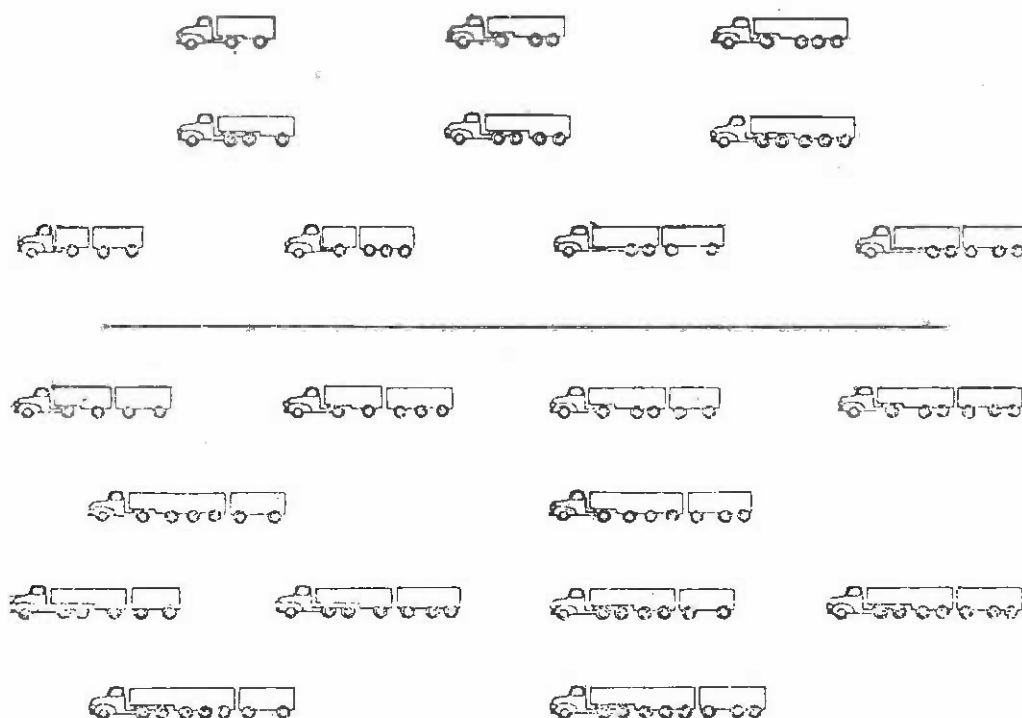


Figura 10 - Algunas combinaciones características con vehículos del tipo camión-tractor

En la Fig. 10 se muestran algunas de las configuraciones posibles. Además de éstas existen:

- (a) vehículos con doble semi-remolque, en los cuales el eje principal de la parte trasera descansa a medias sobre el bogie trasero del primer semi-remolque;
- (b) camiones con ejes delanteros en tandem, uno de los cuales puede ser accionado;
- (c) camiones articulados con bastidor dirigido en el centro, con bogies delantero y trasero, que los está desarrollando en Canadá la Rubber Railway Company, Cambridge, Ontario;
- (d) el remolque completo con eje dirigible fabricado por la Kockum en Suecia.

Hay también algún equipo especial de transporte sobre grandes ruedas y cubiertas de baja presión, que puede circular por carreteras de aprovisionamiento muy malas, e incluso penetrar más allá del cargadero normal a borde de carretera, que tiene una velocidad propia suficiente para que resulte económico el transporte en distancias moderadamente largas por carreteras forestales. Tal máquina es el transportador articulado Volvo BM 860 TC.

Hay ventajas y desventajas en cada uno de los tipos básicos de combinación de vehículos: tractor-semi-remolques y tractor-remolques-enteros. El vehículo semi-remolque debe utilizarse para transportar troncos enteros y árboles completos; puede maniobrarse con mayor facilidad en cargaderos limitados al borde de las carreteras de aprovisionamiento; es más estable (menor tendencia al plegado del remolque sobre el tractor) a altas velocidades. El vehículo de doble semi-remolque es igualmente estable pero no es mejor que el vehículo de remolque entero para la maniobra o el transporte de troncos enteros.



Descarga de semi-remolque con ejes en tandem para empalmarlo con camión tractor para el transporte de trozas.

Es más fácil tener una mayor proporción del peso total combinado sobre los ejes tractores de un vehículo cargado tractor-remolque-entero; pero pueden encontrarse problemas en pendientes de subida inclinadas al regresar en vacío al cargadero de borde de carretera, a menos que el remolque se cargue sobre el tractor. Por la misma razón, puede ser necesario cargar la mitad trasera de un vehículo con doble semi-remolque, cuando circula en vacío. Hay varios medios de hacerlo: cabrestante tractor montado, equipo de gran potencia para la carga y descarga de las trozas, bastidor A y cabrestante, etc.

Un vehículo tractor-remolque-entero (un camión que arrastra un remolque entero) se desplaza en las curvas con una batalla menor que el vehículo correspondiente con semi-remolque, a menos que la punta delantera del remolque sea tan larga que se pierda esta ventaja. Puede haber la elección entre un remolque con una punta delantera larga y cierta pérdida de estabilidad (respecto al plegamiento del remolque sobre el tractor en marcha).

Puede ser conveniente hacer algunos comentarios respecto a los vehículos de transporte en general. La carga más compacta puede lograrse cuando se carga madera corta transversalmente - cuando las longitudes de las trozas sobrepasan los 2 m. La experiencia ha demostrado que se pueden transportar de esta forma trozas con longitudes hasta de 5 m. La plataforma del vehículo para tal operación sólo necesita estar formada por 2 carriles principales en forma de viga de doble T con un cabecero de bastidor abierto en la parte delantera y piquetes resistentes en la parte trasera, junto con dispositivos autotensadores para atar la carga que va de delante a atrás. La madera corta puede, naturalmente, transportarse con la carga a lo largo, tanto en camiones simples como en vehículos combinados.

Los troncos enteros se transportan normalmente con las partes más gruesas hacia delante, pero cuando están limitadas la anchura y la altura de la carga, como ocurre en la mayoría de las carreteras públicas, la mitad superior de la carga puede colocarse con las puntas delgadas hacia delante a fin de obtener una mayor carga útil y una mejor distribución del peso. Si todas las partes gruesas van hacia delante, es costumbre que el travesaño trasero sea un 20 a un 25% más corto y de 30 a 50 cm más alto que el travesaño delantero.

31.2.2 Necesidades de potencia

La potencia del camión-tractor de transporte debe ser suficientemente grande para vencer las cuatro resistencias que afectan a todo vehículo de transporte: rodadura, pendiente, rozamiento del aire con el chasis, y poder circular a una velocidad deseada en condiciones determinadas. La altitud también debe ser considerada, especialmente si se emplean grupos electrógenos de gasolina, ya que los motores de gasolina pierden potencia en proporción del 1% por cada aumento de 100 m en la altitud (6).

El Cuadro 28, expresado en libras pero convertible a kg, da las resistencias aproximadas de rodadura de algunos de los firmes normales de carreteras y sus equivalentes en resistencias de pendiente (10 libras = 4,5 kg = resistencia equivalente de una pendiente de subida del 1%). La resistencia del aire puede despreciarse para velocidades inferiores a 50 km/hora (6). El rozamiento del chasis se suele tomar como el 15% de la potencia neta o potencia al volante, aunque puede variar entre el 10% y el 20%, dependiendo del mecanismo de transmisión y del número de ejes motrices (6).

La relación peso-potencia es la razón entre el peso completo del vehículo o combinación de vehículos y la potencia neta o potencia al volante. Proporciona un método abreviado para tener una aproximación sobre la conveniencia del motor de un vehículo tractor para una tarea específica de transporte. La relación debe ser suficientemente baja para dar la velocidad deseada en carretera y no tan reducida que el vehículo esté innecesariamente sobrecargado de potencia. El Cuadro 29 (6), expresado en el sistema inglés de medidas, pero convertido al sistema métrico, presenta las relaciones peso-potencia necesarias para vencer diversas resistencias combinadas de rodadura y de pendiente a distintas velocidades, hasta de 30 millas por hora (unos 50 km/hora).



Camión pesado para el transporte forestal en bosques tropicales.

CUADRO 28

RESISTENCIAS UNITARIAS APROXIMADAS DE RODADURA

Clase de carretera	Descripción de la clase	Condición de la capa de superficie	Resistencia uni- taria a (1) la rodadura	Pendiente equivalente %
1	Pavimento rígido	Suave, superior	8	0,8
		Media, aceptable	9	0,9
		Mala, basta	10	1,0
2	Pavimento flexible; grava tratada y apisonada	Suave	10	1,0
		Media aceptable	13	1,3
		Mala, basta	15	1,5
3	Arena-arcilla, grava, grava apisonada o superficie de piedra; sin tratamiento; de- formaciones con carga	Suave, bien compactada con poco o ningún mate- rial suelto del firme	15	1,5
		Suave, bien compactada con una capa delgada del material de superficie, suelta o de fango	18	1,8
		Aceptable, media, alguna zona ondulada	20	2,0
		Mala, basta, fuerte ondu- lación de la superficie	25	2,5
4	Suelo natural y carreteras de tierra	Suave, bien nivelada, seca (sin arena)	25	2,5
		Basta, seca (sin arena)	28	2,8
		Basta, húmeda, blanda	40	4,0
		Arena, húmeda	75	7,5
		Arena, seca	100	10,0
		Fango, profundo, con base	100	10,0
5	Hielo, nieves fuer- temente heladas; carreteras heladas de verano; sin defor- maciones del firme	Suave, sin nieve suelta	10	1,0
		Media, escarificada, grava helada en verano y carreteras sobre suelo natural	15	1,5
		Mala, basta	20	2,0
6	Nieve; explanación no helada en profun- didad	Bien apisonada, 2 pulg. de grueso, no fuerte- mente helada	30	3,0
		Mal apisonada	50	5,0

Nota: (1) expresada en libras por 1 000 libras de peso total del vehículo o combina-
ción de vehículos.

CUADRO 29

RELACIONES NECESARIAS PESO-POTENCIA PARA VENCER DIVERSAS
RESISTENCIAS A DISTINTAS VELOCIDADES DE LOS VEHICULOS HASTA DE 30 HP

Resistencias combinadas de pendiente y de rodadura (1)	Velocidad del vehiculo en millas por hora					
	5	10	15	20	25	30
1%					1 275	1 060
2%			1 060	800	640	530
3%		1 060	710	530	425	355
4%		800	530	400	320	265
5%	1 275	640	425	320	255	210
6%	1 060	530	355	265	210	175
7%	910	455	300	230	180	150
8%	800	400	265	200	160	135
9%	710	355	235	175	140	120
10%	640	320	210	160	130	105
11%	580	290	195	145	115	
12%	530	265	175	135		
13%	490	245	165			
14%	455	230				

Nota: (1) Donde la resistencia de rodadura de la carretera se expresa en % de pendiente y 10 libras de resistencia unitaria de rodadura (libras de resistencia de rodadura por 1 000 libras de peso total del vehiculo) son iguales a la resistencia debida a un 1% de pendiente de subida; de modo que, por ejemplo, el valor del 4% en la columna de la izquierda representa una de las resistencias combinadas siguientes:

<u>Pendiente de subida</u>	<u>Resistencia unitaria de rodadura</u>
0%	40 libras
1%	30 libras
2%	20 libras
3%	10 libras

La utilización del cuadro puede comprenderse mejor con dos ejemplos (dado en medidas inglesas, ya que se refiere al Cuadro 29):

- (1) Se le pide a un operario transportar cargas totales de 100 000 libras a una velocidad de 20 mph con un 2% de pendiente de subida en una carretera con grava que tiene una resistencia unitaria de rodadura de 20 libras (es decir, 20 libras por 1 000 libras de peso total del vehiculo), y desea saber cuál es la potencia necesaria del motor.

La resistencia total es equivalente a una pendiente de subida de un 4%. Leyendo la línea correspondiente al 4% en la columna de la izquierda del cuadro, la relación peso-potencia se encontrará en la columna de la derecha correspondiente a 20 mph, la que indica que será necesario un motor que genere $100\ 000 : 400 = 250$ hp netos.

- (2) Un operario está transportando en una carretera engravada, con una resistencia unitaria de rodadura de 20 libras, utilizando una unidad con semi-remolque dotada de un motor con 300 hp de potencia total y desea saber el peso total de la carga que puede transportar con una pendiente de subida del 4% a 20 mph.

Un motor de 300 GHP genera $300 \times 0,935 = 280$ HPN (ver 3.3.5). Resistencia total = pendiente de subida del 4% + 20 libras RUR = 6%. Leyendo en el Cuadro 29 en la línea horizontal correspondiente al 6% se encuentra el valor 265 en la columna de 20 mph. La carga total que se puede transportar es $265 \times 220 = 74\ 000$ libras.

31.2.3 Dimensión del vehículo y reglamentos de carga

Las dimensiones externas de un vehículo de transporte, tanto en vacío como cargado, deben satisfacer determinadas normas respecto a la longitud, anchura y altura totales. A esto se refiere el Capítulo 6.

El peso total de un vehículo cargado y, normalmente, las cargas por eje, deben satisfacer también las normas pertinentes, si está sujeto a tales limitaciones. La mayoría de las carreteras públicas, si son técnicamente apropiadas, están construidas para soportar ciertas cargas por eje con un espaciamiento normal entre ejes (50 in = 1,27 m en Norteamérica). Sin embargo, aumentando el espaciamiento entre ejes de un bogie y/o utilizando bogies de eje triple bajo un remolque, la capacidad por eje se aumenta sin mayor efecto de deterioro sobre la carretera (véanse los Cuadros del Apéndice B). Las carreteras particulares no están sujetas normalmente a limitaciones ni de dimensión ni de peso de los vehículos.

La distribución del peso de un vehículo de transporte por eje o por bogie la proporcionará normalmente el fabricante. Conociendo el peso unitario de la carga útil, suele ser un ejercicio matemático directo el calcular la distribución por ejes del peso del vehículo cargado (6).

Es especialmente importante que la proporción de la carga total soportada por los ejes motrices sea suficientemente grande para que pueda desarrollar suficiente tracción para vencer las resistencias máximas de rodadura y de pendiente encontradas en la tarea del transporte (véase la Sección 4 del Apéndice C). Esto es muy importante cuando predominan las pendientes inclinadas y unas malas condiciones de adherencia. La proporción debe ser próxima al 40% pero no debe ser inferior al 30%.

31.2.4 Neumáticos (6)

- Los neumáticos representan una parte sustancial del coste de funcionamiento de un vehículo de transporte, debiendo dárseles una importante atención. Deben tener la capacidad de carga necesaria para soportar la carga, debiendo funcionar dentro de ciertas tolerancias respecto a carga máxima y mínima y velocidades de transporte. El tipo de neumático debe ser el más adecuado para cada posición de la rueda en el vehículo; por ejemplo, neumáticos de alta adherencia para las ruedas motrices y neumáticos más suaves para las otras posiciones, a menos que se necesiten neumáticos de tracción para un mayor agarre de las ruedas en carreteras forestales durante el frenado. Algunos neumáticos, como los Michelin M+S4, son especialmente buenos para barro y nieve.

La mayoría de los empresarios consideran que los neumáticos de cables de acero radiales son superiores a las de cuerda sesgada por diversas razones: permiten mayores velocidades, tienen un menor consumo de combustible en proporción del 5 al 10%, están menos sujetas a la acumulación de calor (mejor disipación del calor). Debe elegirse entre neumáticos sin cámara o con cámara, entre las sencillas anchas y las dobles, entre las convencionales y las sencillas anchas situadas en el eje frontal del vehículo tractor (la última aumenta el esfuerzo en la dirección).

31.2.5 Otras componentes del vehículo

El diseño y la capacidad de los sistemas de suspensión, de los ejes delanteros y traseros, ruedas, sistema de frenado, embrague, transmisión, líneas de transmisión, etc., son en gran medida responsabilidad del fabricante del vehículo. Sin embargo, el empresario de la explotación forestal y su ingeniero deben estar en condiciones de asegurarse ellos mismos sobre su conveniencia. Deben estar más preocupados de ciertas componentes del remolque tales como las soleras para las trozas de aserrar, o los troncos enteros, las patas para estacionamiento, la cuantía que sobresale el pasador principal, y el realce del remolque (ya que su posición afecta a la distribución de la carga y a las cargas por eje), altura libre sobre el terreno de la cabina y de las patas de estacionamiento cuando giran, sujetadores de la carga y muchas otras materias.

Las ruedas delanteras de los vehículos tractores combinados de transporte no deben estar equipadas con frenos, a menos que se exija por ley o por norma a fin de reducir la posibilidad de que se pliegue el remolque sobre el tractor o que se salga de la carretera con las ruedas delanteras bloqueadas durante el proceso de frenado, especialmente en curva.

Todas estas materias se analizan con cierto detalle en la publicación de la Universidad de New Brunswick "Trucks and Trailers and their Application to Logging Operations" (6) (Camiones y remolques y su aplicación a las operaciones de explotación maderera).

31.2.6 Cálculo del coste del equipo de transporte

El coste de funcionamiento de los equipos de transporte debe expresarse en coste por hora de parada y coste por hora de recorrido, pues éstos difieren en proporción aproximada de 1 a 3. Esta materia se discute en el Capítulo 3 y en el Apéndice H.

La aceptación de esta forma de calcular el coste de los equipos de transporte significa que la variable o porción de recorrido del coste de transporte es inversamente proporcional a la velocidad de recorrido, de modo que, por ejemplo, duplicando la velocidad de recorrido se reducirá a la mitad el coste de transporte por m³. Esto pone de manifiesto las ventajas de que sean correctas la técnica y la construcción y el mantenimiento de las carreteras de transporte.

El coste de funcionamiento de los camiones y remolques por hora de parada y por hora de recorrido, puede obtenerse aproximadamente con el cálculo que se muestra en el Cuadro 30.

CUADRO 30

FORMULARIO B PARA OBTENER EL VALOR APROXIMADO DEL COSTE DE FUNCIONAMIENTO
POR HORA DE CAMIONES O DE CAMIONES-TRACTORES Y REMOLQUES.

		Coste de funcionamiento por hora		
Partida		Camión o Camión-Tractor	Remolque	Total
(1)	$\frac{C1}{15\ 000}$	x	-	x
(2)	$\frac{C2}{20\ 000}$	-	x	x
(3)	c (1 + f)	x	-	x
(4)	Coste por hora de parada	xx	x	xxx
(5)	$\frac{2,4 \times C1}{10\ 000}$	x	-	x
(6)	$\frac{2,4 \times C2}{15\ 000}$	-	x	x
(7)	Coste/hora de recorrido	xxx	xx	xxxxx

donde C1 = coste de adquisición del camión o camión-tractor;

C2 = coste de adquisición del remolque;

c = salario del operario por hora;

f = coste de las cargas sociales, expresado en tanto por ciento de los salarios directos.

31.2.7 Aplicación de los costes de funcionamiento de camión y remolque

Puede aclararse mejor con un ejemplo:

- (a) Determinar el coste de transporte, excluyendo carga y descarga, suponiendo los datos siguientes:
- (1) costes del camión tractor 45 000 \$EE.UU.; costes del semi-remolque 15 000 \$EE.UU.
 - (2) salarios directos del operario, 2,00 \$EE.UU. por horas de turno; cargas sociales 50% de los salarios directos;
 - (3) carga media útil admisible, 34 m³;
 - (4) tiempo de carga, 30 min y tiempo de descarga, 10 min, por cada carga;
 - (5) se hace una asignación por retrasos de 10 min/carga, de espera en los terminales;
 - (6) las distancias de transporte y las velocidades son las siguientes:

	Distancia media de transporte en km	Velocidad media de recorrido, en viaje de ida y vuelta, en km/hora
(i) carretera de aprovisionam.	1	10
(ii) carretera secundaria	10	30
(iii) carretera principal	40	60

(b) La solución puede obtenerse en la forma siguiente:

- (1) utilizando el Cuadro 30, el coste de funcionamiento del vehículo de transporte será 6,75 \$EE.UU. por hora de parada y 20,00 \$EE.UU. por hora de recorrido;
- (2) los costes en los terminales en \$EE.UU./m³, excluyendo costes de carga y descarga, serán los siguientes:

	Tiempo/carga en horas	Coste en \$EE.UU. por m ³
Carga	0,50	0,10
Descarga	0,17	0,034
Retrasos	0,17	0,034
Total por viaje	0,84	0,17

- (3) el coste de recorrido en \$EE.UU./m³/km puede calcularse en la forma siguiente:

	Distancia media de transporte en km	Velocidad media de recorrido en km/hora	Viaje de ida y vuelta		Coste de recorrido	
			Tiempo de recorrido en hr	Coste en \$EE.UU.	por m ³	por m ³ /km
Carr. de aprov.	1	10	0,20	4,00	0,12	0,12
Carr. secundaria	10	30	0,67	13,30	0,39	0,04
Carr. principal	40	60	1,33	26,70	0,79	0,02
Total	51	32	2,20	44,00	1,30	0,025

El coste total de transporte, excluyendo carga y descarga, puede expresarse entonces como una cantidad fija de 0,17 \$EE.UU. por m³ más una cantidad por recorrido de 0,025 \$EE.UU. por m³/km. Sin embargo, debe señalarse que el precio de transporte por una carretera de aprovisionamiento es 6 veces mayor que por una carretera principal y 3 veces mayor que por carreteras secundarias y que posiblemente compensaría el mejorar las carreteras peores.

31.3 Carga

31.3.1 Generalidades

La carga de productos forestales en bruto se suele hacer mecánicamente. En ciertas regiones en que la materia prima es suficientemente corta y ligera para ser manejada por un solo hombre, la carga puede hacerse a mano. Este es especialmente el caso cuando los niveles de salarios son bajos y hay abundante mano de obra. Por ejemplo, en una operación en Colombia, se cargan a mano trozas de 1,5 m y trozas rajadas, con equipos de 2 hombres a un promedio de 5 a 6 tons por hombre y horas. La misma costumbre se practica todavía en cierta medida en el este de Norteamérica donde aún se hace madera de 1,22 m, cuando las operaciones son reducidas y los camiones los conduce el mismo propietario.

En algunas regiones tropicales las trozas cortas pueden rodarse a mano hasta los vehículos, haciéndolos rodar sobre maderos de deslizamientos simplemente empujándolas o cargándolas lateralmente, con cuerdas o un material análogo. También se puede utilizar el esfuerzo animal para la carga lateral con cuerdas o cables cuando se dispone de animales. La carga puede hacerse también con elefantes en algunos países del sudeste de Asia donde se utilizan estos animales para el madereo de arrastre.

Hay muchas formas diferentes de emplear máquinas para cargar los vehículos de transporte. Se pueden utilizar tractores y cabrestantes de todas las clases para cargar material de la longitud normal de las trozas de aserrar, elevándolo o cargándolo lateralmente, usando o no un armazón en forma de A, un mástil grúa o un mástil y un brazo giratorio. A veces, el cabrestante puede montarse sobre el vehículo de transporte y accionarse mediante su propia transmisión. En algunos casos, se utilizan tractores oruga para empujar grandes trozas sobre postes de deslizamiento hasta el vehículo de carga. Los métodos esbozados se utilizan especialmente cuando las trozas son grandes y la operación es tan pequeña que no justifica una inversión de capital en cargadores más modernos.

Hay dos tipos generales de cargadores mecánicos para trabajar a borde de carreteras: los que están dotados de un brazo articulado y una grapa apropiada y los que están dotados de una horquilla para trozas (cargadores frontales) o de una garra (como el cargador Cary-Lift) y se trasladan entre la pila de trozas y los vehículos de transporte, durante la operación de carga. Ambos tipos son móviles, pudiendo emplearse la mayoría de las máquinas para cargar madera corta, troncos enteros o árboles completos, aunque algunos tienen fuertes limitaciones; por ejemplo, los cargadores frontales cuando cargan madera corta de menos de 2 m de longitud. Las grúas de brazo rígido, equipadas con grapa para trozas, se utilizan también en pequeña escala para cargar trozas para aserrar y material más largo. Algunos tractores transportadores y cosechadoras forestales para madera corta tienen la capacidad de descargar directamente sobre el vehículo de transporte, ahorrando así un nuevo costo de manipulación. Cuando se hace de esta forma, los remolques sobrantes, ya sean semi-remolques o remolques completos, se suelen estacionar a borde de carretera.

31.3.2 Cargador de madera corta Pettibone Cary-Lift

Este cargador se construye en una serie de tamaños. Va montado sobre un chasis no articulado con tracción y dirección a las 4 ruedas y equipado con una garra de funcionamiento hidráulico de rotación permanente, para madera para pulpa, de tamaño adecuado para manejar madera corta desde 1,22 m a 5-6 m de longitud. Es más indicado para madera de 2,5 m y trabaja de la mejor forma en cargaderos llanos y suaves. El cargador propiamente dicho está montado en voladizo de tal forma que la carga de la garra puede retraerse junto al chasis para una mejor distribución de la carga cuando está viajando.

Cuando funciona, el cargador se mueve hasta la pila de trozas, se adelanta y engancha una carga, la levanta y la dirige hacia atrás hasta cerca del chasis, gira y se traslada hasta el vehículo de transporte, levanta la carga de la grapa y la impulsa hacia delante sobre la línea central del vehículo de transporte, la deja descender y abre lentamente la garra para dejar que las trozas se distribuyan en el vehículo sin desparramarse.

El Cary-Lift Super 20 se utiliza corrientemente en operaciones con madera para pasta en el este de Norteamérica. Lleva una garra con una superficie cerrada de $2,4 \text{ m}^2$, capaz de sostener $3,5 \text{ m}^3$ de madera de $2,5 \text{ m}$ de longitud. Sin embargo, en la práctica, la carga media de la grapa es bastante menor debido a los problemas que lleva consigo el agarrar todas las veces una carga completa con la garra en la pila de trozas e igualar la carga del camión o remolque. Una prueba realizada dió los siguientes datos cuando se cargaba madera de $2,5 \text{ m}$:

- (1) carga media de la garra $2,2 \text{ m}^3$
- (2) minutos por ciclo de la garra:
 - (a) enganche de la carga en la pila de trozas $0,37 \text{ min}$
 - (b) suelta de la carga en el camión $0,35 \text{ min}$
 - (c) retorno y recorrido hasta la pila de trozas y desde ésta $0,45 \text{ min}$
más $0,02 \text{ min/m}$ de distancia entre la pila de trozas y el camión
 - (d) retrasos (colocación de la madera sobre la pila de trozas y carga
del camión, recorrido improductivo y otros retrasos) $1,03 \text{ min}$

Con estos datos puede obtenerse la fórmula siguiente:

$$LT = \frac{1,3 + 0,02 \text{ TD}}{AGL}$$

donde LT = tiempo de carga en min/m^3 ;

TD = distancia media en m entre el camión y la pila de trozas;

AGL = carga media de la garra en m^3 .

La misma fórmula puede aplicarse a los otros cargadores Cary-Lift.

31.3.3 Cargadores de grúa de brazo fijo

Se utilizan en varias regiones diversos tamaños de grúas, desde $1/2$ hasta $1 1/4$ de yarda cúbica (nomenclatura norteamericana), para cargar tanto madera corta como troncos enteros, pero principalmente para la madera de $2,5 \text{ m}$ y 5 m . Algunos van montados sobre tractores de orugas; otras van sobre vehículos de ruedas. Las máquinas sobre tractores orugas pueden trabajar fuera de la carretera, siguiendo el descargadero de las trozas, pero se mueven lentamente entre estos descargaderos; las máquinas de ruedas pueden circular mucho más deprisa pero deben trabajar sobre terreno firme.

Se usan diversos tipos de grapas, todas controladas con cables de acero, incluyendo una grapa doble para manejar simultáneamente 2 lotes de madera de $1,22 \text{ m}$. Se necesitan dos cuerdañas para limitar y controlar el movimiento de la grapa. Un operario necesita un largo período de entrenamiento para conseguir una eficacia total. Las grapas sencillas pesan de $1\ 300$ a $1\ 600 \text{ kg}$ y cuestan del orden de $6\ 000$ a $7\ 000$ \$EE.UU. Las garras dobles son más pesadas y costosas. Las grúas tienen una duración prevista muy larga. Los costes de funcionamiento de la garra y del cable (reparación y sustitución) son del orden de $0,50$ \$EE.UU. y $1,25$ \$EE.UU. por HPM respectivamente.

Las grúas tienen un ritmo de carga de 125 a $150 \text{ m}^3/\text{HPM}$, pero normalmente pierden mucho tiempo, a veces hasta el 50% del tiempo del turno, en esperas y en traslados.

31.3.4 Cargadores de brazo articulado

Los cargadores hidráulicos de brazo articulado pueden ir montados sobre una plataforma giratoria, en sus propios vehículos de transporte o sobre la plataforma de un camión de 6×4 con una capacidad adecuada CVW. Todos los cargadores provistos de ruedas están equipados con mástiles. Cuando el cargador va montado sobre camión, el motor que acciona las bombas hidráulicas del cargador va instalado sobre la plataforma giratoria. Pueden

estar equipados con una grapa de madera para pasta para cargar madera corta o con una garra con brazo acodado para cargar troncos enteros. Los pequeños cargadores de brazo articulado pueden ir montados sobre el bastidor del camión, detrás de la cabina de un camión de transporte o en algún punto posterior en un vehículo combinado para formar una unidad de transporte autocargadora.

El Cuadro 31 da algunas cargas útiles características de las grapas que pueden manejarse con cargadores de brazo articulado de distintos tamaños para diversos alcances del brazo.

CUADRO 31

ALGUNAS CAPACIDADES CARACTERÍSTICAS DE CARGA ÚTIL NETA DE
LOS CARGADORES DE BRAZO ARTICULADO, EXPRESADAS EN KG

Tipo de montaje del cargador	Máximo alcance del brazo en m	Capacidad característica de carga útil ⁽¹⁾ neta en kg, para diversos alcances del brazo en m		
		3 m	6 m	máximo
Camión	6	5 000	2 350	-
Plataforma	7,5 ⁽²⁾	8 500	4 100	3 000
	9 ⁽²⁾	17 700	8 600	5 000
	6,5	2 200	900	850
	6,5	1 600	730	700
	vehículo de 4 ruedas	18 000	8 700	5 500
Bastidor de camión detrás de la cabina	6	3 500	1 200	-

Notas: (1) la capacidad de carga útil neta es la capacidad total menos el peso de la garra;

(2) contrapeso con grapa de brazo acodado.

(a) Carga de troncos enteros mediante grapa de brazo acodado

Para este tipo de operación, los troncos enteros se apilan en un descargadero de trozas, perpendicularmente a la carretera y con las puntas más gruesas dando vista a ésta. Cuando está funcionando, el vehículo de transporte y el cargador deben maniobrar hasta que el primero esté dando frente a la dirección de transporte y el cargador, ya sea un camión o montado sobre un transportador, se coloca en posición frente a él y cerca del mismo. Esto lleva del orden de 3 minutos por carga. El cargador se extiende, agarra una carga de troncos enteros por un punto situado de 3 a 4 m del extremo más grueso, lo inclina contra el brazo acodado, eleva la carga entera, la gira y la deja sobre el semi-remolque, pasándola sobre la cabina del camión tractor. Si el cargador no puede alcanzar suficiente madera para completar la carga, se trasladan a una nueva posición, tanto el cargador como el vehículo de transporte. Después de haber completado una operación de carga, el cargador debe llevarse desde la carretera hasta un punto que permita que el vehículo de transporte esté en su posición correcta.

Las pruebas realizadas indican que::

- (i) el tiempo total de colocación por carga de remolque varía entre 5 y 7 minutos;
- (ii) las cargas medias de la garra son alrededor de $1,05 \text{ m}^3$;
- (iii) el tiempo medio por ciclo de la grapa está entre 0,55 y 0,60 minutos, dependiendo de la eficacia del operario;
- (iv) la velocidad de carga es alrededor de $1,75 \text{ m}^3/\text{min}$, excluyendo el tiempo de colocación mencionado en el punto (i) anterior.

El tiempo de carga en minutos por carga de camión-remolque y el coste de carga por m^3 pueden determinarse mediante las fórmulas siguientes:

$$(1) \quad LT = 6 + \frac{0,55 L}{GL} \quad y$$

$$(2) \quad LCM = \frac{LT \sqrt{C + c(1+f)}}{60L}$$

donde LT = tiempo de carga en minutos por carga de camión-remolque;

LCM = coste de carga en \$EE.UU./ m^3 ;

L = carga de camión-remolque en m^3 ;

GL = carga media de la garra en m^3 ;

C = coste de funcionamiento del cargador en \$EE.UU./HPM, incluyendo el vehículo pero excluyendo el operario;

c = salarios directos del operario en \$EE.UU./HPM;

f = coste de las cargas sociales, expresado en tanto por ciento de los salarios directos.



Grúa cargadora accionada hidráulicamente montada sobre camión.

(b) Carga de trozas de 2,5 m, en sentido transversal, con brazo articulado y garra de madera para pulpa

Algunos cargadores de brazo articulado para la manipulación de madera corta tienen la base y la superestructura de un excavador (sobre orugas), junto con el conveniente brazo articulado y la garra de madera para pulpa. Otros cargadores van montados sobre ruedas, de acuerdo con lo descrito en la sección anterior.

Las trozas, cuya longitud es aproximadamente la anchura máxima admisible de la carga, por ejemplo 2,5 m, se cargan normalmente en forma transversal sobre el camión o remolque, ya que esto proporciona la forma más compacta de carga, así como una fácil descarga mediante un sistema de volquete o empujándola hacia fuera.

Para este tipo de operación de carga, la madera se suele ordenar en una o más filas a lo largo de la carretera. El cargador se sitúa al lado del vehículo de transporte, engancha la madera y la traslada al camión o al remolque. Es una operación directa, al contrario de lo que sucede con la descarga de un forwarder a borde de carretera. Al contrario de la situación existente cuando se cargan troncos enteros, no hay necesidad de que el cargador y el vehículo de transporte pierdan tiempo acoplándose en posición preparatoria para la carga y para su traslado a una nueva posición de carga.

El ritmo de carga varía con el tamaño del cargador y de la grapa y con la eficacia del operario. La operación de carga incluye:

- (i) un tiempo fijo por carga para colocar el vehículo de transporte, salirse cuando la carga se ha completado y aplicar los atadores auto-ajustadores de la carga, y
- (ii) un tiempo variable de carga por m^3 .

Tan pronto como ha salido un vehículo de carga, otro ocupa su lugar, haciendo así que la pérdida de tiempo de carga sea mínima.

En una operación característica de transporte en el este de Canadá, utilizando el cargador normal de brazo articulado y una grapa de $1,2 m^3$, el tiempo para trasladar $42 m^3$ de madera de 2,5 m, a un remolque, fue de 30 min. con una velocidad de $1,4 m^3/min$.

31.3.5 Cargadores frontales de trozas

Los cargadores frontales de trozas van montados sobre un chasis de tractor de orugas con algunos cambios en la suspensión o sobre un chasis articulado con tracción a las 4 ruedas. Todos van equipados con una horquilla para trozas o con brazos de extensión, o sin ellos, de 50-60 cm de longitud para aumentar la altura de elevación y un "golpeador" para ayudar a extraer las trozas desde la horquilla cuando está en el punto alto. Los cargadores de trozas montados sobre orugas varían de 15 000 a 20 000 kg y los cargadores de trozas sobre ruedas de 15 000 a 35 000 kg siendo su coste del orden de 5,50-6,00 \$EE.UU. por kg. Los dientes horizontales de arrastre de la horquilla para trozas varían en longitud desde 150 cm a 220 cm, dependiendo del tamaño y peso de la máquina.

Los cargadores frontales se utilizan normalmente para cargar materiales de la longitud de las trozas para aserrar y más largos, incluyendo troncos enteros que se cargan a lo largo sobre el vehículo de transporte. También pueden utilizarse para cargar trozas de 2,5-3 m en sentido longitudinal y trozas de 2,5 m en sentido transversal, mediante la carga del camión o del remolque desde la parte trasera, pero este sistema no es recomendable.



Carga de camión con cargador frontal sobre ruedas dotado de horquilla para trozas.

Cuando están funcionando estos cargadores, al igual que el Cary-Lift mencionado anteriormente, deben trasladarse desde la pila de trozas o de troncos enteros hasta el vehículo de transporte llevando en alto la horquilla cargada. La carga no se puede arrastrar satisfactoriamente llevándola sobre los dientes de la horquilla. Esto exige que el terreno, para el mejor funcionamiento de la carga, esté nivelado, sea firme y esté libre de tocones y de otros desechos que estorban. Por esta razón la carga a borde de carretera se hace con frecuencia mediante bulldozer para este tipo de operación en verano, lo que origina un gasto adicional que no existe cuando se carga con brazo acodado, con cargadores de brazo articulado situados en la carretera.

Cuando el terreno es blando, en condiciones de verano, la carga de troncos enteros debe hacerse con cargadores de brazo acodado tal como se mencionó anteriormente, o con grandes cargadores de brazo largo articulado, equipados con una garra especial, capaces de alcanzar y coger varios troncos enteros por su centro de gravedad, mientras están situados al borde de la carretera y hacerlos girar y colocarlos sobre el vehículo de transporte. Este tipo de gran cargador puede girar la carga de troncos enteros 180° por debajo del brazo y cargarlos con los extremos gruesos o los delgados hacia delante, según se precise.

El ritmo de carga de troncos enteros con cargadores frontales depende de diversos factores: tamaño y potencia de la máquina, eficiencia del operario, altura de elevación, condiciones del cargadero, distancia entre la pila y el remolque, y dirección del apilado en relación con la carretera. Algunas pruebas realizadas en el este de Canadá demuestran que:

- (1) existe poca diferencia en el ritmo de carga entre las máquinas con ruedas y las de orugas, de la misma potencia;

- (2) el tiempo de parada por carga (esperando para que el vehículo de transporte esté preparado para recibir las trozas y para salir después de que la carga se ha completado, reorganización de la carga, etc.) es como promedio de 5 minutos.
- (3) la carga media de la grapa en $m^3 = 1,5\%$ de la capacidad GHP del cargador;
- (4) el tiempo medio del ciclo del cargador, excluyendo el tiempo de parada, varía entre 1,50 y 1,75 min;
- (5) el ritmo medio de la operación de carga, sin considerar el tiempo de parada, es alrededor del 1% de la capacidad del cargador GHP, cuando se expresan en m^3/min .

El tiempo de la operación de carga en minutos para la carga del camión remolque y el coste de carga por m^3 pueden determinarse mediante las siguientes fórmulas:

$$(1) \quad LT = 5 + \frac{1,6 L}{GL}$$

$$(2) \quad LCM = \frac{LT \sqrt{C + c(1+f)}}{60L}$$

donde LT = tiempo de la operación de carga en minutos para la carga del camión-remolque;

LCM = coste de la operación de carga en \$EE.UU./ m^3 ;

L = carga del camión-remolque en m^3 ;

GL = carga media de la grapa en m^3 ;

C = coste de funcionamiento del cargador en \$EE.UU./HPM;

c = salarios directos del operario en \$EE.UU./HPM;

f = coste de las cargas sociales expresado en tanto por ciento de los salarios directos.

Volviendo a examinar el tema de la carga de troncos enteros, es evidente que los cargadores frontales son capaces de cargar a un ritmo mayor que los cargadores de brazo articulado, equipados con los accesorios de un brazo acodado, pero tienen dificultad para disponer los troncos enteros sobre el remolque de forma ordenada y regular (distribución de la carga). En consecuencia, no pueden montar cargas tan grandes. En algunas circunstancias y con algunas máquinas, la reducción puede alcanzar hasta el 20%.

31.4 Descarga

Hay muchos métodos para descargar los vehículos de transporte. Mucho depende de las circunstancias. Cuando se descarga en agua, la madera corta se suele voltear por el extremo, lateralmente o expulsada con un bulldozer, a modo de empujador con brazos largos y una placa empujadora. Cuando se descarga en hielo de lago o de río, o en un cargadero que se va a inundar posteriormente, puede seguirse el mismo procedimiento, o bien la madera puede desoargarse y apilarse con el mismo tipo de equipo que el utilizado en la operación de carga, y aproximadamente con el mismo costo por m^3 . Los troncos enteros o los árboles completos no se suelen descargar para su transporte por agua, salvo con una grúa de brazo fijo o de otro tipo en paquetes del tamaño de un fajo.

Las trozas para aserrar, los troncos enteros y los árboles completos pueden descargarse y almacenarse con el cargador frontal, con grúa de brazo fijo y garra o con grúa puente, o bien descargarse a una tronzadora múltiple o muelle de clasificación con una máquina de tipo empujador o un dispositivo motorizado de tracción para la elaboración inmediata posterior. También se les puede empujar tirándolos sobre el terreno para tronzarlos y transportarlos fuera o volcarlos al agua libre de un parque de troncos. Cada vez se están utilizando más grandes y potentes máquinas del tipo de cargador frontal, capaces de recoger y transportar una carga entera de un remolque de troncos enteros o de árboles completos.



Cargador frontal montado sobre orugas descargando trozas en el cargadero final.

APENDICE A

SISTEMA DE CLASIFICACION DE CARRETERAS DEL SERVICIO FORESTAL DE LOS EE.UU.
Y COSTES DE TRANSPORTE DE LA MADERA PARA PULPA EN MINNESOTA

Los costes de transporte se basan en los salarios de los conductores, incluyendo seguro de accidentes y otros impuestos sobre la nómina, costes de equipos, seguro de depreciación y otros costes de funcionamiento. Los costes se basaron en datos de 1968 respecto a salarios, precios de venta de camiones, remolques y cargadores, importe de los seguros y costes de neumáticos y combustibles. Se utilizaron tasas de depreciación con porcentaje anual constante con seis años de duración y una tasa de interés del 6 por ciento. Todos los ajustes se hicieron tomando como base de comparación el estudio de costes de 1957 para el transporte en camión R-7, incluido en el informe Byrnes-Nelson-Coogin sobre costes de transporte de trozas.

Cuadro 32

COSTES DE TRANSPORTE DE MADERA PARA PULPA DE MINNESOTA, DE ACUERDO
CON LA CALIDAD DE LA CARRETERA Y EL TAMAÑO DEL CAMION
(en dólares por milla y cuerda)

Clase de carretera	Tamaño del camión-carga media (cuerdas) ^{1/}			
	4	6	8	10
Alta velocidad, 45 m.p.h.	0,09 \$EE.UU.	0,08 \$EE.UU.	0,08 \$EE.UU.	0,06 \$EE.UU.
Clase I - 35 m.p.h.	0,13	0,12	0,11	0,08
Clase II - 25 m.p.h.	0,18	0,17	0,16	0,12
Clase III - 16 m.p.h.	0,26	0,24	0,24	0,18
Clase IV - 8 m.p.h.	0,47	0,43	0,46	0,34
Clase V - 4 m.p.h.	0,85	0,78	0,86	0,65
Costos fijos, (esperas, retrasos, cargas, descargas)	1,78 \$EE.UU.	1,65 \$EE.UU.	1,41 \$EE.UU.	1,81 \$EE.UU.

^{1/} Descripción del camión - todos equipados con cargador:

- 4 cuerdas, caja plana, 4 x 2, eje sencillo, GVW 28 000 lb;
- 6 cuerdas, caja plana 6 x 4, eje doble, GVW 37 000 lb;
- 8 cuerdas, tractor de plataforma, 4 x 2, eje sencillo, con caja de 28 x 30 pies, GVW 59 000 lb;
- 10 cuerdas, tractor de plataforma, 6 x 4, eje doble, con remolque de plataforma de 30-35 pies, GVW 72 000 lb.

CAPACIDAD DE LA CARRETERA Y DESCRIPCION DE LA CLASE DE SERVICIO

Carreteras de alta velocidad, velocidad media de circulación 45 mi/h

Este tipo incluye las mejores carreteras en las que los camiones son capaces de mantener una alta velocidad media. Sin embargo, deben tenerse en cuenta los retrasos al atravesar las ciudades, etc.

De transporte, Clase I, Velocidad media de circulación 35 mi/h

Esta clase incluye las carreteras federales, estatales y primarias de condados, con pavimento de hormigón o de alquitrán, con una buena capa de superficie de grava bien estabilizada. Las velocidades de proyecto para las carreteras de este grupo están dentro del orden de las 40-60 mi/h. La velocidad de circulación de camiones para este grupo está entre las 30-40 mi/h, con un promedio de 35 mi/h. Si una sección de una carretera de esta clase tiene un cuarto de milla o más con pendientes ascendentes sostenidas del 6% o mayores, tal parte debe considerarse como carretera de Clase II.

De transporte, Clase II, Velocidad media de circulación 25 mi/h

Esta clase incluye las carreteras secundarias de condados, las locales y las forestales con una velocidad de proyecto de 30 mi/h y una velocidad media de circulación de camiones de 25 mi/h. Las carreteras de esta clase tendrán una anchura de doble carril o de carril sencillo con secciones de cruce visibles entre sí. La capa de superficie de la calzada puede tener una capa final de rodadura de alquitrán, de grava compactada o de suelo estabilizado, bien mantenida. El trazado horizontal tiene curvas con radio mínimo de 300 pies y pendientes máximas del 7%. Si una sección de una carretera de este grupo tiene un cuarto de milla o más con pendientes de subida sostenidas que pasan del 7%, tal porción debe considerarse como carretera de III Clase.

De transporte, Clase III, Velocidad media de circulación 16 mi/h

Esta clase incluye las carreteras rurales, las locales, las municipales y las carreteras forestales de un solo carril, con una velocidad de proyecto de 20 mi/h y una velocidad de circulación de los camiones de 16 mi/h. Las carreteras de un solo carril tendrán secciones de cruce pero no siempre situadas en puntos visibles entre sí. La calzada llevará normalmente una buena capa de superficie de rodadura de grava o de suelo, con mantenimiento intermitente mediante pala. El trazado horizontal tendrá curvas con radio mínimo de 200 pies y pendientes máximas que no excedan del 10%. Si una sección de una carretera de este grupo tiene un cuarto de milla o más con pendientes de subida sostenidas que sobrepasan el 10%, tal porción debe considerarse como carretera de Clase IV.

De transporte, Clase IV, Velocidad media de circulación 8 mi/h

Esta clase incluye carreteras, sin tener en cuenta su jurisdicción, que tienen anchura de un solo carril y que carecen de secciones de cruce adecuadas. Se clasifican como carreteras de reducida capacidad de servicio, dándose poca consideración o ninguna a la velocidad de proyecto durante la selección del trazado o la construcción. Normalmente tendrán un trazado sinuoso con numerosas curvas cerradas. El perfil vertical sigue estrictamente la línea natural ondulada del terreno, con depresiones ocultas y rasantes onduladas. Las pendientes máximas pueden ser hasta del 12%. Las carreteras de esta clase están normalmente sin pavimentar, con un engravado limitado a ciertos trozos en secciones inestables. El drenaje se limita normalmente a los canales naturales de desagüe, donde cruzan la carretera. Las velocidades de circulación de los camiones pueden estar entre las 6 y 11 mi/h con un promedio de 8 mi/h.

De transporte, Clase V, Velocidad media de circulación 4 mi/h

Esta clase incluye las carreteras de servicio más deficiente dentro de la gama. Son normalmente estrechas, sin desagües, con trazados sinuosos y rasantes onduladas. Son como promedio carreteras de un solo carril, construidas con tractor oruga, con pequeñas rocas sobresalientes y tocones en la superficie de circulación y con secciones de cruce limitadas o sin ellas. Las velocidades de circulación de los camiones pueden estar entre las 4 y 5 mi/h con una velocidad media de 4 mi/h. No permiten secciones cortas (hasta de 400 pies) fuera de los cargaderos, ya que su coste se computa como tiempo de parada.

APENDICE B

CARGAS TOTALES EQUIVALENTES POR EJE

Las carreteras se construyen para soportar unas cargas específicas de proyecto sobre un eje sencillo. Sin embargo, los vehículos de transporte están equipados normalmente con un bogie de eje doble o, en ocasiones, triple, bajo el extremo trasero del camión y del remolque. El Cuadro 33 muestra la relación existente entre varias cargas sobre un solo eje y su equivalente en cargas sobre ejes dobles y triples cuando los espaciamientos entre ejes son de 1,22 m y 2,44 m, respectivamente y los ejes están equipados con ruedas y cubiertas dobles. Sin embargo, pueden llevarse cargas más pesadas por eje sin ocasionar más efecto sobre la carretera, cuando los ejes se espacian más.

Por ejemplo, en las carreteras públicas de la Provincia de Ontario, Canadá, que tiene algunas de las regulaciones más complejas y detalladas respecto a cargas en las carreteras, se permiten las cargas totales máximas para bogies de doble y triple eje de acuerdo con lo indicado en los Cuadros 34 y 35 (9). Esto significa, por ejemplo, que las carreteras proyectadas para soportar 15 900 kg sobre ejes dobles espaciados 1,22 m, soportarán análogamente bien 18 000 kg cuando el espaciamiento entre ejes se aumenta a 1,83 m. Este es un punto muy importante a tener en cuenta cuando se están planificando carreteras forestales y equipos de transporte para una operación de explotación maderera.

Cuadro 33

EQUIVALENCIAS DE CARGAS POR EJE (3)

Carga sobre un eje sencillo en kg	Número equivalente de ejes sencillos con 8 200 kg	Carga equivalente en kg	
		Eje doble ^{1/} _{3/}	Eje triple ^{2/} _{4/}
6 350	0,38	11 350	14 200
7 275	0,71	12 950	16 200
8 200	1,00	14 500	18 100
9 100	1,93	16 200	20 200
10 000	2,99	17 800	22 200
10 900	4,45	19 400	24 300
11 800	6,44	21 000	26 200
12 700	9,05	22 600	28 200
13 600	12,45	24 200	30 200

1/ Espaciamiento entre ejes 1,22 m;

2/ Distancia entre los ejes primero y tercero del bogie, 2,44 m;

3/ Los valores son aproximadamente un 75% mayores que para los ejes sencillos correspondientes; por ejemplo, una carretera proyectada para soportar una carga sobre un solo eje de 9 100 kg sobre neumáticos dobles, soportará una carga sobre eje doble de 16 200 kg cuando los ejes están situados con un espaciamiento de 1,22 m;

4/ Los valores son aproximadamente un 120% mayores que para los ejes sencillos correspondientes y un 25% mayores que para los correspondientes ejes dobles; por ejemplo, una carretera proyectada para soportar una carga sobre un solo eje de 9 100 kg, soportará una carga sobre eje triple de 20 200 kg cuando la distancia entre el primero y el tercer eje es de 2,44 m.

Cuadro 34 (9)

CARGA MAXIMA ADMISIBLE PARA EJE DOBLE

<u>Columna Uno</u>	<u>Columna Dos</u>
<u>Espaciamiento entre ejes</u> <u>en pulgadas</u>	<u>Carga máxima admisible</u> <u>en libras</u>
40 o menos	20 000
más de 40 y menos de 48	32 000
48 " " " 51	35 000
51 " " " 54	35 500
54 " " " 57	36 000
57 " " " 60	36 500
60 " " " 63	37 500
63 " " " 66	38 000
66 " " " 69	38 500
69 " " " 72	39 000
72 o más	40 000

Cuadro 35

CARGA MAXIMA ADMISIBLE PARA EJE TRIPLE

<u>Columna Uno</u>	<u>Columna Dos</u>
<u>Espaciamiento entre ejes</u> <u>en pulgadas</u>	<u>Carga máxima admisible</u> <u>en libras</u>
80 o menos	35 000
más de 80 y menos de 96	40 000
96 " " " 111	44 000
111 " " " 114	44 500
114 " " " 117	45 000
117 " " " 120	45 500
120 " " " 123	46 000
123 " " " 126	46 500
126 " " " 129	47 500
129 " " " 132	48 000
132 " " " 135	49 000
135 " " " 138	49 500
138 " " " 141	50 000
141 " " " 144	50 500
144 " " " 147	51 000
147 " " " 150	51 500
150 " " " 153	52 500
153 " " " 156	53 000
156 " " " 159	54 000
159 " " " 162	54 500
162 " " " 165	55 000
165 " " " 168	55 500
168 " " " 171	56 000
171 " " " 174	56 500
174 " " " 177	57 000
177 " " " 180	57 500
180 " " " 183	58 500
183 " " " 186	59 000
186 " " " 189	59 500
189 " " " 192	59 500
192 o más	60 000

CONSIDERACIONES GEOMETRICAS PARA CARRETERAS FORESTALES

Como velocidad de proyecto de una carretera, con un mínimo de seguridad, expresada en km/h, puede tomarse la velocidad sostenida más 20 km/h. La velocidad sostenida puede definirse como aquella velocidad que un vehículo cargado sólo tendría que aminorar por razones de congestión de tráfico. A continuación se hace referencia a cierto número de consideraciones geométricas que afectan al proyecto de una carretera, con las debidas condiciones de seguridad.

1. Anchura del carril y de los andenes

Las carreteras primarias o principales tendrán corrientemente una anchura de dos carriles de circulación, de modo que los vehículos puedan cruzarse o adelantarse sin disminuir la velocidad. La anchura óptima de un carril para carreteras de dos carriles es la anchura total del vehículo cargado más 1,22 m. Cabe esperar que la reducción de la anchura del carril dé como resultado una cierta reducción en las velocidades medias del vehículo (en cuantía de 1 km/h por cada 30 cm de reducción) y en las velocidades del vehículo cuando adelanta o se cruza con otros vehículos (del orden de 1 km/h por cada 5 cm de reducción)(3).

Si es posible, una carretera primaria o principal debe tener una anchura de berma no inferior a 1,22 m a fin de garantizar que no exista un efecto perjudicial sobre la velocidad de los vehículos. Puede contarse con que la velocidad decrezca en 1 km/h para 6 cm de disminución en la anchura de la berma, especialmente cuando se cruza con otros vehículos (3). De este modo, la anchura total de una carretera principal de dos carriles, por la que circulen vehículos de 2,5 m de anchura, debe ser de unos 10 m incluyendo bermas, y correlativamente más ancha para vehículos de mayor anchura. En la práctica, la anchura de las carreteras forestales depende en gran medida de la densidad de tráfico y de la duración prevista de la carretera.

Las carreteras secundarias son normalmente de un solo carril o carreteras de anchura intermedia con la misma capacidad de carga que las carreteras principales y con apartaderos para cruce o para dar vuelta a intervalos apropiados. Cuando se cruzan en tales puntos, es costumbre dar prioridad de paso al vehículo cargado.

Cuando el radio de curvatura es inferior a 150 m, la calzada de circulación de una carretera debe ser ensanchada por el lado interior de las curvas horizontales a fin de permitir la batalla adicional de los vehículos. Esta batalla adicional puede definirse como la diferencia entre la huella de la primera rueda delantera interior y la última rueda trasera interior, cuando un vehículo - ya sea un camión o un vehículo combinado - toma una curva. Su magnitud depende del radio de curvatura y de la base de las ruedas de las unidades componentes del vehículo, pudiendo calcularse con precisión cuando éstas son conocidas(6). Sin embargo, tal cálculo no se considera necesario cuando se proyectan carreteras forestales. El Cuadro 36 enumera los valores aproximados de la batalla adicional para vehículos cargados con semi-remolque de varias longitudes totales, al tomar curvas de diversos radios. Un vehículo combinado normal, consistente en un camión y un remolque completo, producirá una batalla adicional menor que los semi-remolques correspondientes.

Los valores dados en el Cuadro 36 representan la anchura adicional que debe añadirse a la superficie de circulación de una carretera de un solo carril o a cada carril de una carretera de dos carriles. El ensanche debe disminuirse progresivamente en cada extremo de la curva.

2. Bombeo y peralte

Tanto las carreteras primarias como las secundarias deben tener el firme bombeado para garantizar un desagüe seguro de los carriles de tráfico. La inclinación recomendada para el bombeo en carreteras con firme de grava es de 2-3 cm por metro de anchura de carril, es decir de un 2 a un 3% cuando el material de la capa de superficie está apisonado duramente y suavizado (3, 7) y 4-5 cm por metro cuando es de material grueso y áspero (3).

La Fig. 11 muestra la sección transversal típica de una carretera de acuerdo con lo recomendado por Odier, Millard, dos Santos y Mahra (7).

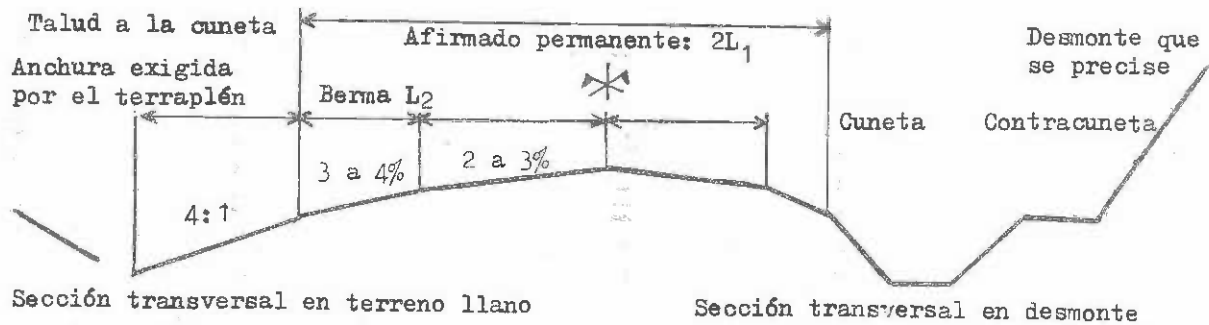
Las curvas horizontales deben peraltarse para contrarrestar las fuerzas centrífugas desarrolladas por el vehículo cuando gira en la curva. El peralte debe extenderse a toda la anchura de la calzada de la carretera. Su magnitud en una curva dada debe depender de la velocidad del vehículo y del coeficiente de rozamiento para el deslizamiento lateral; cuanto más elevada sea la velocidad en una curva dada, de coeficiente conocido, mayor debe ser el peralte. El peralte nunca debe ser tan grande que el vehículo deslice hacia la cuenta interior cuando circula muy lentamente o mientras está parado. Por otra parte, nunca debe ser tan pequeño que las fuerzas centrífugas desarrolladas por un vehículo en movimiento ocasionen su deslizamiento hacia la parte elevada de la carretera. El peralte nunca debe exceder de 10 cm por metro (0,10) (7); en condiciones invernales de nieve y hielo en las carreteras forestales nórdicas y en condiciones de suelos de carreteras deslizantes, dondequiera que suceda, nunca debe exceder de 5 cm por metro (0,05) (3); y en algunos casos puede evitarse enteramente por razones de seguridad, reduciendo las velocidades de acuerdo con ello.

Cuadro 36

DISTANCIAS APROXIMADAS DE BATALLA ADICIONAL PARA VEHICULOS
CON SEMI-REMOLQUE DE DIVERSAS LONGITUDES TOTALES CON CARGA
EN DIVERSAS CURVAS ^{1/}

Longitud total del vehículo cargado en m	Radio de curvatura			
	40 m	50 m	100 m	150 m
12	0,60	0,40	0,20	0,05
13	0,75	0,55	0,25	0,075
14	0,90	0,69	0,34	0,20
15	1,05	0,82	0,42	0,27
16	1,20	0,96	0,50	0,33
17	1,35	1,10	0,58	0,40
18	1,50	1,25	0,67	0,48
19	1,65	1,38	0,73	0,55
20	1,80	1,52	0,82	0,62

^{1/} Valores en metros.



	Terreno llano, suavemente ondulado o de colinas			Terreno montañoso		
	2L m	2L ₁ m	L ₂ m	2L m	2L ₁ m	L ₂ m
Carreteras primarias	10-13	6-75	≥ 20	8-10	6-75	≥ 10
Carreteras secundarias	10-12	8-68	≥ 20	8-9	6-68	≥ 10
Carreteras de aprovision.	75-80	55-60	≥ 10	75-80	55-60	≥ 10

Figura 11 - Sección transversal típica de una carretera.

La relación entre la velocidad de proyecto, el radio de curvatura, el peralte y el coeficiente de rozamiento para el deslizamiento lateral puede expresarse con la fórmula (7):

$$V = \sqrt{127 \times R (e \pm f_s)}$$

donde V = velocidad de proyecto en km/h;

R = radio de curvatura en m;

e = peralte expresado en forma decimal;

f_s = coeficiente de rozamiento para el deslizamiento lateral.

El coeficiente de rozamiento para el deslizamiento lateral varía ligeramente con la velocidad del vehículo. Los valores a utilizar en la fórmula pueden encontrarse en el Cuadro 37. Algunas autoridades en la materia recomiendan utilizar en la fórmula un valor f_s uniforme de 0,15 a 0,16.

Cuadro 37

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO f_s PARA DESLIZAMIENTO LATERAL

Velocidad de seguridad del proyecto en km/h	Valor del coeficiente f _s
20	0,17
40	0,16
60	0,15
80	0,14
100	0,13

Las carreteras de aprovisionamiento normalmente no se bombean ni se peraltan debido a las reducidas velocidades a que deben circular por tales carreteras los vehículos de transporte.

3. Distancias de visibilidad

El conductor de un vehículo debe ser capaz de ver hacia delante una distancia suficiente para poder parar con seguridad su vehículo al ver un obstáculo en su carril. Esta distancia se denomina distancia de visibilidad admisible. Es especialmente importante cuando está permitida también la circulación de animales por la misma carretera. Esta distancia de visibilidad debe existir en todos los puntos para las velocidades programadas, o, a la inversa, deben limitarse las velocidades de los vehículos si las condiciones topográficas o de otra índole impiden conseguir las distancias de visibilidad deseables. Las distancias de visibilidad de adelanto, es decir, la distancia necesaria para alcanzar y pasar a otro vehículo frente al tráfico que viene, no se considera importante en el proyecto de carreteras forestales. Aunque las distancias de visibilidad se aplican tanto a las curvas horizontales como a las verticales, las primeras son las más importantes en el proyecto de carreteras forestales.

La distancia básica de visibilidad incluye la distancia que recorre el vehículo desde el momento en que el conductor ve el obstáculo hasta el momento en que se aprietan los frenos más la distancia que recorre el vehículo hasta que para. Depende de la velocidad del vehículo, de la pendiente, del coeficiente de rozamiento y del tiempo que tarde el conductor en ver el obstáculo y frenar. Su valor puede obtenerse aproximadamente con la fórmula:

$$SD = 1,25V + \frac{V^2}{255(f \pm g)}$$

donde SD = distancia de visibilidad en m;

V = velocidad del vehículo en km/h

f = coeficiente de rozamiento;

g = % de pendiente expresado en forma decimal.

Los coeficientes de rozamiento a utilizar en la fórmula pueden obtenerse en el Cuadro 38. De este modo, dada una velocidad de proyecto de una carretera, de 50 km/h, una pendiente de bajada del 2% y un coeficiente de rozamiento de 0,20, en una carretera deslizante, el conductor debería por razones de seguridad en la conducción, tener una visión clara por lo menos de 117 m, medidos por el centro del carril de circulación.

Cuadro 38

COEFICIENTE DE TRACCION O DE ROZAMIENTO PARA NEUMATICOS DE GOMA SOBRE DISTINTAS CAPAS DE SUPERFICIE DE CARRETERAS

<u>Capa de superficie de la carretera</u>	<u>Coeficiente estático de rozamiento</u>
Hormigón (cemento Portland)	0,70
Hormigón asfáltico	0,60
Grava, fuertemente apisonada	0,60
Suelo, firme	0,50
Arena	0,15 - 0,40
Barro	0,15 - 0,40
Nieve, fuertemente apisonada	0,20 - 0,25
Nieve, fuertemente apisonada, bien arenada	0,33
Nieve, 2" seca, suelta, sobre grava	0,30
Nieve, 1" seca, suelta, sobre hielo	0,25
Hielo, sin nieve	0,12

Quando hay tráfico de dos direcciones en una carretera de un solo carril, debe adoptarse el doble de la distancia de parada calculada por la fórmula anterior, a fin de permitir que dos vehículos que se aproximen paren con seguridad.

No siempre es posible el proporcionar distancia de visibilidad seguras para las velocidades deseadas de los vehículos, debido a dificultades topográficas o a otros problemas constructivos. Cuando tal es el caso, y se necesitan unas condiciones máximas de seguridad, deben señalizarse en lugares apropiados las velocidades máximas admisibles.

4. Pendientes

Las pendientes de subida de las carreteras forestales deben limitarse en su cuantía a las que permitan al vehículo mantener las velocidades previamente elegidas, ya sea cargado o en vacío, sin que deslicen las ruedas, y las pendientes de bajada deben limitarse a las que permitan mantener en todo momento el pleno control del vehículo. Debe hacerse todo lo posible para mantener, como pendiente máxima, en las carreteras primarias hasta el 6%, en las carreteras secundarias hasta el 8% y en las carreteras de aprovisionamiento hasta el 10%. El Cuadro 39 proporciona algunas características deseables de proyecto para carreteras primarias, secundarias y de aprovisionamiento, en diversos tipos de terrenos, de acuerdo con lo propuesto por Odier, Millard, dos Santos y Mahra (7). Aunque los autores clasificaron las carreteras en primarias, secundarias y de aprovisionamiento, al igual que en este manual, sus definiciones se referían a zonas pobladas. Sin embargo, se cree que los datos aportados en el cuadro serían útiles al proyectar carreteras forestales.

Cuadro 39

CARACTERISTICAS DE PROYECTO PARA CARRETERAS EN DISTINTOS TIPOS DE TERRENO

Característica Tipo de carretera	Terreno	Velocidad de proyecto km/h	Radio mínimo de curvatura m	Pendiente máxima %	Longitud máx. de la rasante m	Anchura de la explanación (pavimento permanente y andenes) m	Anchura del pavimento permanente m
Primaria	Llano o ligeramente ondulado	80-110	190-360	4	Ninguna	10-13	6-7,5
	De colinas	55-80	90-190	5-7	600 por en- cima del 4%	10-13	-
	Montañoso	40-55	50-90	7-9	400 por en- cima del 6%	8-10	-
Secundaria	Llano o ligeramente ondulado	60-80	110-190	5	Ninguna	10-12	6-6,8
	De colinas	50-60	75-110	5-7	Ninguna	10-12	-
	Montañoso	35-50	35-75	7-9	750 por en- cima del 6%	8-9	-
De aprovi- siona- miento	Llano o	50-60	75-110	7	Ninguna	7,5-8	5,5-6
	De colinas	35-50	35-75	7-9	Ninguna	7,5-8	-
	Montañoso	25-35	30-35	9-12	1000 por en- cima del 9%	7,5-8	-

El radio mínimo de curvatura que aparece aquí considera un peralte del 10% y un coeficiente de esfuerzo lateral de 0,16.

Sin embargo, las especificaciones que se dan en el Cuadro no sirven necesariamente para todas las carreteras forestales. Por ejemplo, las carreteras forestales de aprovisionamiento en suelos firmes rara vez se construyen con una anchura de 7,5 - 8 m; lo más frecuente es que la anchura sea aproximadamente igual a la longitud de una hoja de bulldozer. No obstante, el cuadro contiene mucha información útil.

En pendiente de subida, el deslizamiento de las ruedas se produce cuando el esfuerzo de tracción sobrepasa la reacción de rozamiento de la superficie de la carretera (6). El esfuerzo de tracción, expresado en kg, es la fuerza superficial aplicada a las cubiertas en su punto de contacto con el terreno. Su valor depende del par motor neto, de la reducción total del cambio, de la eficacia de la línea de transmisión y del radio de las ruedas con la carga; su valor puede calcularse. La reacción de rozamiento, expresada también en kg, es el producto del coeficiente de rozamiento por el peso sobre las ruedas motrices del vehículo.

La pendiente máxima de subida que se puede ascender sin deslizamiento de las ruedas, denominada a veces pendiente crítica, depende del coeficiente de rozamiento y de la proporción del vehículo total, o peso de vehículo y remolque, que corresponde a las ruedas tractoras o motrices. Su valor puede conseguirse con bastante aproximación mediante la fórmula (6).

$$GR = \frac{f \times AW \times 100}{GW}$$

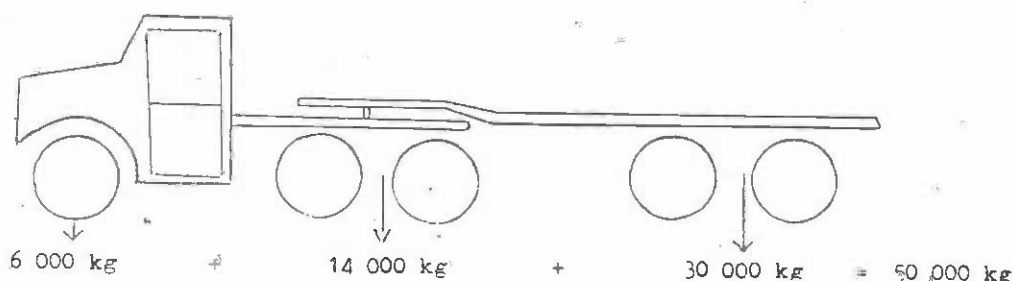
donde GR = tanto por ciento de pendiente;

f = coeficiente de rozamiento dado en el Cuadro 38;

AW = peso en kg sobre las ruedas motrices;

GW = peso total del vehículo o del vehículo con remolque en kg.

Por ejemplo, dado un vehículo reforzado, semiremolque, con 5 ejes con un peso total de 50 000 kg, con la carga distribuida del modo siguiente



y un coeficiente de rozamiento de 0,20, la pendiente máxima de subida que puede remontarse será

$$\frac{0,20 \times 14\,000 \times 100}{50\,000} = 5,6\%$$

Si han de construirse pendientes de subida mayores del 5,6% en una determinada carretera, habrá que dotar a ésta con una mejor capa de superficie, es decir que tenga un mayor coeficiente de rozamiento, o habrá que volver a diseñar el vehículo para que pueda transportar más de 14 000 kg sobre las ruedas traseras del tractor-camión, cuando esté cargado.

En las condiciones de transporte de invierno en los bosques nórdicos puede mejorarse la adherencia o rozamiento enarenando las subidas; en bosques tropicales, solamente un material de superficie más granular mejorará el coeficiente de tracción. En el ejemplo anterior solamente el 28% de la carga total se transporta sobre las ruedas motrices; en la práctica este porcentaje debe aproximarse al 40%. Existe con frecuencia mucha dificultad para subir pendiente con el vehículo vacío, por la misma razón que se señaló anteriormente: falta de peso suficiente sobre las ruedas motrices y un bajo coeficiente de rozamiento.

Son aplicables los mismos remedios que en el caso de un vehículo cargado: mejorar la adherencia o aumentar el peso sobre las ruedas motrices, por ejemplo, cargando el remolque sobre el camión tractor para el viaje de regreso al punto de carga del bosque.

El peso sobre las ruedas motrices puede aumentarse también haciendo que sean motrices las ruedas delanteras del camión tractor o uno o más de los ejes del remolque. Sin embargo, el uso de tales dispositivos aumenta el coste de compra del vehículo, los costes de funcionamiento y mantenimiento y, en consecuencia, los costes de transporte, lo que debe evitarse.

Las fuerzas que deben vencerse para remontar las pendientes - rodadura, pendiente, aire y funcionamiento mecánico y la resistencia correspondientes - actúan también para reducir la velocidad de un vehículo en las pendientes de bajada (6). Deben considerarse en el proyecto de los frenos de los vehículos y otros dispositivos para controlarlos cuando circulan cuesta abajo. Su análisis queda fuera del alcance de este manual. Sin embargo, el ingeniero de carreteras forestales debe considerar todos los puntos anteriores juntamente con el ingeniero que proyecta los equipos y el administrador responsable del abastecimiento de madera.

5. Zona de ocupación de la carretera

La anchura deseable de la zona de ocupación despejada de una carretera forestal depende de muchos factores: topografía, clima, curvatura horizontal, anchura de la calzada, velocidades de los vehículos, necesidad prevista de excavaciones de préstamos y, en cierta medida, del tipo de bosque. La zona de ocupación debe tener como centro la línea central de la calzada.

Paterson (3) recomienda como anchuras mínimas de las zonas de ocupación despejadas en carreteras forestales rectas, aproximadamente las que se muestran en el Cuadro 40, y, cuando sea necesario, un ensanche suficiente en el lado interno de las curvas horizontales que permita lograr unas distancias de visibilidad apropiadas y mantener las velocidades deseables. Las consideraciones geométricas se muestran en la Fig. 12 (3). La distancia de visibilidad necesaria, medida a lo largo de la línea central del carril interior, puede calcularse tal como se describe en la Sección 3 del Apéndice C y la flecha, es decir la distancia necesaria desde la línea central del carril interior hasta la obstrucción, puede hallarse con la fórmula (3):

$$M = \frac{5.730}{D} \quad (\text{vers } \frac{SD}{200})$$

donde M = flecha en pies;

D = ángulo en el centro correspondiente a una cuerda de 100 pies;

S = distancia de visibilidad necesaria, en pies, medida a lo largo de la línea central del carril interior.

Cuadro 40

ANCHURAS DESPEJADAS QUE SE RECOMIENDAN PARA LA ZONA
DE OCUPACION DE LA CARRETERA

Velocidad de proyecto en km/h	Anchora despejada de la zona de ocupación de la carretera en m
30	20
40	22
50	25
60	27
70	30
80	33
90	35
100	38

Sin embargo, las anchuras de la zona de ocupación de la carretera que se dan en el Cuadro 40 deben considerarse sólo como una orientación. Los terrenos empinados y los rocosos en la parte interior de un trazado en curva, impiden conseguir la distancia de visibilidad necesaria sin un gasto exorbitante, en cuyo caso debe reducirse la velocidad y señalarse su límite máximo conveniente de seguridad. Además, puede ser conveniente dejar laderas inclinadas sin despejar para favorecer la estabilización del suelo o por razones estéticas.

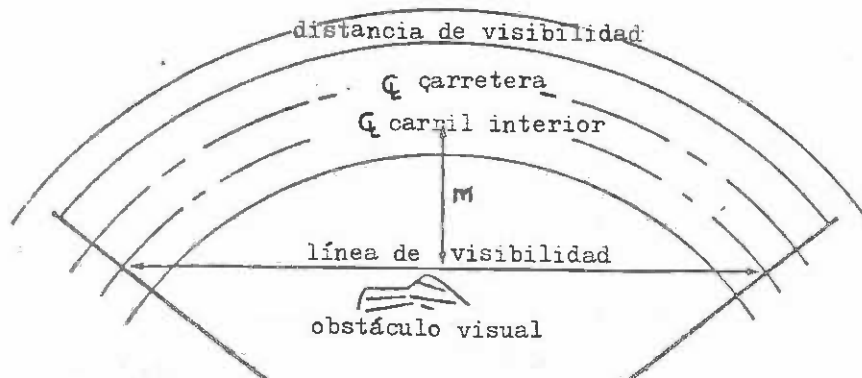


Figura 12 - Esquema de la anchura mínima despejada en curvas horizontales para mantener la línea de visibilidad deseada.

En países tropicales y en bosques caducifolios de zonas templadas, donde las copas de los árboles se extienden mucho, la zona de ocupación de la carretera debe ensancharse cuando proceda, para permitir que la luz del sol ayude a secar la calzada. Por otra parte, en calzadas muy arenosas la zona de ocupación debe ser más estrecha para evitar la humedad.

En los países nórdicos, donde la ventisca es un problema invernal, la zona de ocupación de la carretera debe limitarse en terrenos expuestos y dejar sin cortar una faja de bosque de 30 a 40 cm, cuando se sigue el sistema de cortas a hecho, normalmente a ambos lados de la carretera. Tales fajas sirven también en verano para reducir el problema del polvo y como cortafuegos y línea de control para el combate en caso de incendio forestal.

Sin embargo, el dejar tales fajas y abrir un bosque, que no ha sido cortado, en masas de resinosas de las zonas templadas, con zonas de ocupación innecesariamente anchas, exponen al bosque a ser abatido por el viento y, en el caso de algunas especies, como el Abies balsamea del este de Norteamérica, al daño de la quemadura por el sol.

En bosques artificiales, las anchuras de la zona de ocupación de la carretera pueden venir determinadas por otras consideraciones: el hecho de que la mayoría de las carreteras, durante las fases de plantación y cuidados culturales, no necesitan ser anchas o soportar grandes cargas, el hecho de que muchas carreteras de bosques artificiales son más o menos permanentes después del primer turno, el deseo de utilizar la superficie al máximo y la necesidad de contar con caminos adecuados para el control de incendios, especialmente en el caso de las plantaciones de pino.

DENSIDAD DE LAS CARRETERAS DE APROVISIONAMIENTO

Las carreteras de aprovisionamiento son aquéllas que están situadas después de las carreteras secundarias; constituyen los dedos de la red de carreteras; penetran hasta los cargaderos secundarios, en los cuales los sistemas de madereo de arrastre y de madereo de suspensión entregan la madera aprovechada; ocasionalmente penetran hasta los cargaderos primarios de la zona de corta. Cuando se utiliza una máquina determinada para el madereo de arrastre o de suspensión, existe una densidad o espaciamiento de las carreteras de aprovisionamiento (m/ha) que da como resultado el menor coste combinado de la construcción de la carretera de aprovisionamiento y del madereo de arrastre o de suspensión. Esta se denomina densidad óptima (ORD) o espaciamiento óptimo (ORS) de las carreteras de aprovisionamiento. Se consigue cuando el coste del madereo de arrastre o de suspensión correspondiente a la parte de recorrido iguala al coste de construir la carretera de aprovisionamiento y mantenerla durante el período de transporte.

En condiciones forestales ideales, en terreno llano u suavemente ondulado, donde las carreteras de aprovisionamiento son rectas y paralelas y el madereo de arrastre o de suspensión se lleva a cabo perpendicularmente a la carretera y en forma equidistante por ambos lados, descargándose la madera al llegar a la carretera, la distancia media del madereo de arrastre o de suspensión es la cuarta parte del espaciamiento de las carreteras de aprovisionamiento.

Sin embargo, esta situación raramente se produce, si es que sucede alguna vez en la práctica. A veces una carretera de aprovisionamiento bordea un pantano, un lago, un río u otro accidente topográfico, de tal modo que el madereo de arrastre o de suspensión se hace solamente por un lado. Si el espaciamiento es el óptimo, la carretera sirve para menos madera y cuesta más por m³: la distancia media del madereo de arrastre es mayor y, en consecuencia, su costo.

1. Espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento

Si bien la densidad de las carreteras de aprovisionamiento, expresada en m³/ha, es la que se utiliza más fácilmente para calcular el costo por m³ de tales carreteras, su espaciamiento es la guía más práctica para el ingeniero de una explotación forestal que proyecta una red de carreteras de aprovisionamiento en un bosque que se está abriendo a la explotación.

El espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento puede determinarse mediante la fórmula:

$$ORS = k \frac{40 \times R \times L}{q \times c \times t (1 + p)}$$

donde ORS = espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento, expresado en m;

R R = coste en \$ EE.UU. por km de construcción y mantenimiento de las carreteras de aprovisionamiento;

L = carga media del tractor forestal arrastrador o transportador en m³;

q = cantidad de madera aprovechada, expresada en m³/ha;

c = coste de funcionamiento del tractor arrastrador o transportador incluyendo el operario, en \$ EE.UU. por minuto;

t = tiempo en minutos para que el tractor arrastrador o transportador recorra 1 m cargado y regrese en vacío;

k = factor de corrección, con un valor normal entre 1,0, en las condiciones ideales descritas en el párrafo anterior, cuando el madereo de arrastre o de suspensión se hace en forma equidistante a ambos lados de la carretera de aprovisionamiento, y 0,71 o $\sqrt{0,50}$ cuando el madereo de arrastre o de suspensión se hace sólo por un lado; se utiliza también para aquellas situaciones en que las carreteras de aprovisionamiento son sinuosas, se encuentran en bifurcaciones o terminan como carreteras sin salida;

p = factor de corrección, normalmente con un valor entre 0 y 0,50 a utilizar en situaciones en que las vías para el madereo de arrastre o de suspensión, es decir los caminos de desemboque, son sinuosas o no terminan en el punto más próximo a la carretera de aprovisionamiento, o cuando se hace una reducción por retrasos en la carretera debidos a la poca resistencia de los suelos, a obstrucciones y otras causas.

Debe señalarse que la distancia de espaciamiento obtenida mediante la fórmula sólo ha de considerarse como un valor aproximado, debido a la imprecisión de los valores de varios factores incluidos en dicha fórmula. Por ejemplo, si ésta da un espaciamiento óptimo de 400 m, los espaciamientos entre 350 y 450 m, darán resultados satisfactorios. Esto permite cierta variación en el trazado de las carreteras de aprovisionamiento para evitar obstáculos que podrían aumentar el coste de su construcción.

Si se examina la fórmula que da el espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento, se verá que al cuadruplicar la cantidad de madera aprovechada por ha, se reduce a la mitad el espaciamiento; esto exigirá (a) construir el doble de carreteras pero a la mitad del coste por m³ y (b) reducir a la mitad la distancia del madereo de arrastre y, en consecuencia, la porción de recorrido del coste de arrastre, logrando de este modo una reducción global de coste de explotación.

Pierre-Ives Perrin ha desarrollado un sistema de cálculo con computadora mediante el cual pueden compararse varias alternativas de una red de carreteras y evaluarse simultáneamente las normas y el espaciamiento de las carreteras de aprovisionamiento (14).

2. Densidad óptima de las carreteras de aprovisionamiento

Habiendo determinado el espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento tal como se ha indicado anteriormente, la densidad óptima de las carreteras de aprovisionamiento puede hallarse mediante la fórmula:

$$ORD = \frac{10\ 000}{ORS}$$

donde ORD = densidad óptima de las carreteras de aprovisionamiento en m/ha;

ORS = espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento en m;

La densidad óptima de las carreteras de aprovisionamiento puede determinarse también directamente mediante la fórmula:

$$ORD = 50 \sqrt{\frac{q \cdot c \cdot t \cdot x \cdot 1\ 000 \cdot x \cdot T \cdot x \cdot V}{R \cdot x \cdot L}}$$

donde ORD = densidad óptima de las carreteras de aprovisionamiento en m/ha;

q = cantidad de madera aprovechada en m³/ha;

c = coste de funcionamiento del tractor forestal arrastrador o transportador incluyendo el operario en \$ EE.UU./min.

t = tiempo en minutos para que el tractor forestal arrastrador o transportador recorra 1 m cargado y regrese en vacío;

T = factor de corrección, normalmente con un valor entre 1,0 y 1,5, a utilizar en las mismas situaciones en que se utilizaba el factor k en la fórmula ORS de la sección anterior;

V = factor de corrección, normalmente entre 1,0 y 2,0, a utilizar en las mismas situaciones en que se utilizaba el factor p en la fórmula ORS de la sección anterior;

R = coste de construcción y mantenimiento de la carretera de aprovisionamiento en \$ EE.UU./km;

L = carga media del tractor arrastrador o transportador en m³.

La densidad óptima o el espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento se trata también en otras varias publicaciones (1) (2) (13).

3. Distancia media del madereo de arrastre o de suspensión

En la situación forestal ideal la distancia media del madereo de arrastre o de suspensión fué determinada por Segebaden (17) con la fórmula:

$$Mg = \frac{2,5}{V}$$

donde Mg = distancia media del madereo de arrastre o de suspensión en km;

V = densidad de las carreteras de aprovisionamiento en m/ha.

Utilizando los símbolos definidos en las Secciones anteriores 1 y 2 del Apéndice D la misma fórmula se expresaría del modo siguiente:

$$ASD = \frac{2,5 \times 1\,000}{ORD}$$

donde ASD = distancia media del madereo de arrastre o de suspensión en m = 1 000 MG;

ORD = densidad óptima de las carreteras en m/ha = V.

Quando se trata de situaciones distintas de la ideal, deben incorporarse a la fórmula los factores de corrección mencionados anteriormente, de tal modo que:

$$ASD = \frac{2,5 \times T \times V \times 1\,000}{ORD} \quad \text{o} \quad \frac{T \times V \times ORS}{4}$$

donde ASD = distancia media del madereo de arrastre o de suspensión en m;

ORD = densidad óptima de las carreteras de aprovisionamiento en m/ha;

ORS = espaciamiento óptimo de las carreteras de aprovisionamiento en m;

T y V = factores de corrección, de acuerdo con lo definido en la Sección anterior 2.

4. Cálculo del coste de las carreteras de aprovisionamiento

El coste de construcción y mantenimiento de una carretera de aprovisionamiento en un sistema de aprovechamiento puede determinarse mediante la fórmula:

$$RC = \frac{R \times RD}{1\,000 \times q}$$

donde RC = coste de la carretera de aprovisionamiento en \$ EE.UU./m³;

R = coste de la carretera de aprovisionamiento en \$ EE.UU./km;

RD = densidad de las carreteras en m/ha;

q = cantidad de madera extraída, expresada en m³/ha.

5. Cálculo del coste de la porción de recorrido del madereo de arrastre o de suspensión

El coste de la porción de recorrido de la operación de madereo de arrastre o de suspensión puede determinarse mediante la fórmula:

$$TC = \frac{ASD \times c \times t}{L}$$

donde TC = coste del recorrido en \$ EE.UU./m³ del madereo de arrastre o de suspensión;

ASD = distancia media del madereo de arrastre o de suspensión en m;

c = coste de funcionamiento, incluyendo el operario del tractor arrastrador o transportador en \$ EE.UU./min;

t = tiempo medio en minutos para que el tractor arrastrador o transportador recorra 1 m y regrese en vacío;

L = carga media del tractor arrastrador o transportador en m³.

Si es óptima la densidad o el espaciado de las carreteras de aprovisionamiento, el coste calculado de esta forma debe ser igual al coste de la carretera de aprovisionamiento tal como se calculó en la sección 4 y tendrá que lograrse el menor coste combinado de las dos operaciones. Si las condiciones difieren de éstas, el coste combinado será mayor.

6. Las carreteras de aprovisionamiento en relación con el coste total mínimo de aprovechamiento

Las secciones anteriores tratan del menor coste combinado del madereo de arrastre o de suspensión y de la construcción y mantenimiento de las carreteras de aprovisionamiento. El objetivo general de cualquier operación forestal es, sin embargo, el coste mínimo de la madera en el último punto de descarga. Se ha demostrado que las carreteras de transporte principales no deben construirse por defecto y que es menos probable incurrir en una pérdida global por construir una carretera de alto nivel.

Cuando se trata de una carretera de aprovisionamiento, debe ponerse la mayor atención en alcanzar un coste total mínimo de la madera en el punto en que las carreteras de aprovisionamiento empalman con la carretera secundaria. Este coste mínimo se alcanzará cuando lleguen a equilibrarse los tres costes, que se enumeran a continuación, expresado sobre la misma base, por ejemplo el coste por m³;

- a) construcción y mantenimiento de la carretera de aprovisionamiento;
- b) porción correspondiente al recorrido del coste del madereo de arrastre o de suspensión;
- c) porción correspondiente al recorrido del coste de transporte por la carretera de aprovisionamiento.

Esta materia se analiza con cierto detalle en el Capítulo 4 y en el Apéndice 3 de la publicación de la FAO "Harvesting man-made forests in developing countries" (2).

7. Algunas consideraciones sobre el cálculo de coste de las máquinas

Los valores del coste de funcionamiento de los tractores forestales, camiones y remolques, tractores y otro equipo móvil mencionado en este apéndice deben incluir el coste del operario u operarios.

El coste de los camiones y remolques debe hacerse por hora, con un valor por hora de parada y otro por hora de recorrido, ya que éste puede ser hasta 2 o 3 veces el primero. Esta diferencia es debida al principio de que los costes de combustible, aceite, reparaciones y mantenimiento se suman para fines prácticos, solamente cuando la máquina está en

movimiento. El coste por hora de recorrido parte de la premisa de que los costes de transporte por unidad de volumen son inversamente proporcionales a la velocidad de recorrido, de modo que al duplicarse ésta se reducirá a la mitad el coste de transporte. Los camiones de transporte deben equiparse con tacógrafos adecuados para la determinación de las horas de parada y de movimiento, velocidad del vehículo, etc.

El cálculo del coste de los tractores forestales está sujeto en cierta medida a la misma descomposición horaria del tiempo pero en grado mucho menor ya que normalmente los motores de estas máquinas continúan marchando para hacer funcionar un cabrestante o algún tipo de mecanismo de carga durante las fases de carga y descarga. Por esta razón el cálculo del coste de tales máquinas se suele hacer sobre la base de las horas de motor registradas mediante el medidor de horas del mismo.

Los métodos de cálculo de costes de las máquinas se discuten con bastante detalle en el Apéndice H y en un buen número de publicaciones disponibles (1) (2) (10) (11) (12).

APENDICE E

RELACIONES COMPARATIVAS DE PRODUCTIVIDAD, PRECIOS DE COMPRA Y COSTES DE FUNCIONAMIENTO
POR HORA DE TRACTORES DE ORUGAS EQUIPADOS CON PALA FRONTAL EN S,
TECHO DE PROTECCION Y HUINCHE REMOLCADOR

Hay varias empresas de tractores de orugas que fabrican una amplia variedad de máquinas y las distribuyen por todo el mundo. El precio de compra, el coste de funcionamiento y la productividad de estas máquinas, completadas con cubierta protectora, cuchilla en S y huinche remolcador, depende de la potencia de la máquina pero varía poco entre distintos fabricantes. El gráfico de la Figura 13 presenta el precio aproximado de compra, el coste de funcionamiento (excluido el conductor) y la productividad relativa del trabajo con tractor oruga de máquinas de distintas potencias. Es interesante señalar que una curva sirve para las tres partidas.

Las siguientes notas se refieren al gráfico:

- a) los precios de compra se dan en dólares EE.UU., no incluyendo consignación para derechos de importación excepcionalmente elevados;
- b) los precios de compra incluyen cuchilla en S, huinche de remolque y cubierta protectora, estando entre 5 \$ EE.UU. y 6 \$ EE.UU./kg, reduciéndose desde 6 \$ EE.UU./kg para las máquinas más pequeñas que desarrollan de 75 hp a 125 hp, hasta 5 \$ EE.UU./kg para las que desarrollan una potencia de 275 a 300 hp;
- c) los modelos con cambio directo cuestan alrededor del 5% menos que los correspondientes modelos con "servo-cambio" que aparecen en el gráfico;
- d) la curva del índice de productividad del gráfico se refiere a los modelos con "servo-cambio"; la productividad de los modelos correspondientes con cambio directo disminuye aproximadamente en un 15%;
- e) los costos aproximados de funcionamiento por hora, basados en las lecturas del medidor de horas del motor, que se dan en el gráfico, incluyen depreciación, intereses, seguros, fuel oil, lubricantes, reparaciones y servicios, pero excluyen los salarios del conductor y las cargas sociales;
- f) la relación peso-potencia de los tractores de oruga, es decir su peso por caballo neto o al volante, se encuentra normalmente entre 110 kg y 125 kg;
- g) los tractores normales de orugas completamente equipados ejercen una presión sobre el terreno entre 0,5 kg/cm² y 0,7 kg/cm²; algunos fabricantes han desarrollado modelos de presión reducida sobre el terreno, hasta de 175 a 200 hp, para utilizarlos en terrenos de escasa resistencia; estos tractores tienen orugas con una traza más larga y zapatas más anchas, y plenamente equipados desarrollan una presión sobre el terreno que viene a ser la mitad de las máquinas normales; pesan de un 15 a un 20% más que los tractores normales y cuestan progresivamente más a medida que aumenta su potencia: desde un 5% para los modelos de 75 hp hasta un 15% para los de 180 a 200hp.

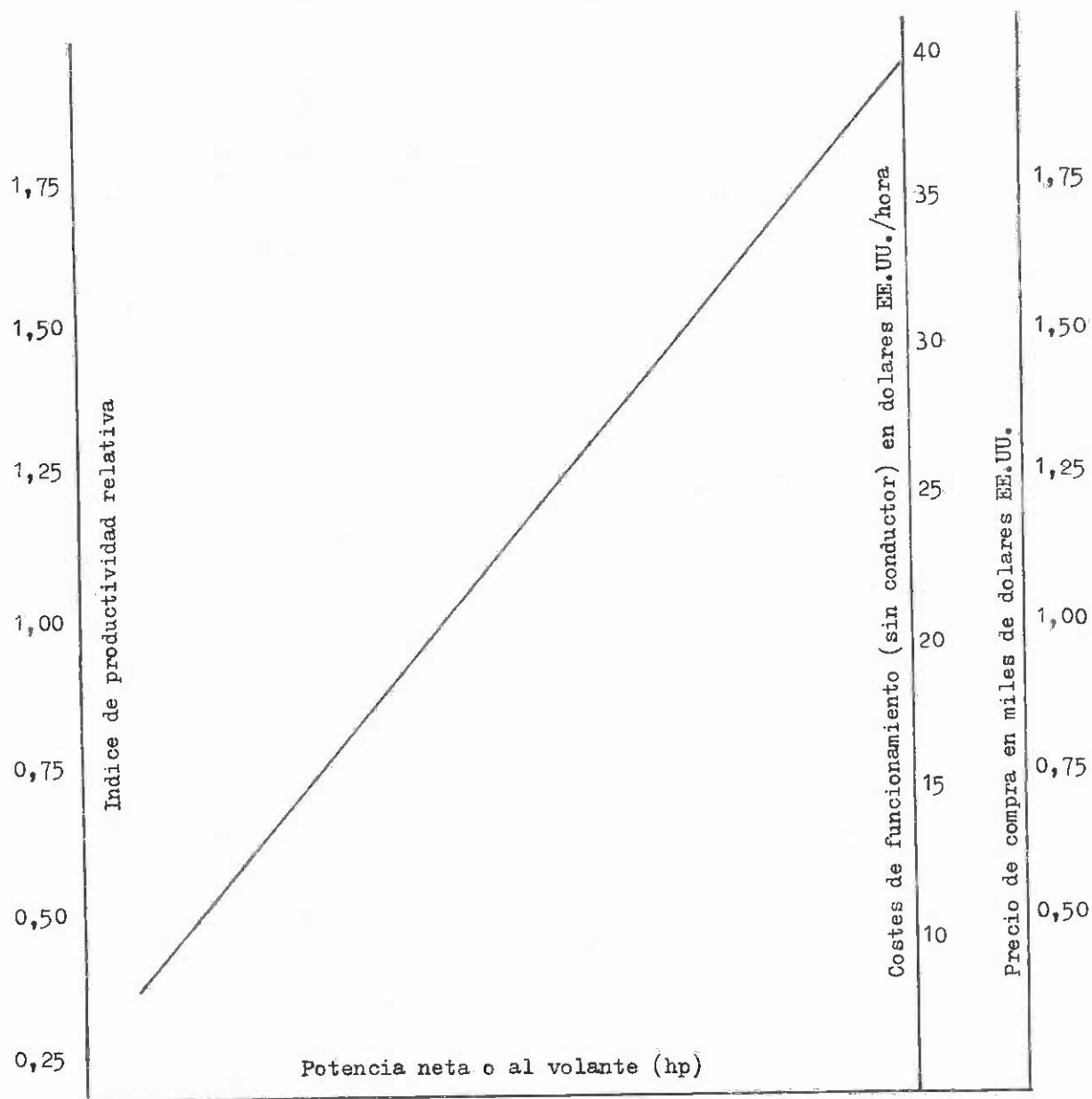


Figura 13 - Gráfica que indica los índices relativos aproximados de productividad, los costes de compra y los costes de funcionamiento por hora, de tractores de orugas con "servo-cambio", dotados con cuchilla en S, cubierta de protección y huinche de remolque.

APENDICE F

ESTABILIZACION CON CAL DE LA EXPLANACION DE LA CARRETERA

Hoja resumen para cal hidratada

Total de millas tratadas: 1 956

Objetivo: : estabilización de una capa de fundación de arcilla.

Suelos : arcillosos - tipo CL (Sistema Unificado = Unified System).

Aplicación : Proporciones - 4% y 5% de cal, en peso.

Procedimiento - La arcilla fue completamente escarificada, se aplicó la cal y a continuación se humedeció completamente la aplicación. Se mezclaron cuidadosamente los materiales, se compactaron ligeramente y se les dejó curar durante tres días.

Se volvió a mezclar dicha mezcla, se añadió más agua y se compactó hasta un 95% de la norma Proctor. Se dejó un período de cura de 7 días.

Coste per milla : Sin información. El coste por yarda cuadrada fué de 0,50 \$ EE.UU.

Efectos eneficiosos : (a) El suelo perdió toda su plasticidad.
(b) Las deformaciones por flexión de una viga Benkelman se redujeron casi en el 50%.
(c) Las relaciones de resistencia de California se incrementaron casi en el 450%.
(d) El contenido de arcilla se redujo en un caso en el 86%.

Efectos no beneficiosos : Se registró deformación en una sección pero se pensó que era debido a la falta de una cubierta adecuada de grava sobre la capa estabilizada.

Notas adicionales : (a) Los beneficios de la estabilización con cal tienen lugar con el tiempo.
(b) La duración del tratamiento en condiciones de campo con hielo y deshielo está todavía en estudio.

Ejemplo Num. 11

Diciembre 1968

Agente estabilizador : Cal hidratada

Fecha de aplicación : 1968

Localización : Suroeste de Quebec (carretera pública)

Longitud tratada : 1 691 millas

Objetivo : Estabilización de una capa de fundación de arcilla.

Datos sobre suelos: Clasificación - tipo CL (Sistema Unificado = Unified System)

Propiedades mecánicas - Límite líquido	45,7%
Índice de plasticidad	23,3%
Grado de contracción	40,5%
Contenido natural de humedad	27,7%

Datos del sitio : La carretera en cuestión era parcialmente de nueva construcción y parcialmente reconstrucción de una carretera existente.

La capa estabilizada tenía un total de 18 pulgadas de base y un pavimento asfáltico sobre ella.

Parece que las cunetas iban a un nivel inferior a la capa estabilizada.

Aplicación : Proporción ; Los ensayos de laboratorio determinaron que la proporción óptima era de un 4% en peso de contenido de cal. Esta se utilizó en el campo. (Comprobada mediante mediciones del pH).

- Procedimiento:
- (a) La arcilla se sacó de una cantera próxima y se colocó en la carretera con un espesor de 6 pulgadas después de compactada. Esta se dejó cerrada al tráfico durante dos meses.
 - (b) La arcilla fue escarificada completamente e inmediatamente antes de la estabilización.
 - (c) La cal, de sacos, se esparció uniformemente sobre la arcilla y después se añadió agua para conservar húmeda la mezcla. Cuando las pruebas del pH demostraban que el contenido era bajo, se añadía más cal.
 - (d) Se utilizó una máquina para mezclar y apisonar la mezcla, a fin de mezclar completamente el agua, la cal y la arcilla; a continuación se realizó una compactación ligera con un rodillo de ruedas múltiples.
 - (e) Después de un período de cura de 3 días, la mezcla de suelo y cal se volvió a mezclar utilizando la misma máquina para mezclar y apisonar la mezcla; se añadió de nuevo agua.
 - (f) La mezcla se volvió a compactar hasta un 95% de la norma Proctor, acabando con un rodillo suave de ruedas.
 - (g) Siguió a continuación un período de cura de 7 días en el cual se utilizó una aplicación ligera de alquitrán (0,25 galones/yarda cuadrada) para mantener la humedad.

Coste por milla : Sin información. El coste por yarda cuadrada, todo incluido, fue de 0,50 \$ EE.UU.

- Efectos beneficiosos :
- (a) El índice de plasticidad se redujo a cero (no plástico)
 - (b) El contenido de arcilla se redujo en un 86% y el contenido de limo se aumentó en un 50%.
 - (c) El grado de contracción se redujo al 21,3%.
 - (d) Las deformaciones de la viga Benkelman se redujeron de 0,095 pulgadas a 0,050 pulgadas en un período de dos semanas.
 - (e) Los valores de la Relación de Resistencia de California se aumentaron del 10,3% al 45%, 34 días después del tratamiento.

Efectos no beneficiosos: Sin información.

Notas : Los beneficios de la estabilización con cal se producen gradualmente con el tiempo. La duración del tratamiento a largo plazo está todavía en estudio. Los proyectistas consideran ahora que la carretera está superdimensionada. La capacidad de resistencia ha aumentado desde el final de la construcción. Las deformaciones de la viga Benkelman son todavía reducidas.

Ejemplo Núm. 12

10 de noviembre, 1968.

Agente estabilizador : Cal hidratada.

Fecha de aplicación : 1966

Situación : Noroeste de Quebec.

Longitud tratada : 2 secciones - 700 yardas.

Objetivo : Estabilización de una capa de fundación de arcilla.

Datos sobre suelos : Clasificación : Arcilla A-7-5 (Sistema A.A.S.H.O.)
Propiedades mecánicas: Índice de plasticidad = 20.

Datos del sitio : Carretera de transporte de 32 pies de anchura, perteneciente al Departamento de Tierras y Bosques (Department of Lands and Forests).

Aplicación : Proporción -

- (a) Una sección, 4% de cal en peso
- (b) Una sección, 5% de cal, en peso

Proyecto -

- (a) Base - vehículos de 70 000 lb GVW
- (b) 4% de cal - en el proyecto convencional se había de lograr un espesor total de 22 pulgadas de grava sobre la explanación. De hecho, se utilizaron 12 pulgadas de grava sobre 6 pulgadas de arcilla estabilizada con cal.
- (c) 5% de arcilla - en el proyecto convencional se había de lograr un espesor total de 22 pulgadas de grava sobre la explanación. De hecho, se utilizaron 6 pulgadas de grava sobre 8 pulgadas de arcilla estabilizada con cal.

Procedimiento -

- (a) Se trataba de la construcción de una nueva carretera; por ello se hicieron las cunetas y la explanación de la carretera y se desarrolló el perfil antes del tratamiento.
- (b) La cal se extendió sobre la zona deseada en las proporciones especificadas. Se mezcló entonces intimamente en el suelo, añadiéndose agua para lograr el contenido óptimo de humedad.
- (c) Después de una compactación mecánica, las secciones tratadas se taparon para evitar la evaporación de la mezcla. Se dejó un período de curado de 7 días antes de continuar la construcción.

Coste por milla : En estudio.

Efectos beneficiosos : (a) Las deformaciones de la viga Benkelman en la sección con 4% de cal fueron:

1967 - 0,070 pulgadas

1968 - 0,070 pulgadas

(b) Las deformaciones de la viga Benkelman en una sección con 5% de cal fueron:

1967 - 0,200 pulgadas

1968 - 0,200 pulgadas

Efectos no beneficiosos : La sección tratada con el 5% de cal parece que muestra ciertos signos de deformación en la superficie.

Notas : La deformación en la sección tratada con el 5% de cal, se piensa que dependa más por ser demasiado fina la capa de grava que únicamente por la presencia de la arcilla estabilizada.

Los vehículos que están transportando en la actualidad son de 125 000 lb, GCW, con sólo 5 ejes. El espesor de proyecto en estas condiciones sería de 32 a 36 pulgadas de firme total. Sin embargo no se han hecho todavía modificaciones para atender al aumento de las cargas.

APENDICE G (4)

ESTABILIZACION CON CLORURO DE CALCIO DEL FIRME DE LA CARRETERA

Hoja resumen para cloruro cálcico (en estado sólido)

- Longitud total tratada : 95 millas
- Objetivos : Normalmente la supresión de polvo y la estabilización de la capa de superficie.
- Suelos : Típicamente gravas.
- Aplicación : Proporciones - 4 a 6 toneladas por milla con una aplicación, según se informa, de aproximadamente 10 toneladas por milla.
Procedimiento - La extensión del material se llevó a cabo normalmente, en alguna etapa, mediante agua.
La mezcla se realizó normalmente con una niveladora.
- Coste por milla : 481 a 771 \$EE.UU. habiéndose registrado un caso de 317 \$EE.UU.
- Efectos beneficiosos : (a) Se logró la supresión del polvo.
(b) Se formó normalmente una capa de superficie muy dura que sólo se podía nivelar en tiempo húmedo. Los costes normales de mantenimiento se redujeron sustancialmente en la mayoría de los casos.
(c) Se demostró en cierta medida que las carreteras tratadas soportaron mejor los deterioros de primavera que las carreteras sin tratar.
(d) La suavidad de la capa de superficie resultante pareció mejorar con la calidad de la grava; el material machacado fué el mejor.
- Efectos no beneficiosos : (a) Cuando había limo y arcilla en grandes proporciones en la grava, se registró el hecho de que el tratamiento había ocasionado unas condiciones peligrosas de deslizamiento en tiempo húmedo.
- Notas adicionales : (a) En ciertas circunstancias, el equipo de distribución debía lavarse antes de los períodos de descanso, a fin de evitar el "aterronado" del material y el daño del equipo.

Hoja resumen para cloruro cálcico (estado líquido)

- Longitud total tratada : 185 millas
- Objetivos : Control del polvo y estabilización de la capa de superficie.
- Suelos : Arena o grava
- Aplicación : Proporciones - Varían de 3 ton/milla a 15,8 ton/milla (la última en 3 aplicaciones).

Hoja resumen para cloruro cálcico (estado líquido)

- Longitud total tratada : 185 millas
- Objetivos : Control del polvo y estabilización de la capa de superficie.
- Suelos : Arena o grava
- Aplicación : Proporciones - Varían de 3 ton/milla a 15,8 ton/milla (la última en 3 aplicaciones)
: Procedimiento - Un camión tanque con una barra de distribución aplicó el material a presión, normalmente después de que las capas de superficie de la carretera habían sido niveladas y conformadas nuevamente.
- Coste por milla : 240 \$EE.UU. a 455 \$EE.UU. para una aplicación; hasta 835 \$EE.UU. para aplicaciones múltiples.
- Efectos beneficiosos : (a) Se logró la supresión del polvo.
(b) Normalmente se formó una capa de superficie muy dura, que sólo podía nivelarse en tiempo húmedo. Los costos normales de mantenimiento se redujeron sustancialmente en la mayoría de los casos.
(c) La pérdida anual de materiales de la capa de superficie se redujo drásticamente.
(d) Pareció en cierto modo evidente que las carreteras tratadas soportaron mejor los deterioros de primavera que las carreteras sin tratar.
(e) La penetración fue más profunda que para las carreteras tratadas con aplicación de productos sólidos y los beneficios se produjeron casi inmediatamente, en lugar de conseguirse después de un período de tiempo.
(f) Raramente se produjo el lavado de la capa de superficie.
(g) Se redujo el daño de los camiones debido a las trepidaciones.
- Efectos no beneficiosos : (a) En un caso se formaron protuberancias huecas que exigieron una nivelación después de dos semanas, que fue cuando comenzó la ondulación de la carretera.
(b) Una lluvia fuerte poco después de la aplicación probablemente reduce la eficacia del tratamiento.
(c) En ciertas condiciones, la capa de superficie puede hacerse deslizante cuando esté húmeda.
(d) Se ha observado un cierto aumento de la oxidación de los equipos mecánicos.
- Notas adicionales : (a) Debe ponerse un gran cuidado respecto a los materiales que se van a tratar, ya que los más gruesos no obtienen los mismos beneficios.
(b) El tratamiento debe comenzarse en cuanto se pueda, después del cambio de tiempo, para que pueda comenzar el transporte; en muchos casos no será bastante una aplicación por estación.

APENDICE H

DEDUCCION DE LAS FORMULAS PARA EL CALCULO DEL COSTE DE LAS MAQUINAS

A continuación se trata de la obtención de las fórmulas empleadas para estimar el valor de las diversas componentes del coste de funcionamiento de una máquina.

1. Depreciación

La depreciación es un medio para recuperar la inversión original en una máquina. De los diversos métodos para calcular la depreciación, para los fines del cálculo de costes, se utiliza normalmente el denominado "método de la línea recta", basado en el número de horas del medidor de servicio o de las lecturas del registrador. Otros métodos pueden tener justificación en los sistemas de contabilidad, pero no valen para el cálculo de los costes reales de funcionamiento de una máquina.

No hay procedimiento de conocer con exactitud la duración económica de una máquina debido a factores que se refieren a su caída en desuso, la dureza de su utilización, la calidad del mantenimiento y así sucesivamente.

La cantidad a considerar como depreciación debe incluir los derechos de importación, los impuestos a las ventas o a las compras, los gastos de transporte y todos los otros costes realizados para entregar la máquina en su lugar de trabajo, menos su valor como máquina vieja o de chatarra, que normalmente se toma como el 10% del coste total original. La depreciación por unidad de tiempo se determina entonces dividiendo esta cantidad neta por la duración o vida estimada de la máquina expresada en las mismas unidades de tiempo, ésto es:

$$\text{depreciación} = \frac{\text{coste original de la máquina} \times 0,90}{\text{duración de la máquina en unidades de tiempo}}$$

2. Interés

El interés a incluir en el coste de funcionamiento de la máquina se calcula aplicando a la inversión media anual en la máquina la tasa de interés a que puede obtenerse prestado el dinero para financiar su compra. Se expresa como un coste por unidad de tiempo dividiendo el interés anual por el número de unidades de tiempo del año, ésto es:

$$I = \frac{\text{AAI} \cdot i}{\text{Unidades de tiempo del año}}$$

donde I = interés por hora u otra unidad de tiempo;

AAI = inversión anual media;

i = tasa de interés, expresada en forma decimal.

Aunque para un cálculo rápido y fácil la inversión media anual se considera con frecuencia como el 60% del coste de entrega de la máquina, puede calcularse de forma más precisa mediante la fórmula siguiente:

$$\text{AAI} = \frac{C(Y + 1) + V(Y - 1)}{2Y}$$

donde AAI = inversión anual media;

C = coste de entrega de la máquina;

V = valor estimado como chatarra o valor de la máquina vieja;

Y = duración estimada de la máquina en años.

En algunas zonas del mundo no se incluye normalmente el interés en la contabilidad del coste de funcionamiento de una máquina. Sin embargo debe incluirse cuando se están comparando los costes de funcionamiento de dos o más máquinas de explotación maderera y, por lo tanto, de los métodos de explotación. El no considerarlo puede llevar a cálculos incorrectos de las máquinas y a decisiones equivocadas al seleccionar el método de explotación forestal.

3. Seguro

El seguro está destinado normalmente a cubrir las responsabilidades civiles y daños a la propiedad y la pérdida de la máquina por fuego, robo u otros riesgos. Su valor anual se suele considerar como un tanto por ciento de la inversión inicial en la máquina o de la inversión anual media y se convierte en una cuantía por hora u otra unidad de tiempo. La cuantía en tanto por ciento depende de la costumbre local pero normalmente está entre el 1 y el 5% aplicado sobre la inversión media anual. Puede utilizarse la fórmula siguiente:

$$IN = \frac{\text{coste de entrega de la máquina} \times 0,60 \times 0,r}{\text{unidades de tiempo por año}}$$

donde IN = coste del seguro por hora u otra unidad de tiempo;

0,r = cuantía en tanto por ciento expresada en forma decimal.

4. Impuestos

Esta partida se refiere a los impuestos anuales relativos a la propia máquina. Incluye el coste anual, si procede, de la licencia de la máquina pero no los impuestos sobre el combustible que forman parte del coste de éste. El coste anual de los impuestos se traduce en una cuantía por hora u otra unidad de tiempo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Impuestos} = \frac{\text{cuantía anual de los impuestos}}{\text{promedio de horas (u otras unidades de tiempo) por año}}$$

5. Mano de obra

El coste de la mano de obra encargada del funcionamiento comprende los salarios directos del operario o conductor y los ayudantes empleados con la máquina, junto con el coste indirecto de las cargas sociales. El último coste debe establecerse y expresarse como un tanto por ciento del coste directo de la mano de obra. El coste de la mano de obra por hora de máquina puede hallarse dividiendo el coste de la mano de obra durante el período de tiempo (día, semana, mes o año) por el número de horas de máquina, u otras unidades de tiempo, empleadas en el período. Esto es:

$$\text{Mano de obra empleada en el funcionamiento} = \frac{\text{Coste de la mano de obra durante el período} \times (1 + f)}{\text{HPM (u otra unidad de tiempo) en el período}}$$

donde f = coste de las cargas sociales, expresado en tanto por ciento del coste directo de la mano de obra;

HPM = horas productivas de máquina.

6. Combustible

El consumo de combustible depende de los caballos del motor y del coeficiente de carga. El coeficiente de carga es un término utilizado para expresar el consumo real de combustible como un tanto por ciento de la capacidad máxima del motor para quemar combustible. Esto es, un motor funcionando de modo continuo, a su máxima potencia, está operando con un coeficiente de carga del 100%.

El valor del coeficiente de carga depende de la dureza del servicio. Un tractor de orugas trabajando con pala frontal en una operación de explotación maderera en climas templados funciona normalmente con un coeficiente de carga del 65 al 70%; en trabajo de plantación en climas cálidos puede ser algo inferior. Los tractores forestales transportadores, la mayoría de los cuales tienen, estando cargados, relaciones peso-potencia del orden de 160 a 180, operan con un coeficiente medio de carga del 55 al 70%, dependiendo de las condiciones de funcionamiento y de la eficacia del conductor. La relación peso-potencia es la razón entre el peso total del vehículo (GVW en kg) y el número neto de caballos del motor. En un transporte de madera para pasta realizado en el este de Canadá a distancia de 80 km sobre tractor con remolque por una carretera principal engravada, en terreno ondulado, con una pendiente media de bajada en carga de un 0,4%, la relación peso-potencia con carga fue alrededor de 140; la velocidad de circulación del viaje de ida y vuelta fue de un promedio de unos 70 km por hora y el coeficiente medio de carga se calculó en el 72% (76% cargado y 65% en vacío en el viaje de regreso a los bosques).

Los tractores forestales de ruedas del tipo canadiense que utilizan trincadores (chokers) en el este de Canadá, funcionando en muchos casos en condiciones físicas bastante duras, arrastran cargas relativamente pequeñas, limitadas en muchos casos por el tamaño de los árboles (promedio 0,14 a 0,16 m³) y el número de trincadores (chokers) transportadores. Incluso cuando los árboles son mayores, no siempre se transportan cargas máximas. El resultado es que los motores no funcionan normalmente a plena potencia, incluso cuando el tractor está cargado, y el factor de carga está entre 45 y 50%. Por otra parte, en países en desarrollo en que la mano de obra es abundante y barata, el terreno es normalmente bueno, los árboles (excepto en los primeros aclareos comerciales) son grandes y las máquinas representan la principal componente del coste de una operación, se tiende a arrastrar cargas máximas en todo momento, haciendo trabajar duramente al motor. En tales condiciones el coeficiente medio de carga puede estar entre el 60 y el 65%.

Considerando los puntos anteriores, para fines de estimación se puede utilizar un valor del coeficiente de carga del 60%, sin producir un error importante en el coste de funcionamiento de la máquina.

El consumo de combustible de un motor diesel que utilice combustible Núm. 2 varía entre 0,16 y 0,18 kg por caballo de potencia al freno y por hora, dependiendo del modelo del motor y de la velocidad, de la temperatura ambiente y de la eficacia del motor. Para fines de cálculo, puede utilizarse un valor medio de 0,17 kg. El consumo de combustible de los motores de gasolina es del orden de 0,21 kg por hp de potencia al freno y hora.

La potencia total es la potencia al freno del motor cuando funciona solamente con sistema de combustible, filtro de aire y bombas de combustible y de agua. La potencia neta es la potencia al freno o al volante desarrollada cuando se funciona con ventilador, sistema de escape de humos, generador o alternador y otros accesorios auxiliares. La potencia neta está normalmente dentro del orden de un 7 a un 15% inferior a la potencia total. La potencia del motor se indica normalmente como potencia total, pero algunos fabricantes pueden indicar la cifra correspondiente a la potencia neta.

Aunque el peso del combustible varía algo, dependiendo de la temperatura ambiental y de la presión, pueden tomarse como valores 0,84 kg/litro para combustible diesel núm. 2 y 0,72 kg para la gasolina.

El consumo de combustible puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$\text{LPMH} = \frac{K \times \text{GHP} \times \text{c} \times \text{LF}}{\text{KPL} \times 100}$$

donde LPMH = litros utilizados por hora de máquina;

K = kilogramos de combustible utilizados por hp de potencia al freno y por hora;

GHP = potencia total del motor en hp a la velocidad de régimen (revoluciones por minuto);

LF = coeficiente de carga en tanto por ciento;

KPL = peso del combustible en kg/litro.

Sustituyendo en la fórmula los valores apropiados, tal como se dan anteriormente para los símbolos K, LF y KPL la fórmula se convierte en:

(a) LPMH = 0,12 x GHP para motores diesel, y

(b) LPMH = 0,175 x GHP para motores de gasolina.

El coste de combustible por hora de máquina puede calcularse entonces mediante la fórmula:

(a) FC = 0,12 x GHP x CL para motores diesel, y

(b) FC = 0,175 x GHP x CL para motores de gasolina.

donde FC = coste del combustible por hora de máquina;

GHP = potencia total al freno del motor;

CL = coste del combustible por litro.

Así, si el combustible cuesta 0,15/1, el coste estimado de combustible de un tractor Caterpillar D7F que desarrolla una potencia neta, o potencia al volante, de 180 hp, sería:

$$0,12 \times \frac{180}{0,935} = 0,15 = 3,47 \text{ dolares EE.UU. por hora}$$

El mejor sistema para obtener los datos sobre el consumo de combustible es a partir de máquinas similares que trabajan en condiciones análogas. Cuando esto no es posible, el método más satisfactorio es el indicado anteriormente. Los intentos realizados para desarrollar métodos abreviados para el cálculo del coste del consumo de combustible no han tenido éxito debido a las variables que entran en el ejercicio. La más decisiva de éstas es el coeficiente de carga. La experiencia en la zona y unas pocas comprobaciones sobre el terreno respecto a máquinas específicas, permitirá rápidamente establecer su valor dentro de unos límites razonablemente aproximados.

7. Aceite y engrase

El coste de aceite y engrase, incluyendo aceites hidráulicos, varía con la potencia del motor y con la capacidad y complejidad del sistema hidráulico. Para aquellas máquinas, como tractores, camiones, "skidders" y cargadores frontales, que no tienen sistema hidráulico o éste es relativamente pequeño, el coste por hora de máquina puede obtenerse aproximadamente mediante la fórmula siguiente:

$$\text{COG} = \frac{\text{GHP} \times 0,20}{100}$$

donde COG = coste de aceite y engrase por HPM;

GHP = potencia total en hp.

En máquinas como los tractores forestales transportadores, los "processors" (procesadoras) y los "harvesters" (cosechadoras forestales) que pueden tener sistemas hidráulicos importantes relativamente complicados y de alta presión, el coste por hora de máquina,

expresado en centavos, puede sobrepasar el 50% e incluso aproximarse al 100% de la potencia total. Por ejemplo, un "harvester" con una potencia de motor del orden de los 200 hp, puede tener un coste de aceite y engrase superior a 1 \$EE.UU., por hora de máquina. El coste de aceite y engrase para los "feller-bunchers" (cortadoras-apiladoras) y para los cargadores con brazo articulado estará entre el coste de los tractores de oruga y el de los "harvesters". La fórmula puede expresarse por tanto de este modo:

$$COG = \frac{GHP \cdot x}{100}$$

donde COG = coste de aceites y engrases por HPM;

x = factor que tiene los valores siguientes:

- (a) 0,25 para tractores, camiones, tractores forestales arrastradores, motoniveladores y cargadores frontales;
- (b) 0,35 para los "feller-bunchers" (cortadoras-apiladoras) y para los cargadores con brazo articulado;
- (c) 0,60 para los "processors" (procesadoras), "harvesters" (cosechadoras frontales) y "forwarders".

8. Servicios y reparaciones (exceptuados los neumáticos para los vehículos de transporte)

Es muy difícil hacer unos cálculos seguros del coste de servicios y reparaciones de los equipos mecánicos a menos que se disponga de experiencia con máquinas similares que trabajen en condiciones análogas. Se ha convertido en una costumbre el referir los costes de servicios y reparaciones durante la vida de una máquina o uno o más de los siguientes factores:

- (a) precio de compra;
- (b) precio de entrega menos impuestos;
- (c) depreciación,

y expresarlos como un coste por HPM. Están basados en el supuesto de que la vida esperada de la máquina se ha estimado en forma realista.

Aunque el coste de servicios y reparaciones de una máquina aumenta realmente con la edad, normalmente se hace un promedio para toda la vida de la máquina y se expresa sobre la base de una "línea recta", de igual forma que la depreciación. En la práctica, las cargas por depreciación anual disminuyen cada año mientras que aumentan los costes de servicios y reparaciones, de modo que las dos sumadas dan un valor anual bastante constante durante la vida de la máquina, haciendo de este modo que el cálculo sobre la base de una "línea recta" sea razonablemente realista, cuando ambas componentes del coste se consideran de esta forma.

La experiencia en el este de Canadá demuestra que los costes de servicios y reparaciones pueden variar entre el 75 y el 150% de la depreciación (cuando la vida de la máquina se estima de forma realista) dependiendo de la complicación y de la etapa de desarrollo de la máquina, de su tipo de trabajo, del medio en que trabaje y del cuidado que ponga el conductor. El coste se compone de dos partidas:

- (a) mano de obra, incluyendo cargas sociales, y
- (b) repuestos y materiales.

En el este de Canadá éstos constituyen aproximadamente el 50% cada uno del coste total, basándose el coste de la mano de obra en una cuantía ajustada con el garaje que puede variar entre 10 \$EE.UU. y 15 \$EE.UU. por hora de máquina.

En los países en desarrollo el coste de accesorios y materiales suele diferir bastante del de los países industrializados, pero el coste de la mano de obra es muy inferior. Como norma general en el este de Canadá, el coste de servicios y reparaciones durante el período de vida de una máquina de explotación maderera bastante bien desarrollada, se considera equiparable al coste de entrega de la máquina original. Se sugiere utilizar la misma relación, a menos que se disponga de datos más precisos o hasta que se logren éstos y, en consecuencia, la fórmula siguiente:

$$\text{Servicios y reparaciones} = \frac{\text{coste de entrega de la máquina}}{\text{vida normal en horas}}$$

9. Neumáticos (solamente para vehículos de transporte)

El cálculo del coste de neumáticos de los vehículos de transporte se basa a veces en el recorrido en millas. No hay error en este método, particularmente cuando los camiones funcionan de modo continuo con las mismas cargas y sobre el mismo tipo de carreteras. Sin embargo, en la mayoría de las operaciones de explotación maderera se encuentran varios tipos de carreteras, desde las mal acabadas, de baja velocidad, en las que los neumáticos están sometidos con frecuencia a daños laterales, hasta las carreteras suaves y bien pavimentadas, de alta velocidad, en las que existen pocos riesgos y en las que el calor es probablemente el mayor enemigo de los neumáticos. Por lo tanto, parece lógico que el cálculo del coste de neumáticos basado en las horas de recorrido sea tan seguro o incluso más preciso que el cálculo basado en el recorrido en millas. Se utiliza también con más facilidad en los procedimientos de cálculo de costes.

También es evidente que la experiencia con equipos y neumáticos similares, en operaciones análogas, proporcionará la mejor información sobre el coste de cubiertas. Cuando no se disponga de tal experiencia, deben encontrarse otros medios. Mucho dependerá de la elaboración del propio neumático, de la carga sobre él y de la presión de inflado, de la capa de superficie de la carretera, de la velocidad de circulación, de la temperatura ambiente y de otros numerosos factores.

Los neumáticos originales deben depreciarse o amortizarse con el camión o remolque en el caso de vehículos de transporte. De esta forma, los costes de los neumáticos cubrirán las reparaciones de los neumáticos originales y el coste y reparaciones de los neumáticos de repuesto durante la vida del vehículo. Puede hallarse calculando la expresión siguiente:

$$\frac{B}{Y \cdot Z} + \frac{(T + B)(Y \cdot Z - A)}{Z \cdot Y \cdot A}$$

donde B = coste de reparación durante el tiempo de duración de un juego de neumáticos;

T = coste de sustitución de un juego de neumáticos;

Y = duración del camión o del remolque, en años;

Z = horas de viaje por año;

A = duración de un juego de neumáticos, expresado en horas de circulación;

Y.Z = duración, en horas de circulación, del camión o remolque;

$\frac{B}{Y \cdot Z}$ = coste de reparación durante el tiempo de duración de los neumáticos originales;

$\frac{T + B}{Y \cdot Z}$ = coste de sustitución de un juego de neumáticos y de reparaciones de tales neumáticos distribuido durante el tiempo de duración de la máquina;

$\frac{Y \cdot Z - A}{A}$ = número necesario de juegos de neumáticos de repuesto durante el tiempo de duración de la máquina.

Sobre la base aproximada de que (a) un vehículo de transporte debe pasar 10 000 horas de su vida viajando; (b) la duración de los neumáticos debe ser de unas 2 000 horas de recorrido y (c) el recauchutado y las reparaciones por neumático ascienden al 50% del coste original, se necesitarán cuatro juegos de neumáticos de repuesto durante la vida útil del vehículo de transporte con un coste de

$$CST \times 1,5 \times 4$$

y el coste de neumáticos por hora de recorrido se hallará con la fórmula siguiente:

$$TC = \frac{CST \cdot 1,5 \times 4}{10\ 000} = 0,006 \times CST$$

donde TC = coste de neumáticos por hora de viaje;

CST = coste del juego de neumáticos de repuesto.

Los costes de la mano de obra utilizada en el cambio de neumáticos y en la ejecución de reparaciones menores de éstas pueden incluirse, por razones de comodidad, junto con la mano de obra de servicios y reparaciones.

10. Hoja de cálculo

El Formulario A del Capítulo 3 es una hoja que puede utilizarse para calcular el coste de funcionamiento de una máquina. Es adecuada para camiones y para aquellas máquinas, como los tractores de cadenas, que no tienen una función distinta de la de desplazarse.

APENDICE I

CARRETERAS INTERIORES DE TRANSPORTE PARA LOGRAR EL MINIMO
COSTE TOTAL DE MADEREO DE SUSPENSIÓN Y TRANSPORTE

Principios generales

El sistema de carreteras por el que se transporta la madera desde un área determinada hasta el cargadero final comprende normalmente una serie de carreteras de distintas capacidades, comenzando con las carreteras de extracción o interiores dentro de la zona inmediata de explotación forestal y aumentando gradualmente en calidad hasta que se llega al cargadero final. R.G. Belcher ha demostrado en el documento núm. 2484 de la Sección de Bosques "Reducción al mínimo de los costes de transporte en camión" (Minimization of Trucking Costs) que, para lograr el menor coste combinado, o sea, de carreteras más transporte, es mejor excederse que quedarse cortos en la construcción de las carreteras principales, es decir que hay menos posibilidad de obtener una pérdida global por la construcción de una carretera de alta calidad que por hacer una mala carretera.

En lo que se refiere a las carreteras interiores o de extracción - aquéllas que están dentro de la zona inmediata de explotación y sirven sólo para ella - el documento núm. 2258 de la Sección de Bosques "Requisitos de la explotación mecanizada y de las Carreteras" (Mechanized Logging and Road Requirements), desarrolló el principio de que el costo de una carretera interior y los costes variables (recorrido) del maderero de suspensión y de transporte por dicha carretera interior, expresados en los mismos términos, deben ser iguales o estar equilibrados si se quiere lograr el menor costo posible de explotación. Este principio se basa en la aceptación de varias premisas:

- 1) que hay una cierta flexibilidad - alguna libertad de elección - en cuanto a la cantidad de dinero gastado por milla de carretera de extracción;
- 2) que la velocidad media en el viaje de ida y vuelta en una carretera interior es proporcional al costo por milla de carretera;
- 3) que el costo variable (recorrido) de transporte es inversamente proporcional a la velocidad de recorrido, de tal forma que duplicando, por ejemplo, la velocidad, se reducirá el costo a la mitad;
- 4) que los costes de funcionamiento del equipo de maderero de suspensión y de transporte deben calcularse sobre la base de horas de parada y horas de recorrido y que deben aplicarse sobre esta base.

El empresario de la explotación se encuentra a menudo con el problema de determinar la calidad de servicio con que debe construirse una carretera y la cantidad de dinero que puede gastarse económicamente en ella. En el caso de las carreteras principales, o de las carreteras de extracción que pasarán a ser después secundarias o principales, debe tenerse en cuenta el volumen total de madera que se va a transportar por ellas. Es evidente que la carretera debe construirse desde el comienzo con vistas a su calidad final, a fin de lograr los costes mínimos desde el comienzo de su utilización inicial. El problema que se está considerando aquí se refiere a aquellas carreteras interiores que están en el "final de línea" y que nunca servirán más que para la madera que está en sus proximidades inmediatas.

La aplicación de la fórmula del espaciamiento óptimo de las carreteras proporciona el espaciamiento de las carreteras de extracción que produce el menor coste combinado de 1) el maderero de suspensión o de arrastre y 2) la construcción de la carretera y su mantenimiento. La fórmula se desarrolló igualando la parte variable o de recorrido del coste del maderero de suspensión por cunit. Esto puede hacerse porque el coste variable por cunit

del madereo de suspensión varía directamente con el espaciamento de las carreteras y el coste por cunit de carreteras de extracción varía inversamente con dicho espaciamento, permitiendo igualar ambas componentes para lograr el coste mínimo. De este modo

$$\frac{S}{4} \times \frac{c t (1+p)}{L} = \frac{R}{8Sd}$$

donde S = espaciamento óptimo de las carreteras de extracción en "chains";

$\frac{S}{4}$ = distancia media del madereo de suspensión en "chains";

c = coste por minuto de recorrido del equipo de madereo de suspensión o de arrastre;

t = velocidad media en el recorrido de ida y vuelta en minutos por "chain" de distancia de madereo de suspensión, es decir, el tiempo en recorrer un "chain" cargado y regresar en vacío;

L = carga media del tractor forestal arrastrador o transportador en cunits;

R = coste de construcción y mantenimiento de carreteras por milla;

d = densidad de la masa forestal en cunits por acre;

p = factor de retraso.

de modo que

ct(1+p) = coste variable del madereo de suspensión o de arrastre por cunit-chain;

8Sd = cunits de madera transportada por milla de carretera de extracción;

$\frac{R}{8Sd}$ = coste de carretera de extracción por cunit.

Despejando S, espaciamento óptimo de las carreteras, la ecuación se convierte en

$$S = \sqrt{\frac{LR}{2 d c t (1+p)}}$$

Esto significa que el espaciamento de las carreteras de extracción, tal como se indica mediante la aplicación de la fórmula, garantizará que los costes variables por cunit del madereo de suspensión y de carreteras serán iguales, obteniéndose el menor coste combinado de las dos operaciones.

Es evidente también que los costes combinados de construir y mantener una carretera interior y de realizar el transporte por ella, cuando se expresan sobre la misma base, serán mínimos cuando estos costes componentes sean iguales. Es un hecho, basado en el método de cálculo del coste de los camiones mediante horas de parada y de recorrido, que el coste variable de transporte (recorrido) varía inversamente con la velocidad de recorrido. Anteriormente en esta sección se partió de la premisa, y en la práctica parece comprobarse dentro de ciertos límites, que el costo de la carretera de extracción es directamente proporcional a la velocidad de recorrido, ya que existe un cierto grado de flexibilidad para decidir cuánto dinero debe gastarse en la carretera. Con estas premisas, como un costo varía directamente y el otro inversamente con la velocidad del recorrido, pueden igualarse para obtener el menor costo combinado. De esta forma

$$D \times X \times \frac{c t (1+p)}{L} = \frac{R}{8Sd}$$

donde D = longitud de la carretera de extracción en millas;

D x X = distancia media de transporte en millas;

c = coste por hora de recorrido del equipo de transporte;

t = tiempo medio necesario en horas para recorrer una milla cargado y regresar en vacío;

L = carga media en cunits;

R = coste de construcción y mantenimiento de la carretera por milla;

S = espaciamiento óptimo de las carreteras en chains;

d = densidad de la masa forestal en cunits por acre;

p = factor de retraso;

de modo que

$$\frac{ct(1+p)}{L} = \text{costo variable de transporte por cunit-milla;}$$

$8Sd$ = volumen de madera transportada por milla de carretera de extracción;

$$\frac{R}{8Sd} = \text{coste de la carretera de extracción por cunit.}$$

Las carreteras de extracción se construyen normalmente para reducir el coste del madereo de arrastre o de suspensión. Por ello este último no puede ignorarse cuando se trata de lograr el objetivo del mínimo coste total del madereo de arrastre o de suspensión, transporte, construcción y mantenimiento de las carreteras de extracción. Bajo una planificación apropiada, la aplicación de la fórmula del espaciamiento óptimo de las carreteras garantizará el menor costo combinado de carreteras de extracción y madereo de suspensión. De análoga forma, el costo mínimo combinado de carreteras de extracción y transporte se logrará cuando estos dos costes lleguen a equilibrarse. Se deduce en consecuencia, que la calidad de la carretera de extracción debe ser aquella que, con su espaciamiento, mantenga en equilibrio los costos variables por cunit del madereo de suspensión y del transporte. Por lo tanto, una comparación entre estos dos valores para la carretera de que se trate, indicará si la calidad es correcta, es demasiado alta o demasiado baja y con ello se podrá atender a la posibilidad de cambiar la calidad. Para hacerlo, debe expresarse el valor de cada uno en función de R, coste de la carretera por milla, y con los dos resultados formar una ecuación que permita despejar R, coste de la carretera que dará valores iguales para el costo de carreteras y para los costes variables de madereo de suspensión y de transporte y el menor costo combinado posible, todos expresados sobre la base del costo por cunit.

En el Apéndice XIII puede encontrarse una copia del documento núm. 2258 de la Sección de Bosques "Requisitos de la Explotación maderera mecanizada y de las carreteras". Debe hacerse referencia a este documento para mayores detalles en relación con el tema que se está tratando. No se incluye una copia del documento de R.G. Belcher, a que se hizo referencia anteriormente, porque trata de carreteras principales que no son las que se están considerando.

Aplicación del principio del mínimo coste combinado

Una zona extensiva que bordea una carretera principal y que se extiende hasta una milla de ella contiene una masa forestal relativamente uniforme que cuenta con un promedio de 12 cunits por acre. El empresario de la explotación forestal tiene el plan de tratar la madera mediante el método de cortar y apilar y efectuar el madereo de suspensión hasta el borde de la carretera o mediante remolque con "forwarders" que transporten cargas de 3 cunits con un coste de 18 \$ Can. por hora de trabajo y con una velocidad media de recorrido de ida y vuelta de 1,5 millas por hora (de modo que se necesita un minuto de tiempo para recorrer un chain cargado y regresar en vacío). Se han de construir carreteras de extracción a intervalos, con toda la profundidad de la zona. El empresario tiene libertad de decidir respecto a la calidad de servicio de la carretera de extracción y respecto a la cantidad de dinero a invertir por milla. Ha decidido que puede realizar este gasto de tal modo que la velocidad de recorrido sea directamente proporcional al coste R de la carretera y, en función de R, igual a $0,01R$, es decir, que sus camiones de transporte podrán viajar a un promedio de 5 millas por hora si gasta 500 \$ Can. por milla, 10 mph si gasta 1 000 \$ Can., y así sucesivamente, dentro de ciertos límites. Utilizará vehículos con camión y semi-remolque que cargan 12 cunits y que cuestan 18 \$ Can. por hora de recorrido.

El empresario desea saber, a fin de lograr los mínimos costos totales posibles:

- 1) el espaciamiento óptimo para sus carreteras de extracción;
- 2) cuánto debe gastar por milla de carretera.

El empresario se da cuenta al tratar de resolver este problema que el coste por hora de parada, el método de carga (directo o con carga previa), y la relación entre remolques y camiones-tractores no influyen en el problema, excepto que el coste de la carretera debe incluir las zonas de aparcamiento para remolques si se hace carga previa.

La solución exige:

- 1) la aplicación de la fórmula del espaciamiento óptimo de las carreteras, a fin de encontrar una solución en función de R;
- 2) la determinación del coste variable del madereo de suspensión

$$\frac{S}{4} = \frac{c t (1+p)}{L}$$

y el coste variable de transporte

$$D \times X \times \frac{c t (1+p)}{L}$$

ambos en función de R, e igualar los dos resultados para hallar R, que es el coste correcto por milla de carretera.

- A. Aplicar la fórmula del espaciamiento óptimo de las carreteras:

$$S = \sqrt{\frac{LR}{2 d c t (1+p)}} = \sqrt{\frac{3R}{2 \times 12 \times 0,20 \times 1 \times 1,10}} = \sqrt{0,615 R}.$$

- B. Hallar el coste variable del madereo de suspensión por cunit:

$$\frac{S}{4} \times \frac{c t (1+p)}{L} = \frac{0,615 \sqrt{R}}{4} \times \frac{0,30 \times 1 \times 1,10}{3} = 0,0169 \sqrt{R}.$$

- C. Determinar el coste variable por cunit del transporte de la madera a que ha de servir cada carretera de extracción de longitud D, si la madera está distribuida uniformemente a lo largo de la carretera, de modo que X = 0,5, es decir, que la distancia media de transporte es la mitad de la longitud de la carretera:

$$D \times X \times \frac{c t (1+p)}{L} = \frac{1 \times 0,5 \times 18 \times 2 \times 1,10}{0,01R \times 12} = \frac{165}{R}$$

- D. Igualar los valores de B y C y resolver la ecuación en R:

$$0,0169 \sqrt{R} = \frac{165}{R}$$

de modo que R = 455 \$ Can.

- E. Hallar el espaciamiento óptimo de las carreteras de extracción mediante el punto A anterior:

$$S = 0,615 \sqrt{R} = 0,615 \sqrt{455} = 13,1 \text{ chains}$$

Por lo tanto, si se gasta una cantidad de 455 \$ Can. por milla de carretera de extracción, se obtendrán los siguientes resultados:

- 1) espaciamiento óptimo de las carreteras = $0,615 \times 21,3 =$ unas 13 chains;
- 2) cada milla de carretera servirá para $8Sd = 1\ 250$ cunits;
- 3) velocidad media de transporte = $0,01 \times 455 = 4,5$ mph;
- 4) el coste variable del madereo de suspensión, el coste variable del transporte y el coste de la carretera serán iguales y su coste será el que se indica a continuación para obtener el menor coste combinado posible:

	Coste por cunit	
	<u>Símbolo</u>	<u>Cantidad</u>
Madereo de suspensión, variable	0,0169 R	0,36 \$ Can.
Transporte, variable	$\frac{165}{R}$	0,36 \$ Can.
Carreteras de extracción	$\frac{R}{8Sd}$	0,36 \$ Can.
Totales		1,08 \$ Can.

Si no se puede mantener la premisa adoptada para este ejercicio, no puede aplicarse el principio de los costes mínimos combinados tal como se explicó anteriormente. En las condiciones establecidas los valores dados antes dan el menor coste combinado posible de construcción de carreteras, de madereo de suspensión variable y de transporte variable. Una de las premisas fundamentales fue que la velocidad de recorrido de camión en la carretera de extracción era proporcional al coste de la carretera; para este problema específico, igual a $0,01R$, donde R es igual al coste de la carretera por milla.

Sin embargo, si las condiciones del terreno son tales que el contratista no tiene otra posibilidad de elección que el gastar en la carretera, por ejemplo 1 000 \$ Can. en vez de 455 \$ Can. por milla, las premisas se alteran y no se mantiene el principio. En tal situación, el contratista tendría las siguientes opciones:

- a) dejar sin variación el espaciamiento de las carreteras, de 13 chains, y gastar en carreteras 1 000 \$ Can. por milla;
- b) volver a aplicar la fórmula del espaciamiento de las carreteras, con R , coste de carreteras, igual a 1 000 \$ Can.

Estas opciones proporcionarían los siguientes datos comparativos:

	<u>Opción A</u>	<u>Opción B</u>
Espaciamiento de las carreteras de extracción, en chains	13,1	19,5
Cunits servidos por la carretera de extracción	<u>1 260</u>	<u>1 870</u>
Coste variable del madereo de suspensión, por cunit en \$ Can.	0,36	0,535
Coste de carreteras, por cunit \$ Can.	0,795	0,535
Coste variable de transporte, por cunit, cuando la velocidad media de recorrido es = 4,5 mph	\$ Can. <u>0,36</u>	<u>0,36</u>
Coste combinado por cunit	\$ Can. 1 515	1,43

Una vez más, si el contratista estuviera obligado a gastar 2 000 \$ Can. por milla de carretera de extracción, el coste combinado de carreteras, madereo de suspensión variable y transporte variable sería incluso superior: 2,31 \$ Can. con la Opción A y 1,87 \$ Can. con la Opción B, utilizando la misma velocidad media de transporte de 4,5 mph.

En consecuencia, es evidente que cuando no se puede mantener el principio del coste mínimo combinado, se logrará el menor coste combinado cuando las carreteras de extracción estén espaciadas de acuerdo con la fórmula del espaciamiento óptimo de las carreteras y se mantengan las máximas velocidades de transporte, teniendo en cuenta las condiciones de las carreteras. Es evidente también que, como las carreteras de extracción invernales cuestan normalmente mucho menos que las carreteras de extracción de verano, el coste combinado de carreteras de extracción, maderero de suspensión y transporte será mínimo en condiciones invernales y que este hecho debe entrar en la formulación de los planes de explotación forestal.

LISTA DE REFERENCIAS

- (1) FAO. La explotación maderera y el transporte de trozas en el monte alto tropical. Departamento de Montes. Roma. Italia. 1974
- (2) FAO. Harvesting man-made forests in developing countries. Departamento de Montes. Roma. Italia. 1976
- (3) Paterson, W.A., McFarlane, H.W. y Dohaney, W.J. A proposed forest roads classification system. Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada, W.R. No. 20. 1969
- (4) Paterson, W.G., McFarlane, H.W. y Dohaney, W.J. Industry experience with forest road stabilization methods and material. Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada, W.R. No. 18 (Segunda edición).
- (5) Paterson, W.G., McFarlane, H.W. y Dohaney, W.J. The selection and use of forest road building materials. Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada. Report WR/1 (Segunda edición).
- (6) McNally, J.A. Trucks and trailers and their application to logging operations. 1975 University of New Brunswick. Fredericton, New Brunswick, Canada.
- (7) Odier, L., Millard, R.S., dos Santos, Pementel and Mehra, S.R. Low cost roads - design, construction and maintenance. Unesco (con traducción al inglés en 1971) 1967
- (8) Comité Conjunto FAO/CEPE/OIT. Symposium on forest operations in mountainous region. 1971
- (9) Department of Transport. Axle weight legislation made up the Highway Traffic Act 1971 and Regulations. Queen's Park, Toronto, Canada.
- (10) Canadian Pulp and Paper Association. Costing mechanical equipment. Sun Life 1961 Building, Montreal, Canada. Woodlands Section Paper, Index No. 2103, Logging Committee.
- (11) Samset, Ivar. Cost calculation of forest machines (en Noruega con resumen en inglés) 1972 Tidsskrift for Skagbruk 80, IV, Oslo, Noruega. p. 357-374.
- (12) Caterpillar Tractor Co. Caterpillar performance handbook. 1974
- (13) McNally, J.A. Mechanized logging and road requirements. Canadian Pulp and 1968 Paper Association, Sun Life Building, Montreal, Canada. Woodlands Section Paper. Index No. 2258.
- (14) Perrin Pierre Yves. Méthode pratique d'optimisation du réseau routier pour le 1968 transport des bois par camion. Département d'exploitation et utilisation des bois. Faculté de Foresterie et Géodésie, Université Laval, Québec, Canada. Note des Recherches No. 5.
- (15) Eisbacher, J. The application of soil testing methods in forest road construction. 1975 Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien. Contenido en el Technical Report del FAO/Austria Training Course on Forest Roads and Harvesting in Mountainous Forests. FAO, Roma (1976).

- (16) Axelsson, S.A. Repair statistics and performance of new logging machines. Pulp and
1972 Paper Research Institute of Canada, Logging Research Report LRR/47.
- (17) von Segebaden, O. Studies of cross-country transport, distances and road net
1964 extension. Studia Forestalia Suecia No. 18. Estocolmo.
- (18) Akesson, H .A. Drainage of forest roads. Canadian Pulp and Paper Association,
1968 Sun Life Building, 1155 Metcalfe St., Montreal, Canada, Woodlands Section
Paper. Index No. 2260.
- (19) Cunia, T. Production studies in cutting and horse skidding. Canada Pulp and Paper
1960 Association. Sun Life Building, Montreal, Canada. Woodlands Section
Index No. 1951.
- (20) Bennet, W.D. Forces involved in skidding full tree and tree length loads of pulp-
1962 wood. Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada, W.R.
Index No. 137.
- (21) The Logma T-310 Limber-Buncher. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten,
1970 Estocolmo, Suecia, Teknik No. 8.
- (22) Powell, L.H. Evaluation of new logging machines: Logma T-310 Limber-Buncher.
1972 Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada.
Report LRR/46
- (23) Myles, D.V. Development of a tree-length forwarder. Forest Management Institute,
1976 Canadian Forest Service, Environment Canada, Ottawa, Canada. Information
Report FMR-X-88.
- (24) Logging in Sweden. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Drottninggatan 97.
1975 Estocolmo, Suecia.
- (25) Heidersdorf, E. Evaluation of new logging machines: BM Volvo SM-880 Processor.
1973 Pulp and Paper Research Institute of Canada, Montreal, Canada. Report LRR/55.